Universidade do Minho
Instituto de Ciências Sociais

Catarina Isabel Fernandes de Almeida Pinheiro

Análise por Deteção Remota do Processo de Urbanização Difusa e seu Efeito Climático em Braga e Guimarães

fevereiro de 2020

Análise por Deteção Remota do Processo de Urbanização Difusa e seu Efeito Climático em Braga e Guimarães
Catarina Isabel Fernandes de Almeida Pinheiro
UMinho | 2020

Cofinanciado por:

REPÚBLICA PORTUGUESA | CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR | FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia | POCH | PORTUGAL 2020 | UNIÃO EUROPEIA Fundo Social Europeu

Universidade do Minho
Instituto de Ciências Sociais

Catarina Isabel Fernandes de Almeida Pinheiro

Análise por Deteção Remota do Processo de Urbanização Difusa e seu Efeito Climático em Braga e Guimarães

Tese de Doutoramento
Doutoramento em Geografia
Especialidade de Geografia e Planeamento Regional

Trabalho realizado sob a orientação de
Professora Doutora Maria Manuela Carruço Laranjeira
Professor Doutor Miguel Sopas de Melo Bandeira

fevereiro de 2020

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual
CC BY-NC-SA

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

AGRADECIMENTOS

Em memória de Elvira Fernandes,
a minha querida mãe.

Findo este percurso, que já vai longo, são várias as pessoas a quem gostaria de agradecer, por me terem ajudado a chegar até ele, a percorrê-lo – mesmo quando os obstáculos surgiram –, e a prosseguir (em direção ao incerto). Em primeiro lugar, não poderia deixar de agradecer à Professora Manuela Laranjeira, por acreditar – mesmo antes de mim – neste projeto de investigação e na minha capacidade para o realizar. Por todos os anos de amizade, de aprendizagem e de partilha, expresso o meu mais sincero obrigada. Deixo igualmente um agradecimento muito especial ao Professor Miguel Bandeira, por ter aceite, desde logo, participar neste projeto. À minha família, e muito em especial ao meu pai, Francisco, e ao eu irmão, Nuno, expresso o meu profundo obrigada, por me acompanharem e apoiarem sempre. Gostaria ainda de agradecer a todos os amigos que partilharam comigo esta jornada, na sua totalidade ou em parte. Ao Hélder, ao Zé e à Helena – o meu querido Painel de Peritos –, pelos bons momentos, conversas, almoços, lanches e jantares, cujas memórias continuam a alimentar a minha alma. Em especial, agradeço: (i) ao Hélder pelo companheirismo no dia a dia e nas diversas viagens e pelos ensinamentos, que em muito contribuíram para o meu crescimento académico e pessoal; (ii) à Helena, com quem aprendi que a vida é 'linda e maravilhosa'; e, (iii) ao Zé, pela constante partilha e diversão. Agradeço ainda, à Maria João, com quem tive o privilégio de partilhar grande parte deste caminho; à Patrícia e à Maria José, cuja amizade já vai longa; à Cláudia, ao Duarte, à Neuza, à Diana, à Laura, ao João, ao Rocha, pelos momentos de amizade, na universidade e nas caminhadas; à Juliana, à Sara e ao Rony, pelo acolhimento em Braga; à Ana, ao Renato, à Safa, à Suzane e à Kate, vindos de outras pontos do globo, por toda a aprendizagem intercultural. Deixo também um agradecimento muito especial à Professora Maria José Caldeira, pelo apoio, amizade e companheirismo nas nossas viagens, e ao Professor Flávio Nunes, pelos sábios conselhos. Fica também o meu sincero agradecimento ao Sr. Carlos, pelos muitos almoços e conversas nestes anos, e à D. Isabel, pela atenção e prestabilidade. Por último, restam-me dois agradecimentos institucionais, à Fundação para a Ciência e a Tecnologia, pela atribuição da Bolsa de Doutoramento (SFRH/BD/111263/2015), e à Câmara Municipal de Braga, instituição de acolhimento desta investigação.

A todos, diretamente mencionados ou não, reitero o meu sincero e profundo obrigada.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Análise por Deteção Remota do Processo de Urbanização Difusa e seu Efeito Climático em Braga e Guimarães

A Deteção Remota, ao facultar uma visão sinótica e repetitiva do território, constitui um valioso recurso para a análise quantitativa dos padrões e processos de crescimento urbano (com base na evolução das superfícies impermeáveis antrópicas) e do seu efeito climático (a partir da temperatura de superfície), cuja relação se encontra longe de ser plenamente compreendida, particularmente em áreas de urbanização difusa. Neste quadro, pretende-se, com base numa análise multitemporal e multiespectral, determinar as tendências de mudança nas componentes biofísicas (industrial/pedreiras, superfícies impermeáveis antrópicas, solo nu, vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa, vegetação arbórea e/ou densa e água) que influenciam o ambiente térmico urbano, e consequentemente avaliar o efeito climático da urbanização no município de Braga e de Guimarães, historicamente de matriz difusa. A análise das componentes biofísicas evidencia um aumento linear do tecido urbano entre 1984 e 2016, que se repercutiu no decréscimo proporcional do território permeável, constituindo o solo nu a componente biofísica mais exaurida. Fruto do crescimento urbano, o território deixa de se caracterizar por núcleos quentes espacialmente circunscritos (*i.e.,* ilhas de calor de superfície) e passa a exibir uma rede complexa e interconectada de áreas quentes (ou mesmo muito quentes), apenas marginalmente ladeadas por áreas frescas onde subsistem povoamentos florestais. Com efeito, o crescimento difuso promove uma homogeneização térmica do território, alienando a metáfora da ilha de calor de superfície, que ancorada na rede viária ramifica em diversos sentidos, numa configuração rizomática. Não obstante este quadro comum a Braga e Guimarães, o padrão térmico reflete os particularismos do respetivo modelo territorial; assim, em Braga, o maior confinamento do crescimento urbano ao interior do perímetro urbano, promove uma acentuação das diferenças térmicas entre o interior (quente) e o exterior (mais fresco) desta delimitação administrativa; ao passo que, em Guimarães uma mesma tendência visível até 2007, volta a diluir-se, consequência da sempre presente dispersão urbana e industrial. Ademais, verifica-se uma atenuação dos contrastes térmicos de vizinhança, que enfraquecerá a regulação climática local – alicerçada no sistema de brisas –, remetida cada vez mais para o monte da Penha, em Guimarães, e para os Três Sacromontes, em Braga, ambos os interflúvios profundamente ameaçados pelo avançar sistemático da construção.

Palavras chave: Braga e Guimarães; crescimento urbano; Deteção Remota; ilha de calor de superfície; urbanização difusa.

ABSTRACT

Remote Sensing Analysis of the Diffuse Urbanization Process and its Climatic Effect in Braga and Guimarães

Remote Sensing, by providing a synoptic and repetitive view of the territory, constitutes a valuable resource for quantitative analysis of urban growth patterns and processes (based on changes of impervious surface) and their climatic effect (by proxy of land surface temperature). This relation is far from being fully understood, particularly in areas of diffuse urbanization. Based on a multitemporal and multispectral analysis, the purpose of the present investigation is to determine trends in biophysical components change (industrial/quarry; impervious surfaces; bare soil; herbaceous/shrub and/or sparse vegetation; arboreous and/or dense vegetation; and, water) that influence the urban thermal environment; and, therefore to evaluate the climatic effect of urbanization in the municipalities of Braga and Guimarães – both characterized by an historically urban diffuse matrix. The analysis of biophysical components shows a linear increase of the urban tissue between 1984 and 2016, and the proportional decrease of permeable surfaces, being bare soil the most depleted of these. As a result of diffuse urban growth, the study area is no longer characterized by spatially circumscribed hot cores (i.e., surface heat islands), and exhibits a complex and interconnected network of hot (or even very hot) spots, only marginally flanked by cool areas where forest remains. In fact, this type of urban growth promotes a thermal homogenization, which alienates the metaphor of the surface heat island, since it branches in several directions in a rhizomatic configuration, anchored in the road network. Regardless of this common framework, the thermal pattern reflects the particularism of Braga and Guimarães territorial models. Thus, in Braga, a greater confinement of growth within the urban perimeter accentuates the thermal differences between the interior (warm) and the exterior (cooler) of this administrative boundary; whereas in Guimarães the same trend, visible until 2007, fades once again as a result of the ever-present urban and industrial dispersion. In addition, there is an attenuation of neighborhood thermal contrasts that will weaken local climate regulation - based on the breeze system. This will increasingly depend on Monte da Penha in Guimarães and Três Sacromontes in Braga, both interfluvia deeply threatened by the systematic advance of construction.

Key words: diffuse urbanization; Braga and Guimarães; Remote Sensing; surface heat island; urban growth.

ÍNDICE

SIGLAS, ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS XV

ÍNDICE DE FIGURAS XVII

ÍNDICE DE TABELAS XXXI

ABERTURA 2

INTRODUÇÃO 2

OBJETIVOS E QUESTÕES DE PARTIDA 6

ABORDAGEM METODOLÓGICA 9

ESTRUTURA DO TRABALHO 12

BREVE RETRATO TERRITORIAL DOS MUNICÍPIOS DE BRAGA E DE GUIMARÃES 13

PARTE I – ESTUDOS URBANOS E DETEÇÃO REMOTA 37

CONTEXTUALIZAÇÃO 37

I – 1. FUNDAMENTOS DA DETEÇÃO REMOTA 38

I – 1.1. Radiação Eletromagnética e Espectro Eletromagnético 38

I – 1.1.1. Interação da Radiação Eletromagnética com a Matéria 43

I – 1.1.2. Efeitos da Atmosfera na Radiação Eletromagnética 47

I – 1.2. Características Orbitais e Resolução dos Satélites 49

I – 1.2.1. Tipos de Órbita 49

I – 1.2.2. Resolução dos Sensores 51

I – 1.3. Observação da Terra 56

I – 1.3.1. Satélites para Observação da Terra 58

I – 1.3.2. Programas de Observação da Terra 60

I – 1.3.3. Arquivo LANDSAT 64

I – 1.3.4. Arquivo MODIS 71

I – 1.4. Potencialidades da Observação da Terra 77

I – 2. ANÁLISE DO ECOSSISTEMA URBANO POR DETEÇÃO REMOTA 80

I – 2.1. Deteção Remota das Áreas Urbanas 80

I – 2.2. O Problema dos Mixels 83

I – 2.3. Componentes Biofísicas do Ecossistema Urbano 87

I – 2.3.1. Cobertura do Solo *versus* Uso do Solo 87

I – 2.3.2. O Modelo V-I-S 89

I – 2.3.3. Aplicação do Modelo V-I-S 91

I – 2.4. Índices Espectrais 94

I – 2.4.1. Formulações Desenvolvidas 94
I – 2.4.2. Sistemas de Classificação Propostos 109
I – 2.5. Classificação Discreta *versus* Classificação Contínua 111
I – 3. CLIMATOLOGIA URBANA E ANÁLISE DO AMBIENTE TÉRMICO 113
I – 3.1. O Campo de Investigação do Clima Urbano 113
I – 3.1.1. Evolução Temporal 115
I – 3.1.2. Mudanças Viabilizadas pela Deteção Remota 116
I – 3.1.3. Aplicação no Planeamento Urbano 119
I – 3.1.4. Perspetivas Futuras 120
I – 3.2. Ambiente Térmico 121
I – 3.2.1. Temperatura de Superfície 122
I – 3.2.2. Variáveis que Influenciam a Temperatura de Superfície 124
I – 3.2.3. Alterações no Balanço Energético Desencadeadas pela Urbanização 126
I – 3.3. Ilha de Calor Urbano de Superfície 131
I – 3.3.1. Clarificação da Escala de Análise 133
I – 3.3.2. Evolução dos Estudos sobre a Ilha de Calor Urbano de Superfície 135
I – 3.3.3. Determinação da Ilha de Calor Urbano de Superfície 139
I – 3.3.4. Características da Ilha de Calor Urbano de Superfície 143
I – 3.4. Relação da Temperatura de Superfície com a Vegetação 146
I – 3.4.1. *Thermal Vegetation Index* (TVX) 147
I – 3.4.2. Outros Métodos 152
I – 3.5. Explicação Estatística da Temperatura de Superfície 153
I – 4. ESTUDO ESPACIOTEMPORAL DAS ÁREAS URBANAS NO SEIO DA GEOGRAFIA URBANA 156
I – 4.1. Evolução Concetual da Geografia Urbana 156
I – 4.1.1. As Primeiras Abordagens 157
I – 4.1.2. Segunda Metade do Século XX 158
I – 4.1.3. Na Viragem do Século 164
I – 4.2. Mudança de Paradigma na Análise Espaciotemporal Urbana Viabilizada pela Deteção Remota 166
I – 4.3. A Problemática do Crescimento Urbano 170
I – 4.3.1. Crescimento Urbano, Urbanização e Desenvolvimento Urbano 171
I – 4.3.2. Padrões do Crescimento Urbano 171
I – 4.3.3. As lógicas do *Urban Sprawl* 173
I – 4.4. Modelos Dinâmicos do Crescimento Urbano 175
I – 4.4.1. Alternância Cíclica entre Fases de Difusão e de Coalescência 175
I – 4.4.2. *O Landscape Expansion Index* 177
I – 4.4.3. Algumas Linhas Atuais de Investigação 178

I – 5. URBANIZAÇÃO DIFUSA: MODELO TERRITORIAL SINGULAR 185
I – 5.1. O Contexto Urbano Português 185
I – 5.2. O Modelo Territorial do Minho 190
I – 5.2.1. Panorama Geral 193
I – 5.2.2. Génese da Estrutura de Povoamento 196
I – 5.2.3. Realidade Urbana Atual 204
I – 5.3. Braga e Guimarães: Da(s) Cidade(s) ao Território 206
I – 5.3.1. O Município de Braga 207
I – 5.3.2. O Município de Guimarães 217
I – 5.3.3. Similaridades e Diferenças de Braga e Guimarães 233
I – 5.4. Urbanização Difusa: da Encruzilhada Teórica às Políticas Urbanas 236
I – 5.4.1. Produção Teórica 240
I – 5.4.2. Questões Levantadas 242
I – 5.4.3. Algumas Soluções Apontadas 251

PARTE II – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 259

CONTEXTUALIZAÇÃO 259
II – 1. DADOS 260
II – 1.1. Evolução Histórica – Arquivo Landsat 260
II – 1.1.1. Seleção das Imagens 261
II – 1.1.2. Limitações da Série Histórica 263
II – 1.2. Ciclo Diário – Arquivo MODIS 264
II – 1.3. Comportamento Durante uma Onda de Calor – Arquivo MODIS 266
II – 1.4. Caracterização Meteorológica das Datas Selecionadas 266
II – 1.4.1. Desvios em Relação à Normal Climatológica 1971-2000 267
II – 1.4.2. Situação Sinótica 270
II – 1.4.3. Período Antecedente 277
II – 1.5. Informação Geográfica Complementar 282
II – 1.5.1. Informação Auxiliar 282
II – 1.5.2. Composição Colorida das Imagens Landsat 284
II – 2. PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITE 285
II – 2.1. Imagens Landsat 286
II – 2.1.1. Correção Radiométrica 286
II – 2.1.2. Correção Atmosférica 287
II – 2.1.3. Correção Geométrica 291
II – 2.1.4. Produção de Imagens de 8 Bits 291
II – 2.2. Imagens MODIS 294

II – 3. COMPONENTES BIOFÍSICAS 296
II – 3.1. Estudo da Assinatura Espectral 297
II – 3.1.1. O Modelo V-I-S 297
II – 3.1.2. A Singularidade da Urbanização Difusa 299
II – 3.2. Seleção e Classificação dos Índices Espectrais 303
II – 3.2.1. Vegetação 304
II – 3.2.2. Superfícies Impermeáveis Antrópicas 305
II – 3.2.3. Solo Nu 306
II – 3.2.4. Água 307
II – 3.3. Extração das Componentes Biofísicas 307
II – 3.4. Avaliação da Precisão da Classificação 311
II – 3.4.1. Avaliação Quantitativa 311
II – 3.4.2. Avaliação Qualitativa 317
II – 3.5. Dinâmica das Componentes Biofísicas 321
II – 3.5.1. Cálculo da Área 321
II – 3.5.2. Análise da Heterogeneidade 322
II – 3.6. Ganhos e Perdas nas Componentes Biofísicas 322
II – 3.6.1. Magnitude 323
II – 3.6.2. Natureza 323
II – 3.6.3. Localização 324
II – 4. TECIDO URBANO 325
II – 4.1. Área Ocupada 326
II – 4.1.1. Proporção do Crescimento Urbano 326
II – 4.1.2. Taxa Anual de Crescimento Urbano 327
II – 4.1.3. Rácio do Vizinho Mais Próximo 327
II – 4.2. Tendência Espacial de Mudança Urbana 327
II – 4.3. Modo de Crescimento Urbano 328
II – 4.3.1. Determinação da Área de Cada Modo de Crescimento 331
II – 4.3.2. Relação entre os Três Modos de Crescimento 332
II – 4.3.3. Estrutura Espacial 332
II – 5. TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DERIVADA DO LANDSAT 333
II – 5.1. Extração de Ts 334
II – 5.2. Estatísticas Descritivas 340
II – 5.2.1. Estatísticas *Pixel-By-Pixel* 340
II – 5.2.2. Estatísticas para uma Amostra 340
II – 5.3. Relação entre Ts, NDVI e NDWI 342
II – 5.4. Caracterização Térmica das Componentes Biofísicas 342

II – 5.4.1. Assinatura Térmica das Componentes Biofísicas 343
II – 5.4.2. Amplitude Térmica entre as Componentes Biofísicas 343
II – 5.5. Caracterização Térmica dos Modos de Crescimento Urbano 344
II – 6. Ambiente Térmico Superficial Com Base no Landsat 345
II – 6.1. Normalização dos Valores de Ts 345
II – 6.2. Variações do Ambiente Térmico: Aumentos e Diminuições 348
II – 6.3. Mudanças no Ambiente Térmico 349
II – 6.3.1. Reclassificação da Imagem de Ts Normalizada 349
II – 6.3.2. Caracterização das Mudanças 350
II – 6.3.3. Quantificação das Mudanças 350
II – 6.3.4. Associação Espacial das Mudanças 351
II – 6.4. Amplitudes Térmicas Locais 353
II – 7. Delimitação das Ilhas de Calor e de Frescura a Partir do Landsat 355
II – 7.1. Ilha de Calor de Superfície 355
II – 7.1.1. Intensidade 356
II – 7.1.2. Extensão Espacial 356
II – 7.2. Ilha de Frescura de Superfície 357
II – 8. Causalidade(s) das Mudanças no Ambiente Térmico 359
II – 8.1. Relação com as Modificações nas Componentes Biofísicas 359
II – 8.2. Relação com o Modo de Crescimento Urbano 360
II – 9. Implementação do Espaço TVX 361
II – 9.1. Trajetória Temporal 362
II – 9.2. Incerteza na Dinâmica do Espaço TVX 363
II – 10. Ambiente Térmico a partir do MODIS 365
II – 10.1. Variação Diária 365
II – 10.2. Onda de Calor 368
II – 11. Correlação Ecológica 370
II – 11.1. Seleção das Variáveis 370
II – 11.1.1. Teste de Normalidade 373
II – 11.1.2. Correlação Estatística entre as Variáveis 374
II – 11.2. Procura de um Modelo Explicativo Global 375
II – 11.2.1. *Exploratory Regression* 376
II – 11.2.2. *Ordinary Least Squares* 383
II – 11.3. Necessidade de Construção de um Modelo Explicativo Local 389
II – 11.3.1. Execução da *Geographically Weighted Regression* 390
II – 11.3.2. Avaliação do Modelo Executado na GWR 390
II – 11.3.3. Análise dos Coeficientes da GWR 391

PARTE III – PROCESSO DE URBANIZAÇÃO NA AUBG ENTRE 1984 E 2016 393

CONTEXTUALIZAÇÃO 393

III – 1. A DINÂMICA DAS COMPONENTES BIOFÍSICAS 394

III – 1.1. Visão Sinótica da AUBG 395

III – 1.1.1. Heterogeneidade do Ecossistema Urbano 395

III – 1.1.2. Padrão Espaciotemporal 397

III – 1.2. Análise Comparativa dos Municípios de Braga e de Guimarães 412

III – 1.2.1. Evolução Temporal 413

III – 1.2.2. Natureza e Localização das Mudanças 414

III – 1.3. Especificidades dos Municípios de Braga e de Guimarães 431

III – 1.3.1. Evolução por Freguesia 431

III – 1.3.2. *Ranking* das Freguesias em função da Área Urbana 436

III – 1.3.3. *Ranking* das Freguesias em função da Vegetação Arbórea e/ou Densa 442

III – 2. O CRESCIMENTO URBANO 445

III – 2.1. Padrão Espacial e Ritmo do Crescimento Urbano 447

III – 2.2. (Dis)Similaridades Urbanas: Espaciais e Temporais 456

III – 2.3. Modo de Crescimento Urbano 463

III – 2.3.1. AUBG 463

III – 2.3.2. Município de Braga 465

III – 2.3.3. Município de Guimarães 472

III – 2.3.4. As Freguesias de Braga e de Guimarães 480

III – 2.4. Ligações Empíricas do LEI com a(s) Teoria(s) Urbana(s) 483

III – 3. A EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE 488

III – 3.1. Comportamento Espaciotemporal de Ts 489

III – 3.1.1. Panorama da AUBG 489

III – 3.1.2. Particularidades e Similaridades Municipais 498

III – 3.1.3. Dicotomia Térmica: Interior *versus* Exterior do Perímetro Urbano 500

III – 3.2. Relação entre Ts e os Índices Espectrais: NDVI e NDWI 507

III – 3.2.1. Retrato Cronogeográfico do NDVI e do NDWI 508

III – 3.2.2. Associação entre Ts, NDVI e NDWI 515

III – 3.2.3. Relação Estatística de Ts, NDVI e NDWI 521

III – 3.3. Assinatura Térmica das Componentes Biofísicas 525

III – 3.3.1. Características Genéricas na AUBG 526

III – 3.3.2. Estudo Comparativo à Escala do Município 530

III – 3.3.3. O Interior e Exterior do Perímetro Urbano 531

III – 3.4. Amplitude Térmica entre as Componentes Biofísicas 533

III – 3.4.1. Visão Geral da AUBG 533

III – 3.4.2. Análise Comparativa por Município 534
III – 3.4.3. Interior *versus* o Exterior do Perímetro Urbano 536
III – 3.5. Assinatura Térmica dos Modos de Crescimento Urbano 540
III – 4. AS MUDANÇAS NO AMBIENTE TÉRMICO 543
III – 4.1. Evolução Cronogeográfica 543
III – 4.1.1. Variação Bitemporal 545
III – 4.1.2. Proposta de Classificação do Ambiente Térmico 551
III – 4.2. Caracterização do Processo de Mudança 554
III – 4.2.1. Padrão Espacial 554
III – 4.2.2. Direção 557
III – 4.2.3. Magnitude 560
III – 4.2.4. Tendência Espacial 567
III – 4.3. Contrastes Térmicos de Vizinhança 580
III – 4.3.1. Evolução do Padrão 585
III – 4.3.2. Síntese Cronogeográfica 590
PARTE IV – EFEITO CLIMÁTICO DA URBANIZAÇÃO DIFUSA NA AUBG 595
CONTEXTUALIZAÇÃO 595
IV – 1. DICOTOMIA DO AMBIENTE TÉRMICO 596
IV – 1.1. Individualização da(s) Ilha(s) de Calor 596
IV – 1.1.1. Intensidade 597
IV – 1.1.2. Extensão 601
IV – 1.1.3. Diferenciação Urbano/Não Urbano 602
IV – 1.1.4. Configuração 605
IV – 1.2. Formação da(s) Ilha(s) de Frescura 612
IV – 1.2.1. Dinâmica Espaciotemporal 612
IV – 1.2.2. Mecanismos Subjacentes 618
IV – 2. EFEITO DO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DIFUSA NO AMBIENTE TÉRMICO 621
IV – 2.1. Resposta às Mudanças nas Componentes Biofísicas 621
IV – 2.1.1. No Município de Braga 622
IV – 2.1.2. No Município de Guimarães 626
IV – 2.2. Trajetória de Mudança no Espaço TVX 629
IV – 2.2.1. Incerteza na Dinâmica do Espaço TVX 632
IV – 2.2.2. Incerteza *pixel-by-pixel* na Dinâmica do Espaço TVX 635
IV – 2.3. Implicações do Modo de Crescimento Urbano 636
IV – 3. RITMO DIÁRIO DO AMBIENTE TÉRMICO 639
IV – 3.1. Ciclo Diário de Ts 640

IV – 3.1.1. Evolução Horária 640
IV – 3.1.2. Padrões Espaciais 646
IV – 3.2. Relação Estatística 651
IV – 3.2.1. Imagens MODIS *versus* Landsat 651
IV – 3.2.2. Relação entre as Imagens MODIS 653
IV – 3.3. Perfil Térmico 656
IV – 3.4. Magnitude da Variação Horária 660
IV – 4. Comportamento do Ambiente Térmico num Evento de Calor Extremo 665
IV – 4.1. Variações à 01:30 669
IV – 4.2. Variações às 10:30 676
IV – 4.3. Variações às 13:30 682
IV – 4.4. Variações às 22:30 689
IV – 4.5. Síntese das Variações 696
IV – 4.6. Ambiente Térmico 702
IV – 5. Fatores Explicativos do Ambiente Térmico Diurno e Noturno nos Municípios de Braga e de Guimarães 708
IV – 5.1. Relação entre as Variáveis 708
IV – 5.2. Modelo Explicativo Municipal 720
IV – 5.3. Modelo Explicativo Local 722
IV – 5.3.1. Avaliação da *Performance* do Modelo 723
IV – 5.3.2. Padrão Espacial dos Coeficientes Locais 728
FECHO 736
Efeito Climático da Urbanização Difusa na AUBG: Síntese e Implicações no Planeamento do Território 737
Cronogeografia Climática da AUBG 737
Propostas de Planeamento para Braga e Guimarães 741
Efeito Climático da Urbanização Difusa: Reflexões e Aporte Científico 748
Crónica(s) e Cartografias(s) do Difuso 749
Efeito(s) Climático(s) do Difuso 750
Observação (Remota) do Ambiente Térmico 753
Caminhos a Seguir 754
BIBLIOGRAFIA 757
APÊNDICES 803

SIGLAS, ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

AICc – *Akaike's Information Criterion* (corrigido)
AMU – Área Mediamente Urbana
APR – Área Predominantemente Rural
APU – Área Predominantemente Urbana
ASTER – *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*
AUBG – Área Urbana de Braga e de Guimarães
AVHRR – *Advanced Very High-Resolution Radiometer*
AWMEI – *Area-weighted Mean Expansion Index*
BGRI – Base Geográfica de Referenciação de Informação
CEAPE – Cooperativa de Estudos de Arquitetura, Planeamento e Engenharia
CEC – Capital Europeia da Cultura
CEE – Comunidade Económica Europeia
CEJ – Capital Europeia da Juventude
COS – Carta de Uso e Ocupação do Solo
DN – *Digital Number* (Número Digital)
ENVI – *Exelis Visual Information Solutions*
EOS – *Earth Observation System* (Sistema de Observação da Terra)
ESA – *European Space Agency* (Agência Espacial Europeia)
ETM – *Enhanced Thematic Mapper*
ETM+ – *Enhanced Thematic Mapper Plus*
FLAASH – *Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Hypercubes*
Fr – Fração de Vegetação
GWR – *Geographically Weighted Regression*
HDF – *Hierarchical Data Format*
ICS – Ilha de Calor de Superfície
IFS – Ilha de Frescura de Superfície
INE – Instituto Nacional de Estatística
IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera
LEI – *Landscape Expansion Index*
LISA – *Local Indicator of Spatial Association*
LPDAAC – *Land Processes Distributed Active Archive Center*
MEI – *Mean Expansion Index*
MNDWI – *Modified Normalized Difference Water Index*
MODIS – *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*
MS – *Multispectra*l
MSS – *Multispectral Scanner*
NASA – *National Aeronautics and Space Administration* (Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço)
NCEP – *National Center for Environmental Prediction*
NDBaI – *Normalized Difference Bareness Index*
NDBI – *Normalized Difference Built-Up Index*
NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*
NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*
OLI – *Operational Land Imager*

OLS – *Ordinary Least Squares*
Pan – Pancromática
PCU – Proporção do Crescimento Urbano
PDM – Plano Diretor Municipal
PNPOT – Programa Nacional da Política do Ordenamento do Território
RAN – Reserva Agrícola Nacional
REN – Reserva Ecológica Nacional
RCP – *Representative Concentration Pathways* (Trajetórias Representativas das Concentrações)
SAVI – *Soil Adjusted Vegetation Index*
SIG – Sistemas de Informação Geográfica
SPOT – *Système Probatoire d'Observation de la Terre*
SVI – *Soil and Vegetation Index*
S-W – Shapiro-Wilk
TCU – Taxa de Crescimento Urbano
TIPAU – Tipologia de Áreas Urbanas
TIR – Infravermelho Térmico
TIRS – *Thermal Infrared Sensor*
TM – *Thematic Mapper*
Ts – Temperatura de Superfície
Ts* – Temperatura de Superfície Normalizada
TVX –– *Thermal Vegetation Index*
UI – *Urban Index*
USGS – *United States Geological Survey*
VIF – *Variance Inflation Factor*
VIS – Espetro Eletromagnético Visível
V-I-S – *Vegetation-Impervious-Soil Model*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura A.1 – Enquadramento da área de estudo e tipologia das áreas urbanas 4
Figura A.2 – Abordagem metodológica adotada no trabalho empírico 10
Figura A.3 – Hipsometria e hidrografia da AUBG 16
Figura A.4 – Representatividade (%) das classes hipsométricas na AUBG..... 16
Figura A.5 – Declives da AUBG 18
Figura A.6 – Representatividade (%) das classes de declive na AUBG..... 18
Figura A.7 – Exposição das vertentes da AUBG 19
Figura A.8 – Representatividade (%) das orientações de vertente na AUBG..... 20
Figura A.9 – Gráfico termopluviométrico da Estação Climatológica de Braga: perspetiva comparativa das Normais Climatológicas de 1971-2000 e 1981-2010 22
Figura A.10 – Número de dias com temperatura máxima superior a 25°C e a 30°C e temperatura mínima superior a 20°C e inferior a 0°C na Estação Climatológica de Braga (1971-2000) 23
Figura A.11 – Previsões da anomalia da média anual da temperatura mínima e máxima na Estação Climatológica de Braga até 2100 24
Figura A.12 – Previsões da anomalia da média anual da precipitação e média mensal na Estação Climatológica de Braga até 2100 25
Figura A.13 – Evolução (nº) da população residente e do edificado nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1981 e 2011 26
Figura A.14 – Taxa de variação (%) da população residente e do edificado nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1981 e 1991 28
Figura A.15 – Taxa de variação (%) da população residente e do edificado nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1991 e 2001 30
Figura A.16 – Taxa de variação (%) da população residente e do edificado nos municípios de Braga e de Guimarães entre 2001 e 2011 32
Figura A.17 – População residente (nº) nos municípios de Braga e de Guimarães em 2011 33
Figura A.18 – Densidade populacional (hab./km^2) nos municípios de Braga e de Guimarães em 2011 34
Figura A.19 – Densidade do edificado (edf./km^2) e dos alojamentos (aloj./km^2) nos municípios de Braga e de Guimarães em 2011 35

Figura I-1 – Campo eletromagnético 39
Figura I-2 – Espectro eletromagnético 40
Figura I-3 – Diagrama de um ângulo sólido 42
Figura I-4 – Armazenamento da informação captada pelo sensor do satélite sob a forma numérica 42
Figura I-5 – Interação da radiação eletromagnética com a matéria 43
Figura I-6 – Tipos de reflexão da radiação eletromagnética 46
Figura I-7 – Zonas de absorção e janelas atmosféricas 48
Figura I-8 – Tipos de órbita dos satélites 50
Figura I-9 – Características dos diferentes tipos de órbita dos satélites 50
Figura I-10 – Resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal 52
Figura I-11 – Polígono com diferentes resoluções espaciais 54
Figura I-12 - Diferentes tipos de resolução espectral 55
Figura I-13 – Constelação de satélites da NASA 61
Figura I-14 – Constelação de satélites SPOT 62
Figura I-15 – Critérios a ponderar na seleção das imagens de satélites 64
Figura I-16 – Cronologia das missões Landsat 65
Figura I-17 – Evolução dos estudos (nº) que aludem ao Landsat 67
Figura I-18 – Estudos que mencionam o Landsat (nº) por área de pesquisa 68
Figura I-19 – Sensores a bordo das plataformas Terra e Aqua 71
Figura I-20 – Categorias temáticas dos produtos MODIS 74
Figura I-21 – Divisão do globo para o processamento e distribuição dos produtos MODIS 75
Figura I-22 – Evolução dos estudos (nº) que aludem ao MODIS 76
Figura I-23 – Estudos que mencionam o MODIS (nº) por áreas de pesquisa 77
Figura I-24 – Características da superfície que originam mixels 83
Figura I-25 – Análise urbana em função da escala 86
Figura I-26 – Distribuição das coberturas/usos do solo no modelo V-I-S 90
Figura I-27 – Interação entre a Deteção Remota e o ecossistema urbano 92
Figura I-28 – Variação diária da temperatura de superfície e do ar (°C) durante o verão (Jaipur, Índia) 123
Figura I-29 – Balanço radiativo e energético 128
Figura I-30 – Ilhas de calor urbano em função da estratificação vertical da atmosfera 134

Figura I-31 – Evolução do número de estudos sobre a ilha de calor de superfície entre 1972 e 2018 136
Figura I-32 – Localização geográfica dos estudos acerca da ilha de calor urbano de superfície realizados entre 1972 e 2018 137
Figura I-33 – Distribuição dos estudos da ilha de calor de superfície realizados entre 1972 e 2018 em função do período do dia, estação do ano e foco da investigação 138
Figura I-34 – Variação da configuração do espaço TVX ao longo do ano 147
Figura I-35 – Esquema concetual do espaço TVX 148
Figura I-36 – Aplicação do método TVX ao zonamento urbano 149
Figura I-37 – Trajetória de mudança dos pixéis no espaço TVX 150
Figura I-38 – Classificação do espaço TVX em função dos clusters LISA 151
Figura I-39 – Trajetória de mudanças dos pontos classificados como *High-High* na análise de clusters LISA 151
Figura I-40 – Lógica dedutiva *versus* lógica indutiva na análise das áreas urbanas 169
Figura I-41 – Abordagem concetual para o estudo da dinâmica espacial e temporal das áreas urbanas 170
Figura I-42 – Padrões de crescimento urbano 172
Figura I-43 – Evolução espaciotemporal das áreas urbanas 176
Figura I-44 – Modos de crescimento urbano captados pelo *Landscape Expansion Index* (LEI) 177
Figura I-45 – Métodos utilizados na aplicação da teoria da evolução urbana assente na alternância cíclica de fases de difusão e coalescência 179
Figura I-46 – Circunscrição(ões) do Minho 191
Figura I-47 – Vinha de enforcado nos campos do Minho 194
Figura I-48 – Centro histórico da cidade Braga e atual perímetro urbano 211
Figura I-49 – *Outdoor* anunciando a venda de lotes decorrentes do desmantelamento da Quinta da Reguenga em 2002 214
Figura I-50 – *Outdoor* colocado na cidade de Braga em 2001 215
Figura I-51 – Dualidade da urbanização no município de Guimarães 219
Figura I-52 – Poliedro em que assenta o modelo territorial da urbanização difusa 225
Figura I-53 – Classificação das freguesias do município de Guimarães em função de diferentes tipologias de 'urbano' 231
Figura I-54 – Vista para a Penha, antes da política de arborização 232

Figura I-55 – Multiplicidade de vocábulos e de metáforas utilizados para rotular as lógicas do urbano não compacto 237
Figura I-56 – Rua da Estrada Nacional 105 (Nespereira, Guimarães) 250
Figura II-1 – Linha cronológica das imagens Landsat selecionadas e principais marcos históricos entre 1984 e 2016 263
Figura II-2 – Anomalias da temperatura média do ar (°C) e da quantidade de precipitação (mm) em relação à Normal Climatológica de 1971-2000 de julho dos anos selecionados 268
Figura II-3 – Situação sinótica dos dias que antecederam a captura da imagem de 1984 271
Figura II-4 – Situação sinótica dos dias que antecederam a captura da imagem de 1999 272
Figura II-5 – Situação sinótica dos dias que antecederam a captura da imagem de 2003 273
Figura II-6 – Situação sinótica dos dias que antecederam a captura da imagem de 2007 274
Figura II-7 – Situação sinótica dos dias que antecederam a captura da imagem de 2010 275
Figura II-8 – Situação sinótica dos dias que antecederam a captura da imagem de 2016 276
Figura II-9 – Temperatura do ar (°C) nos 30 dias que antecederam a passagem do satélite ... 278
Figura II-10 – Precipitação desde o início do ano hidrológico até junho nas datas selecionadas 280
Figura II-11 – Fração de humidade do solo desde o início do ano hidrológico até junho nas datas selecionadas 281
Figura II-12 – Distribuição dos 5 000 pontos de amostragem na AUBG 293
Figura II-13 – Perfil espectral das componentes biofísicas do modelo V-I-S 299
Figura II-14 – Perfil espectral da urbanização difusa 301
Figura II-15 – Método hipotético-dedutivo 303
Figura II-16 – Cobertura de telha dos edifícios do centro histórico de Braga e de Guimarães .. 305
Figura II-17 – Exemplo de classificação das componentes biofísicas da AUBG 310
Figura II-18 – Exemplos da ocultação do tecido urbano pela arborização 314
Figura II-19 – Erros do sistema de classificação das componentes biofísicas implementado ... 318
Figura II-20 – Esquema proposto para análise da matriz de transição 324
Figura II-21 – Ferramenta do ArcGIS para calcular o LEI 329
Figura II-22 – Cálculo do LEI no ArcGIS 330
Figura II-23 – Emissividade da superfície na AUBG entre 1984 e 2016 336
Figura II-24 – Evolução do ambiente térmico superficial na AUBG entre 1984 e 2016, em função da normalização de Ts pelos valores mínimo e máximos absolutos 346

Figura II-25 – Representatividade espacial das classes do ambiente térmico na AUBG entre 1984 e 2016, em função da normalização de Ts pelos valores mínimo e máximos absolutos 347
Figura II-26 – 'Bairros' definidos para a análise dos contrastes térmicos de vizinhança 353
Figura II-27 – Esquema desenvolvido para a análise da ilha de calor de superfície na AUBG .. 357
Figura II-28 – Grelha de pontos correspondente ao centroide dos pixéis do MODIS na AUBG . 366
Figura II-29 – Localização dos pontos de amostra do perfil traçado 367
Figura II-30 – Ilustração do *Exploratory Regression*..... 377
Figura II-31 – Histograma dos resíduos padronizados..... 386
Figura II-32 – Distribuição e relação das variáveis selecionadas em cada modelo com Ts 387
Figura II-33 – Análise *Hot Spot* dos resíduos dos modelos 389
Figura III-1 – Número e dimensão média das manchas na AUBG entre 1984 e 2016 395
Figura III-2 – Número e dimensão média das manchas das componentes biofísicas na AUBG entre 1984 e 2016..... 396
Figura III-3 - *Shannon Diversity Index* na AUBG entre 1984 e 2016..... 397
Figura III-4 – Mudanças nas componentes biofísicas (%) na AUBG entre 1984 e2016..... 398
Figura III-5 – Distribuição das componentes biofísicas na AUBG em 1984 399
Figura III-6 – Cobertura em fibrocimento de uma unidade industrial 400
Figura III-7 – Sementeira do milho (Veiga de Creixomil, Guimarães)..... 401
Figura III-8 – Distribuição das componentes biofísicas na AUBG em 1999 402
Figura III-9 – Pressão construtiva potencial entre 1994 e 1998 nas cidades portuguesas de média dimensão 403
Figura III-10 – Terreno agrícola lavrado (Veiga de Creixomil, Guimarães)..... 404
Figura III-11 – Distribuição das componentes biofísicas na AUBG em 2003 405
Figura III-12 – Distribuição das componentes biofísicas na AUBG em 2007 406
Figura III-13 – Licenças para demolições (nº) nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1995 e 2016 407
Figura III-14 – Distribuição das componentes biofísicas na AUBG em 2010 408
Figura III-15 – Área ardida em julho de 2010 no Monte das Caldas (Sequeira, Braga) 409
Figura III-16 – Distribuição das componentes biofísicas na AUBG em 2016 409
Figura III-17 – Evolução das componentes biofísicas (%) na AUBG entre 1984 e 2016..... 411
Figura III-18 – Evolução das componentes biofísicas (%) na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 413

Figura III-19 – Território estável *versus* não estável (% de área) nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 416
Figura III-20 – Persistências nas componentes biofísicas no município de Braga entre 1984 e 2016 417
Figura III-21 – Persistências nas componentes biofísicas no município de Guimarães entre 1984 e 2016 418
Figura III-22 – Alterações nas componentes biofísicas no município de Braga decorrentes da substituição dos materiais de cobertura 421
Figura III-23 – Alterações nas componentes biofísicas no município de Guimarães decorrentes da substituição dos materiais de cobertura 422
Figura III-24 – Consumo de componentes biofísicas permeáveis pelo 'urbano' no município de Braga entre 1984 e 2016 426
Figura III-25 – Consumo de componentes biofísicas permeáveis pelo 'urbano' no município de Guimarães entre 1984 e 2016 427
Figura III-26 – Oscilação das componentes biofísicas permeáveis no município de Braga entre 1984 e 2016 429
Figura III-27 – Oscilação das componentes biofísicas permeáveis no município de Guimarães entre 1984 e 2016 430
Figura III-28 – Evolução área (%) ocupada com indústria/pedreiras entre 1984 e 2016 por freguesia 432
Figura III-29 – Evolução área (%) ocupada com superfícies impermeáveis antrópicas entre 1984 e 2016 por freguesia 433
Figura III-30 – Evolução área (%) ocupada com vegetação arbórea e/ou densa entre 1984 e 2016 por freguesia 434
Figura III-31 – Evolução área (%) ocupada com vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa entre 1984 e 2016 por freguesia 435
Figura III-32 – Evolução área ocupada (%) com solo nu ou esparsa entre 1984 e 2016 por freguesia 436
Figura III-33 – Dinâmica temporal das pedreiras localizadas na União de Freguesias de Souto (Santa Maria e São Salvador) e Gondomar 441
Figura III-34 – Observação da AUBG pelo Landsat entre 1984 e 2016 447
Figura III-35 – Tecido urbano existente na AUBG em 1984 449

Figura III-36 – Crescimento urbano verificado na AUBG entre 1984 e 1999 451
Figura III-37 – Crescimento urbano verificado na AUBG entre 1999 e 2003 452
Figura III-38 – Crescimento urbano verificado na AUBG entre 2003 e 2007 453
Figura III-39 – Crescimento urbano verificado na AUBG entre 2007 e 2010 454
Figura III-40 – Crescimento urbano verificado na AUBG entre 2010 e 2016 455
Figura III-41 – Evolução da área urbana (%) em Braga e Guimarães entre 1984 e 2016 456
Figura III-42 – Distância média (m) à mancha urbana mais próxima nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 458
Figura III-43 – Tendência espacial de mudança urbana no município de Braga entre 1984 e 2016 459
Figura III-44 – Tendência espacial de mudança urbana no município de Guimarães entre 1984 e 2016 460
Figura III-45 – Síntese da tendência espacial de mudança urbana no municipio de Braga e de Guimarães no período 1984-2016 462
Figura III-46 – Importância relativa de cada modo de crescimento urbano na AUBG entre 1984 e 2016 464
Figura III-47 – Dimensão média (m^2) das novas manchas urbanas, por modo de crescimento, no município de Braga entre 1984 e 2016 467
Figura III-48 – Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Braga entre 1984 e 1999 468
Figura III-49 – Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Braga entre 1999 e 2003 469
Figura III-50 - Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Braga entre 2003 e 2007 470
Figura III-51 – Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Braga entre 2007 e 2010 471
Figura III-52 – Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Braga entre 2010 e 2016 472
Figura III-53 – Dimensão média (m^2) das novas manchas urbanas, por modo de crescimento, no município de Guimarães entre 1984 e 2016 475
Figura III-54 – Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Guimarães entre 1984 e 1999 476

Figura III-55 – Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Guimarães entre 1999 e 2003 477
Figura III-56 – Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Guimarães entre 2003 e 2007 478
Figura III-57 - Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Guimarães entre 2007 e 2010 479
Figura III-58 – Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Guimarães entre 2010 e 2016 480
Figura III-59 - Repartição dos três modos de crescimento urbano nas freguesias de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 481
Figura III-60 – Modo de crescimento urbano em Braga entre 1984 e 2016 483
Figura III-61 – Modo de crescimento urbano em Guimarães entre 1984 e 2016..... 484
Figura III-62 – Comparação de Braga e Guimarães quanto ao modo de crescimento urbano entre 1984 e 2016..... 485
Figura III-63 – MEI em Braga e Guimarães entre 1984 e 2016..... 486
Figura III-64 – AWLEI em Braga e Guimarães entre 1984 e 2016..... 487
Figura III-65 – Caixa de Bigodes de Ts (°C) na AUBG entre 1984 e 2016 491
Figura III-66 – Ts (°C) na AUBG em 1984 493
Figura III-67 – Ts (°C) na AUBG em 1999 494
Figura III-68 – Ts (°C) na AUBG em 2003 495
Figura III-69 – Ts (°C) na AUBG em 2007 496
Figura III-70 – Ts (°C) na AUBG em 2010 497
Figura III-71 – Ts (°C) na AUBG em 2016 498
Figura III-72 - Caixa de Bigodes de Ts (°C) para os municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016..... 499
Figura III-73 – Ts (°C) nos municípios de Braga e de Guimarães em 1984 502
Figura III-74 – Ts (°C) nos municípios de Braga e de Guimarães em 1999 503
Figura III-75 – Ts (°C) nos municípios de Braga e de Guimarães em 2003 504
Figura III-76 – Ts (°C) nos municípios de Braga e de Guimarães em 2007 505
Figura III-77 – Ts (°C) nos municípios de Braga e de Guimarães em 2010 506
Figura III-78 – Ts (°C) nos municípios de Braga e de Guimarães em 2016 507
Figura III-79 – Estatísticas descritivas de NDVI e de NDWI na AUBG entre 1984 e 2016 509

Figura III-80 – Distribuição do NDVI e do NDWI na AUBG em 1984 511
Figura III-81 – Distribuição do NDVI e do NDWI na AUBG em 1999 512
Figura III-82 – Distribuição do NDVI e do NDWI na AUBG em 2003 513
Figura III-83 – Distribuição do NDVI e do NDWI na AUBG em 2007 513
Figura III-84 – Distribuição do NDVI e do NDWI na AUBG em 2010 514
Figura III-85 – Distribuição do NDVI e do NDWI na AUBG em 2016 515
Figura III-86 – Relação de associação entre Ts/NDVI, Ts/NDWI e NDVI/NDWI na AUBG em 1984 516
Figura III-87 – Relação de associação entre Ts/NDVI na AUBG de 1984 a 2016 517
Figura III-88 – Relação de associação Ts/NDVI no interior e o exterior do perímetro urbano dos municípios de Braga e de Guimarães em 1984 e em 2016 520
Figura III-89 – Ts média (°C) '*pixel-by-pixel*' por componente biofísica na AUBG entre 1984 e 2016 526
Figura III-90 – Gradiente térmico observado nas componentes biofísicas da AUBG 527
Figura III-91 – Gradiente térmico dos modos de crescimento urbano verificados na AUBG 542
Figura III-92 – Ts* na AUBG entre 1984 e 2016 544
Figura III-93 – Variação de Ts* entre 1984 e 1999 545
Figura III-94 – Variação de Ts* entre 1999 e 2003 546
Figura III-95 – Variação de Ts* entre 2003 e 2007 547
Figura III-96 – Variação de Ts* entre 2007 e 2010 548
Figura III-97 – Variação de Ts* entre 2010 e 2016 549
Figura III-98 – Síntese do comportamento térmico dos núcleos centrais de Braga e de Guimarães 550
Figura III-99 – Média das variações de Ts* na AUBG entre 1984 e 2016 550
Figura III-100 – Evolução do ambiente térmico da AUBG entre 1984 e 2016, com base na classificação de Ts* proposta por Xiong *et al.* (2012) 551
Figura III-101 – Síntese do ambiente térmico na AUBG entre 1984 e 2016, com base na classificação proposta por Xiong *et al.* (2012) 552
Figura III-102 – Representatividade (%) das classes ambiente térmico na AUBG entre 1984 e 2016, segundo a classificação proposta por Xiong *et al.* (2012) 553
Figura III-103 – Evolução do ambiente térmico na AUBG entre 1984 e 2016, com base na categorização de Ts* proposta por Chen *et al.* (2016) 555

Figura III-104 – Representatividade (%) das categorias de Ts* na AUBG entre 1984 e 2016, definidas pelos limiares propostos por Chen *et al.* (2016) 556
Figura III-105 – Aumentos e diminuições da carga térmica na AUBG entre 1984 e 2016..... 559
Figura III-106 – Repartição espacial (%) das grandes tendências de mudanças no ambiente térmico da AUBG entre 1984 e 2016 561
Figura III-107 – Repartição espacial (%) dos grandes aumentos e das grandes diminuições no ambiente térmico da AUBG e dos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 .. 561
Figura III-108 – Magnitude de mudança de Ts na AUBG entre 1984 e 1999 563
Figura III-109 – Magnitude de mudança de Ts na AUBG entre 1999 e 2003 564
Figura III-110 – Magnitude de mudança de Ts na AUBG entre 2003 e 2007 565
Figura III-111 – Magnitude de mudança de Ts na AUBG entre 2007 e 2010 566
Figura III-112 – Magnitude de mudança de Ts na AUBG entre 2010 e 2016 567
Figura III-113 – Associação espacial (a 264m) das mudanças do ambiente térmico na AUBG entre 1984 e 1999..... 569
Figura III-114 – Associação espacial das mudanças do ambiente térmico na AUBG entre 1984 e 1999..... 570
Figura III-115 – Representatividade (%) das classes decorrentes da análise estatística *Cluster* e Outlier (Anselin Local Moran's I) na AUGB entre 1984 e 2016 571
Figura III-116 – Representatividade e (%) das classes decorrentes da análise estatística *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I) nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 572
Figura III-117 – Associação espacial das mudanças do ambiente térmico na AUBG entre 1999 e 2003..... 574
Figura III-118 – Associação espacial das mudanças do ambiente térmico na AUBG entre 2003 e 2007..... 576
Figura III-119 – Associação espacial das mudanças do ambiente térmico na AUBG entre 2007 e 2010..... 577
Figura III-120 – Associação espacial das mudanças do ambiente térmico na AUBG entre 2010 e 2016..... 579
Figura III-121 – Evolução dos contrastes de Ts*, em função do bairro 3x3 e do 11x11, na AUBG entre 1984 e 2016..... 583

Figura III-122 – Evolução dos contrastes de Ts*, em função do bairro 3x3, na AUBG entre 1984 e 2016 586
Figura III-123 – Evolução dos contrastes de Ts*, em função do bairro 11x11, na AUBG entre 1984 e 2016 588
Figura III-124 – Média dos contrastes de Ts*, em função do bairro 3x3 e do 11x11, na AUBG entre 1984 e 2016 591
Figura III-125 – Soma dos contrastes de Ts*, em função do bairro 3x3 e do 11x11, na AUBG entre 1984 e 2016 592
Figura IV-1 – Extensão espacial (%) da ilha de calor de superfície na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 601
Figura IV-2 – Ilha de calor de superfície na AUBG em 1984 606
Figura IV-3 – Ilha de calor de superfície na AUBG em 1999 607
Figura IV-4 – Ilha de calor de superfície na AUBG em 2003 608
Figura IV-5 – Ilha de calor de superfície na AUBG em 2007 609
Figura IV-6 – Ilha de calor de superfície na AUBG em 2010 610
Figura IV-7 – Ilha de calor de superfície na AUBG em 2016 611
Figura IV-8 – Ilha de frescura de superfície em função de Ts na AUBG entre 1984 e 2016 613
Figura IV-9 – Ilha de frescura de superfície em função do NDVI na AUBG entre 1984 e 2016 614
Figura IV-10 – Número, área (ha) e dimensão média (ha) das manchas da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG entre 1984 e 2016 615
Figura IV-11 – Perímetro total (ha) e médio (ha) das manchas da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG entre 1984 e 2016 616
Figura IV-12 – Dimensão fractal média das manchas da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG entre 1984 e 2016 617
Figura IV-13 – Síntese do padrão espacial das ilhas de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG 620
Figura IV-14 – Gradiente do aumento de Ts em função dos consumos de solo pela urbanização na AUBG 622
Figura IV-15 – Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 1984 e 1999 623
Figura IV-16 – Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 1999 e 2003 624

Figura IV-17 – Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 2003 e 2007 624
Figura IV-18 – Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 2007 e 2010 625
Figura IV-19 – Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 2010 e 2016 625
Figura IV-20 – Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 1984 e 1999 627
Figura IV-21 - Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 1999 e 2003 627
Figura IV-22 - Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 2003 e 2007 628
Figura IV-23 – Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 2007 e 2010 628
Figura IV-24 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 2010 e 2016 629
Figura IV-25 – Trajetória temporal no espaço TVX das componentes biofísicas exauridas pelo processo de urbanização dos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016..... 631
Figura IV-26 – Magnitude do vetor de mudança *pixel-by-pixel* na AUBG entre 1984 e 2016.... 634
Figura IV-27 – Ritmo diário de Ts captado nas imagens MODIS 642
Figura IV-28 – Caixa de Bigodes de Ts (°C) *pixel-by-pixel* na AUBG entre 2003 e 2016..... 643
Figura IV-29 – Evolução do ambiente térmico superficial da AUBG em 11 de julho de 2003 .. 647
Figura IV-30 – Evolução do ambiente térmico superficial da AUBG em 6 de julho de 2007 em 11 de julho 647
Figura IV-31 – Evolução do ambiente térmico superficial da AUBG em 30 de julho de 2010 .. 648
Figura IV-32 – Evolução do ambiente térmico superficial da AUBG em 14 de julho de 2016 .. 648
Figura IV-33 – Perfil térmico da AUBG em 2003, 2007, 2010 e 2016 657
Figura IV-34 – Amplitudes térmicas em 11 de julho de 2003 661
Figura IV-35 – Amplitudes térmicas em 6 de julho de 2007 661
Figura IV-36 – Amplitudes térmicas em 30 de julho de 2010 662
Figura IV-37 – Amplitudes térmicas em 14 de julho de 2016 662

Figura IV-38 – Amplitudes térmicas entre as duas imagens captadas à 01:30 em 2007 e em 2010 664
Figura IV-39 – Temperatura do ar (°C) na AUBG no decorrer da onda de calor de julho de 2010 666
Figura IV-40 – Fração de humidade do solo na AUBG no decorrer da onda de calor de 2010. 667
Figura IV-41 – Média do NDVI do arquivo MODIS (Terra e Aqua) na AUBG no decorrer da onda de calor de julho de 2010 668
Figura IV-42 – Média de Ts (°C) à 01:30 na AUBG durante a onda de calor de 2010 670
Figura IV-43 – Amplitude e desvio-padrão de Ts (°C) à 01:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010 673
Figura IV-44 – Número de dias com Ts acima e abaixo da média no horário da 01:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010 674
Figura IV-45 – Dia em que se registou o valor mais elevado de Ts (°C) no horário da 01:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010 675
Figura IV-46 – Média de Ts (°C) às 10:30 na AUBG durante a onda de calor de 2010 677
Figura IV-47 – Amplitude e desvio-padrão de Ts (°C) às 10:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010 680
Figura IV-48 – Número de dias com Ts acima e abaixo da média no horário da 10:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010 681
Figura IV-49 – Dia em que se registou o valor mais elevado de Ts (°C) no horário das 10:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010 682
Figura IV-50 – Média de Ts (°C) às 13:30 na AUBG durante a onda de calor de 2010 684
Figura IV-51 – Amplitude e desvio-padrão de Ts (°C) às 13:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010 687
Figura IV-52 – Número de dias com Ts acima e abaixo da média no horário da 13:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010 688
Figura IV-53 – Dia em que se registou o valor mais elevado de Ts (°C) no horário das 13:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010 689
Figura IV-54 – Média de Ts (°C) às 22:30 na AUBG durante a onda de calor de 2010 691
Figura IV-55 – Amplitude e desvio-padrão de Ts (°C) às 22:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010 694

Figura IV-56 – Número de dias com Ts acima e abaixo da média no horário da 22:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010 695
Figura IV-57 – Dia em que se registou o valor mais elevado de Ts (°C) no horário das 22:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010 696
Figura IV-58 – Fluxos de calor sensível e de calor latente (W/m^2) e potencial de evaporação (mm) durante a onda de calor de 2010 701
Figura IV-59 – Ambiente térmico superficial na AUBG durante a onda calor de 2010 703
Figura IV-60 – Síntese do ambiente térmico superficial na AUBG durante a onda calor de 2010 705
Figura IV-61 – Análise *Hot Spot* dos resíduos dos modelos da GWR 725
Figura IV-62 – Indicadores do ajuste local do modelo de Ts diurna em Braga 726
Figura IV-63 – Indicadores do ajuste local do modelo de Ts diurna em Guimarães 726
Figura IV-64 – Indicadores do ajuste local do modelo de Ts noturna em Braga 727
Figura IV-65 – Indicadores do ajuste local do modelo de Ts noturna em Guimarães 727
Figura IV-66 – Coeficientes locais das variáveis explicativas do modelo de Ts diurna em Braga 729
Figura IV-67 – Coeficientes locais das variáveis explicativas do modelo de Ts diurna em Guimarães 729
Figura IV-68 – Coeficientes locais das variáveis explicativas do modelo de Ts noturna em Braga 730
Figura IV-69 – Coeficientes locais das variáveis explicativas do modelo de Ts noturna em Guimarães 730
Figura IV-70 – Extratos do desenho e morfologia urbana do município de Braga 732
Figura IV-71 – Extratos do desenho e morfologia urbana do município de Guimarães 733

Figura F.1 – Unidades territoriais com resposta de Ts e NDVI similar 742
Figura F.2 – Sistema térmico diurno da AUBG 743
Figura F.3 – Síntese da relação do processo de urbanização com as mudanças no ambiente térmico 751

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela A.1 – Questões de partida e objetivos de trabalho 7

Tabela I-1 – Grandezas radiométricas 41
Tabela I-2 – Satélites que orbitam a Terra 58
Tabela I-3 –Satélites de Observação da Terra (nº) por tipo de utilização 59
Tabela I-4 - Satélites de Observação da Terra (nº) em função do país proprietário 59
Tabela I-5 –Satélites de Observação da Terra (nº) por tipo de órbita 60
Tabela I-6 – Missões de Observação da Terra da Agência Espacial Europeia 63
Tabela I-7 – Resolução espacial e espectral das bandas do satélite Landsat para o sensor TM, ETM+ e OLI 70
Tabela I-8 – Resolução espacial e espectral das bandas 1 a 19 do sensor MODIS 72
Tabela I-9 – Resolução espacial e espectral das bandas 20 a 36 do sensor MODIS 73
Tabela I-10 – Escala de aplicação em função da resolução espacial das imagens de satélite ... 85
Tabela I-11 – Fluxos de energia e de água (condições de humidade) nas diferentes componentes biofísicas 89
Tabela I-12 – Esquema de classificação da cobertura/uso do solo nas áreas urbanas 91
Tabela I-13 – Índices espectrais que discriminam a vegetação (continua) 96
Tabela I-14 – Índices espectrais que discriminam o solo nu (continua) 101
Tabela I-15 – Índices espectrais que discriminam as superfícies impermeáveis antrópicas (continua) 104
Tabela I-16 – Índices espectrais que discriminam a água e o conteúdo de humidade 108
Tabela I-17 – Limites dos índices espectrais definidos por Chen *et al.* em 2006 109
Tabela I-18 – Limites dos índices espectrais utilizados por Uddin *et al.* em 2010..... 110
Tabela I-19 – Limites dos índices espectrais estabelecidos por As-syakur *et al.* em 2012..... 110
Tabela I-20 – Limites dos índices espectrais definidos por Sharma *et al.* em 2013 110
Tabela I-21 – Valores típicos de albedo e emissividade de cada cobertura do solo 125
Tabela I-22 – Propriedades térmicas das coberturas do solo 126
Tabela I-23 – Trocas energéticas no topo da atmosfera 128
Tabela I-24 – Trocas energéticas na atmosfera 129
Tabela I-25 – Trocas energéticas na superfície terrestre 129

Tabela I-26 – Métodos propostos para a delimitação da ilha de calor urbano de superfície com base em limiares da temperatura de superfície 141
Tabela I-27 – Classificação do UFTVI 142
Tabela I-28 – Comparação das características da ilha de calor de superfície com a ilha de calor do ar 145
Tabela I-29 – Limiares definidos por Dale e Quattrochi (2003) para a classificação das imagens de mudança de Ts e de NDVI 152
Tabela I-30 –Estudo espaciotemporal das áreas urbanas a partir de índices de estrutura espacial 168
Tabela I-31 – Métodos utilizados no estudo espaciotemporal das áreas urbanas (continua).... 180
Tabela I-32 – Principais questões decorrentes da metamorfose da cidade para urbano 246
Tabela II-1 – Características das imagens Landsat e anomalias da temperatura do ar (°C) e da precipitação (mm) em relação à Normal Climatológica de 1971-2000 262
Tabela II-2 – Temperatura (°C) de diversas superfícies captadas por termómetro de infravermelho em Madrid* 264
Tabela II-3 – Categorias de cobertura/uso do solo do Atlas Urbano de 2012 283
Tabela II-4 – Dados geográficos auxiliares 284
Tabela II-5 – Parâmetros introduzidos no modelo FLAASH 288
Tabela II-6 – Modelos atmosféricos fornecidos pelo MODTRAN 288
Tabela II-7 – Variação sazonal e latitudinal da temperatura para a definição do modelo atmosférico no MODTRAN 289
Tabela II-8 – Modelos de aerossóis disponibilizados pelo MODTRAN 290
Tabela II-9 – Relação das condições atmosférica com a visibilidade da cena 290
Tabela II-10 – Estatísticas descritivas das diferenças entre as séries de NDVI estudadas 293
Tabela II-11 – Correspondência entre a classificação do Atlas Urbano de 2012 e o modelo V-IS 298
Tabela II-12 – Coberturas/usos do solo do Atlas Urbano de 2012 que traduzem as especificidades da urbanização difusa 300
Tabela II-13 – Sistema de classificação dos índices espectrais desenvolvido 307
Tabela II-14 – Componentes biofísicas definidas para a AUBG 309
Tabela II-15 – Correspondência entre o sistema de classificação das componentes biofísicas estabelecido e as coberturas/usos do solo do Atlas Urbano de 2012 313

Tabela II-16 – Número de pontos da amostra em 2010 e 2016 por componente biofísica 315
Tabela II-17 – Matriz de erro da classificação das componentes biofísicas na AUBG a partir da imagem de 2016 do Landsat 8 OLI 316
Tabela II-18 – Matriz de erro da classificação das componentes biofísicas na AUBG a partir da imagem de 2010 do Landsat 5 TM 316
Tabela II-19 – Classificação do LEI para a AUBG 330
Tabela II-20 – Teste de normalidade Shapiro-Wilk (S-W) para Braga 332
Tabela II-21 – Teste de normalidade Shapiro-Wilk (S-W) para Guimarães 332
Tabela II-22 – Limites de emissividade definidos a partir dos intervalos de NDVI 336
Tabela II-23 – Parâmetros utilizados na correção atmosférica da temperatura de superfície ... 337
Tabela II-24 – Teste de normalidade Shapiro-Wilk (S-W) na AUBG 341
Tabela II-25 – Valores utilizados para a normalização de Ts 348
Tabela II-26 – Média e desvio-padrão de Ts* na AUBG entre 1984 e 2016 349
Tabela II-27 – Limiares utilizados na classificação de Ts* 349
Tabela II-28 – Classes de magnitude da mudança do ambiente térmico 351
Tabela II-29 – Valores de Ts (^{0}C) utilizados no cálculo da ilha de calor de superfície 356
Tabela II-30 – Valores de Ts (^{0}C) utilizados no cálculo da ilha de frescura de superfície 357
Tabela II-31 – Descrição das variáveis dependentes 371
Tabela II-32 – Descrição das variáveis explicativas 372
Tabela II-33 – Testes de normalidade K-S e S-W para as variáveis selecionadas em Braga 373
Tabela II-34 – Testes de normalidade K-S e S-W para as variáveis selecionadas em Guimarães 374
Tabela II-35 – Esquema de análise da matriz de correlação 375
Tabela II-36 – Critérios adotados na *Exploratory Regression* 378
Tabela II-37 – Sumário Global da *Exploratory Regression* para Braga e Guimarães 379
Tabela II-38 – Multicolinariedade das variáveis explicativas selecionadas 380
Tabela II-39 – Significância das variáveis explicativas 382
Tabela II-40 – Sumário dos resultados da OLS 384
Tabela II-41 – Diagnóstico da OLS 385
Tabela II-42 – Resultados da autocorrelação espacial dos resíduos dos modelos selecionados 388
Tabela III-1 – Distribuição das componentes biofísicas na AUBG entre 1984 e 2016 398
Tabela III-2 – Descodificação da matriz de transição 415

Tabela III-3 – Alterações decorrentes da substituição do material das coberturas urbanas (% de área) nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 420
Tabela III-4 – Consumo de componentes biofísicas permeáveis (% de área) nos municípios de Braga e de Guimarães pela área urbana entre 1984 e 2016 424
Tabela III-5 – Tecido urbano (m^2 e %) na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016..... 448
Tabela III-6 – Crescimento urbano (m^2 e %) na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016..... 449
Tabela III-7 – Proporção do crescimento urbano (%) relativamente ao tecido urbano existente na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 450
Tabela III-8 – Taxa de crescimento urbano anual (m^2 e %) na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016..... 457
Tabela III-9 – Modo de crescimento urbano (m^2 e % de área) na AUBG entre 1984 e 2016 464
Tabela III-10 – Área (m^2 e %) de cada modo de crescimento urbano no município de Braga entre 1984 e 2016..... 466
Tabela III-11 – Número de manchas de cada modo de crescimento urbano no município de Braga entre 1984 e 2016..... 466
Tabela III-12 – Área (m^2 e %) de cada modo de crescimento urbano no município de Guimarães entre 1984 e 2016..... 473
Tabela III-13 – Número de manchas de cada modo de crescimento urbano no município de Guimarães entre 1984 e 2016 473
Tabela III-14 – Correlação de Spearman entre os três modos de crescimento urbano nas freguesias de Braga e de Guimarães de 1984 a 2016 482
Tabela III-15 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) na AUBG entre 1984 e 2016 .. 490
Tabela III-16 – Estatísticas descritivas de Ts (°C) na AUBG entre 1984 e 2016* 490
Tabela III-17 – Diferença (°C) entre os valores absolutos e os não discrepantes de Ts mínima e máxima na AUBG entre 1984 e 2016 492
Tabela III-18 – Estatísticas descritivas de Ts (°C) nos munícios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016..... 499
Tabela III-19 – Diferenças de Ts média (°C) *pixel-by-pixel* entre o interior e o exterior do perímetro urbano no município de Braga entre 1984 e 2016..... 500

Tabela III-20 – Diferenças de Ts média (°C) *pixel-by-pixel* entre o interior o exterior do perímetro urbano no município de Guimarães entre 1984 e 2016 501
Tabela III-21 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman entre Ts, NDVI e NDWI na AUBG entre 1984 e 2016 522
Tabela III-22 – Amplitude térmica entre as componentes biofísicas na AUBG entre 1984 e 2016 533
Tabela III-23 – Amplitude térmica entre as componentes biofísicas no município de Braga entre 1984 e 2016..... 535
Tabela III-24 – Amplitude térmica entre as componentes biofísicas no município de Guimarães entre 1984 e 2016..... 535
Tabela III-25 – Amplitude térmica entre as componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Braga entre 1984 e 2016 536
Tabela III-26 – Amplitude térmica entre as componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Braga entre 1984 e 2016 536
Tabela III-27 – Amplitude térmica entre as componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Guimarães entre 1984 e 2016..... 537
Tabela III-28 – Amplitude térmica entre as componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Guimarães entre 1984 e 2016..... 538
Tabela III-29 – Levantamento dos valores médios de Ts mais elevados nas componentes biofísicas urbanas e dos valores mais baixos nas componentes biofísicas permeáveis, no município de Braga em função da bipartição do território pelo perímetro urbano, entre 1984 e 2016..... 539
Tabela III-30 – Levantamento dos valores médios de Ts mais elevados nas componentes biofísicas urbanas e dos valores mais baixos nas componentes biofísicas permeáveis, no município de Guimarães em função da bipartição do território pelo perímetro urbano, entre 1984 e 2016 . 539
Tabela III-31 – Amplitude térmica máxima entre as componentes biofísicas no interior e no exterior do perímetro urbano de Braga entre 1984 e 2016 540
Tabela III-32 – Amplitude térmica máxima entre as componentes biofísicas no interior e no exterior do perímetro urbano de Guimarães entre 1984 e 2016..... 540
Tabela III-33 – Assinatura térmica (°C) dos três modos de crescimento urbano no município de Braga entre 1984 e 2016 541
Tabela III-34 – Assinatura térmica (°C) dos três modos de crescimento urbano no município de Guimarães entre 1984 e 2016 541

Tabela III-35 – Matriz de transição das mudanças nas categorias de Ts* na AUBG, definidas pelos limiares propostos por Chen *et al.* (2016), por intervalos bitemporais (1984-2016) 558
Tabela III-36 – Média dos contrastes de Ts* na AUBG entre 1984 e 2016 580
Tabela III-37– Média dos contrastes de Ts* nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 581
Tabela III-38 – Evolução dos contrastes de Ts*, em função do bairro 3x3, na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 582
Tabela III-39 – Evolução dos contrastes de Ts*, em função do bairro 11x11, na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 582
Tabela IV-1 – Intensidade da ilha de calor de superfície (°C) considerando os valores de Ts não discrepantes na AUBG entre 1984 e 2016 598
Tabela IV-2 – Diferença da média de Ts (°C) nas áreas com ICS e sem ICS na AUBG entre 1984 e 2016 599
Tabela IV-3 – Amplitude (°C) de Ts nas áreas com ICS e sem ICS na AUBG entre 1984 e 2016 601
Tabela IV-4 – Repartição (%) da ilha de calor de superfície entre o território urbano e não urbano na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 604
Tabela IV-5 – Proporção (%) das áreas não urbanas sob o efeito de ilha de calor na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 604
Tabela IV-6 – Proporção (%) do tecido urbano sob o efeito de ilha de calor na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 604
Tabela IV-7 – Síntese das mudanças na ilha de calor de superfície da AUBG entre 1984 e 2016 605
Tabela IV-8 – Proporção (%) do território da AUBG e dos municípios de Braga e de Guimarães sob efeito da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI entre 1984 e 2016 617
Tabela IV-9 – Distribuição da ilha de frescura (%) de Ts e do NDVI nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 619
Tabela IV-10 – Aumentos e diminuições de Ts* em função do modo de crescimento urbano nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 1999 637
Tabela IV-11 – Estatísticas descritivas de Ts (°C) *pixel-by-pixel* na AUBG entre 2003 e 2016 .. 641
Tabela IV-12 – Diferença (°C) entre as imagens MODIS captadas à 01:30 em 2007 e 2010 .. 644

Tabela IV-13 – Coeficiente de correlação e de determinação (r^2) Spearman entre as quatro imagens MODIS e destas com o Landsat na AUBG 652
Tabela IV-14 – Amplitudes médias (°C) na AUBG entre 2003 e 2016 660
Tabela IV-15 – Estatística descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) à 01:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010..... 669
Tabela IV-16 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman de Ts e NDVI à 01:30 na AUBG, no decorrer da onda de julho de 2010 671
Tabela IV-17 – Estatística descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) no horário das 10:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010..... 676
Tabela IV-18 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman de Ts e NDVI às 10:30 na AUBG, no decorrer da onda de julho de 2010 678
Tabela IV-19 – Estatística descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) no horário das 13:30, durante a onda de calor de 2010..... 683
Tabela IV-20 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman de Ts e NDVI às 13:30 na AUBG, no decorrer da onda de julho de 2010 685
Tabela IV-21 – Estatística descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) no horário das 22:30 durante a onda de calor de 2010..... 690
Tabela IV-22 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman de Ts e NDVI às 22:30 na AUBG, no decorrer da onda de julho de 2010 692
Tabela IV-23 – Síntese da matriz de correlação de Spearman entre Ts e NDVI na AUBG no decorrer da onda de calor de 2010..... 698
Tabela IV-24 – Triangulação da informação dos resultados da correlação de Spearman na AUBG no decorrer da onda de calor de 2010 700
Tabela IV-25 – Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis selecionadas no município de Braga (continua)..... 709
Tabela IV-26 – Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis selecionadas no município de Guimarães (continua) 711
Tabela IV-27 – Comparação da *performance* dos modelos da OLS e da GWR 724
Tabela IV-28 – Resultados da autocorrelação espacial dos resíduos dos modelos GWR 724

"A Geografia é, ao mesmo tempo, uma ciência de base e de convergência, um ponto de partida e um lugar de encontros: como uma encruzilhada, portanto, onde se chega e donde se sai por vários caminhos".

| Orlando Ribeiro, 2003, p. 127 |



A.

ABERTURA

“A Geografia tem um objetivo – a superfície da terra; um método – a observação; um modo de expressão apropriado – a descrição apoiada no mapa”.

|Orlando Ribeiro, 1987, p.18|

ABERTURA

> "Só há algumas décadas as cidades centenárias se puderam ver a si próprias desde os céus. Não só vistas de cima, mas vistas por inteiro: cidade, entrecidades e campos. (...) As imagens aéreas ou de satélites permitem compreender melhor conceitos como 'cidade', 'urbanidade', ruralidade, 'campos' e 'rios' nas suas várias configurações e mutações".
> |Portas, 2012c, p.13|

INTRODUÇÃO

A Geografia sempre dedicou grande atenção à paisagem enquanto elemento de análise, como objeto central ou por via de uma ampla miríade de temáticas. No âmbito da presente investigação sobressaem os estudos acerca das mudanças nas coberturas/usos do solo, que relacionam fenómenos geográficos claramente identificados e espacializados com questões socioeconómicas (*e.g.*, processo de urbanização) e/ou ambientais (*e.g.*, efeito da ilha de calor), bem como com o planeamento do território. A informação das coberturas/usos do solo permite conhecer o território e o seu funcionamento ecológico, bem como monitorizar as mudanças e as respetivas consequências ambientais e sociais. Contudo, a parca existência de dados quantitativos, com detalhe espacial e temporal suficiente, sempre constitui um claro entrave a estes estudos – redundando em representações pobres e simplistas (Coppin *et al.*, 2004).

A Deteção Remota, em associação com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), constitui um poderoso instrumento de análise territorial, dado que as imagens multitemporais e multiespectrais permitem ultrapassar os problemas crónicos de falta de dados espaciotemporais contínuos. Notar que, já Amorim Girão referia que havia de ser em viagens aéreas que os aprendizes de uma ciência de síntese como é a Geografia se prepararam para as tarefas que lhes incumbe, pois se para examinar os pequenos organismos é necessário vê-los de perto (*i.e.*, ao microscópio), para estudar o grande organismo que é a Terra, é indispensável afastarmo-nos, para surpreendê-la melhor numa vista de conjunto (Jorge, 2007). Suzanne Daveau (1981), aludindo aos geógrafos Bodechtel e Gierloff-Emdem, refere-se à Deteção Remota (ou Teledeteção) como a 'terceira descoberta do mundo'. Mais recentemente, e no contexto específico das áreas urbanas, Wilson (2009) interroga "*can remote sensing be the 'X-ray crystallography' for the decoding urban 'DNA*?" (p. 5994). Graças à Deteção Remota é – então – possível observar a Terra por fora, "vendo o que só os artifícios da cartografia, com as suas deformações e representações convencionais, rigorosamente

geométricas, representavam, e que foi o único fundamento da Geografia universal durante quase cinco séculos" (Ribeiro, 2003, p.204); efetivamente, do Céu tem-se uma visão mais ampla do que em qualquer ponto da Terra.

Os satélites registam a sucessão do tempo, pois fixam em imagens as alterações contínuas do território –, informação que é particularmente útil no estudo de locais onde nas últimas décadas se verificaram mudanças muito aceleradas, nomeadamente as que decorrem do processo de urbanização. Neste caso específico, de acordo com Bhatta (2010), os retratos sequenciais possibilitam o estudo da urbanização como padrão (*i.e.*, padrão espacial num determinado momento; visão estática), ou enquanto processo (*i.e.*, mudanças ocorridas na configuração espacial entre datas; fenómeno dinâmico), numa lógica de *story-telling* (Sui, 2011). Ademais, permitem determinar/monitorizar as consequências ecológicas que a urbanidade acarreta (Coppin *et al.*, 2004) – raramente avaliadas em virtude da falta de dados e, por isso, mal conhecidas (Stefanov e Netzband, 2010).

De entre os efeitos ambientais decorrentes do crescimento urbano – que se manifestam cada vez mais da escala local à global (Weng, 2011) –, os que se relacionam com o clima têm vindo a atrair cada vez mais a atenção dos investigadores (Souch e Grimmond, 2006), pela intrínseca relação que possuem com as mudanças climáticas locais e globais. Este tópico, apesar de não ser recente, ganhou nas últimas décadas – por via da incorporação do infravermelho térmico nos satélites de média resolução (*e.g.*, Landsat, ASTER, MODIS) – uma nova dinâmica, particularmente no que concerne ao comportamento da temperatura de superfície (Ts; Deilami *et al.,* 2018; Zhou *et al.,* 2019).

A despeito do aumento do número de trabalhos e de publicações científicas acerca dos efeitos da urbanização no ambiente térmico – centrados maioritariamente no efeito ilha de calor de superfície (*e.g.*, Rao, 1972; Weng, 2001; Oke *et al.,* 2017; Zhou *et al.,* 2019) – sínteses coerentes são raras (Kwarteng e Small, 2010), pelo que esta relação se encontra longe de ser plenamente entendida (Voogt e Oke, 2003). Para tal, contribui o facto de a maior parte das investigações se centrar num único caso de estudo, ou numa data isolada, que não capta as implicações do processo de urbanização – que, por se tratar de um fenómeno *ongoing,* necessita de uma monitorização contínua. Além disto, as características climáticas (regionais, locais, sazonais, diárias), bem como a multiplicidade de formas e processos urbanos, impõem profundas variações espaciais e temporais no padrão térmico, que dificulta a generalização e transferibilidade dos resultados (Oke,

1984). Realçar que, os estudos dedicados à investigação do efeito climático da urbanização dispersa/difusa são deveras exíguos, ainda que diversos autores alertem para as diferenças entre cidades compactas e dispersas (*e.g.*, Oke, 1987; Moreno, 1993; Pinheiro *et al.,* 2016a; Gunawardena *et al.*, 2017). Um bom reflexo da primazia dada à morfologia urbana compacta prende-se com a metáfora da 'ilha de calor', que se perde quando aplicada aos territórios de urbanização difusa (Pinheiro *et al.,* 2016a).

Neste contexto, na presente investigação recorre-se a uma abordagem integrada da Deteção Remota com os SIG para analisar o processo de urbanização dos municípios de Braga e de Guimarães, nas últimas três décadas, com o intuito de determinar o seu efeito climático. À semelhança de todo o Noroeste português, a urbanização nestes dois municípios encontra-se em franca mutação desde 1980, resultado dos processos de crescimento urbano por extensão-agregação, a partir dos núcleos preexistentes, e por dispersão, nas áreas de transição urbano-rural (Ribeiro e Ferrão, 2014). Assim, apesar de o relatório EEA (2006) alertar para o problema do crescimento urbano disperso, experienciado pelas cidades europeias nas últimas décadas, a verdade é que no Noroeste de Portugal – território onde se insere os municípios deste estudo (Figura A.1) – esta questão exibe raízes antiquíssimas (Ribeiro, 2013; Domingues, 2015a).

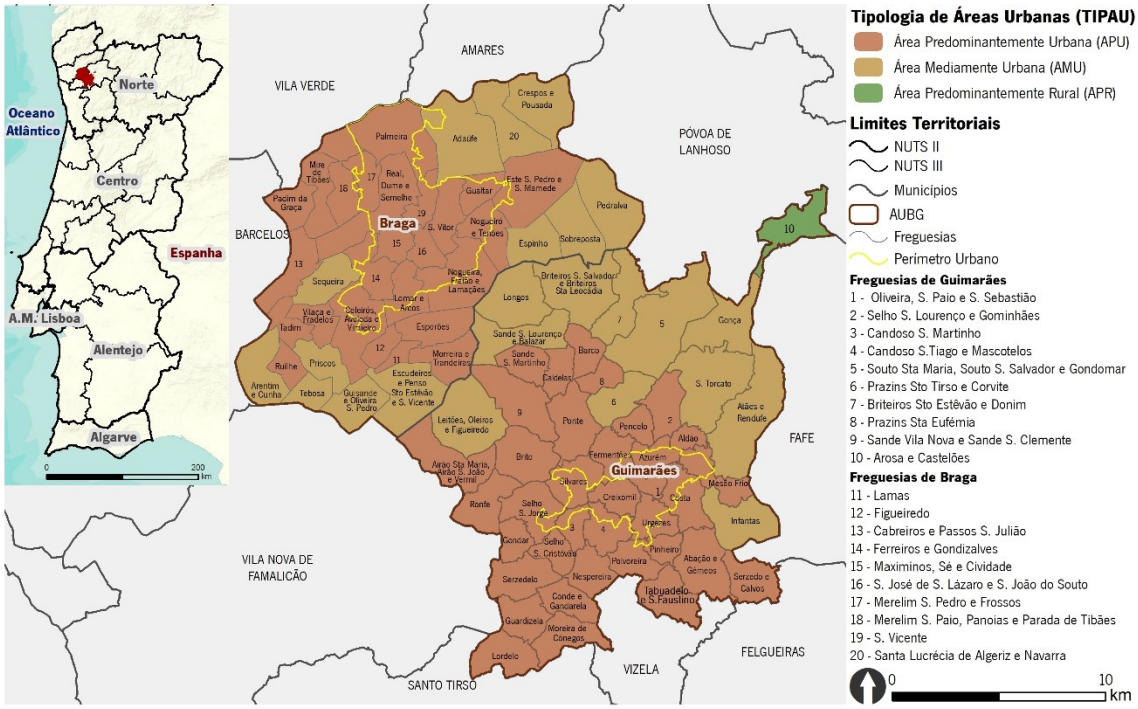


Figura A.1 – Enquadramento da área de estudo e tipologia das áreas urbanas

Atualmente, as freguesias dos municípios de Braga e de Guimarães encontram-se classificadas pelo Instituto Nacional de Estatística[1] (INE, 2015), quase em exclusivo, como Área Predominantemente Urbana (APU) e Área Mediamente Urbana (AMU), pelo que se poderá aludir a uma 'Área Urbana de Braga e Guimarães', doravante designada de AUBG (Figura A.1). Em vista disso, parte-se da análise de uma estrutura de territorial complexa e polimórfica – ainda pouco estudada (Portas *et al.*, 2007).

Nas palavras de Portas (2000), a urbanização difusa sempre constitui como que o 'patinho feio' do urbanismo; todavia, no urbanismo são estes e não os 'cisnes' que mais interessam, acrescenta o autor. Em sentido igual, Lobo (2012) refere que a beleza deste território reside precisamente em não obedecer aos cânones que habitualmente associamos à ideia de paisagem. Ainda assim, este modelo territorial foi sendo constantemente apelidado de banal e, por força de tal asserção, sem interesse – pelo que não se estuda. Contudo, este pode ter um conteúdo mais interessante do que numa primeira impressão se poderia adivinhar, alertam Domingues e Travasso (2015a). Portas (2000) revela que é fascinante encontrar novas formas de urbano, nomeadamente a cidade que fica 'entre cidades', que afinal de contas é a urbanização maioritária – daí que se designe por ordinária; porém, não é certamente genérica, afirma Calix (2015).

No cenário atual são diminutos os estudos acerca dos impactes da urbanização difusa (Portas, 2011), destacando-se numa linha próxima o Projeto "Custos e Benefícios, à escala local, de uma Ocupação Dispersa", da responsabilidade das Universidades de Aveiro e Évora e da Direcção-Geral do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Urbano, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (Carvalho e Cancela d'Abreu, 2011; Carvalho *et al.*, 2013). Relativamente às investigações que relacionam a urbanização difusa com o clima são raros; em verdade, não existem estudos que abordem esta temática em termos nacionais (ou pelo menos não se conhecem). Da produção internacional poucas generalizações se podem efetuar, uma vez que o modelo difuso – com as suas particularidades/especificidades – em muito difere da realidade urbana que lhes serve de referencial. Deste modo, procura-se colmatar esta lacuna na pesquisa geográfica, dando mais espaço e atenção ao comportamento climático da urbanização difusa, que tem sida preterida em relação a outras áreas-problema melhor conhecidas, diagnosticadas e até experimentadas – como sucede com a área metropolitana de Lisboa com os trabalhos

[1] A Tipologia das Área Urbanas (TIPAU) constitui uma classificação das freguesias portuguesas em função das suas características urbanas, que se destina a fins estatísticos (INE, 2015). A TIPAU apresenta uma classificação tripartida designadamente: Áreas Predominantemente Urbanas (APU); Áreas Mediamente Urbanas (AMU); e, Áreas Predominantemente Rurais (APR).

coordenados por Maria João Alcoforado (*e.g.*, Alcoforado, 1993; Alcoforado *et al.* 2014) e do Porto com os de Ana Monteiro (*e.g.*, Monteiro, 1997). Efetivamente, acredita-se que é na investigação sobre a cidade de 'hoje' – seja qual for a sua forma – que reside a chave para melhor a compreendermos (Portas, 2012b), ligando sempre ao passado e ao futuro.

OBJETIVOS E QUESTÕES DE PARTIDA

Para determinar o efeito climático da urbanização difusa, primeiramente é necessário descortinar a evolução espaciotemporal da urbanização nos municípios de Braga e de Guimarães, consubstanciada nas componentes biofísicas (Ridd, 1995), e apenas plenamente entendível quando enquadrada no contexto das opções municipais de planeamento, vertidas no respetivo Plano Diretor Municipal (PDM) – uma vez que "factos sem conceitos – anarquia; conceitos sem factos – fantasia" (Ribeiro, 1989b, p.435). Em seguida, considerando que a manifestação climática mais visível do crescimento urbano se prende com o aumento da carga térmica, recorre-se à Ts para a inferir o seu efeito, nomeadamente por via da formação de ilhas de calor de superfície. Este fenómeno, que promove a deterioração do ambiente local, não só ameaça à sustentabilidade ecológica e social das áreas urbanas, como também contribui para as alterações climáticas a nível local, regional e global (Weng, 2001; Voogt e Oke, 2003; Xian e Crane, 2006).

Por conseguinte, a presente investigação tem como objetivo central determinar a(s) tendência(s) de mudança nas componentes biofísicas, ocorridas a partir de 1980 nos municípios de Braga e de Guimarães, e avaliar o efeito da urbanização difusa sobre o ambiente térmico, com base numa análise multiespectral e multitemporal (Tabela A.1). A resposta do objetivo geral depende da prossecução dos doze objetivos específicos definidos, sendo que as questões de partida impõem uma consideração mais precisa e rigorosa do que se pretende determinar em cada fase deste estudo.

Tabela A.1 – Questões de partida e objetivos de trabalho

Questão de Partida	Objetivo(s)
Qual(ais) a(s) dinâmica(s) espaciotemporais de mudança nas componentes biofísicas, no tecido urbano e na temperatura de superfície, entre 1984 e 2016, na AUBG?	- Discriminar as componentes biofísicas, extrair o tecido urbano e derivar a temperatura de superfície, a partir do Landsat; - Descrever e quantificar os padrões espaciais e a magnitude das conversões nas componentes biofísicas e das variações da temperatura de superfície; - Identificar o modo (*i.e.,* colmatação, contiguidade e dispersão) como se processou o crescimento urbano nos municípios de Braga e de Guimarães.
Qual o efeito climático do crescimento urbano difuso na AUBG?	- Delimitar a(s) ilha(s) de calor e de frescura de superfície, a partir do Landsat; - Estabelecer a relação de causalidade entre a mudança nas componentes biofísicas, e no modo de crescimento urbano, e as variações espaciotemporais da temperatura de superfície (incluindo as ilhas de calor de superfície); - Traçar a trajetória temporal das componentes biofísicas consumidas no processo de urbanização.
Qual o comportamento térmico diário, e em onda de calor, das superfícies no contexto da urbanização difusa da AUBG?	- Evidenciar variações diárias no padrão espacial do ambiente térmico, com base no MODIS; - Estabelecer a relação de causalidade dos contrastes térmicos diários com a topografia e as componentes biofísicas; - Determinar a evolução do comportamento térmico das superfícies urbanas e não urbanas em diferentes horários, ao longo de um episódio de onda de calor, a partir de imagens MODIS.
Como é que o planeamento territorial pode influenciar as condições do ambiente térmico?	- Discutir as opções municipais (políticas, estratégias) elegidas por Braga e Guimarães que conduziram à urbanização difusa, produzindo o atual ambiente térmico urbano; - Identificar áreas críticas do ambiente térmico à escala municipal; - Propor estratégias municipais de melhoria do ambiente térmico urbano, visando a mitigação e adaptação às alterações climáticas, para Braga e Guimarães.

Para alcançar os objetivos delineados nesta investigação (Tabela A.1), parte-se da visão de uma Geografia una – na qual 'o todo não é igual à soma das partes' –, alicerçada numa abordagem sistémica como base para a compreensão da complexidade territorial. Dessarte, o presente trabalho não se pode incluir no quadro exclusivo da Geografia Física (ligada aos aspetos naturais), nem da Geografia Humana (centrada nas marcas que a sociedade imprime ao território), pois, acima de tudo, procura-se tirar partido da transversalidade teórica e metodológica da Geografia para estudar/compreender o ecossistema urbano de Braga e de Guimarães.

Desenvolvido no seio da ciência geográfica, este estudo não poderia deixar de se apoiar em cartografia multitemporal, pois como salienta Choay (2005) "*sólo nuestra 'civilización de la imagen' es capaz de mostrar las secuencias que pongan de manifiesto el carácter, la magnitud y historia de esta mutación*" (p.61). Assim, mais do que sucessivos retratos estáticos (*i.e.*, padrões), a cartografia permite recriar a dinâmica de mudança (Silva *et al.*, 2012) e inferir (ou confirmar) os processos associados. De facto, só com base no conhecimento dos problemas é que é possível delinear estratégias que contribuam para a sua minimização e mitigação, designadamente por via da legislação, do planeamento ambiental e do ordenamento do território. As áreas urbanas, pela importância crescente em termos populacionais e da economia, constituem o palco privilegiado para a implementação de medidas que contribuam para a resiliência e desenvolvimento sustentável do território, que está, com efeito, inexoravelmente dependente de um desenvolvimento urbano sustentável (Carvalho, 2015).

Além disto, considerando o atual contexto de alterações climáticas (EEA; 2012a, 2016; IPCC, 2013, 2018; Portal do Clima, 2015), a eficácia das medidas de adaptação e de mitigação depende da sua adequabilidade à realidade local (Bazaz *et al.,* 2018; Sun *et al.,* 2019)– almejando-se, por um lado, que este estudo empírico constitua mais um elemento de análise nas estratégias climáticas dos municípios de Braga e de Guimarães; e, por outro, que a sua metodologia (dentro das limitações existentes e necessárias adaptações) seja replicada a outras realidades territoriais (pelo que se privilegia uma descrição dos procedimentos metodológicos próxima da narração, como se um *story-telling* se tratasse). Em verdade, procura-se contribuir para uma maior transferibilidade do conhecimento académico para a gestão territorial.

Outrossim, procura-se 'chamar' ao contexto epistemológico da Geografia (particularmente da portuguesa) os estudos sobre as mudanças territoriais. Esta questão assume particular relevância num período em que a multiplicação dos trabalhos nesta temática parece levar à individualização

de novos campos de estudo – em termos anglo-saxónicos designados *Earth Observation* (*e.g.*, Bhatta, 2010), *Land Change Science* (*e.g.*, Turner *et al.*, 2007), *Global Change Science* (*e.g.*, Mayaux *et al.*, 2008) ou *Science of the City* (*e.g.*, Wentz *et al.*, 2012) – que têm por tema central a superfície terrestre, o território, a paisagem. Enfim, não obstante a sua designação, todos remetem para o mesmo objeto estudo – a superfície terrestre – reclamada séculos atrás pela Geografia. Efetivamente, o espaço sempre constituiu o problema-chave da investigação geográfica, e apesar cada vez menos deter o monopólio do conhecimento espacial, decorrente da progressiva conexão interdisciplinar, a Geografia destaca-se por conservar a visão sinótica do território, transcendo a divisão convencional dos fenómenos em económicos, sociais e políticos (Méndez, 1992).

ABORDAGEM METODOLÓGICA

Todas as investigações são guiadas (ou mesmo determinadas) pelas escolhas filosóficas e opções metodológicas do(s) autor(es). Em consonância com os objetivos de trabalho definidos (Tabela A.1), adota-se o estudo de caso como método de análise que, através da observação detalhada, visa explorar, descrever, explicar e avaliar contextos complexos, nos quais diferentes fatores se encontram interligados e simultaneamente envolvidos (Amorim, 1993; Allegretti, 2016). Este método, particularístico, considera o idiossincrático e o específico, prima pelo holismo em detrimento do reducionismo, e pela profundidade em vez da quantidade. De facto, como salienta Ribeiro (1994), a Geografia está sobretudo preparada para integrar o particular no geral (Ribeiro, 1994), sem negar à 'unicidade' o direito à descrição correta e explicação racional (Ribeiro, 1989b). Neste sentido, mais do que a generalização das conclusões obtidas, a principal finalidade deste estudo assenta na transladação dos resultados em sugestões e recomendações de planeamento do território.

Concomitantemente, a investigação empírica assenta na combinação da perspetiva transversal e longitudinal (Cunha e Mújica, 2016). A abordagem sincrónica dos municípios Braga e de Guimarães permite uma análise comparativa – *i.e.*, determinar semelhanças e diferenças num determinado momento. Ainda neste sentido, porém introduzindo a perspetiva de Clark (1991), salientar que esta abordagem, que o autor classifica como sistémica, será acompanhada sempre

que se justifique de uma visão do conjunto do território da AUBG e/ou de cada município *per si,* sendo a atenção posta na totalidade do território concelhio, de modo identificar e explicar os padrões internos. Por sua vez, a abordagem longitudinal, menos explorada em Geografia (como em outras ciências) devido à falta de informação, é possibilitada neste estudo pela visão repetitiva (e sinótica) da Deteção Remota. Esta abordagem dinâmica permite seguir no tempo, mais ou menos longo (*e.g.*, anos, dias, horas), a evolução do território da AUBG (Figura A.2).

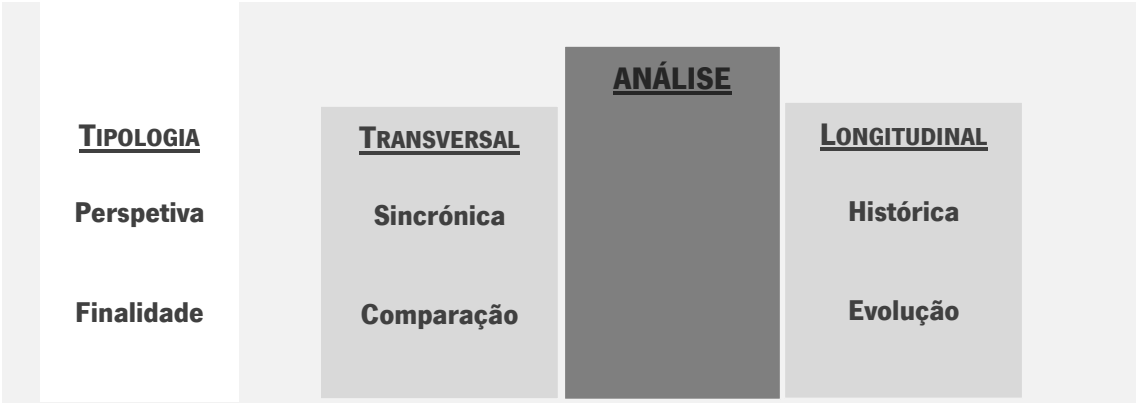


Figura A.2 – Abordagem metodológica adotada no trabalho empírico

No âmbito da Geografia Urbana, como da Climatologia Urbana, o grande interesse no estudo das áreas urbanas reside na sua variação (Figura A.2): (i) espacial (interna e externa), determinada pelos contextos históricos singulares e pelas particularidades dos processos; e, (ii) temporal, fortemente condicionada pelas características estruturais. Para tal, recorre-se à triangulação de métodos qualitativos e quantitativos. No primeiro caso, prende-se essencialmente com a análise das formas e padrões espaciais, cuja observação sistemática e a interpretação diversificada sempre constituíram o cerne dos trabalhos de carácter geográfico (Clark, 1991; Ribeiro, 1994), e como salienta Meentemeyer (1989) "*it is from spatial form that most processes are «discovered*»" (p.168).

Na análise quantitativa recorre-se à estatística (univariada e multivariada) e a técnicas de análise de espacial e de geoestatística. A estatística univariada permite a análise exploratória dos dados, nomeadamente a partir das estatísticas descritivas (*e.g.*, média, variância, mediana, mínimo, máximo), que tal como o nome indica descrevem e sumarizam um conjunto de dados. Os resultados indiciados nesta primeira abordagem podem ser confirmados (ou não) com base em métodos estatísticos confirmatórios (*e.g.*, correlação, regressão). Não obstante, a estatística, no sentido tradicional do termo, assume que os dados são independentes, porém os dados espaciais

(nomeadamente os obtidos por Deteção Remota) exibem uma dependência espacial. Efetivamente, a primeira Lei da Geografia (ou de Tobler) indica que tudo está relacionado, mas as coisas mais próximas estão mais relacionadas do que as mais distantes (Tobler, 1970). Assim, ao violar quase todos os requerimentos dos métodos estatísticos paramétricos (Meentemeyer, 1989), as variáveis obtidas por Deteção Remota obrigam à utilização das alternativas não paramétricas, com vista à minimização das falácias e das inferências erróneas. As técnicas de estatística que lidam com a dependência espacial designam-se por geoestatística; note-se, porém, que a geoestatística não é sinónimo de estatística espacial, mas apenas uma porção desta (Atkinson, 2002).

Ainda do ponto de vista metodológico, importa realçar que os estudos urbanos (independentemente do campo científico em que estão filiados) se deparam com duas particularidades que importa reter: a primeira, já anteriormente mencionada, prende-se com a excecionalidade implícita em cada caso de estudo; e, a segunda, decorre da indefinição em matéria de morfologia e de concetualização do fenómeno urbano (Beaujeu-Garnier, 1995). Note-se que, tal não advém da falta propostas, mas antes da multiplicidade de formulações que têm sido desenvolvidas (Almeida, 2018) – que parecem ser tão amplas (em termos de escala e de carácter) quanto as abordagens de que têm sido alvo. Na prática, cada investigador coloca em realce no conceito de urbano (ou no de cidade) os objetivos do trabalho – não constituindo o presente trabalho exceção; porém, não se tecem grandes considerações ontológicas sobre o significado geográfico ou estatístico de cidade, uma vez no contexto de urbanização difusa muito haveria a discutir, e tal não configura um objetivo estrito da investigação.

Em relação ao conceito de 'cidade' referir somente que se partilha da visão de Portas (2012a) – ou seja, "não depende de cumprir *a priori* limiares preestabelecidos de população, setores produtivos, compacidade, continuidade ou dimensão do seu perímetro" (p. 229). Adota-se primordialmente o termo 'urbano' – do latim *urbis,* empregue para designar os assentamentos humanos e as ações de transformação/construção desses assentamentos (Domingues, 2011a) – por se considerar não só mais adequado à realidade atual, como também mais próximo da visão captada pelos satélites, uma vez que remete de modo direto para o território físico da cidade (Choay, 2005).

No cômputo específico desta investigação, entende-se como urbanização a conversão de superfícies permeáveis – com maior ou menor cobertura de vegetação – em superfícies

impermeáveis antrópicas, por via da transformação do ambiente natural em construído. Deste modo, considera-se o 'urbano' apenas do ponto de vista das superfícies impermeáveis com origem antrópica, em consonância com o definido por diversos autores (*e.g.*, Seto *et al.,* 2010; Wu e Yuan, 2011; Weng, 2011, 2012; Deng e Wu, 2013), negligenciando-se os aspetos relativos à vertente social.

A definição de 'urbano' adotada afasta-se de outras, como por exemplo a apresentada por Fernandes e González (2016), residindo a diferença maior no facto de não abarcar os espaços verdes urbanos, sejam jardins, parques ou mesmo ruas arborizadas, cujas árvores possuam uma copa muito ampla. Em igual sentido, não se encontram incluídos os espaços intersticiais *vacantes* ou as parcelas de terrenos ainda utilizadas para a agricultura, uso florestal ou simplesmente incultas. Deste modo, todas as superfícies que mantêm a permeabilidade do solo, ou aquelas que aos 'olhos' dos satélites se assumem como tal (*e.g.*, ruas ou estradas cobertas pela arborização) não são consideradas urbanas neste trabalho. Por seu turno, todos os fragmentos que não permitam a infiltração direta da água no solo, seja por constituírem áreas edificadas, estradas asfaltadas, pedreiras ou estufas agrícolas, são considerados elementos urbanos, independentemente da sua localização geográfica no contexto do núcleo urbano primaz de Braga ou de Guimarães.

ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente tese de doutoramento encontra-se estruturada em 4 partes – a que se somam ainda outras duas, que marcam precisamente a 'Abertura' e o 'Fecho' da investigação. Não obstante a lógica de organização própria de cada parte (*i.e.*, numeração dos capítulos, das figuras e das tabelas), estas encontram-se interligadas, estando as subsequentes em dependência direta das anteriores.

A primeira parte do trabalho consubstancia uma reflexão teórica, que suporta o quadro concetual e metodológico em que assenta a investigação empírica. Esta recolha, sistematização e debate da informação, centrada na confluência dos Estudos Urbanos (preferencialmente, mas não exclusivamente, no seio da Geografia) com a Deteção Remota, encontra-se organizada em três níveis (não hierárquicos), começando pelos fundamentos (teóricos) da Deteção Remota. A isto,

segue-se as mudanças que esta Tecnologia/Ciência/Arte (Bhatta, 2010) desencadeou na análise das áreas urbanas – mormente as filiadas nos domínios da Climatologia Urbana e da Geografia Urbana. Por último, coloca-se em evidência a singularidade do modelo territorial da urbanização difusa, no qual os municípios de Braga e de Guimarães se enquadram, cuja permanência plurissecular obriga ao conhecimento da narrativa histórica.

A segunda parte do trabalho narra os procedimentos metodológicos desenvolvidos ao longo da investigação empírica, incluindo o processo de seleção das três séries de dados analisadas. Na realidade, mais do que a enumeração e descrição dos métodos utilizados, procura-se justificar as opções metodológicas tomadas, bem como a identificação das limitações daí resultantes.

A terceira parte do trabalho desenvolve-se em torno da questão 'como evoluem as áreas urbanas?', levantada por Herold *et al.* (2005); no entanto, muito para além da forma urbana (*i.e.,* o tecido construído), analisa-se a evolução espaciotemporal das componentes biofísicas (*i.e.,* a vegetação, o solo nu e as superfícies impermeáveis antrópicas) e do ambiente térmico nos municípios e Braga e de Guimarães nas últimas décadas.

A quarta parte do trabalho foca-se no efeito climático da urbanização difusa, que constitui o objetivo central da investigação. Para tal, recorre-se a distintas escalas temporais: a histórica, que permite o entendimento do efeito do processo de crescimento urbano difuso das últimas décadas no ambiente térmico dos municípios de Braga e de Guimarães; a diária, que traduz o comportamento do ambiente térmico ao longo do dia, e possibilita o entendimento dos fatores responsáveis pela sua variação; (iii) e, ainda, uma terceira que sintetiza o comportamento do ambiente térmico perante um evento de calor extremo – num cenário próximo do que se poderá verificar do futuro, dado o atual contexto de alterações climáticas. Finalizando, recorre-se à análise estatística para quantificar a relação do ambiente térmico com variáveis espectrais, fisiográficas e socioeconómicas, nos municípios de Braga e de Guimarães.

BREVE RETRATO TERRITORIAL DOS MUNICÍPIOS DE BRAGA E DE GUIMARÃES

Em Geografia definir áreas de trabalho é um processo corrente indispensável, podendo este ser prévio ou conclusivo (Ribeiro, 1995). Na presente investigação, a área de estudo foi definida à

priori, encontrando-se os objetivos de trabalho em estrita ligação com as questões de partidas elencadas para o território selecionado (*vide* Tabela A.1) – optando-se por dois municípios em alusão a Orlando Ribeiro, que considera a comparação a alma da Geografia (Ribeiro, 1989a, 1994), particularmente a da Geografia Urbana. Posto isto, a escolha dos municípios de Braga e de Guimarães foi cuidadosamente ponderada, de modo a tornar comparáveis os resultados obtidos. Sem embargo, e contrariamente a Byrne (2005), mais cativado pelas diferenças do que pelas semelhanças, a justificação para a escolha deste território tão peculiar no contexto nacional, reside no facto de encerrar concomitantemente as duas possibilidades.

A adoção dos limites administrativos dos municípios permite enquadrar os resultados obtidos através das imagens de satélite com as políticas de planeamento do território, que em Portugal são definidas primordialmente à escala municipal; bem como, com Censos da População e da Habitação, realizados pelo INE. Como salienta Beaujeu-Garnier (1995), os limites administrativos são a primeira ideia de fronteira do espaço urbano que se tem. A isto acresce o facto de as lógicas do crescimento urbano deterem uma base de organização municipal (à exceção das áreas metropolitanas), pelo que a adoção dos limites concelhios permite analisar não só o núcleo urbano principal (correspondente à 'cidade' de Braga e de Guimarães), como também a sua envolvente geográfica, que corresponderá à área de influência social, económica e climática (Espinoza, 2012).

Para Magalhães (1997), o "lugar significa muito mais do que a sua localização, pois encerra significados culturais que sintetizam e representam o meio envolvente, bem como a situação existencial em geral" (p.100). De facto, o espaço não é um cenário passivo onde se situam os objetos e desenrolam os fenómenos, pelo que compreender um território implica antes de mais conhecê-lo. No âmbito específico da investigação em Climatologia Urbana, Oke (2006) enfatiza que o conhecimento do caráter do território é fundamental não só para a compreensão dos padrões locais, como também para a determinação dos estudos a incluir/excluir aquando da comparação dos resultados. Por conseguinte, justifica-se uma caracterização prévia dos municípios de Braga e de Guimarães (*vide* Figura A.1), que segundo Clark (1991) deve começar pela definição sítio e da situação.

Sítio e Situação

Os municípios de Braga e de Guimarães localizam-se ambos no Norte de Portugal (NUTII), mais precisamente no setor Noroeste. Estes municípios, apesar de adstritos, integram NUT III distintas – evidente em algumas peculiaridades do mosaico territorial. Braga pertence à NUT III do Cávado e Guimarães à do Ave, correspondendo em ambos os casos a designação ao nome do principal rio que cruza o território (*vide* Figura A.1). O Vale do Ave apresenta uma acentuada complexidade, fruto da intensificação dos usos urbano-industriais, dado que a indústria se dispersa por todo o território. O Vale do Cávado detém características biofísicas semelhantes ao Ave, porém a dispersão dos usos urbanos ocorre num grau mais diminuto (Pinho, 1995).

O município de Braga, formado por 37 freguesias, detém 183,4km^2 de área, sendo limitado a Norte por Vila Verde e Amares, a Este pela Póvoa do Lanhoso, a Sueste e a Sul, pelos concelhos de Guimarães e de Vila Nova de Famalicão e, a Oeste, por Barcelos (*vide* Figura A.1). Por sua vez, o municipio de Guimarães abrange uma área de 240,95 km^2, repartida por 48 freguesias. Este é limitado a Norte pela Póvoa de Lanhoso, a Este por Fafe, no setor Sul por Felgueiras, Vizela e Santo Tirso, a Oeste por Vila Nova de Famalicão e, por fim, a Noroeste por Braga (*vide* Figura A.1).

Caracterização Fisiográfica

Para Ribeiro (1999b) "a atividade, toda a atividade do homem, poderosamente inscrita em paisagens de velha civilização – tem de ser sempre referida a um quadro físico que a envolve, penetra e estimula" (p.204), sendo que "nenhuma Geografia é possível sem uma base sólida física" (p.207). De entre os fatores físicos destaca-se o relevo, pois determina situações ecológicas muito diferenciadas (Magalhães, 1997), ao nível dos microclimas (avesseiros e soalheiros), da água (situações de escorrimento e de acumulação), do solo (locais de eluviação e de aluviação) e, por consequência de todos estes, da vegetação (associações húmidas e secas). Neste estudo, importa frisar que: por um lado, as diferenças de altitude (e de pressão) desencadeiam o sistema de brisas, particularmente em dias com fraco gradiente de pressão (Oke, 1984; Daveau, 1999b); e, por outro, a orientação e declive das vertentes promove uma diferenciação no balanço energético.

Na AUBG os vales apresentam uma morfologia tipicamente alveolar, intrinsecamente relacionada com a tectónica e com a diferenciação litológica – que origina vales largos e extensos *grosso modo*

paralelos, ainda que pontualmente interrompidos por relevos proeminentes, com vertentes ora suaves, ora mais declivosas (Figura A.3).

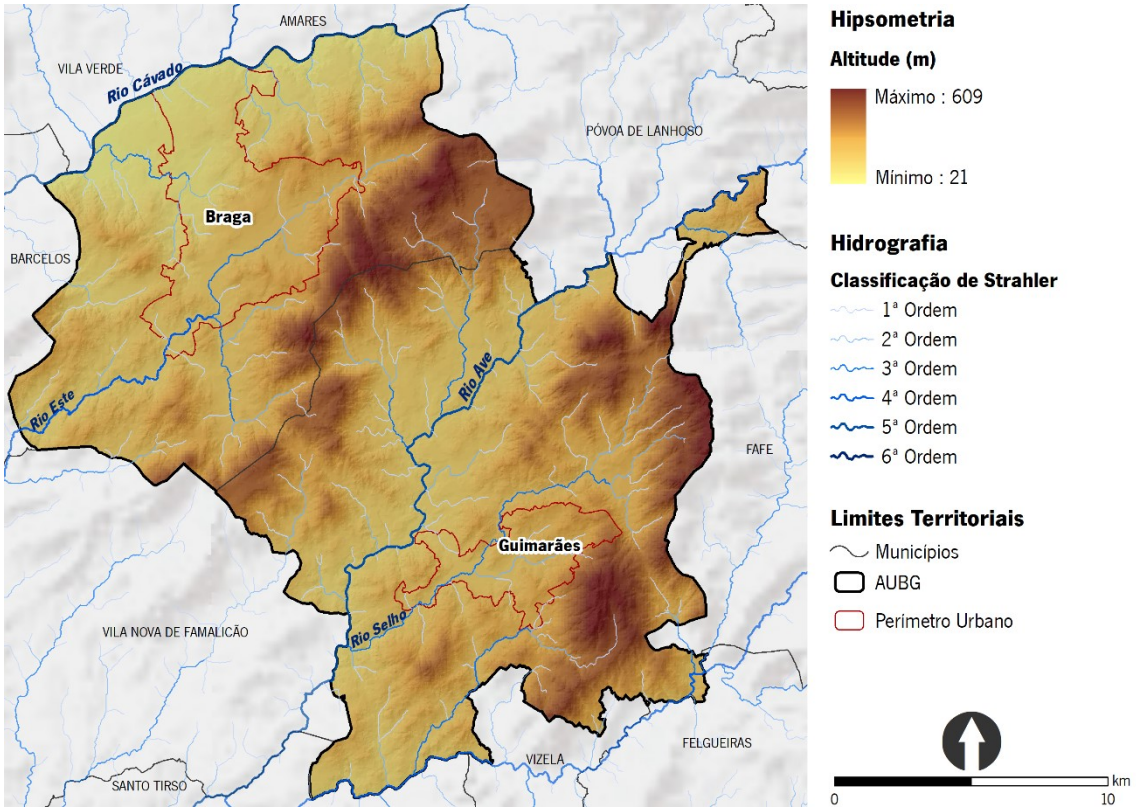
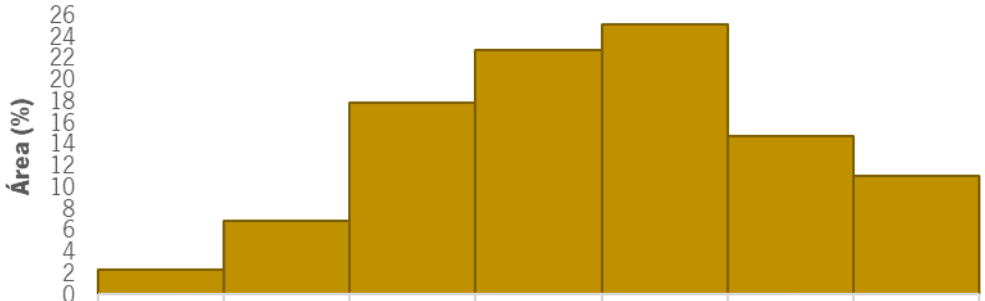


Figura A.3 – Hipsometria e hidrografia da AUBG

Uma análise detalhada da hipsometria dos municípios de Braga e de Guimarães revela que: 9% do território detém uma altitude inferior a 100m, 41% encontra-se entre 100 e os 200m, 40% situa-se entre 200 e os 400m, e, os restantes 11% encontra-se acima dos 400m (Figura A.3 e Figura A.4). Com efeito, nota-se uma acentuada amplitude hipsométrica (precisamente de 590m), situando-se as cotas mais baixas (20m) junto ao rio Cávado (em Braga) e as mais elevadas (610m) no Monte da Penha (em Guimarães).



	<50m	50-100m	100-150m	150-200m	300-300m	300-400m	>400m
Área (%)	2,3	6,8	17,7	22,7	25	14,7	10,9

Figura A.4 – Representatividade (%) das classes hipsométricas na AUBG

O município de Braga caracteriza-se por uma notória dualidade: por um lado, o setor Norte e Noroeste exibe um relevo aplanado na ordem dos 200m; e, por outro, o setor Este claramente mais acidentado, com altitudes acima dos 400m (Figura A.3). Na transição para Guimarães sobressai um interflúvio, com uma direção NE-SW, concordante com o entalhe das principais linhas hidrográficas, nomeadamente o Rio Cávado, que delimita o município de Braga a Norte e o Rio Ave que atravessa o município de Guimarães. Este interflúvio detém um forte caráter religioso, por aí se localizar um importante conjunto de templos religiosos, nomeadamente o Bom Jesus, o Sameiro, a Santa Maria Madalena, a Santa Marta de Leão e a Santa Marta das Cortiças. A importância que o Divino assume neste lugar consubstancia-se na sua denominação como 'Três Sacromontes' (*i.e.*, Bom Jesus, Sameiro e Falperra). Por sua vez, em Guimarães, verificam-se altitude elevadas tanto a Oeste, junto à fronteira com Braga, como a Este, no limite com Fafe, Felgueiras e Vizela (Figura A.3).

Em termos hidrográficos, o território da AUBG reparte-se por duas bacias – a do Cávado e a do Ave. Assim, enquanto o município de Guimarães integra em exclusivo a bacia hodográfica do Ave, Braga reparte-se pela bacia hidrográfica do Cávado, que drena o setor Norte do município, e a do rio Este (afluente do Ave), que drena os setores Sul e Este (Figura A.3). Estes rios, no passado, enfrentaram problemas graves de poluição, decorrente dos efluentes da indústria têxtil (Pinho, 1995). A par dos rios principais, sobressai uma vasta rede hidrográfica dendrítica, entalhada em valeiros profundos (Figura A.3), que reflete as condições geológicas do terreno, mormente presença de importantes linhas tectónicas de orientação ENE-WSW e N-S (Ferreira *et al.*, 2000).

Na AUBG os declives mais acentuados coincidem com as áreas de maior altitude, enquanto nas áreas mais baixas (inferior a 300m) predominam declives suaves (Figura A.5), sobressaindo visualmente os vales do rio Cávado e Ave, bem como os do Este e Selho, de características alveolares, como mencionado anteriormente.

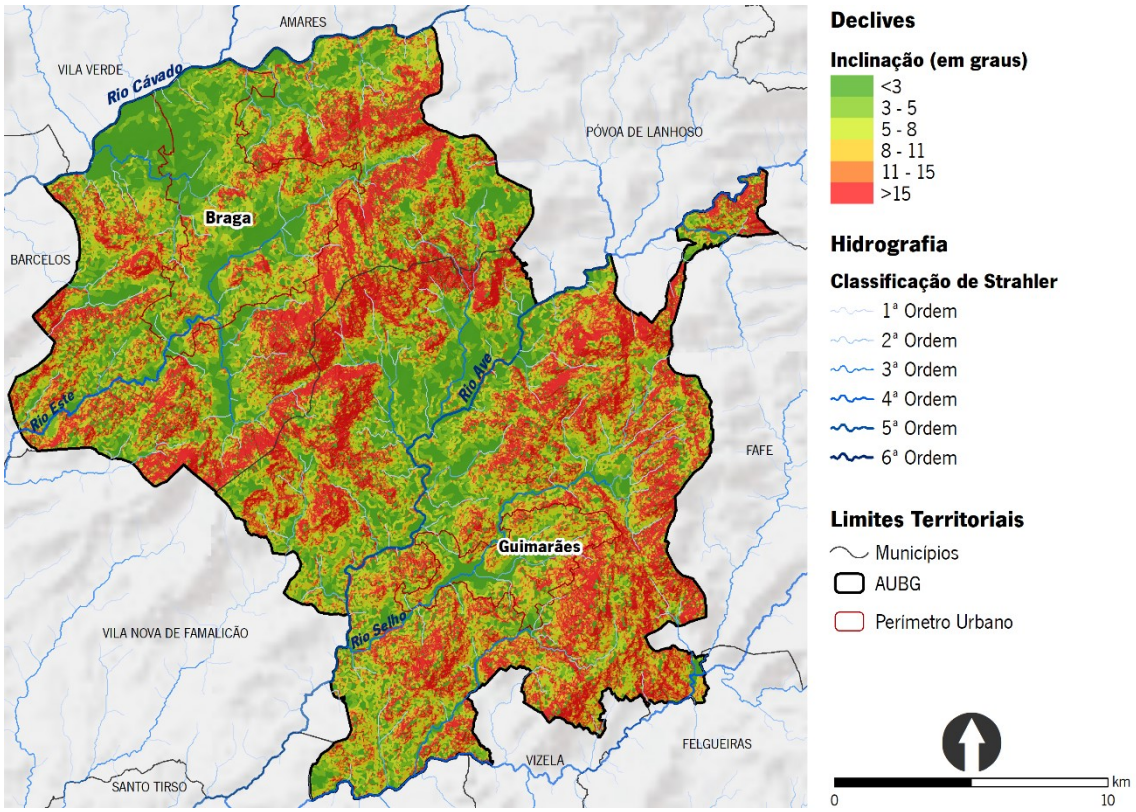


Figura A.5 – Declives da AUBG

No que que concerne à repartição espacial dos declives destacam-se as duas classes com valores mais extremos, dado que a classe inferior a 3° (≈5%, se atendermos ao declive em percentagem), corresponde a 39% do território, e a classe superior a 15° (≈26%) abrange 21% do território (Figura A.6). As restantes classes de declive detêm proporções do território menores, sendo 9% ocupado pela classe de 3 a 5° (≈5 a 8,7%), 12% pela classe 5 a 8° (≈8,7 a 14%), 10% pela 8 a 11° (≈14 a 19%), e, outros 10% pela classe 11 a 15° (≈19 e 26%).

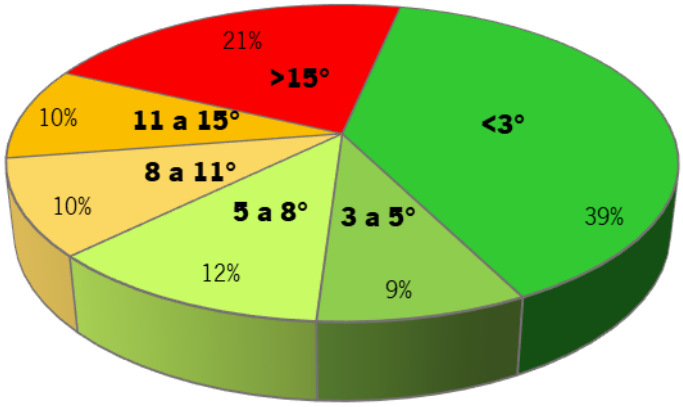


Figura A.6 – Representatividade (%) das classes de declive na AUBG

A orientação das vertentes reflete-se na incidência dos raios solares, com importantes implicações ao nível da humidade dos solos, da evapotranspiração, bem como da formação de nevoeiros e de geadas. Além disto, interfere com a pressão urbanística, uma vez que as áreas com maior exposição solar são mais favoráveis em termos bioclimáticos para a construção. Na AUBG, à parte dos 26% do território classificado como plano, constata-se que as orientações em função dos pontos cardeais detêm maior representatividade do que os pontos colaterais (Figura A.7), mormente 61% *versus* 13% (Figura A.8).

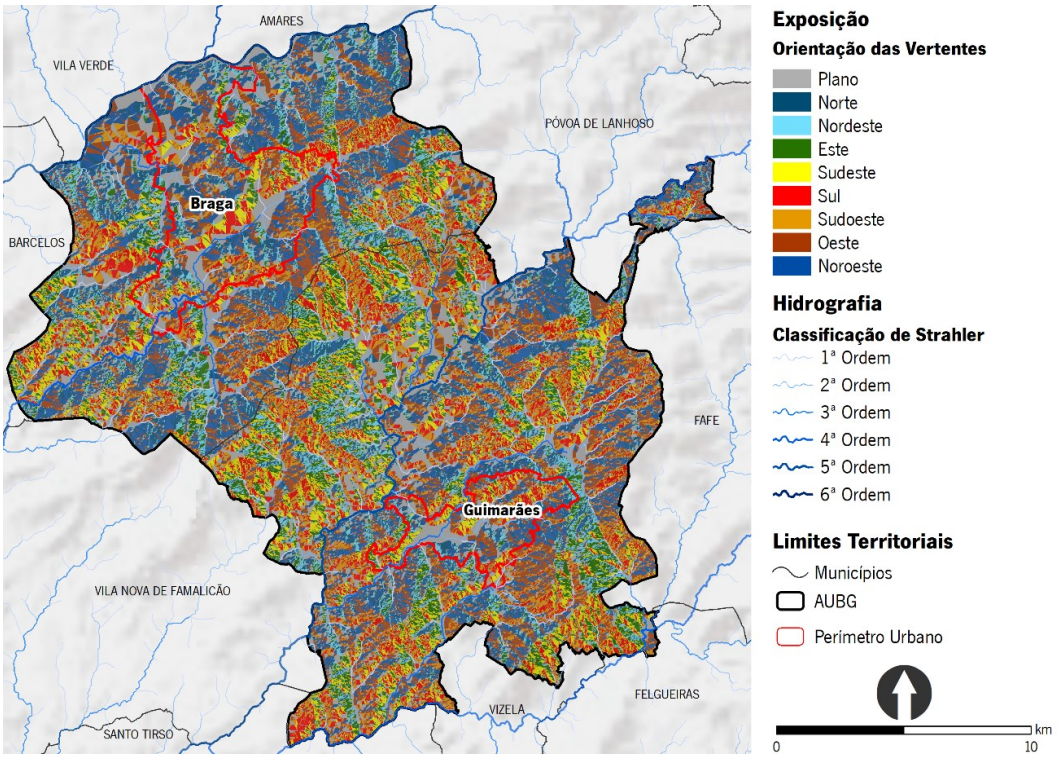


Figura A.7 – Exposição das vertentes da AUBG

As vertentes mais umbrias – voltadas a Norte, Nordeste e Este – representam 29% do território. Por sua vez, as vertentes mais soalheiras – expostas a Sul, Sudoeste e a Oeste – correspondem a 37% do território da AUBG (Figura A.8).

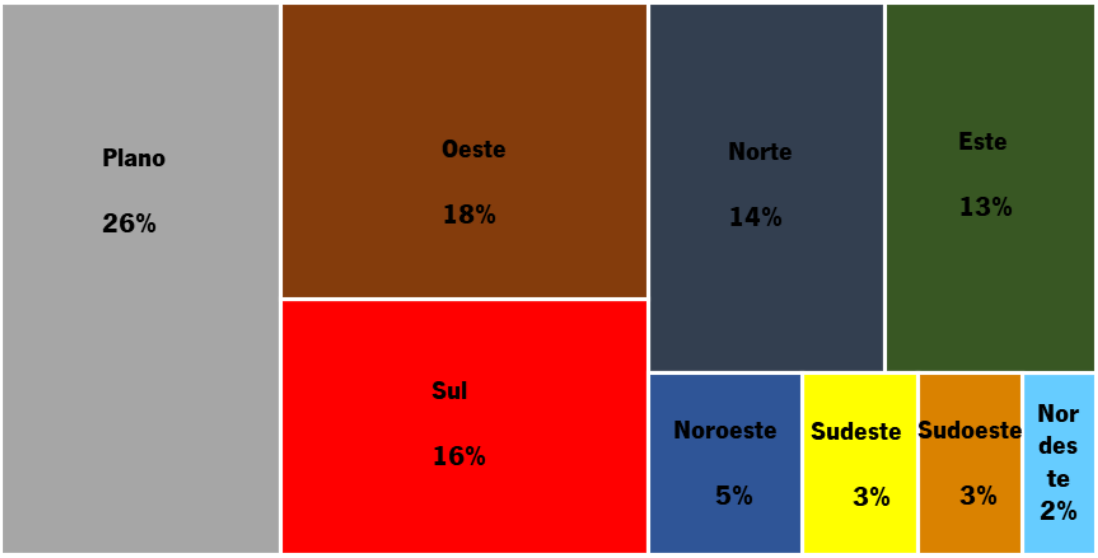


Figura A.8 – Representatividade (%) das orientações de vertente na AUBG

Os aglomerados urbanos centrais de Braga e de Guimarães exibem uma posição topográfica similar (*c.f.*, Figura A.3, Figura A.5 e Figura A.7), encontrando-se os núcleos genéticos implantados em locais aplanados, posicionado a meia encosta. Lembrando que, a localização das cidades sempre decorreu de um ato de escolha deliberado, de modo a satisfazer as necessidades de segurança (fornecida pelos locais mais elevados) e de alimentação (possibilitada pelos solos férteis das aluviões), bem como pela ligação a outras cidades (Magalhães, 1997).

Não obstante a localização da urbe ser apenas um dos muitos aspetos que determinam a sua evolução, a realidade é que esta ocorre numa relação estreita com o sítio em que está implantada, seja do ponto de vista local (*e.g.*, condicionantes decorrentes de barreiras naturais, como o relevo acidentado ou os corpos de água), seja do ponto de vista regional (*e.g.*, condicionantes do ponto de vista económico ou das acessibilidades). Presentemente, ambas as cidades se encontram limitadas – especificamente no setor Este – por um relevo proeminente, os Três Sacromontes no caso de Braga, e o Monte da Penha no de Guimarães

Contexto Climático Regional

O clima da área de estudo é condicionado pelos níveis planetário, consubstanciada na divisão climática global (Strahler e Strahler, 2000), e regional, na base da divisão climática do território português (Daveau, 1985). Estas escalas impõe o ritmo e a distribuição temporal dos principais

elementos climáticos; porém, importa desde já notar que a temperatura e o vento, sofrem importantes modificações no espaço edificado (García, 1996).

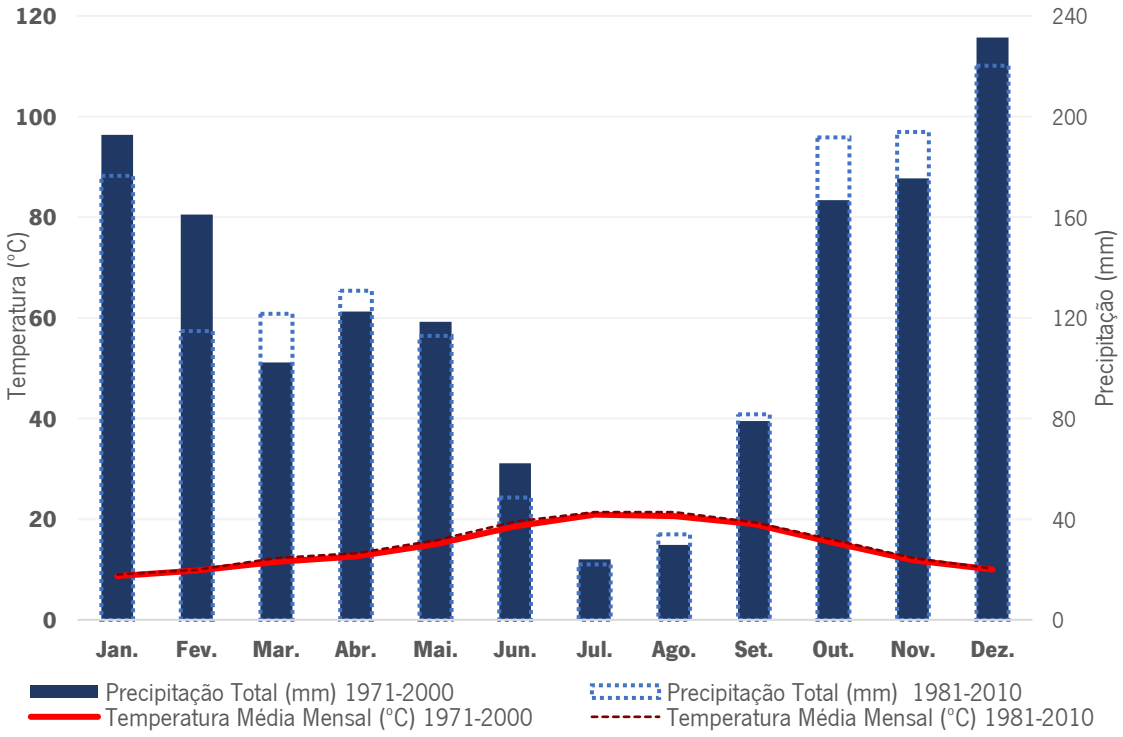
Portugal apresenta uma grande diversidade climática, apesar de não sair fora do quadro do clima mediterrâneo – *i.e.,* ritmo anual que opõe um verão quente e seco a uma estação fresca com chuvas repartidas irregularmente (Ribeiro, 1995). Durante o verão as condições climáticas do mediterrâneo dominam em quase toda a Península Ibérica: temperatura elevada, luminosidade forte, grande insolação e carência de chuvas. Sem embargo, no Noroeste de Portugal, onde se insere os municípios de Braga e de Guimarães (Figura A.1), a duração do verão sem chuvas é curta (Mattoso *et al.*, 1997), pelo que apesar de se notar a estiagem, esta é moderada e fugaz (Ribeiro, 1995). A uniformidade climática do Minho (entenda-se o Noroeste de Portugal) provém da sua situação de anfiteatro voltado para o Oceano – o mais perfeito que existe em Portugal, segundo Ribeiro (1995, 1998) –, pelo que se encontra diretamente exposto à trajetória geral das depressões vindas de Ocidente, que trazem as chuvas e regularizam o clima.

No contexto da divisão climática proposta por Daveau (1985), os municípios de Braga e de Guimarães inserem-se região climática designada 'fachada atlântica' (abaixo dos 600-700m), visto ser influenciada pelas condições marítimas. Este tipo climático, relativamente chuvoso e caracterizado pela forte e persistente nebulosidade, apresenta alguns dias de forte calor ou de frio sensível, que desaparecem sob a ação da brisa do mar no verão ou das massas de ar oceânico. Ao nível dos regimes térmicos existentes em Portugal – baseados na intensidade e frequência dos extremos médios intra-anuais – o território em estudo apresenta verões moderados e invernos frescos, pois a temperatura máxima média do mês mais quente é de 23-29°C, e ocorrem entre 20 a 100 dias com temperaturas superiores a 25°C. Por sua vez, no inverno a temperatura média do mês mais frio é de 2-4°C, ocorrendo temperaturas inferiores a 0°C entre 10/15 a 30 dias (Daveau, 1985). De facto, como salienta Ribeiro (1995), são as condições de calor e de frescura que resumem a dominância do clima neste território

De acordo com a Normal Climatológica de 1970-2010, disponibilizada pelo IPMA (2019), na Estação Climatológica de Braga[2] – a única existente no conjunto do território da AUBG –, a precipitação, apesar de ocorrer ao longo de todo o ano, concentra-se entre o final do outono e o início da primavera (Figura A.9). O mês com maior pluviosidade é janeiro (192,7mm) e, por

[2]De acordo com o IPMA (2019), a Estação Climatológica de Braga encontra-se localizada no Posto Agrário (Latitude: 41°33'N, Longitude: 08°24'W, e Altitude 190m). Os dados referentes à Normal Climatológica 1981-2010 ainda são provisórios.

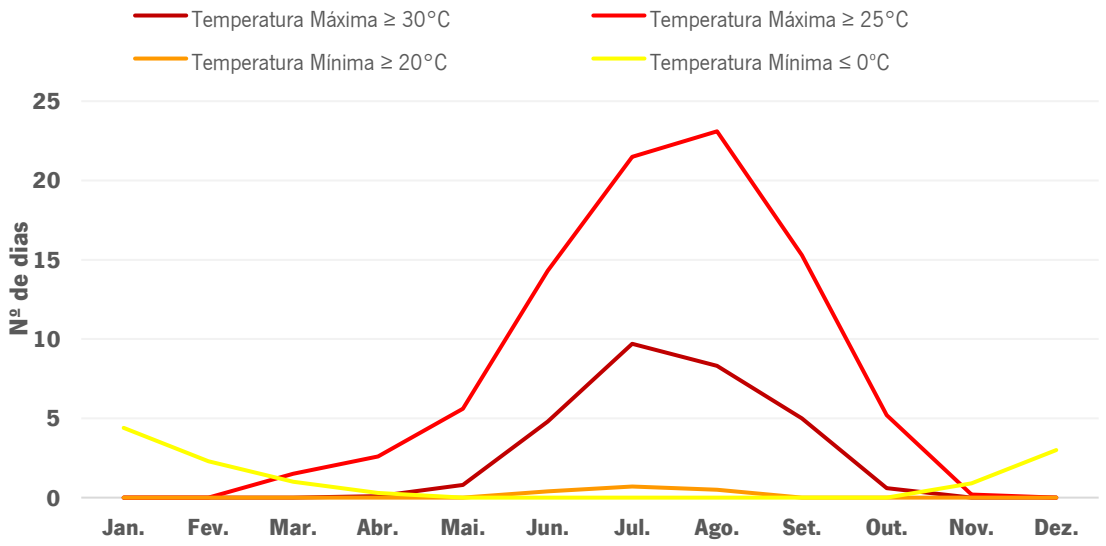
oposição, julho (24,1mm) é o mês que regista os menores quantitativos. No total do ano, a precipitação acumulada de 1465,7mm (IPMA, 2019) coloca em evidência o efeito da orografia sob a passagem de superfícies frontais (Strahler e Strahler, 2000).



Fonte: IPMA (2019).

Figura A.9 – Gráfico termopluviométrico da Estação Climatológica de Braga: perspetiva comparativa das Normais Climatológicas de 1971-2000 e 1981-2010

Relativamente à temperatura, verifica-se uma subida dos valores médios entre a primavera e o verão, e uma descida destes entre o outono e o inverno (Figura A.9). A temperatura média de janeiro (o mês mais frio) varia entre 5,1°C (de média mínima) e os 14,5°C (de média máxima), verificando-se temperaturas negativas em 4 dias do mês (Figura A.10). No conjunto do ano, totalizam-se 12 dias com temperaturas mínimas abaixo de 0°C (IPMA, 2019), concentrando-se sobretudo no inverno (Figura A.10). A temperatura média do mês mais quente (julho) é de 20,9°C, sendo a média mínima de 14,3°C e a média máxima de 27,5°C (IPMA, 2019). Durante este mês verificam-se 14 dias com temperatura máxima acima dos 25°C, sendo que em 5 dias os valores ultrapassam mesmo os 30°C (Figura A.10). No conjunto do ano, verificam-se 90 dias com temperaturas máximas superiores a 25°C, sendo que em 30 dias ultrapassam os valores de 30°C. Por sua vez, as noites tropicais – *i.e.*, temperatura mínima acima dos 20°C – ocorrem nos meses de verão (Figura A.10), ainda que, a sua representatividade seja residual (Figura A.10).



Fonte: IPMA (2019).

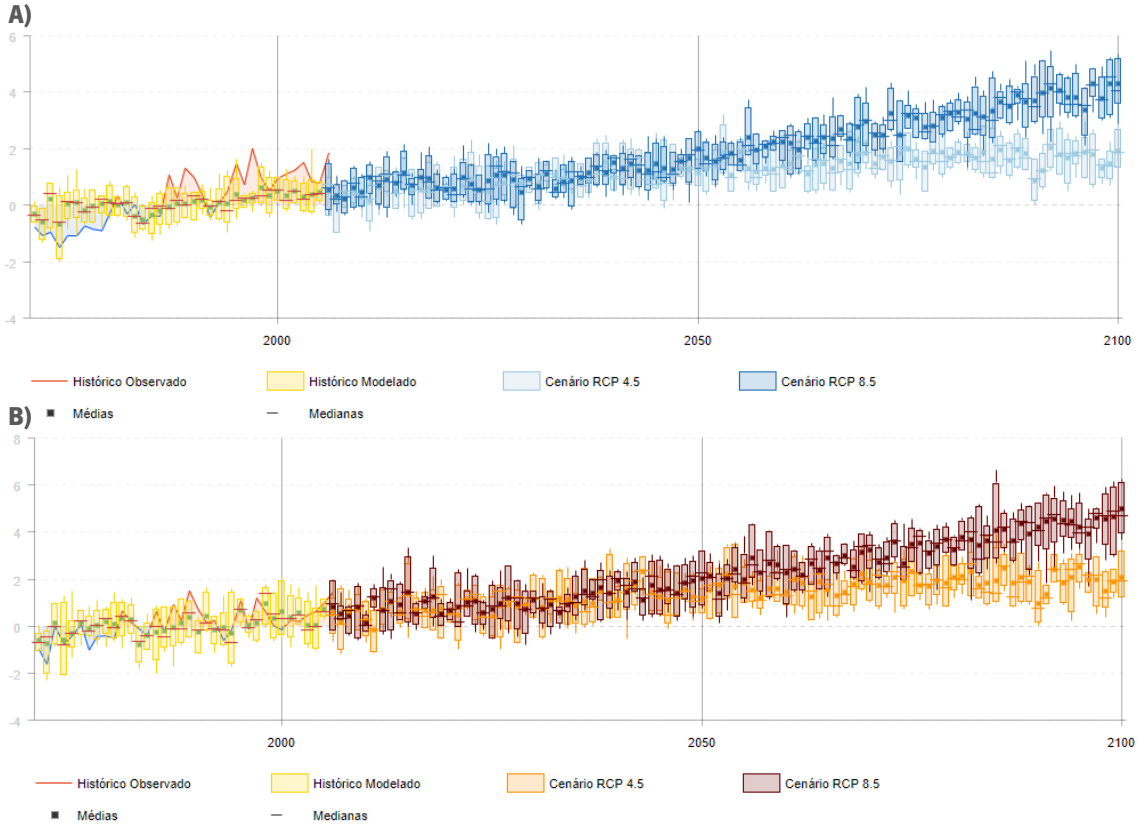
Figura A.10 – Número de dias com temperatura máxima superior a 25°C e a 30°C e temperatura mínima superior a 20°C e inferior a 0°C na Estação Climatológica de Braga (1971-2000)

Focando a análise numa perspetiva comparativa entre os valores da Normal Climatológica 1971-2000 e a Normal 1981-2010 (ainda com dados provisórios) constata-se um incremento dos valores da temperatura média em todos os meses do ano, sendo este aumento mais notório nos meses de junho (+0,9°C), março (+0,8°C) e agosto (+0,8°C). No que concerne à precipitação verifica-se uma redução nos quantitativos anuais (–17,1mm); porém, o que sobressai é a modificação na sua repartição temporal, pois diminui nos meses de janeiro (-16,3mm), fevereiro (-46,2mm), maio (-5,6), junho (-13,6), julho (–2,1) e dezembro (11,2) e aumenta nos restantes seis. Deste modo, verifica-se um aumento da precipitação no final do verão e no outono, uma redução clara durante o inverno, porém volta a aumentar na primavera, para diminuir novamente entre o final desta e o início do verão (Figura A.9).

A este contexto de variabilidade climática acresce o cenário de alterações climáticas, cujas previsões do IPCC (2013; 2018) apontam (no caso específico da Europa e do Mediterrâneo) para um aumento da temperatura do ar entre 0,6°C e 4°C (no cenário RCP 4.5[3]), bem como para o

[3] De acordo com o IPCC (2013), os cenários RCP – *Representative Concentration Pathways* (ou Trajetórias Representativas das Concentrações) – referem-se à porção dos patamares de concentração que se prolongam até 2100, para os quais os modelos de avaliação integrada produzem cenários de emissões correspondentes. O RCP4.5 corresponde a um patamar de estabilização intermédio, em que o forçamento radiativo está estabilizado a aproximadamente 4,5Wm–2 e 6,0Wm–2 após 2100 (o RCP correspondente assume emissões constantes após 2150). Neste cenário, menos gravoso, evolução socioeconómica controla o aumento das emissões com gases de efeito de estufa, que deverão atingir o máximo de concentração em meados do século XXI. Por sua vez, o RCP8.5 é um patamar elevado para cada forçamento radiativo, superior a 8,5 Wm–2 em 2100, que continua a aumentar durante algum tempo (o RCP correspondente assume emissões constantes após 2250). Em contraste, este cenário, mais gravoso, representa um crescimento contínuo nas emissões durante o século XXI.

decréscimo da precipitação (mas com episódios mais frequentes de chuva intensa). Estas projeções enunciadas à escala europeia (EEA, 2012a; 2016), e à escala nacional, por via do Programa Nacional da Política do Ordenamento do Território (PNPOT) de 2019 (aprovado com a Lei n.º 99/2019, de 5 de setembro de 2019), são confirmadas à escala local, pelas previsões para a Estação Climatológica de Braga, disponibilizadas no Portal do Clima[4]. Efetivamente, estes dados corroboram o cenário de subida da temperatura do ar, sendo este incremento sentido tanto ao nível dos valores mínimos, como dos máximos (Figura A.11).



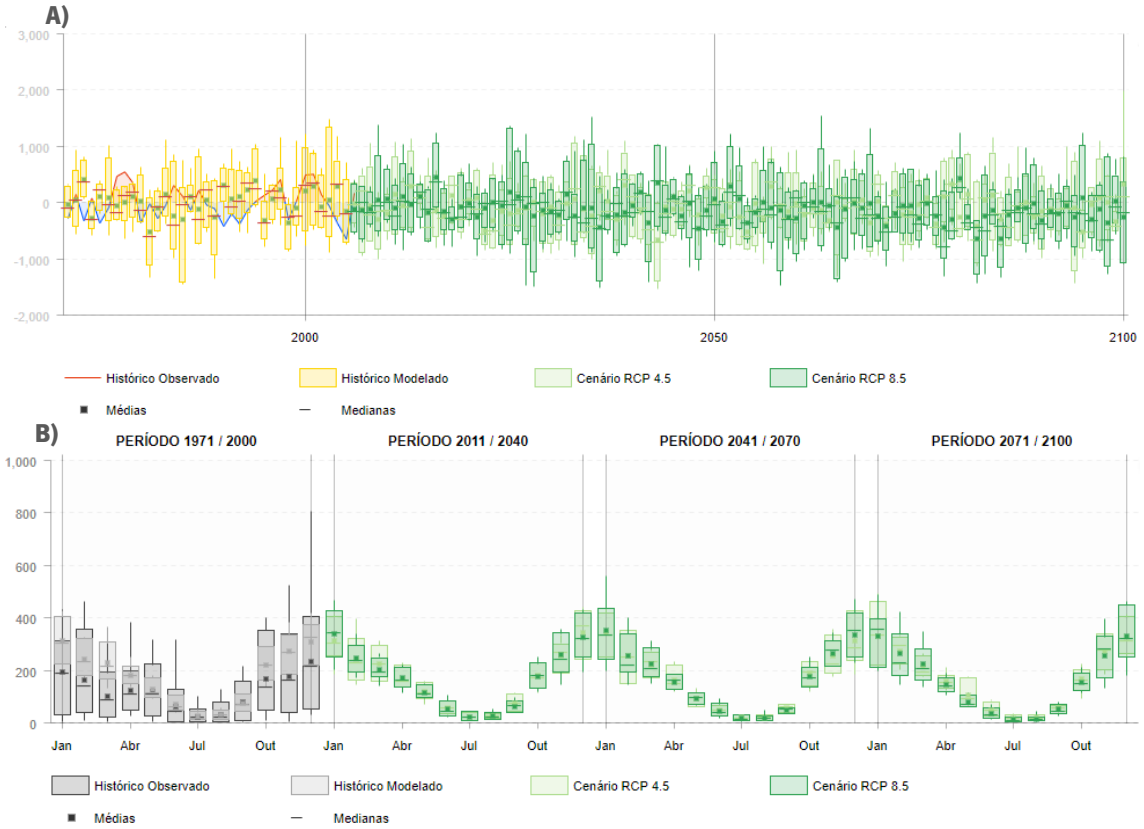
A) Anomalia da média anual da temperatura mínima; B) Anomalia da média anual da temperatura máxima.
Fonte: Portal do Clima (2015).

Figura A.11 – Previsões da anomalia da média anual da temperatura mínima e máxima na Estação Climatológica de Braga até 2100

À tendência de incremento da temperatura do ar, somam-se ainda outras situações que potenciam o calor extremo (PNPOT, 2018), como o aumento: (i) do número de dias com temperatura muito elevada (*i.e.*, temperaturas máximas superiores a 35°C); (ii) das noites tropicais (*i.e.*, dias com temperaturas mínimas superiores a 20°C); e, (iii) da frequência e duração das ondas de calor.

[4] O Portal do Clima foi desenvolvido no âmbito programa 'AdaPT', destinado a apoiar atividades sobre a Adaptação à Mudança Climática em Portugal. O portal do Clima pode ser consultado em portaldoclima.pt.

Relativamente à precipitação as projeções não evidenciam uma tendência tão nítida como sucede com a temperatura (*c.f.*, Figura A.11 e Figura A.12-A), pois a incerteza associada é substancialmente maior (PNPOT, 2018). Sem embargo, atente-se que as diminuições apontadas – particularmente preocupantes nos meses de verão – se vão agravando no decorrer do tempo (Figura A.12-B). Efetivamente, a redução das disponibilidades hídricas potencia ainda mais os efeitos do calor extremo, prolongando os meses secos, que se repercute diretamente na diminuição da humidade do solo e no vigor da vegetação.



A) Anomalia da média anual da precipitação; B) Média mensal da precipitação.
Fonte: Portal do Clima (2015).

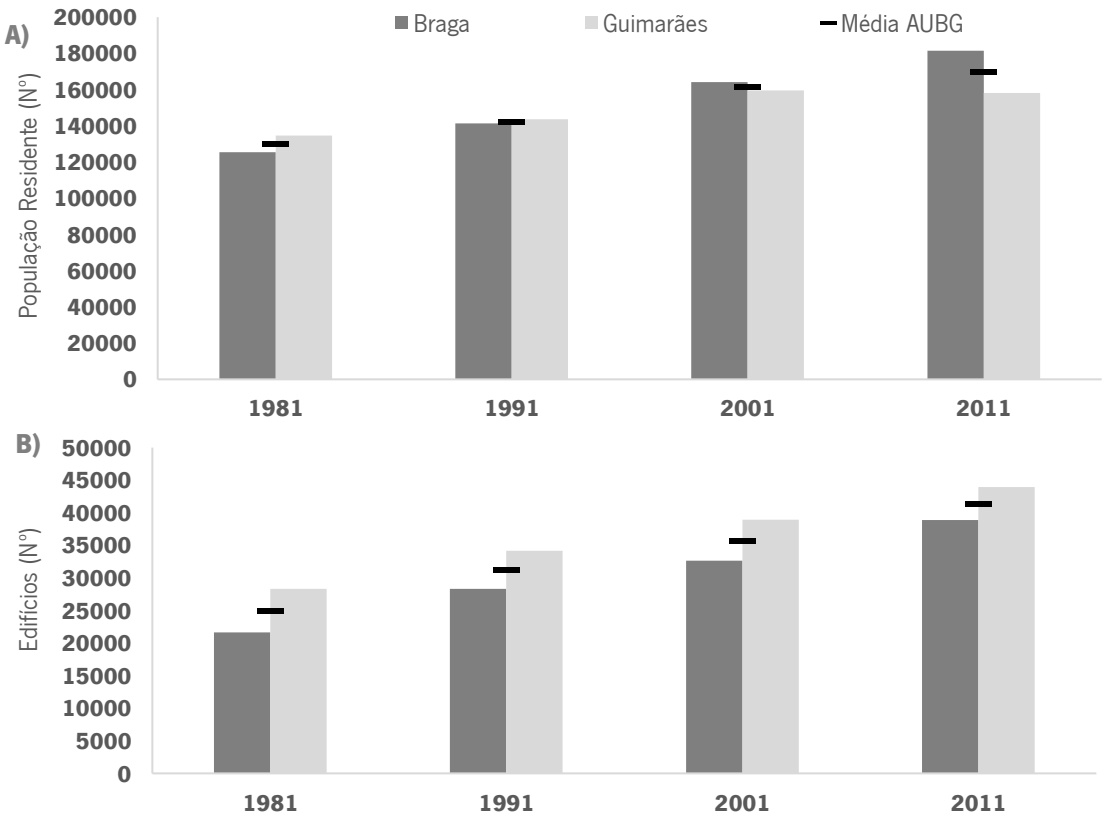
Figura A.12 – Previsões da anomalia da média anual da precipitação e média mensal na Estação Climatológica de Braga até 2100

É importante frisar que as alterações climáticas não são um fenómeno com manifestação potencial futura, pois o clima atual já apresenta diferenças face ao passado recente – atente-se à perspetiva comparativa entre os valores da Normal Climatológica 1971-2000 e a Normal 1981-2010 (Figura A.9). Esta informação é vital na delineação de medidas de ação climática, particularmente nas áreas urbanas, onde a estas alterações se soma o efeito da ilha de calor urbano (PNPOT, 2018). À escala municipal, esta necessidade repercutiu-se na elaboração da Estratégia Municipal de

Adaptação às Alterações Climáticas, delineadas em Braga (EMAAC-Braga, 2016) e em Guimarães (EMAAC-Guimarães, 2016) desde 2016, no âmbito do projeto 'ClimAdaPT.Local'.

Caracterização Sociodemográfica

Na AUBG entre 1981 e 2011 verifica-se um crescimento linear da população residente (INE, 1981, 1991, 2001 e 2011). Contudo, quando considerados os municípios de modo individual, a evolução é deveras desigual, sendo os aumentos claramente mais expressivos em Braga. De facto, Guimarães regista inclusive um decréscimo da população entre 2001 e 2011. Assim, apesar de Braga partir em 1981 de um contingente populacional inferior ao de Guimarães, decorrente de um intenso processo de crescimento populacional não só se aproxima deste, como o ultrapassa em 2001, consolidando essa supremacia em 2011 (Figura A.13-A).



A) População Residente; B) Edifícios.

Fonte: INE (1981, 1991, 2001 e 2011).

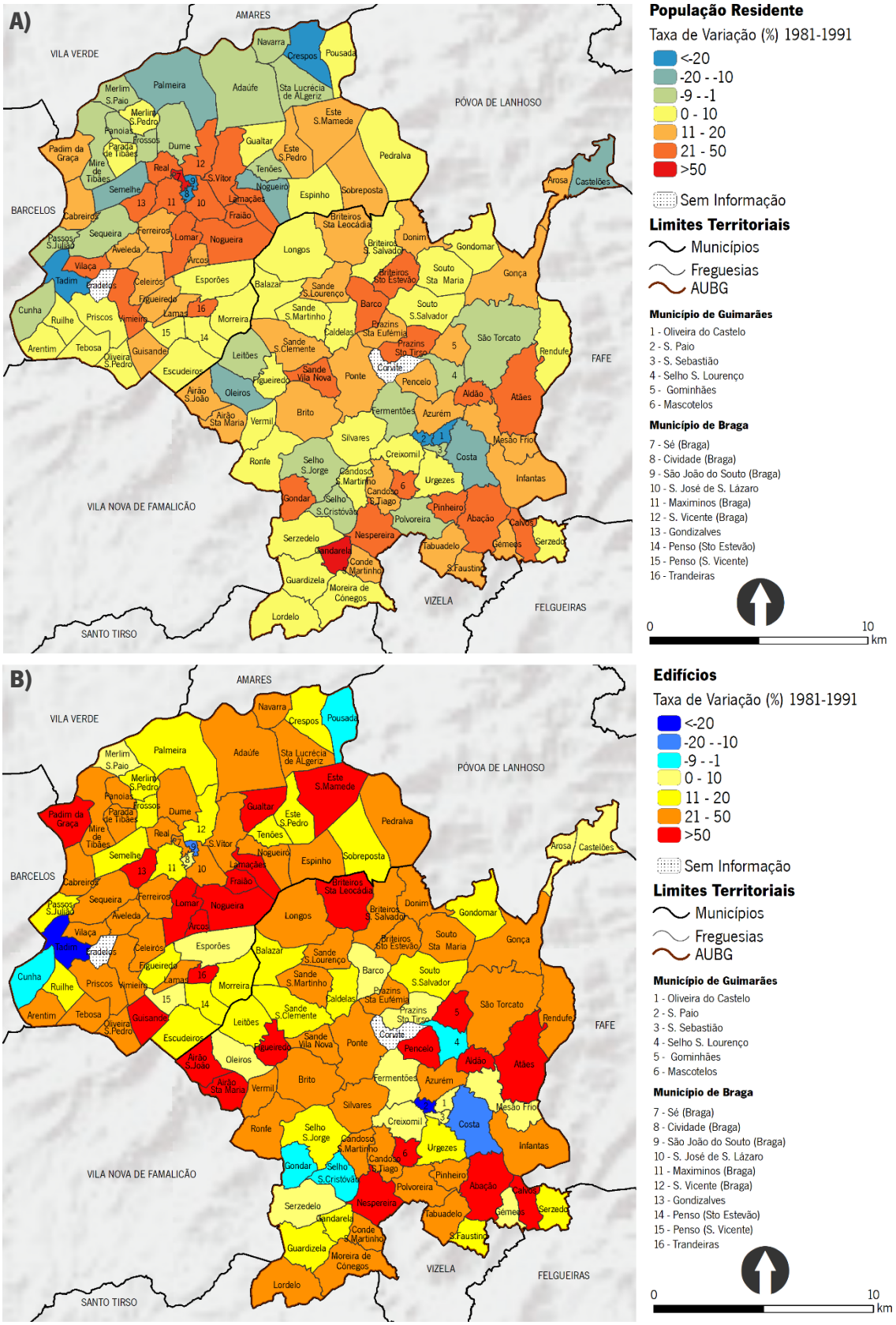
Figura A.13 – Evolução (nº) da população residente e do edificado nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1981 e 2011

Em relação ao edificado, ambos os municípios registam um crescimento linear entre 1981 e 2011, e, contrariamente ao que sucede com a população, este assume em todos os momentos censitários maior expressão em Guimarães do que em Braga (Figura A.13-B). Esta situação deve-

se, por um lado, à maior dimensão física do território vimaranense; e, por outro, à maior verticalização do edificado em Braga, que suporta um maior contingente populacional em menor número de edifícios.

Para um exame mais detalhado da evolução da população, adota-se a freguesia como escala de análise – por estas, diferentemente do que sucede com as sucede com as subsecções, possibilitarem uma cartografia uniforme ao longo dos quatro momentos Censitários abarcados. Não obstante, importa realçar que à escala intraconcelhia se verificaram algumas mudanças importantes: (i) em Braga, a freguesia de Fradelos apenas foi criada em 1989, pelo que não se dispões de informação para 1981; (ii) em Guimarães as mudanças são mais profundas, pois em 1999 verifica-se a desagregação de algumas freguesias que passaram integrar o município de Vizela (cujos valores de residentes e de edificados foram devidamente subtraídos na análise anterior), bem como a criação de uma nova freguesia – Corvite –, para a qual apenas existem dados dos Censos de 2011. A estas modificações somam-se as decorrentes da reorganização administrativa do território das freguesias, aprovada com a Lei n.º 11-A/2013, de 28 de janeiro – que se optou por não considerar nesta análise em vista de uma maior desagregação espacial dos dados fornecidos nos Censos.

Entre 1981 e 1991 é evidente a perda de população no centro histórico de Braga (nas freguesias de Cividade e São João do Souto), assim como no de Guimarães (nas freguesias de Oliveira do Castelo e São Paio). Ainda assim, em Braga é notório o incremento populacional na coroa envolvente às freguesias centrais, com particular destaque para a da Sé; ao passo que, em Guimarães, este crescimento é muito mais disperso no território, pois, como sublinha Pinho (1995), este foi o único município do Norte onde o aumento da população no exterior do núcleo central foi mais importante do que o verificado no interior (*vide* Figura A.14-A). Neste cenário, se em Guimarães não se discerne um modelo de ocupação territorial (ou pelo menos não de modo direto), Braga exibe um padrão dicotómico marcado pelo decréscimo populacional nas freguesias limítrofes com os municípios de Amares, Vila Verde e Barcelos e um acentuado crescimento no restante território, claramente irradiado a partir do núcleo central (Figura A.14-A).



A) População Residente; B) Edifícios.

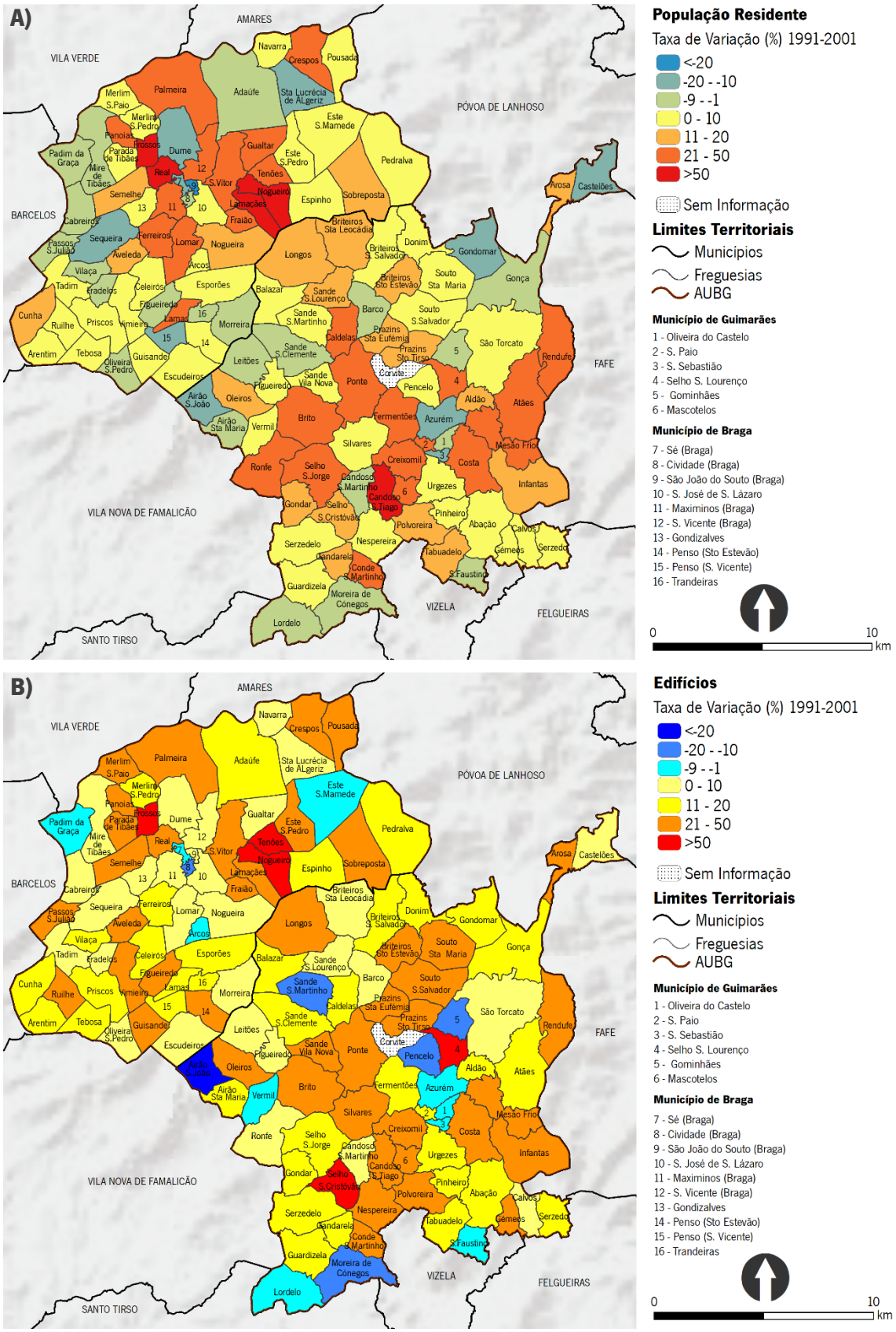
Fonte: INE (1981 e 1991).

Figura A.14 – Taxa de variação (%) da população residente e do edificado nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1981 e 1991

Ao nível do edificado, as perdas no centro urbano entre 1981 e 1991 apenas são transversais às freguesias de São João do Souto em Braga, e de São Paio em Guimarães. A par destas, também se regista uma diminuição do número de edifícios nas freguesias bracarenses de Tadim, Cunha e Pousada e nas vimaranenses da Costa, Selho São Lourenço, Selho São Cristóvão e Gondar (Figura A.14-B). De entre estas, apenas Pousada (em Braga) e Gondar (em Guimarães) registam um aumento da população neste intervalo, pois as restantes acumulam as perdas de população e de edificado (Figura A.14). Em sentido oposto, as freguesias com os ganhos de edificado mais acentuados coincidem em termos genéricos com as que apresentam os ganhos populacionais mais elevados (Figura A.14). Com efeito, como argumentado por Pinho (1995), neste período a taxa de variação do edificado atingiu valores médios claramente superiores aos da população – facto que só é explicado pela diminuição da dimensão média dos agregados familiares.

No intervalo 1991 a 2001, as freguesias que compõem o centro histórico de Braga e de Guimarães continuam a registar um decréscimo da população – no entanto, sobressaem algumas diferenças relativamente ao decénio anterior: em Braga, as perdas estendem-se à freguesia da Sé (ainda que menos acentuadas); em Guimarães, verifica-se uma alteração, pois São Sebastião regista uma diminuição da população enquanto em São Paio esta aumenta. Relativamente aos ganhos populacionais, em Braga ocorrem novamente na coroa envolvente ao centro histórico. A par disto, destacam-se ainda as freguesias de Nogueiró e de Crespos, que no intervalo anterior tinham registado uma diminuição acentuada de população. Em Guimarães, o crescimento populacional concentra-se nas freguesias adjacentes ao núcleo urbano central, assim como nas vilas, designadamente em Caldelas, São João de Ponte, Brito, Selho São Jorge, Ronfe e São Torcato (Figura A.15-A).

À semelhança do verificado na população, também ao nível do edificado se continua a denotar o abandono do centro histórico. Todavia, a redução do número de edifícios estende-se a outras freguesias, assumindo maiores proporções em Guimarães do que em Braga, designadamente nas freguesias de Airão São João, Moreira de Cónegos, Sande São Martinho, Pencelo, Gominhães, Azurém, Lordelo, Vermil e São Faustino, que na sua maioria acumulam importantes quebras populacionais. Os aumentos de edificado mais evidentes coincidem com os maiores ganhos populacionais em ambos os municípios – destacando-se a respeito desta combinação as freguesias bracarenses de Frossos e de Nogueiró (Figura A.15).



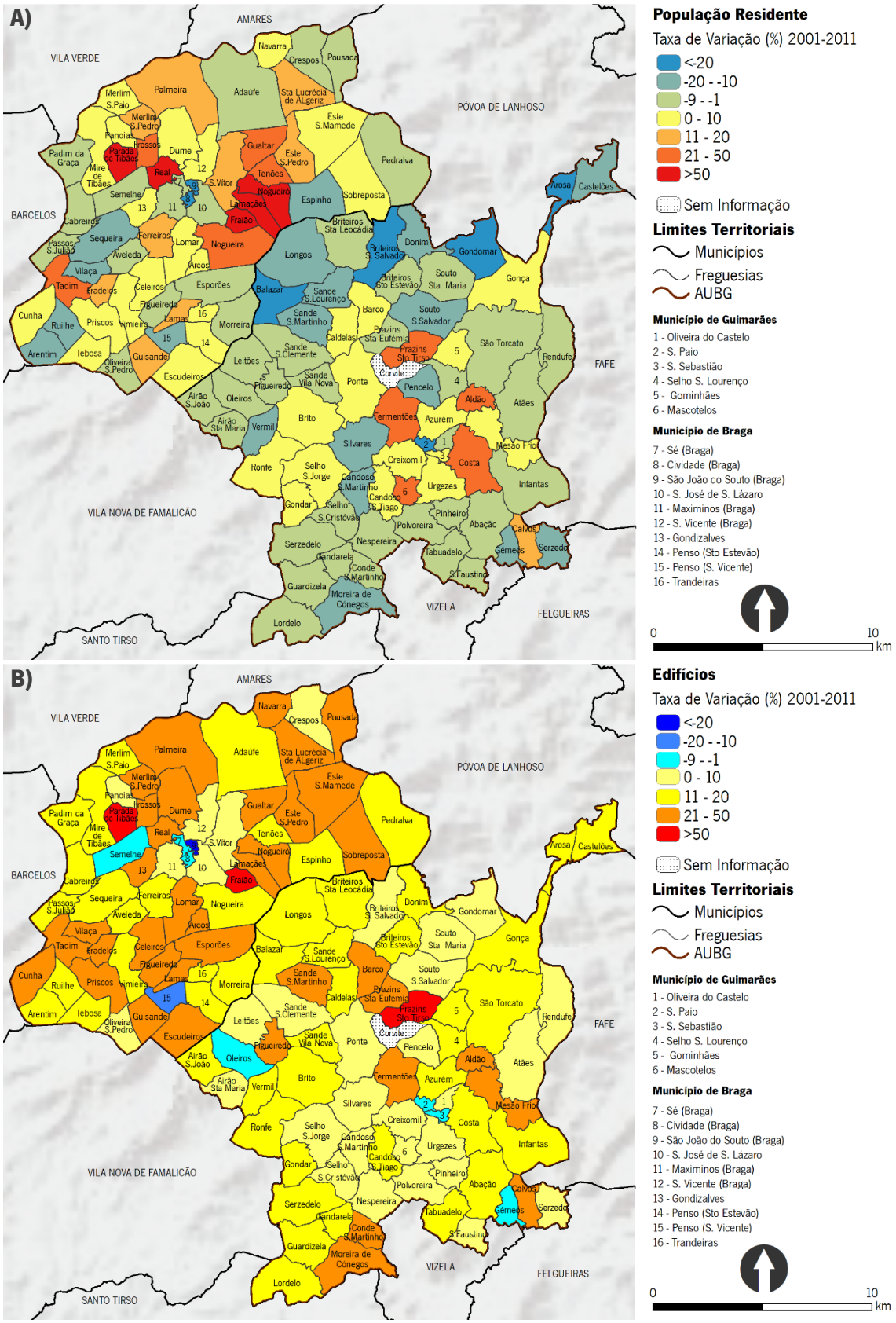
A) População Residente; B) Edifícios.

Fonte: INE (1991 e 2001).

Figura A.15 – Taxa de variação (%) da população residente e do edificado nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1991 e 2001

Volvidos 10 anos, em 2011 – os últimos Censos da População e da Habitação disponíveis – verifica-se o panorama mais díspar entre os dois municípios, como referido anteriormente. Deste modo, Braga contínua a exibir uma trajetória populacional positiva – destacando-se as freguesias de Parada de Tibães, Real, Nogueiró, Lamaçães e Fraião; enquanto em Guimarães a tendência se inverte, registando-se um decréscimo populacional generalizado – constituindo as freguesias de Prazins Santo Tirso, Fermentões, Aldão, Costa e Mascotelos as exceções mais visíveis (Figura A.16-A). Este cenário é transversal ao edificado, ainda que as perdas sejam significativamente inferiores, pois na realidade o que se verifica é uma estagnação da construção (Figura A.16). As exceções mais salientes: (i) do ponto de vista da diminuição ocorrem, no caso de Braga, nas freguesias da Sé, Cividade, São João do Souto, Semelhe e Penso Santo Estevão, no de Guimarães em Oleiros, Gémeos, São Paio e São Sebastião; e, (ii) do ponto de vista dos aumentos, sobressaem as freguesias de Parada de Tibães e Fraião no concelho de Braga, e Prazins Santo Tirso no de Guimarães (Figura A.16-B).

Numa perspetiva diacrónica constata-se que as freguesias do núcleo histórico de Braga (*i.e.*, Sé, Cividade e São João do Souto) e de Guimarães (*i.e.,* Oliveira do Castelo, São Paio e São Sebastião) ficam marcadas nas últimas décadas por um acentuado decréscimo populacional, bem como do número de edifícios (ainda que este seja consideravelmente inferior, dada a verticalização do edificado). No município de Guimarães, de referenciar a freguesia de Castelões – localizada no extremo Norte do município, na fronteira com a Póvoa de Lanhoso e com Fafe – pelas sucessivas perdas de população, ainda que o edificado se mantenha estável (*c.f.,* Figura A.14, Figura A.15 e Figura A.16).

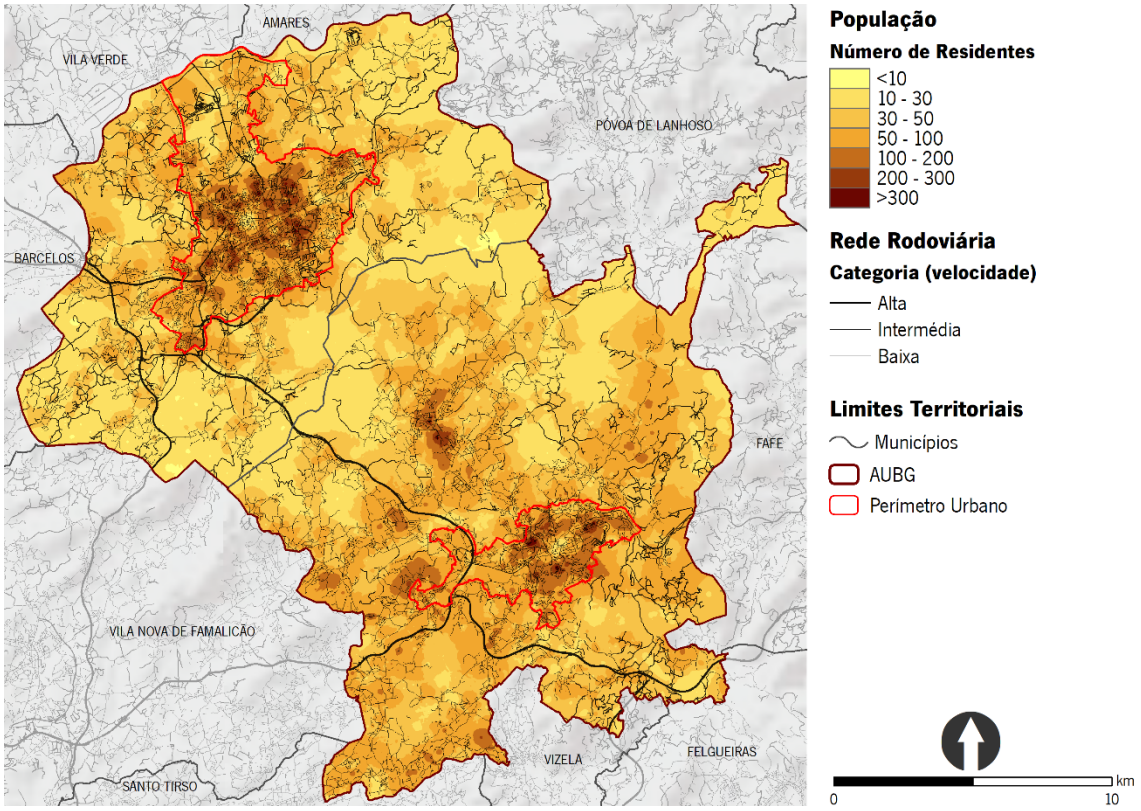


A) População Residente; B) Edifícios.

Fonte: INE (2001 e 2011).

Figura A.16 – Taxa de variação (%) da população residente e do edificado nos municípios de Braga e de Guimarães entre 2001 e 2011

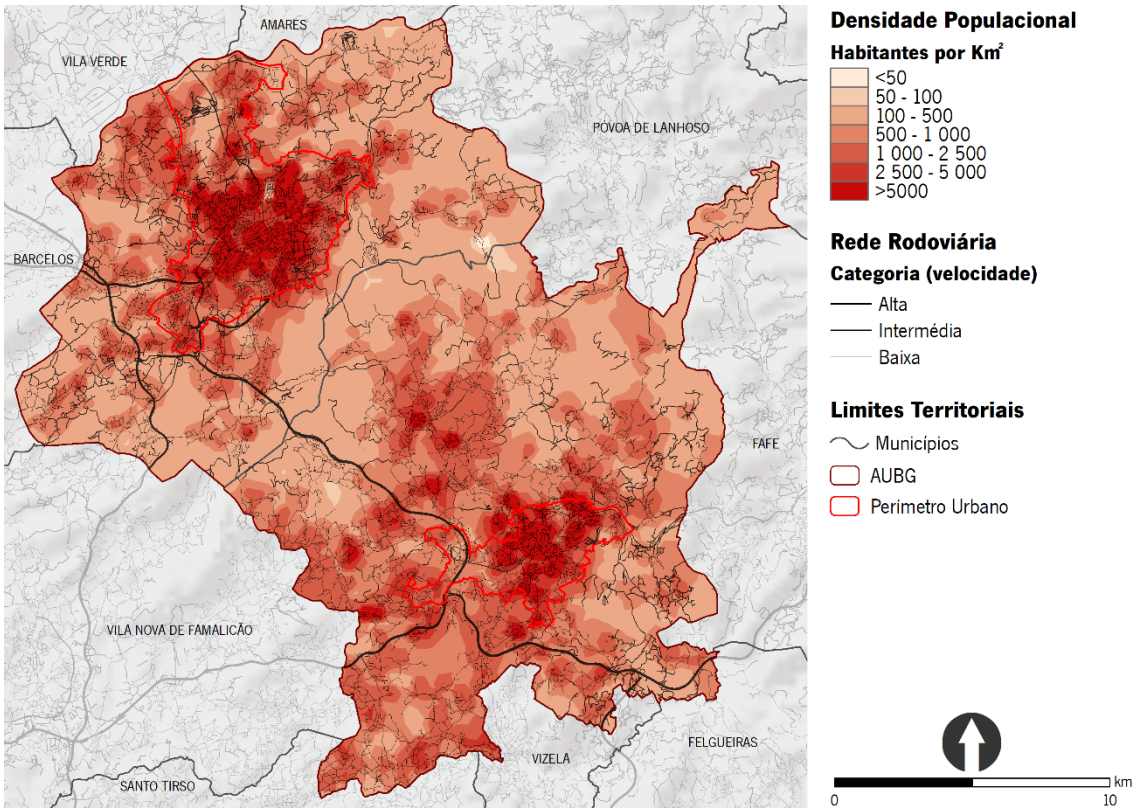
As dinâmicas populacionais verificadas nas últimas décadas consubstanciaram-se num 'esvaziamento' do centro histórico de Braga e de Guimarães (Figura A.18), cada vez mais entregue às atividades terciárias – *i.e.*, comércio, restauração e serviços. O aumento da população nos espaços rurais (ou simplesmente mais periféricos), por comparação com a sua diminuição no núcleo central, é designado por Fernandes *et al.* (2016) como contraurbanização, ainda que, na realidade a situação seja bem mais complexa como alerta Domingues (2008).



Fonte: INE (2011).

Figura A.17 – População residente (nº) nos municípios de Braga e de Guimarães em 2011

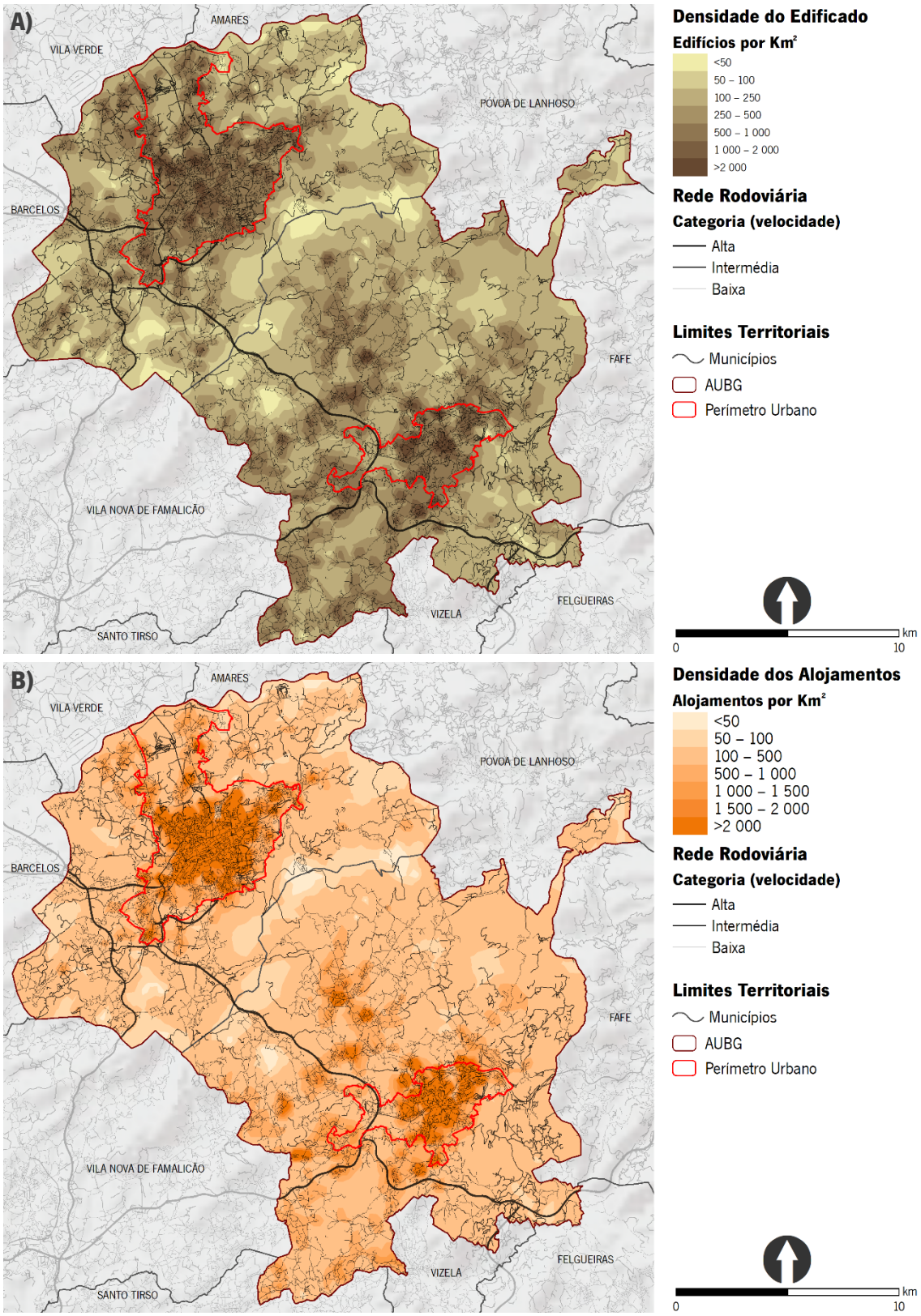
Sem embargo ao despovoamento do núcleo primaz, os aglomerados centrais de Braga e de Guimarães – fruto da colmatação dos espaços intersticiais e a subida sistemática das cérceas – continuam a constituir importantes *hotspots* de população (*i.e.*, concentração de habitantes por km²). Esta situação é mais evidente em Braga (Portas, 2005; Bandeira, 2015), pois em Guimarães verificam-se igualmente densidades muito elevadas no exterior do perímetro urbano (Figura A.18), nomeadamente nas freguesias com o estatuto de vila, que desde sempre funcionaram como âncoras na fixação da população.



Fonte: INE (2011).

Figura A.18 – Densidade populacional (hab./km²) nos municípios de Braga e de Guimarães em 2011

O crescimento urbano de Braga e de Guimarães, consubstanciado no edificado e na rede rodoviária (Figura A.19-A), ocorreu num quadro de continuidade do modelo territorial secularmente instalado – *i.e.*, um povoamento difuso, mas denso (Ribeiro, 1994). Em Guimarães, os efeitos de polarização residencial do núcleo urbano central são mais reduzidos do que em Braga, evidenciando que a sede de concelho não funciona como (o único) ponto de ancoragem da população (Figura A.19-B). Neste território coexistem núcleos muito antigos com outros mais recentes, decorrentes da combinação de lógicas de dispersão e de aglomeração, dificilmente tipificáveis. Deste modo, apesar de Braga e de Guimarães se inserirem no contexto comum do Noroeste de Portugal (ou seja, no Minho), sobressai o carácter individual de cada município – cujas especificidades apenas são plenamente entendíveis quando descortinadas as vicissitudes históricas e as opções da política municipal de ordenamento do território (concretizadas por via do Plano Diretor Municipal - PDM), que conduziram ao cenário atual, pelo que este assunto será retomado com maior detalhe.



A) Densidade dos Edifícios; B) Densidade dos Alojamentos.

Fonte: INE (2011).

Figura A.19 – Densidade do edificado (edf./km²) e dos alojamentos (aloj./km²) nos municípios de Braga e de Guimarães em 2011



I.

ESTUDOS URBANOS E DETEÇÃO REMOTA

“O recurso a uma espécie de constante reflexão sobre o mundo e os homens, a instrumentação científica variada, o hábito de «pensar em conjunto» os elementos de um problema, confere ao geógrafo um lugar proeminente entre os construtores do futuro”.

|Orlando Ribeiro, 1989a, p.108|

Parte I – ESTUDOS URBANOS E DETEÇÃO REMOTA

"Remote Sensing allows retrospective viewing of Earth's surface, and time-series of remote sensor data can be used to develop a historical perspective of an urban attribute or process which can help examine significant human or natural processes that act over a long time period".
|Yang, 2011, p.6|

CONTEXTUALIZAÇÃO

A Geografia, considerando a natureza do seu objeto de estudo (*i.e.*, uma porção da superfície da Terra), é a ciência dos lugares, onde se sobrepõem tanto fatores naturais como humanos (Pimenta, 2012), pelo que tradicionalmente se divide em dois ramos (Ribeiro, 1989b): a Geografia Física, mais ligada aos fenómenos naturais, e a Geografia Humana, centrada nas marcas que a sociedade imprime ao território (Claval, 1987). Na prática, esta cisão constitui uma falsa questão, uma vez que foi precisamente na ponte lançada entre estas duas faces que a Geografia assentou desde a sua fundação (Ribeiro, 1989b); com efeito, a sua principal mais-valia reside no facto de 'pensar em conjunto' (como ensinava Ratzel) e não nos diversos fatores de modo isolado (Ribeiro, 1989b). À Geografia cabe o papel de sintetizar a complexidade territorial (cujo pináculo ocorre nas áreas urbanas), por via da descrição dos padrões e dos processos geoespaciais (Bhatta, 2010), sempre que necessário com auxílio de cartografia (Ribeiro, 2012). Desmultiplicados nas mais diversas temáticas, os estudos geográficos focam-se não só na distribuição espacial dos fenómenos, como também na sua evolução temporal (Bhatta, 2010) – porém, a abordagem diacrónica do território desde sempre foi limitada pela falta informação. A introdução de dados multitemporais (e multiespectrais) adquiridos pelos satélites, e processados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), atenuaram significativamente o problema da falta de dados espaciotemporais contínuos – particularmente necessários nas áreas urbanas, onde se denotam tanto as mudanças mais bruscas como aceleradas. A interligação crescente da Deteção Remota e dos SIG com os diversos domínios da Geografia, entre os quais se destacam a Climatologia Urbana e Geografia Urbana, impelem a uma abordagem integrada destas temáticas, atendendo às mudanças metodológicas que viabilizam no estudo espaciotemporal das áreas urbanas. Residindo o principal aporte desta investigação precisamente nas interações que se estabelecem entre a Geografa Humana e a Geografia Física, entre a Deteção Remota e os SIG, e de todos estes entre si.

I – 1. FUNDAMENTOS DA DETEÇÃO REMOTA

> "*Remote sensing is a tool or technique that uses sophisticated sensors to measure the amount of electromagnetic energy exiting an object or geographic area from a distance and then extracting valuable information from the data using mathematically and statistically based algorithms. It functions in harmony with other spatial data-collection techniques or tools of the mapping sciences, including cartography and GIS*".
> |Bhatta, 2010, p.50|

Deteção Remota tem origem no termo *Remote Sensing,* utilizado pela primeira vez nos Estados Unidos da América, na década de sessenta do século XX, para designar qualquer meio remoto de observação (Chuvieco, 1995), pelo que englobava os campos da fotogrametria e fotointerpretação (Rocha e Sousa, 2007), principal meio de aquisição de informação à data. Em Portugal assume também a designação de Teledeteção, mais próxima dos vocábulos castelhano *Teledetección* e francês *Télédétection*.

Em sentido lato, a Deteção Remota pode ser definida como o conjunto de técnicas que permitem obter informação sobre um determinado objeto, através da utilização de um instrumento de medição que não está em contacto direto com esse objeto (García, 1996; Bhatta, 2013; Lira *et al.*, 2016). Para vários autores (*e.g.*, Chuvieco, 1995, Passos, 2016a), engloba não só a aquisição dos dados (*e.g.*, imagem), como também o seu tratamento e interpretação, com vista a uma finalidade. Nas ciências geoespaciais – e no âmbito específico deste trabalho – consiste na observação da Terra, através de sensores instalados em satélites que se encontram em órbita no espaço. De facto, hoje em dia, a Deteção Remota quando considerada nesta aceção assume também a designação de Observação da Terra (Bhatta, 2010).

Profundamente dependente do contexto tecnológico do momento, o domínio da Deteção Remota procede antes de mais do conhecimento de bases teóricas da relação entre a radiação eletromagnética e a matéria – condição *sine qua non* para a correta interpretação dos dados (Passos, 2016a).

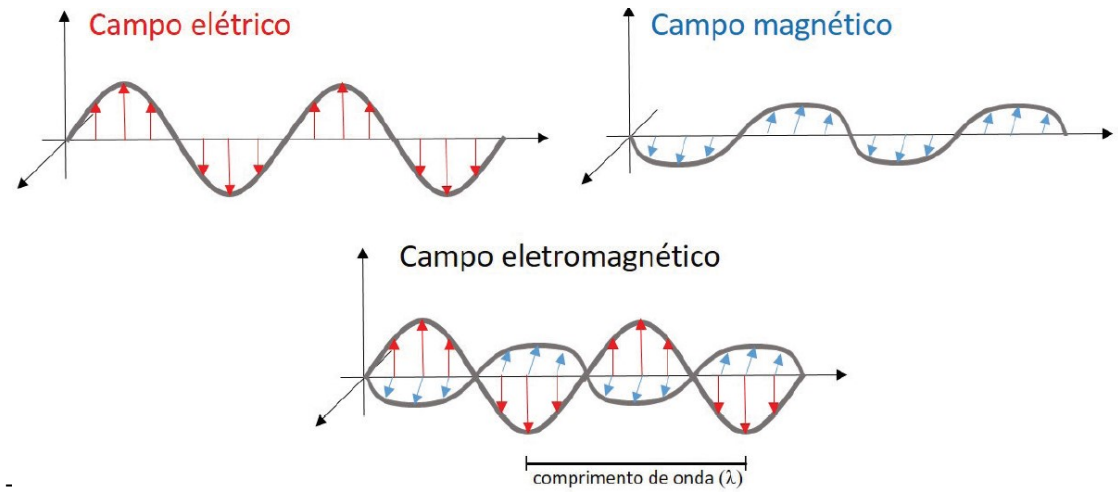
I – 1.1. Radiação Eletromagnética e Espectro Eletromagnético

A aquisição de imagens por Deteção Remota baseia-se no facto de os sensores dos satélites registarem a radiação eletromagnética que os objetos da superfície terrestre refletem e emitem,

sendo que a intensidade e composição espectral desta radiação depende da sua temperatura (Fonseca e Fernandes, 2004). Assim sendo, a partir dos princípios físicos que regem a radiação eletromagnética é possível inferir características físicas e químicas das diferentes superfícies terrestres e converter os dados captados pelos sensores em informação útil para o seu estudo.

O processo da aquisição de imagens por Deteção Remota depende da presença da seguinte trilogia: uma fonte emissora de energia, um objeto e um sensor–recetor (Rocha e Sousa, 2007). O tipo de emissor permite dividir os sistemas de Deteção Remota em duas categorias: os passivos, que se limitam a captar a radiação eletromagnética refletida ou emitida pelas superfícies; e, os ativos, equipados com um dispositivo que produz um sinal que ilumina determinado alvo (Fonseca e Fernandes, 2004), designadamente: (i) o *Radio Detection and Ranging* (RADAR), (ii) o *Light Detection and Ranging* (LiDAR) e (iii) o *Sound Navigation and Ranging* (SONAR). A maior parte dos satélites enquadra-se na categoria dos emissores passivos (Khoi e Munthali, 2012).

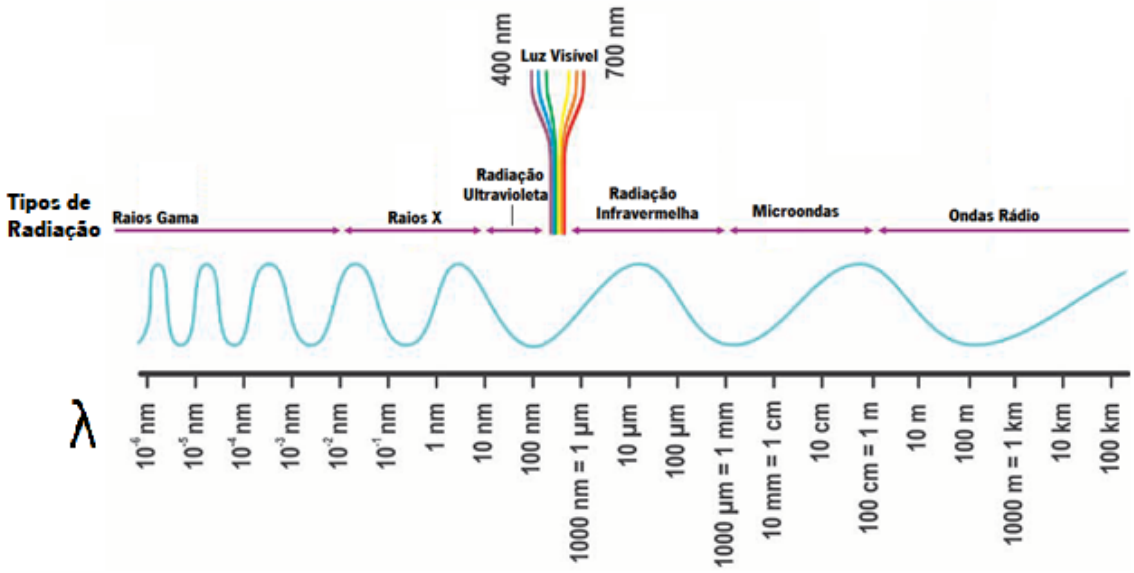
A radiação eletromagnética é uma forma de energia que se transmite sob duas componentes fundamentais: o campo elétrico e o campo magnético (Lira *et al.*, 2016). Estas duas componentes constituem o campo eletromagnético, comportando-se essencialmente como ondas sinusoidais perpendiculares entre si e relativamente à direção geral do movimento do campo eletromagnético (Figura I-1), que se propagam à velocidade da luz. A radiação eletromagnética caracteriza-se pelas propriedades físicas das ondas, nomeadamente o comprimento de onda (*i.e.*, distância entre pontos homólogos de duas ondas consecutivas, cuja unidade de medida é o metro) e a frequência (*i.e.*, número de oscilações por segundo, expresso em hertz), organizadas no espectro eletromagnético (Lira *et al.*, 2016).



Fonte: Lira *et al.* (2016).

Figura I-1 – Campo eletromagnético

O intervalo de frequências da radiação eletromagnética, geralmente designado por espectro eletromagnético (Figura I-2), inclui desde ondas com alta frequência e comprimento muito curto, os raios gama, até ondas de baixa frequência e extremamente longas, as ondas rádio (Fonseca e Fernandes, 2004; Lira *et al.*, 2004). Em Deteção Remota, a radiação eletromagnética é normalmente caracterizada pela posição dos comprimentos de onda (λ) no espectro eletromagnético (Rocha e Sosa, 2007; Sousa e Silva, 2011), sendo este subdivido em função de grandes tipos de radiação – *e.g.*, zona do visível, do infravermelho próximo, infravermelho médio e do infravermelho térmico (Figura I-2).



Fonte: Adaptado de García *et al.* (2012).

Figura I-2 – Espectro eletromagnético

Os sensores além da luz visível, captam também outras bandas do espectro eletromagnético, como o infravermelho ou o ultravioleta (Bhatta, 2010). A luz visível, que constitui apenas uma pequeniníssima fração do espectro eletromagnético, estende-se desde o violeta (comprimento de onda de 0.39µm) até ao vermelho (comprimento de onda de 0.78µm). Por sua vez, o infravermelho térmico corresponde à energia emitida pelas superfícies sob a forma de calor, e não à energia refletida, como é o caso da radiação visível, pelo que as respetivas imagens podem ser adquiridas quer de dia quer de noite (Bhatta, 2013). Este comprimento de onda é aquele que detém maior interesse para os estudos de Climatologia (García, 1996), particularmente os de Climatologia Urbana.

A principal fonte natural de radiação eletromagnética é o Sol e os sensores passivos aproveitam esta energia para adquirir informação sobre os objetos na superfície da Terra (Lira *et al.*, 2016). A quantidade de radiação eletromagnética recebida, emitida ou refletida por uma superfície é denominada energia radiante (Tabela I-1), cujas características dependem da sua temperatura absoluta. A taxa de transferência de energia radiante do Sol para a Terra, ou da Terra para o sensor, é denominada fluxo radiante.

Tabela I-1 – Grandezas radiométricas

Grandeza Radiométrica	**Unidade de Medida***	**Descrição**
Energia Radiante	J	Energia associada ao espectro eletromagnético
Fluxo Radiante	J/s ou W	Energia radiante transmitida por unidade de tempo
Densidade de Fluxo Radiante	W/m^2	Magnitude do fluxo radiante por unidade de superfície
Irradiância	W/m^2	Densidade de fluxo radiante incidente
Exitância	W/m^2	Densidade de fluxo radiante emitido ou refletido
Radiância	$W/m^2.sr$	Densidade de fluxo radiante emitido ou refletido por unidade de ângulo sólido

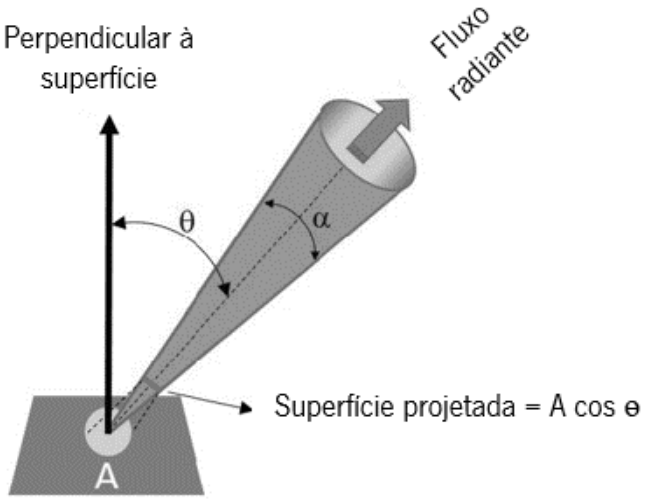
*De acordo com o Sistema Internacional de Unidades.

Fonte: Lira *et al.* (2016).

A interação entre a radiação eletromagnética e a superfície da Terra é geralmente descrita usando o conceito de densidade de fluxo radiante – que corresponde à magnitude do fluxo radiante que atinge ou abandona uma determinada unidade de superfície. A densidade de fluxo radiante incidente sobre uma unidade de superfície designa-se por irradiância; quando se verifica no sentido inverso denomina-se exitância (Lira *et al.*, 2016).

A radiância (L) é uma das grandezas mais importantes em Deteção Remota e designa a forma como o sensor regista a densidade de fluxo radiante emitido ou refletido por unidade de superfície A, na direção θ, por unidade de ângulo sólido α (Figura I-3).

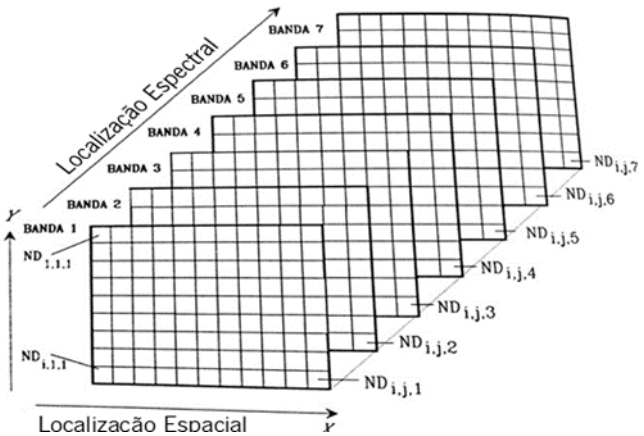
As grandezas descritas anteriormente, quando se reportam a uma determinada região do espectro eletromagnético (*i.e.*, são dependentes do comprimento de onda), designam-se de grandezas espectrais. Assim, enquanto a radiância é simbolizada por L, a radiância espectral é expressa com $L(\lambda)$.



Fonte: Modificado de Chuvieco (1992) e Lira *et al.* (2007).

Figura I-3 – Diagrama de um ângulo sólido

A informação captada pelos sensores dos satélites, nas diferentes bandas do espectro eletromagnético, é registada sob a forma numérica, segundo matrizes de pixéis – *i.e.*, imagens digitais bidimensionais. Neste sentido, o valor de cada elemento da imagem (pixel) depende da quantidade de energia eletromagnética refletida e/ou emitida, segundo um determinado ângulo sólido, pela área da superfície terrestre correspondente a esse pixel (Figura I-4). Na prática, o valor de cada pixel resulta da conversão analógica/digital da radiância captada pelo sensor para uma escala de cinzentos, designada por intensidade radiométrica, nível radiométrico ou número digital (*Digital Number;* DN). De salientar que nesta operação se perde o valor absoluto de radiância, sendo necessário proceder à calibração da imagem para o recuperar. O objetivo deste procedimento é do de obter uma correspondência o mais perfeita possível entre o DN e a radiância (Rocha e Sousa, 2007).

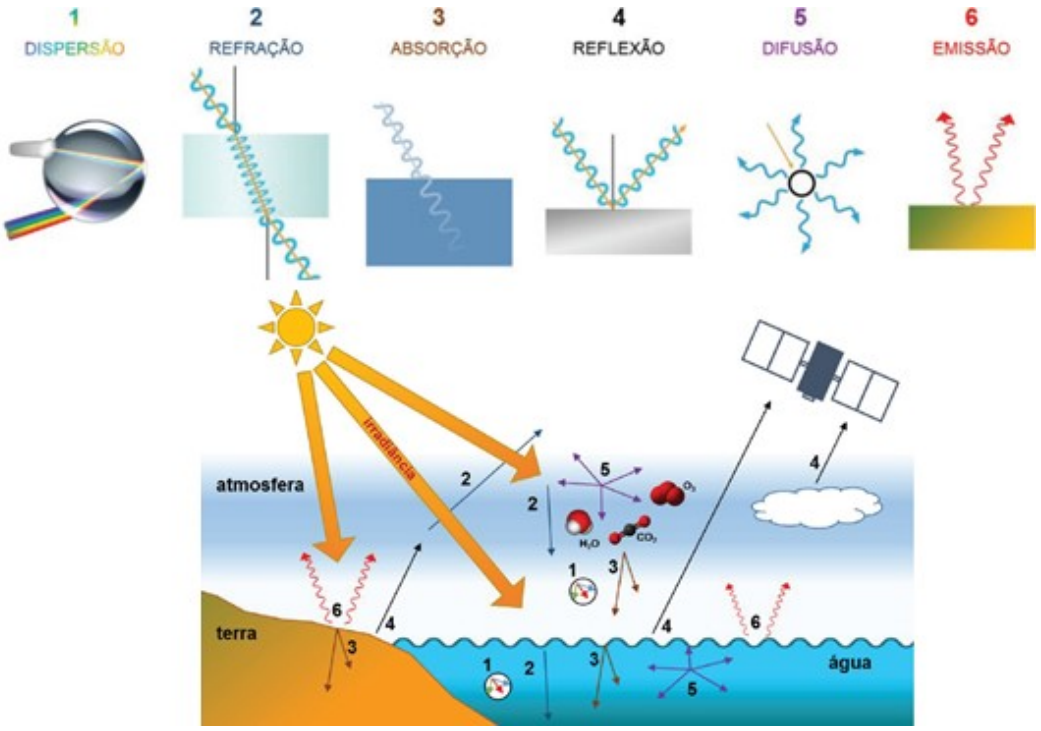


Fonte: Fonseca e Fernandes (2004).

Figura I-4 – Armazenamento da informação captada pelo sensor do satélite sob a forma numérica

I – 1.1.1. Interação da Radiação Eletromagnética com a Matéria

A radiação eletromagnética sofre alterações ao seu comportamento e características, no trajeto do Sol até à Terra, por via dos fenómenos de dispersão, refração, absorção, reflexão e difusão (Figura I-5). Por outro lado, no fenómeno de transmissão a radiação eletromagnética passa através da matéria sem interagir com as partículas e é recuperada na face oposta à incidência (Lira *et al.,* 2016).



Fonte: Lira *et al.* (2016).

Figura I-5 – Interação da radiação eletromagnética com a matéria

De entre os fenómenos que modificam a radiação eletromagnética, tem particular interesse a absorção e a reflexão. A absorção é o processo mediante o qual a energia radiante é retida por um corpo. A radiação absorvida transforma-se em outra forma de energia, em função da natureza do corpo que a absorveu (García, 1996). A reflexão corresponde ao reenvio para o meio envolvente de parte da radiação eletromagnética incidente, no mesmo lado de incidência e sem alteração da frequência (Fonseca e Fernandes, 2004).

A intensidade da radiação eletromagnética transmitida, absorvida ou refletida depende do comprimento de onda, do ângulo de incidência e das características da matéria (Fonseca e Fernandes, 2004), o que permite distinguir objetos. A título de exemplo, um corpo transparente, como é o caso da atmosfera, apresenta valores altos de transmissividade, refletindo e absorvendo

pouca radiação eletromagnética; um corpo opaco caracteriza-se por uma transmissividade nula; um corpo espelhado reflete muita radiação eletromagnética, e portanto absorve pouco; a água profunda tem uma absortividade elevada, refletindo e transmitindo pouca radiação eletromagnética (Fonseca e Fernandes, 2004).

Ademais, o facto de a absorção, a transmissão e a reflexão serem dependentes do comprimento de onda leva a que, para um mesmo objeto, as suas proporções se alterem em função desta propriedade. Note-se, porém, que dois objetos de natureza diferente podem apresentar a mesma resposta numa determinada região do espetro e noutra serem muito díspares (Rocha e Sousa, 2007).

A distribuição destas três grandezas rege-se pela equação do balanço energético, em que a energia radiante incidente (*ERinc*) é igual à soma da energia radiante absorvida (*ERabs*), transmitida (*ERtrans*) e refletida (*ERrefl*):

$$ERinc = ERabs(\lambda) + ERtrans(\lambda) + ERrefl(\lambda)$$

[Eq. 1]

em que,
ERinc = energia radiante incidente;
ERabs(λ) = energia radiante absorvida, para um dado comprimento de onda (*λ*);
ERtrans(λ) = energia radiante transmitida, para um dado comprimento de onda (*λ*);
ERrefl(λ) = energia radiante refletida, para um dado comprimento de onda (*λ*).

Considerando que a maior parte dos satélites opera nas regiões do espectro eletromagnético em que predomina a energia refletida pela superfície terrestre (à exceção da banda térmica), a refletância é o parâmetro que assume maior relevância na aquisição de imagens por Deteção Remota (Fonseca e Fernandes, 2004). De facto, o que o sensor do satélite capta é a radiação eletromagnética refletida pelas superfícies (Figura I-5), que depende do total de energia incidente, do tipo de superfície, do ângulo de incidência e do comprimento de onda (Rocha e Sousa, 2007).

A energia refletida é definida pela seguinte equação:

$$ERrefl(\lambda) = ERinc - [ERabs(\lambda) + ERtrans(\lambda)]$$

[Eq. 2]

em que,
ERrefl(λ) = energia radiante refletida, para um dado comprimento de onda (*λ*);
ERinc = energia radiante incidente;
ERabs(λ) = energia radiante absorvida, para um dado comprimento de onda (*λ*);
ERtrans(λ) = energia radiante transmitida, para um dado comprimento de onda (*λ*).

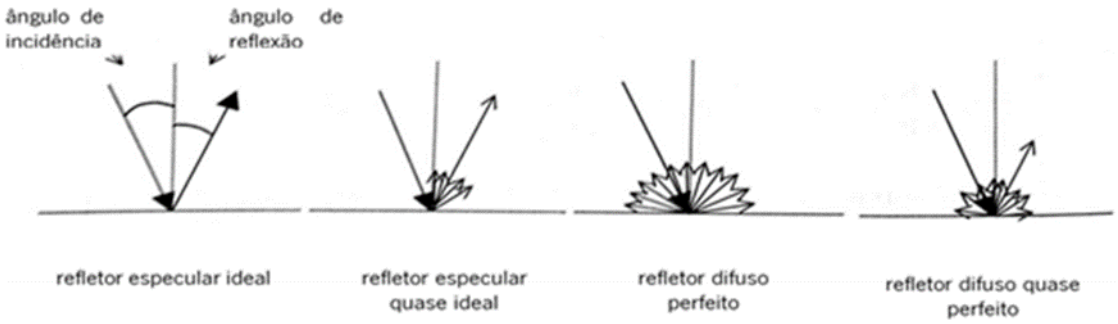
Nesta sequência, define-se como refletância (*Rf*) de um corpo a razão entre a energia radiante refletida e a energia radiante incidente:

$$Rf(\lambda) = \frac{ERrefl(\lambda)}{ERinc}$$

[Eq. 3]

em que,
Rf(λ) = refletância, para um dado comprimento de onda (*λ*);
ERrefl(λ) = energia radiante refletida, para um dado comprimento de onda (*λ*);
ERinc = energia radiante incidente.

Os diferentes materiais da superfície, para um mesmo ângulo de incidência, apresentam valores de refletância distintos, dado que esta varia em função da sua composição e textura. A textura influencia a geometria da reflexão da radiação eletromagnética (Figura I-6). Deste modo, as superfícies planas e espelhadas refletem a radiação eletromagnética segundo um ângulo igual ao de incidência (*i.e.*, refletores especulares); as superfícies rugosas refletem a radiação eletromagnética uniformemente em todas as direções (*i.e.*, refletores difusos ou lambertianos). Em Deteção Remota interessa o estudo das propriedades de refletância difusa dos objetos, dado que esta é mais seletiva em relação ao comprimento de onda do que a especular, que poderia levar à saturação do sensor. Relativamente à reflexão difusa, só alguns comprimentos de onda é que são refletidos, podendo através destes inferir-se as características dos objetos (Fonseca e Fernandes, 2004).



Fonte: Fonseca e Fernandes (2004).

Figura I-6 – Tipos de reflexão da radiação eletromagnética

Para alem da refletância, define-se ainda absortância (*Abs*) e transmitância (*Tr)* de um corpo como a razão entre a energia radiante absorvida e transmitida, respetivamente, e a energia radiante incidente:

$$Abs(\lambda) = \frac{ERabs(\lambda)}{ERinc} \quad , \quad Tr(\lambda) = \frac{ERtrans(\lambda)}{ERinc}$$

[Eq. 4]

em que,
Abs(λ) = absortância, para um dado comprimento de onda (λ);
ERabs(λ) = energia radiante absorvida, para um dado comprimento de onda (λ);
ERinc = energia radiante incidente;
Tr(λ) = transmitância, para um dado comprimento de onda (λ);
ERtrans(λ) = energia radiante transmitida, para um dado comprimento de onda (λ).

A relação entre a refletância (*Rf*), a absortância (*Abs*), e a transmitância (*Tr*) deduz-se com base na seguinte fórmula:

$$1 = Rf + Abs + Tr$$

[Eq. 5]

em que,
Rf = refletância;
Abs = absortância;
Tr = transmitância.

Os objetos com temperatura superior ao zero absoluto na escala kelvin (0 K ou -273°C) emitem radiação eletromagnética, nos comprimentos de onda que variam entre os 4μm e os 14μm, designada de infravermelha térmica (Rocha e Sousa, 2007). Nesta lógica, a energia radiante

emitida denomina-se radiação térmica, dado que as respetivas intensidade e composição espectral dependem essencialmente da temperatura dos objetos (Fonseca e Fernandes, 2004; Lira *et al.*, 2016). Esta temperatura pode ser determinada com recurso à teoria do corpo negro. De acordo com esta teoria, um corpo negro (entidade física hipotética) é definido como um corpo em equilíbrio termodinâmico com o ambiente que o rodeia, que absorve e remite toda a energia que sobre ele incide (Kwarteng e Small, 2010). Porém, não existem corpos negros perfeitos, pelo que estes emitem radiação térmica, em função de uma dada temperatura. Assumindo que os objetos da superfície terrestre se comportam como um corpo negro, independentemente das suas diferentes características, torna-se possível a partir da radiação térmica emitida determinar a sua temperatura (Fonseca e Fernandes, 2004; Rocha e Sousa, 2007; Lira *et al.*, 2016). Os valores de temperatura assim obtidos são inferiores aos que se verificam na realidade, pois assume-se uma emissividade (Ɛ) destes objetos igual à do corpo negro – ou seja Ɛ=1 (Kwarteng e Small, 2010).

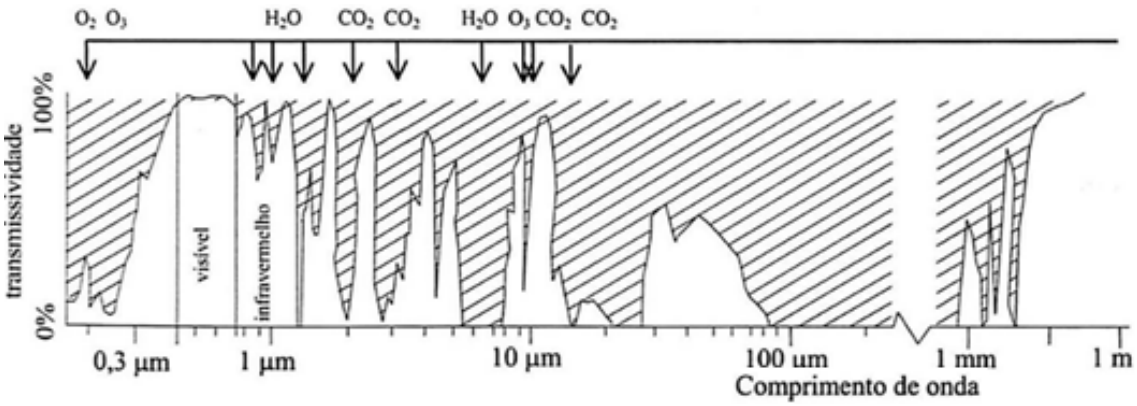
I – 1.1.2. Efeitos da Atmosfera na Radiação Eletromagnética

O processo de interação da radiação eletromagnética com a atmosfera pode ocorrer por absorção e dispersão (ou difusão) – o seu resultado designa-se por efeito atmosférico. Este efeito introduz distorções nas imagens de Deteção Remota, pelo que o seu conhecimento é necessário para a realização de correções atmosféricas, com vista à respetiva eliminação/minoração.

A dispersão atmosférica resulta da interação entre a radiação eletromagnética e as partículas e/ou as moléculas de gás presentes na atmosfera (*e.g.*, aerossóis, vapor de água), provocando a alteração da direção de propagação da radiação. Destas alterações advêm duas consequências: uma parte da energia proveniente de um determinado objeto não atinge o sensor enquanto outra, dispersada pela atmosfera, é encaminhada para o seu campo de vista (Fonseca e Fernandes, 2004). Com efeito, ao nível da Deteção Remota este fenómeno manifesta-se, por um lado, na diminuição da quantidade da radiação que a partir de um objeto chega ao sensor, produzindo uma atenuação da imagem; e, por outro lado, pela introdução de radiação eletromagnética proveniente de outros objetos e da própria atmosfera no campo de visão do satélite. Assim, se idealmente a energia registada pelo sensor deveria corresponder unicamente à quantidade de fluxo radiante proveniente de um objeto, na realidade tal nem sempre sucede (Rocha e Sousa, 2007). A conjugação destes efeitos provoca a degradação na imagem detetada pelo sensor (Fonseca e Fernandes, 2004).

A dispersão depende das condições meteorológicas e da altura do Sol, fatores que por sua vez são condicionados pela estação do ano e pela hora do dia. A despeito de existirem várias formas de dispersão (difusão), esta divide-se primariamente entre a difusão seletiva e a não seletiva (Rocha e Sousa, 2007). A difusão seletiva afeta comprimentos de onda específicos da radiação eletromagnética, enquanto a difusão não seletiva ocorre em situações em que o diâmetro das partículas (>10μm) afeta de modo homogéneo esta radiação independente do comprimento de onda.

A absorção atmosférica (gasosa) implica que parte da energia refletida ou emitida pelos objetos na superfície da Terra não atinja o sensor do satélite, sendo que esta ocorre em bandas específicas (*i.e.*, zonas de absorção, ou de reduzida transmissividade da atmosfera), determinadas pela estrutura molecular de cada gás (Figura I-7). Na captura de imagens por Deteção Remota, o vapor de água (H_2O), o dióxido de carbono (CO_2) e o ozono (O_3) são os gases atmosféricos que mais condicionam a propagação da radiação eletromagnética (Rocha e Sousa, 2007) – designadamente nas bandas de 2,66μm, 2,74μm e 6,25μm para o vapor de água; nas bandas de 4,3μm e 15μm para o dióxido de carbono; e, abaixo de 4,3μm e nas bandas de 0,5μm, 9,6μm e 14μm para o ozono (Fonseca e Fernandes, 2004).



Fonte: Fonseca e Fernandes (2004).
Figura I-7 – Zonas de absorção e janelas atmosféricas

Os intervalos do espetro eletromagnético onde os efeitos da atmosfera são menores (ou seja, elevada transmissividade) designam-se por janelas atmosféricas (Figura I-7). Assim, as regiões onde a radiação sofre menor absorção e difusão situam-se nos intervalos do visível e infravermelho próximo (0,5μm–1,4μm), bem como no infravermelho térmico (4,4μm–5,5μm e de 8μm–14μm), sendo que as bandas dos sensores foram desenhadas de modo a aproveitar estas janelas atmosféricas (Rocha e Sousa, 2007).

Em suma, o sinal captado pelo sensor corresponde ao resultado das alterações sofridas pela irradiância solar, que atinge (na vertical) o topo da atmosfera, no seu percurso descendente até à superfície terrestre, na sua interação com os objetos desta superfície e, finalmente, no seu percurso ascendente em direção ao satélite. A refletância ao nível da superfície da Terra designa-se por refletância na superfície (*Bottom Of Atmosphere;* BOA), quando inclui os efeitos da atmosfera, denomina-se refletância no topo da atmosfera (*Top Of Atmosphere;* TOA).

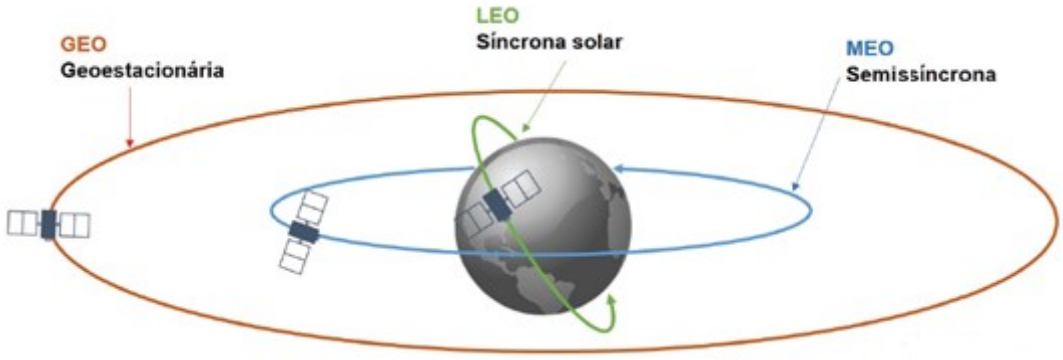
I – 1.2. Características Orbitais e Resolução dos Satélites

Os atributos das imagens adquiridas pelos satélites – *i.e.*, resolução espectral, radiométrica, espacial e temporal – dependem não só das características dos sensores, nomeadamente do tipo de sensor (podendo este ser ativo ou passivo, tal como mencionado anteriormente), mas também da velocidade e da geometria da órbita do satélite (Rocha e Sousa, 2007).

O tipo de órbita do satélite condiciona tanto a resolução temporal como a resolução espacial (Lira *et al.*, 2016). No primeiro caso, constata-se que os sensores geoestacionários registam informação no mesmo ponto com intervalos de tempo curtos, enquanto os sensores com órbitas polares repetem o mesmo local com alguns dias de diferença, pelo que oferecem um conjunto de imagens com menor resolução temporal. No caso da resolução espacial, sucede que imagens captadas de maior distância em relação à Terra (*i.e.*, por satélites geoestacionários) abrangem áreas mais extensas, apresentando menos pormenor do que as imagens captadas por satélites de baixa altitude (*i.e.*, os heliossíncronos).

I – 1.2.1. Tipos de Órbita

Dependendo da altitude a que se encontram posicionados os satélites, a sua órbita pode-se classificar como (Figura I-8 e Figura I-9): alta, designada de geoestacionária (*i.e., Geostationary Orbit*; GEO); intermédia, que é semissíncrona (*i.e.*, *Medium Earth Orbit*; MEO); e, baixa, que é heliossíncrona (i.e., *Low Earth Orbit;* LEO). Os satélites que orbitam a menor altitude deslocam-se a maiores velocidades para compensar a maior força gravítica a que estão sujeitos (Lira *et al.*, 2016).



Fonte: Lira *et al.*, 2016.

Figura I-8 – Tipos de órbita dos satélites

A órbita equatorial geossíncrona (GEO) é empregue nos satélites meteorológicos, atendendo a que o período orbital é igual ao de rotação da Terra (*i.e.*, um dia sideral); estes satélites captam sempre informação relativa ao mesmo local. Por sua vez, a órbita quase polar e heliossíncrona (LEO) é utilizada no campo das Ciências da Terra, pois possibilita uma cobertura de toda a superfície terrestre (do Equador aos Pólos), com condições de iluminação similares nas sucessivas passagens do satélite (pois passa sempre à mesma hora). A órbita semissíncrona (MEO) é utilizada pelos satélites de posicionamento, como é o caso do *Global Positioning System* (GPS), na qual o satélite completa uma volta em 12 horas, pelo que atravessa os mesmos dois pontos no equador a cada 24 horas (Lira *et al.*, 2016).

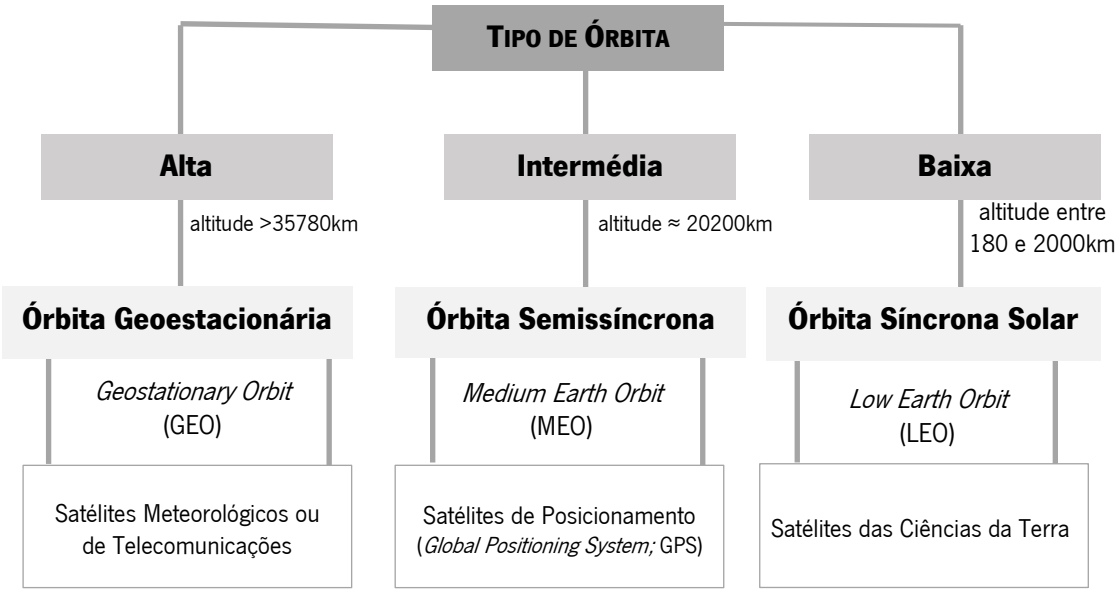


Figura I-9 – Características dos diferentes tipos de órbita dos satélites

I – 1.2.2. Resolução dos Sensores

A resolução, entendida como a capacidade de distinguir num pixel sinais que são próximos, permite quantificar a capacidade de aquisição de informação, do ponto de vista da área de terreno abrangida (*i.e.*, resolução espacial), do intervalo do espectro eletromagnético coberto (*i.e.*, resolução espectral), da quantidade de níveis de intensidade de energia representada (*i.e.*, resolução radiométrica) ou da frequência de repetição na aquisição de dados do mesmo local (*i.e.*, resolução temporal). Com efeito, a resolução espacial determina o modo como se diferenciam os objetos em termos espaciais, a resolução espectral e radiométrica condiciona a sua distinção em termos temáticos, e, por sua vez a resolução temporal revela mudanças ao longo do tempo (Figura I-10).

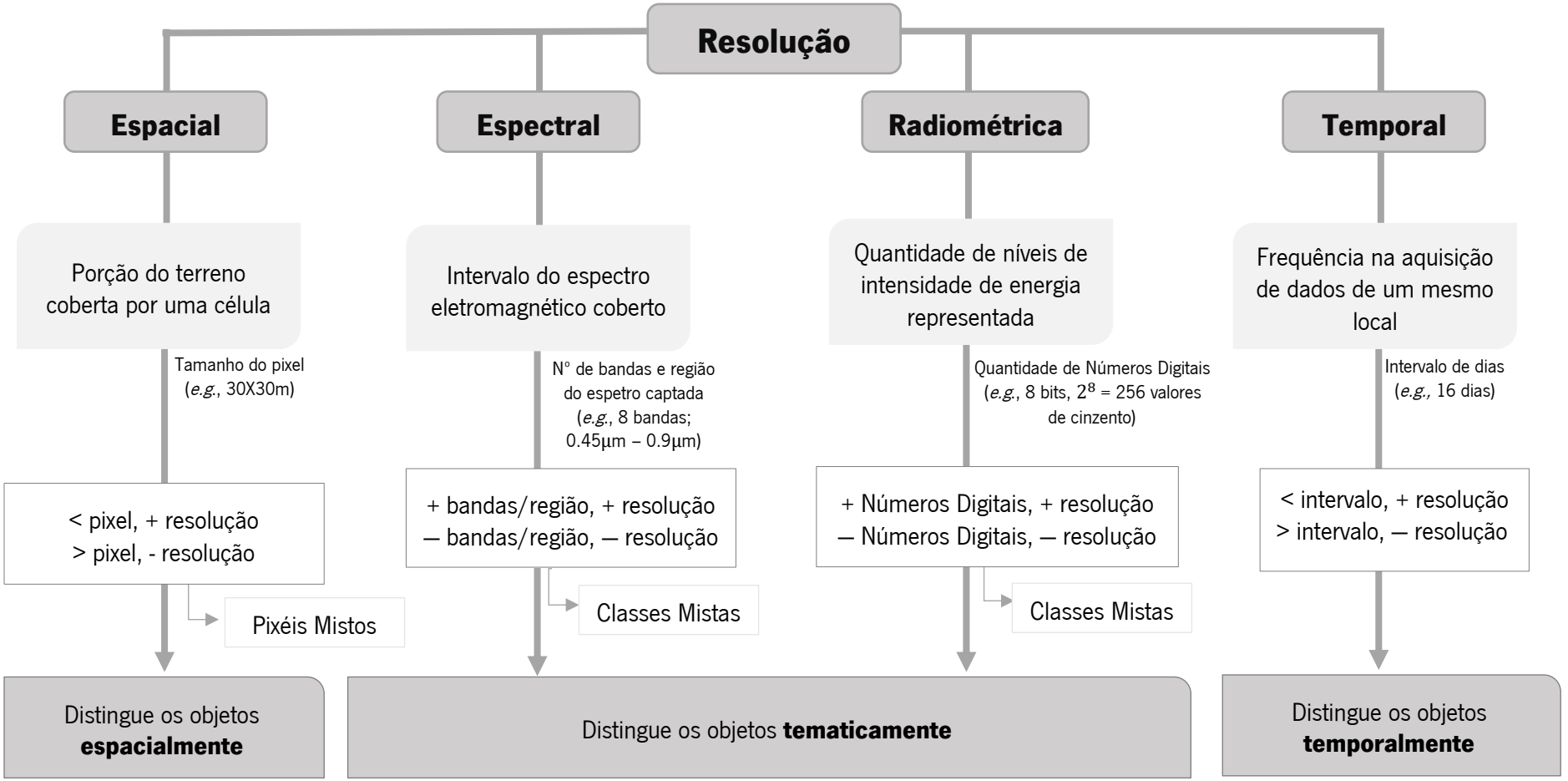


Figura I-10 – Resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal

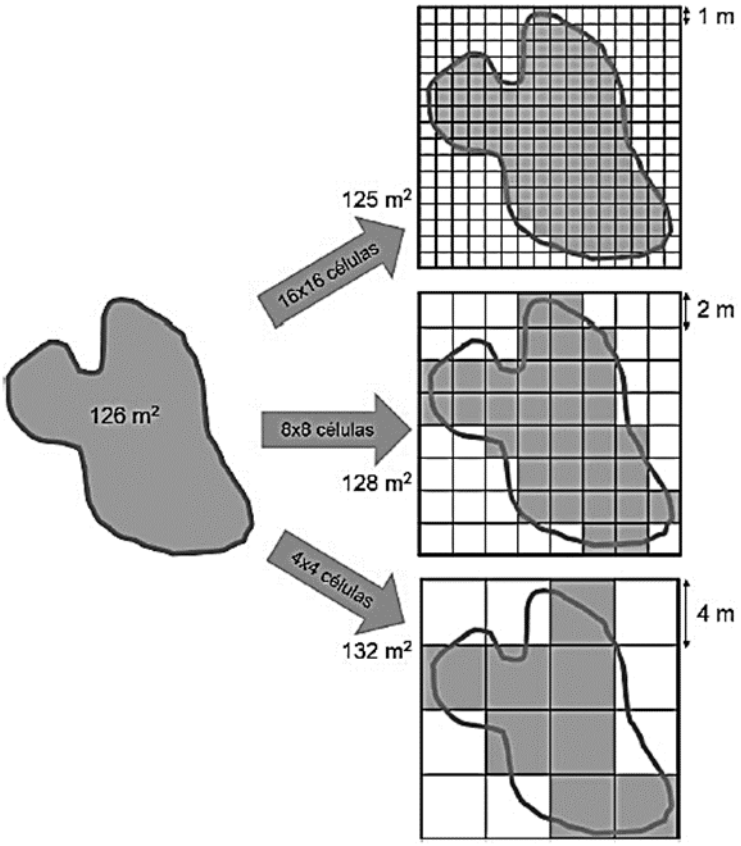
Resolução Espacial

A resolução espacial corresponde à dimensão da superfície terrestre que é representada por cada célula, ou pixel. A resolução espacial de um sensor é definida em função das suas características geométricas, designadamente o campo de visão instantâneo (*instantaneous field of view*), que depende da altitude orbital do satélite, das dimensões do radiómetro e da distância focal do sistema ótico (Fonseca e Fernandes, 2004), pelo que é diretamente proporcional à distância entre o sensor e a superfície observada (Fugate *et al.*, 2010).

Adicionalmente, na definição da resolução espacial deve também ter-se em consideração as características radiométricas dos objetos detetados, traduzidas na noção de elemento de resolução efetivo (*effective resolution element*). O elemento de resolução efetivo de um radiómetro corresponde ao tamanho de uma área à qual pode ser atribuído um valor único de radiância, com uma confiança razoável de que a resposta está dentro de um intervalo de 5% em relação à radiância relativa efetiva (Fonseca e Fernandes, 2004).

Os sensores com elevada resolução espacial representam uma menor área de terreno com mais pormenor (*e.g.*, IKONOS ou Geo-Eye). Por outro lado, os sensores de baixa resolução espacial apresentam pixéis que representam uma área de terreno mais extensa (maior cobertura), mas com menos pormenor (Figura I-11). Assim, para um objeto homogéneo ser detetado, o seu deve ser igual ou superior à resolução da célula (pixel). Caso o objeto seja inferior à célula, este pode não ser detetado, considerando que o sensor capta a média da refletância de todos os objetos abrangidos pela célula (Bhatta, 2010). Não obstante, os objetos de dimensão reduzida podem ser detetados numa análise subpixel, se a sua refletância for dominante na resolução da célula.

As imagens com uma baixa resolução espacial originam pixéis mistos, em vez de um pixel homogéneo. Estes pixéis, recorrentemente designados de mixels, apresentam um número digital (DN) que representa a média da energia refletida ou emitida pelos diferentes tipos de superfície presentes na área de cobertura da célula (Bhatta, 2013).



Fonte: Lira *et* al. (2016).

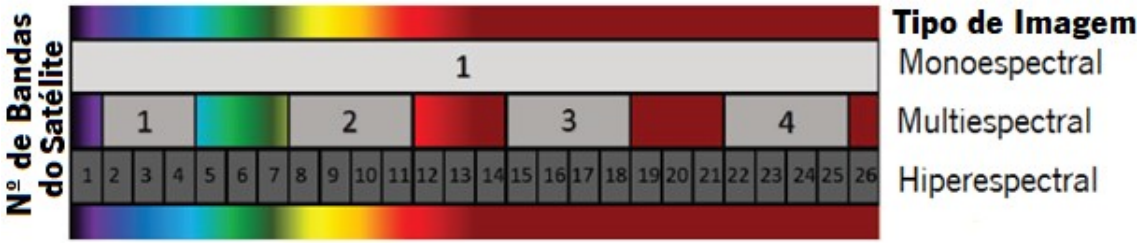
Figura I-11 – Polígono com diferentes resoluções espaciais

De acordo com Bhatta (2010), a resolução espacial é a característica mais importante das imagens de Deteção Remota, particularmente nas áreas urbanas, devido à heterogeneidade das superfícies.

Resolução Espectral

A resolução espectral refere-se ao número e largura dos intervalos de comprimento de onda do espectro eletromagnético em que é feita a aquisição das imagens (Rocha e Sousa, 2007). Assim, quanto mais estreitos e numerosos forem os intervalos, maior será a resolução espectral (Figura I-12) e, em função disso, mais precisa será a determinação da assinatura espectral (Fonseca e Fernandes, 2004; Rocha e Sousa, 2007). As imagens multiespectrais têm um poder de discriminação dos objetos maior do que as imagens compostas por apenas uma banda (*i.e.,* monoespectrais). Os sensores com capacidade de discriminação das múltiplas regiões do espetro eletromagnético (*i.e.*, com um número de bandas superior a 20), designam-se de hiperespectrais

(Figura I-12); no entanto, este tipo de imagens resulta de avanços recentes, pelo que não estão disponíveis para a análise do passado (Bhatta, 2010).



Fonte: Adaptado de Lira *et al.* (2016).

Figura I-12 - Diferentes tipos de resolução espectral

É importante notar que a baixa resolução espectral não cria pixéis mistos, mas sim classes mistas, pelo que pixéis que representam diferentes objetos irão pertencer à mesma classe (Bhatta, 2010). A resolução espectral é, por isso, muito importante nos estudos sobre as áreas urbanas, considerando que nestas estão presentes muitas superfícies que possuem características espectrais semelhantes, o que se traduz em refletâncias similares (Bhatta, 2010). Com o aumento da resolução espectral diminui o intervalo espectral abrangido em cada banda (Figura I-12), o que permite a seleção mais específica dos comprimentos de onda que discriminam os materiais ou quantificam as suas características (Fugate *et al.,* 2010).

Resolução Radiométrica

A resolução radiométrica é definida pelo número de níveis de quantificação – *i.e.*, números digitais (*Digital Numbers;* DN) – utilizados na conversão analógico/digital das variações contínuas de intensidade da radiação que chegam ao sensor (Rocha e Sousa, 2007). Assim, a resolução radiométrica traduz a capacidade do sensor em discriminar pequenas diferenças de energia dentro da mesma seção do espectro eletromagnético (Lira *et al.*, 2016). Posto isto, quanto maior for o número de níveis (*i.e.,* maior a resolução radiométrica), mais diferenças na energia refletida e emitida o sensor consegue captar, pelo que menor será a perda de informação no processo de conversão e registo de informação. A baixa resolução radiométrica também é responsável por classes mistas, e não por pixéis mistos (Bhatta, 2010). Geralmente, o nível de quantificação da maioria dos sistemas situa-se entre os 8-*bits* (*i.e.*, 256 níveis de cinzentos) e os 12-bits (*i.e.*, 4 096 níveis de cinzentos).

Resolução Temporal

A resolução temporal refere-se à periodicidade ou frequência com que o sensor capta imagens de um mesmo local (Rocha e Sousa, 2007; Bhatta, 2010). Em geral, a resolução temporal tende a variar no sentido inverso da resolução espacial; efetivamente, quanto mais próxima a plataforma se encontrar da superfície terrestre, maior será a resolução espacial (e, logo, menor a área coberta), mas mais baixa irá ser a resolução temporal (Fugate *et al.*, 2010).

A resolução temporal das imagens adquiridas pelos satélites condiciona a deteção de mudanças do território, pois estas não decorrem somente das alterações nas características espectrais da superfície terrestre, podendo advir igualmente de condições atmosféricas distintas e de variações na posição do Sol (Weng, 2012).

Os estudos das áreas urbanas não requerem resoluções temporais muito elevadas, sendo 10 anos o intervalo mais usual (Bhatta, 2010), visto que permite a correlação com os dados socioeconómicos recolhidos nos censos.

I – 1.3. Observação da Terra

As formas de observação da Terra variaram significativamente nas últimas décadas, sendo que o seu desenvolvimento vertiginoso permitiu progressos notáveis ao nível da quantidade, variedade e qualidade da informação. As primeiras experiências remontam a 1859, quando Gaspar Felix Tournachon obtém as primeiras fotografias aéreas a partir de um balão de ar quente. No ano seguinte, James Wallace, repete a experiência sobre a cidade de Boston (Estados Unidos da América), colocando em evidência as potencialidades deste método para o conhecimento da estrutura urbana.

O aparecimento do avião contribui nos anos seguintes para a promoção da captura de fotografias aéreas, que abriu à Geografia novas possibilidades, pois a cartografia aérea, mais expedita e precisa que os tradicionais métodos de levantamento, permitia apreender as grandes linhas da geografia universal (Ribeiro, 1989b). Além disto, a fotografia aérea viria a revelar-se igualmente fundamental para o conhecimento da atmosfera, impulsionando com efeito o desenvolvimento da Climatologia Sinótica, numa primeira fase, e da Local (e, Urbana), à *posteriori*.

Contudo, é com a Segunda Guerra Mundial que se observam os desenvolvimentos mais notáveis desta técnica de Teledeteção, sendo neste período que são produzidas pelos laboratórios de pesquisa da Kodak os primeiros filmes que permitem captar imagem na região do infravermelho. Ao mesmo tempo, surgem novas tecnologias como o RADAR, as plataformas aeronáuticas ganham maior estabilidade, e os sistemas de comunicação melhoram consideravelmente, que com o fim da guerra saem do campo militar para o uso civil (Chuvieco, 1995).

No final dos anos 50 do século XX, o desenvolvimento dos sistemas de navegação permite conceber os primeiros veículos espaciais. A 'Guerra Fria', que tinha no espaço um dos seus objetivos preferenciais, constituiu um período de intensa investigação. O lançamento do satélite Sputnik em 1957, a que se seguiu uma série de missões civis e militares, permitiu não só a exploração da Terra, como também da Lua e de outros planetas. O Programa Espacial, desde logo, deteve grande interesse pela captura de imagens da superfície e da atmosfera terrestre, que permitiu um maior conhecimento das condições atmosféricas, contribuindo para minorar os efeitos das catástrofes naturais (Chuvieco, 1995). O primeiro satélite colocado em orbita pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) com esta finalidade denominava-se *Television InfraRed Operational Satellite* (TIROS). O lançamento ocorreu em 1960, sob a alçada da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

A missão do Apollo 9 marca o início da utilização de câmaras multiespectrais. O interesse revelado pela NASA na observação dos recursos naturais, culmina com o lançamento do primeiro satélite da série *Earth Resources Technology Satellite* (ETRS), em 23 de junho de 1972. Mais tarde, aquando do lançamento do segundo satélite (em 1975), este projeto foi batizado de Landsat. A partir de então, esta técnica cresceu de modo exponencial, quer no que se refere ao número de satélites, quer ao número de estudos que tiram vantagem dos dados que estes recolhem.

Atualmente, os programas de Observação da Terra consistem no desenvolvimento, por parte de um país ou de um consórcio de países, de missões cujo objetivo principal é a obtenção de informação acerca dos sistemas físicos, químicos, biológicos e geológicos da Terra, para detetar alterações ou monitorizar riscos (Lira *et al.*, 2016).

I – 1.3.1. Satélites para Observação da Terra

De acordo com os dados referentes a 30 de março de 2017, da UCS (2017), à data existiam em órbita da Terra 1418 satélites (Tabela I-2), dos quais 373 (26%) se destinam à Observação da Terra.

Tabela I-2 – Satélites que orbitam a Terra

Finalidade do Satélite	Contagem (nº)	Contagem (%)
Comunicações	699	49,29
Observação da Terra	354	24,96
Desenvolvimento de Tecnologia	154	10,86
Navegação/GPS	97	6,84
Ciências Espaciais	62	4,37
Ciências da Terra	9	0,63
Comunicações/Desenvolvimento de Tecnologias	8	0,56
Navegação/Posicionamento Regional	8	0,56
Demonstração de Tecnologia	6	0,42
Comunicações/Controlo do Tráfego Marítimo	5	0,35
Observação da Terra/Desenvolvimento de Tecnologia	5	0,35
Observação do Espaço	5	0,35
Observação da Terra/Comunicações	2	0,14
Comunicações/Navegação	1	0,07
Observação da Terra/Comunicações/Ciências Espaciais	1	0,07
Observação da Terra/Pesquisa	1	0,07
Terra/Ciências Espaciais	1	0,07
Total	1418	100

Fonte dos dados: UCS (2017), dados referentes a 30 de março de 2017.

Os satélites que se destinam à Observação da Terra são utilizados, pela respetiva ordem de importância (Tabela I-3), para fins: (i) governamentais, por agências espaciais nacionais; (ii) militares; (iii) comerciais, em que as instituições privadas ou o próprio Estado vende os dados; e, (iv) civis, utilizados por instituições de ensino ou outras organizações.

Tabela I-3 –Satélites de Observação da Terra (nº) por tipo de utilização

Utilização	Contagem (nº)	Contagem (%)
Governamental	118	31,64
Militar	103	27,61
Comercial	92	24,66
Civil	27	7,24
Governamental/Civil	16	4,29
Governamental/Comercial	8	2,14
Governamental/Militar	5	1,34
Militar/Comercial	4	1,07
Total	373	100

Fonte dos dados: UCS (2017), dados referentes a 30 de março de 2017.

Um quarto dos satélites destinados à Observação da Terra é detido por apenas oito países (Tabela I-4). Os Estados Unidos da América destacam-se claramente, com 137 satélites (Tabela I-4), aos quais acrescem ainda os que foram lançados em pareceria com outros países (Japão, França, Brasil, Reino Unido e Itália). A Agência Espacial Europeia (*European Space Agency*, ESA), composta por 22 Estados-Membros, entre os quais Portugal, possui oito satélites para a Observação da Terra.

Tabela I-4 - Satélites de Observação da Terra (nº) em função do país proprietário

País Proprietário	Contagem (nº)	Contagem (%)
Estados Unidos da América	137	36,73
China	68	18,23
Rússia	18	4,83
Japão	16	4,29
Alemanha	15	4,02
Índia	12	3,22
Israel	7	1,88
Reino Unido	6	1,61
Outros Países	56	15,01
Mais de um país	30	8,04
Agência Espacial Europeia	8	2,14
Total	373	100

Fonte dos dados: UCS (2017), dados referentes a 30 de março de 2017.

Os satélites de Observação da Terra descrevem uma órbita maioritariamente heliossíncrona (81,23%), embora os que apresentam uma órbita geoestacionária (16,35%) também sejam significativos (Tabela I-5). Em concordância com o exposto anteriormente (Figura I.10), o primeiro caso corresponde aos satélites utilizados maioritariamente nas Ciências da Terra enquanto no segundo caso estão consignados aos estudos da Meteorologia.

Tabela I-5 –Satélites de Observação da Terra (nº) por tipo de órbita

Tipo de Órbita	Contagem (nº)	Contagem (%)
Heliossíncrona (LEO)	303	81,23
Geoestacionária (GEO)	61	16,35
Elítica	8	2,14
Semi-Síncrona (MEO)	1	0,27
Total	373	100

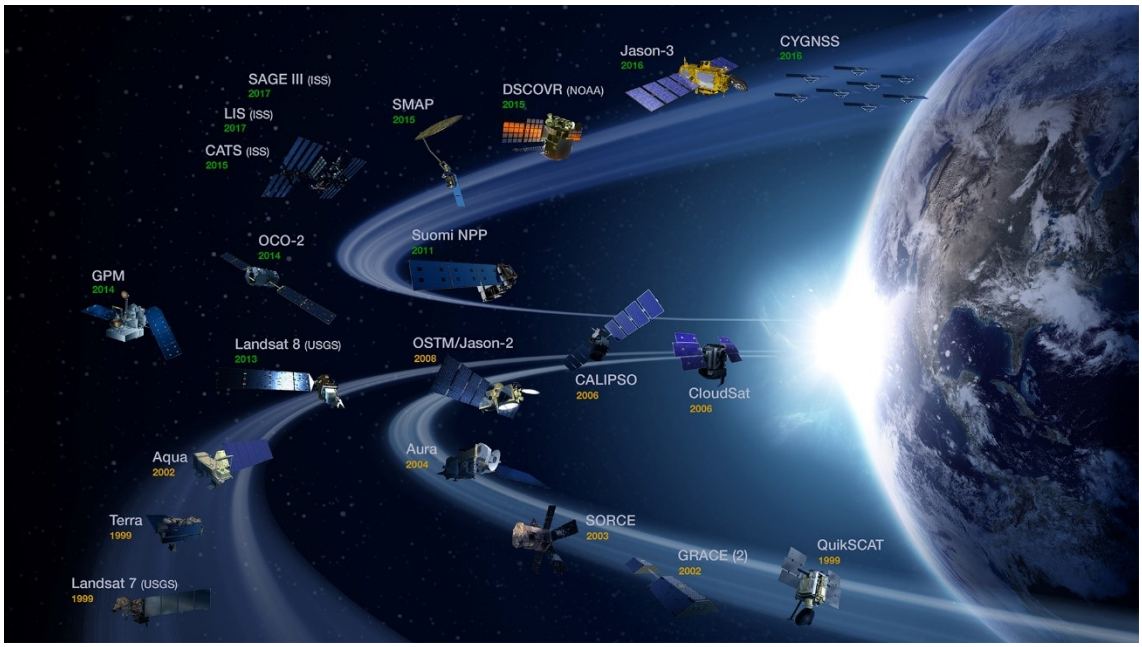
Fonte dos dados: UCS (2017), dados referentes a 30 de março de 2017.

Atualmente, a gigantesca constelação de satélites destinados à Observação da Terra fornece uma quantidade de informação sem precedentes na história da Humanidade.

I – 1.3.2. Programas de Observação da Terra

De entre os vários programas de Observação da Terra, destaca-se o desenvolvido pelos Estados Unidos da América, designado de Sistema de Observação da Terra (*Earth Observation System;* EOS), que faz parte de uma missão mais abrangente da NASA. Mais recentemente, a União Europeia, através da Agência Espacial Europeia, tem encetado esforços no desenvolvimento do Programa Copernicus.

O Sistema de Observação da Terra empreendido pela NASA apresenta um conjunto de satélites coordenados, composto por 20 missões (Figura I-13), entre as quais se incluem os satélites Landsat, Terra (lançado em 1999) e Aqua (lançado em 2002). Estes descrevem uma órbita polar de baixa inclinação, ideal para observação da superfície terrestre, da biosfera, da crosta terrestre, da atmosfera e dos oceanos, no longo prazo.



Fonte: NASA (2017a).

Figura I-13 – Constelação de satélites da NASA

A constelação de satélites *Systèrne Probatoire d'Observation de la Terre* (SPOT), explorada pela *Airbus Defence and Space*, constitui uma colaboração da França com a Bélgica e Suécia (Chuvieco, 1992). Estes satélites exibem uma órbita quase polar e heliossíncrona, a 832km de altitude, similar ao Landsat. O programa SPOT conta já com uma quantidade significativa de gerações que vão desde o seu satélite pioneiro, o SPOT 1, lançado em 1986, até à última geração, o SPOT 7, colocado em órbita em 2014 (Figura I-14). O satélite cruza o equador às 10h30 (hora local), pelo que passa ligeiramente mais tarde nas latitudes a Norte, e mais cedo nas latitudes a Sul. Os tempos de revisitação variam entre 1 e 5 dias, consoante o satélite e a latitude do local (Rocha e Sousa, 2007).

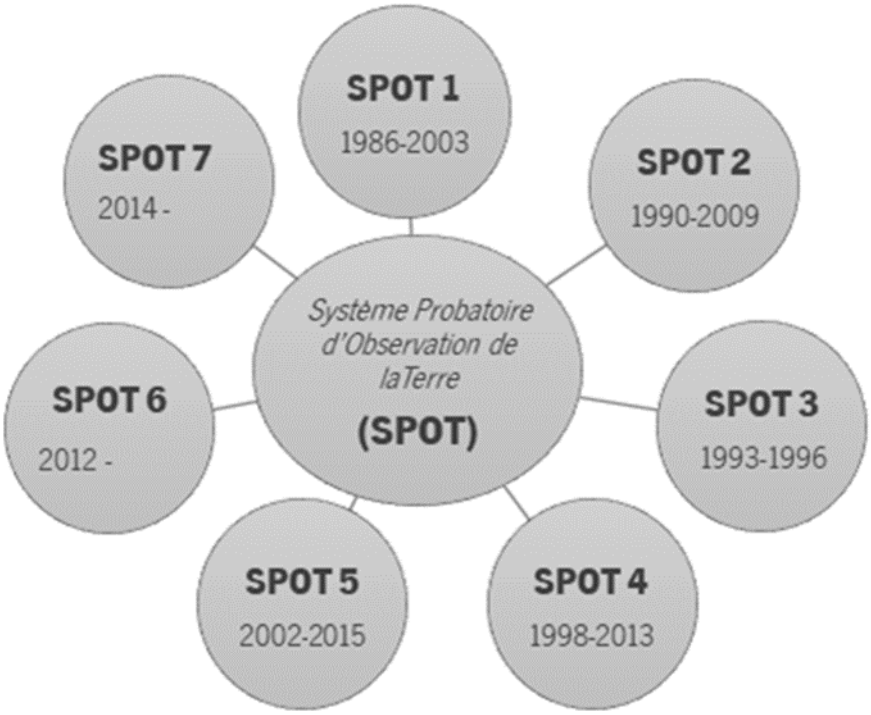


Figura I-14 – Constelação de satélites SPOT

Mais recentemente, a Agência Espacial Europeia com o programa Copernicus procura estabelecer um sistema operacional independente de observação da superfície da Terra. O principal objetivo é obter e disponibilizar informação, serviços e conhecimento de qualidade, e em tempo útil, sobre questões ambientais e de segurança a nível global, utilizando dados de satélite complementados por dados recolhidos *in situ*, no ar, no mar e em terra (*e.g.*, em aviões, balões, drones, navios ou fixos ao solo), provenientes dos vários Estados-Membros (Lira *et al.*, 2016).

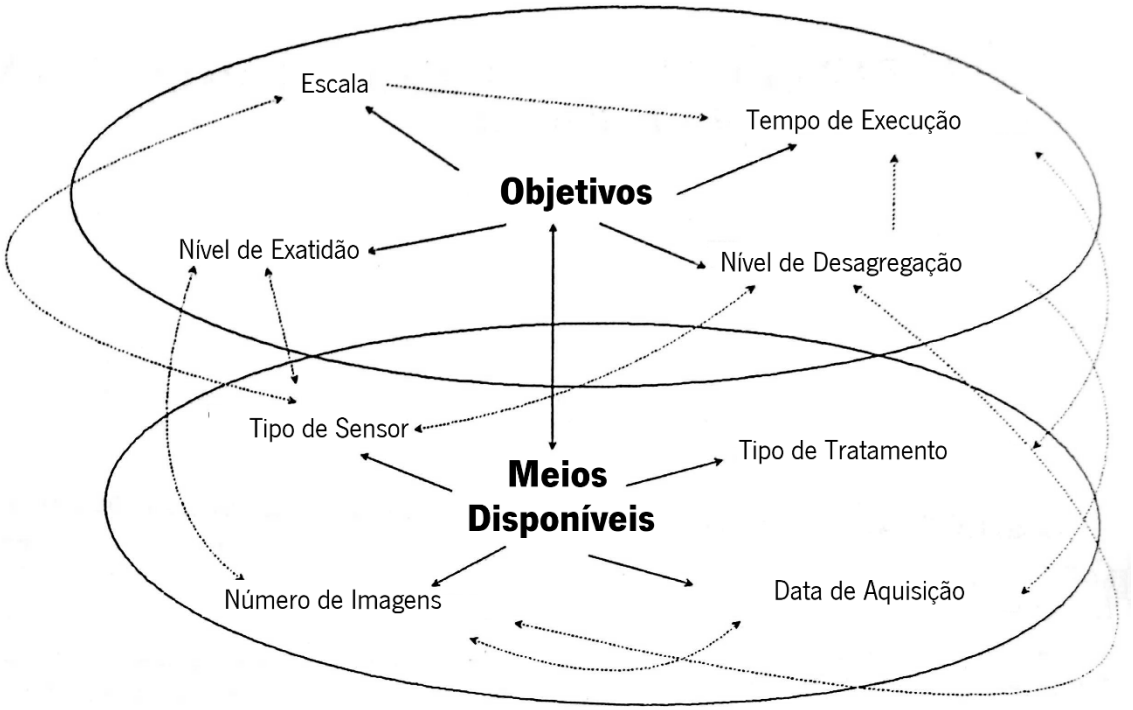
A Agência Espacial Europeia já lançou para o espaço mais de 70 satélites para a observação terrestre (Tabela I-6), entre eles, os satélites *European Remote Sensing* (ERS), designadamente o ERS-1 (entre 1991 e 2000) e o ERS-2 (entre 1995 e 2011), e o *Environmental Satellite* (Envisat), que funcionou entre 2002 e 2012.

Tabela I-6 – Missões de Observação da Terra da Agência Espacial Europeia

Missão		Finalidade
Swarm		Estudo do campo geomagnético.
Proba-V		Estudos sobre a vegetação.
CryoSat		Estudo das variações na espessura do gelo continental e oceânico.
SMOS		Estudos hidrológicos, de salinidade e de humidade no solo.
GOCE		Estudo do campo gravítico terrestre.
Sentinel	Sentinel 1 (2014-2016)	Monitorização das áreas geladas e do ambiente marinho, riscos de movimentação terrestre e cartografia para suporte em crises humanitárias.
	Sentinel 2 (2015)	Registo de informação sobre vegetação, solo, água e zonas costeiras.
	Sentinel 3 (2016)	Registo da cor do oceano, da topografia da superfície do mar, dos gelos, das zonas costeiras e da vegetação.
	Sentinel 4 (a lançar)	Monitorização atmosférica.
	Sentinel 5 (a lançar)	Monitorização atmosférica.
	Sentinel 5 Precursor (a lançar)	Minimização das diferenças entre o Envisat e o Sentinel 5.

Fonte: Lira *et al.* (2016).

Atendendo a que a presente investigação se foca na análise por Deteção Remota do efeito climático do processo de urbanização, em seguida aborda-se com maior detalhe os dois arquivos de imagens de satélite que têm sido mais amplamente utilizados em estudos congéneres: o Landsat e o *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). Estes oferecem o melhor compromisso entre o desejável e o possível (Figura I-15) – ou seja, entre os objetivos do trabalho e os meios disponíveis (Chuvieco, 1992; Lu *et al.,* 2011). O Landsat apresenta uma resolução espacial elevada (*i.e.*, 30m) e uma grande longevidade temporal, que possibilita uma análise retrospetiva. O MODIS oferece uma elevada resolução temporal (com 4 imagens por dia) que permite seguir a evolução temporal dos fenómenos.



Fonte: Traduzido de Chuvieco (1992).

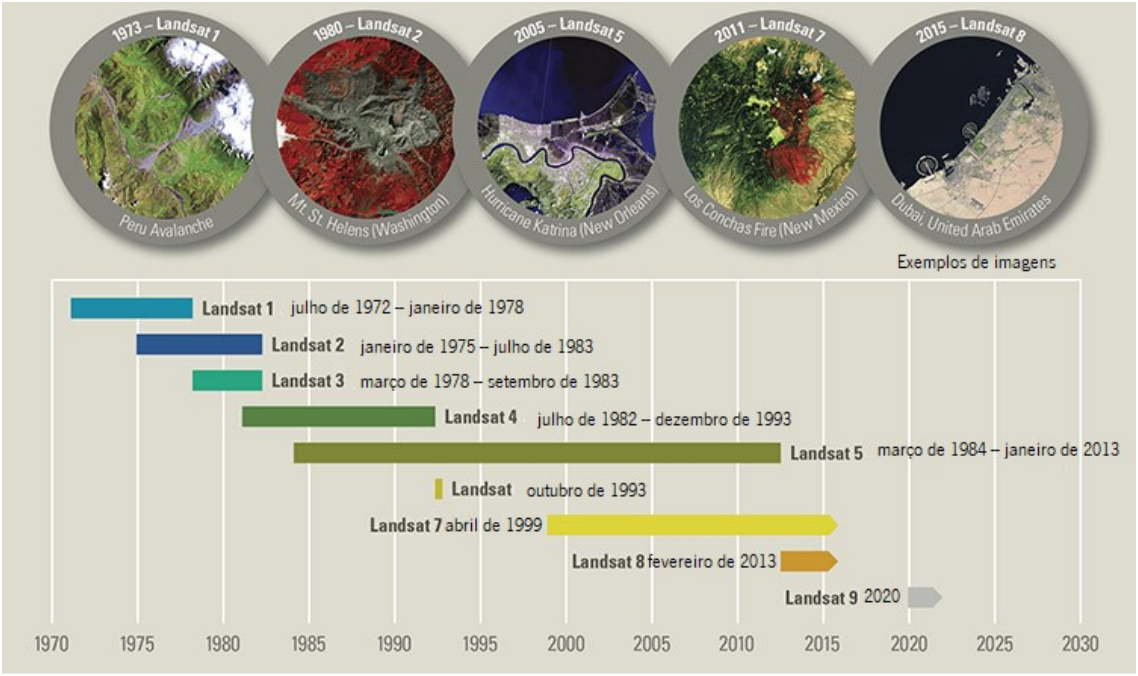
Figura I-15 – Critérios a ponderar na seleção das imagens de satélites

I – 1.3.3. Arquivo LANDSAT

O Landsat descreve uma órbita quase polar e heliossíncrona (Figura I-8), captando as imagens por volta das 10h/11h (hora local), num ciclo repetitivo de 16 dias. Deste modo, regista sempre o mesmo ângulo de inclinação do Sol (não contando com as variações sazonais), o que evita variações nas sombras dos objetos quando se efetua comparações entre diferentes datas (Lira *et al.*, 2016). A aquisição da imagem a meio da manhã prende-se com a otimização das condições de captação na região do visível e do infravermelho, no entanto, neste horário as superfícies ainda se encontram a aquecer, pelo que os valores de temperatura captados não traduzem o máximo diário (Kwarteng e Small, 2010).

O arquivo de imagens do satélite Landsat ultrapassa já as quatro décadas (Figura I-16), constituindo o mais longo e contínuo programa de Observação da Terra. O Landsat 1 foi lançado em 1972, sob o nome *Earth Resources Technology Satellite One* (ERTS-1). Nas últimas quatro décadas têm-se registado melhorias significativas (Figura I-13), com o lançamento dos satélites Landsat 2 (em 1975), Landsat 3 (em 1978), Landsat 4 (em 1982), Landsat 5 (em 1984), Landsat

6 (em 1993, porém perdido aquando do lançamento), Landsat 7 (em 1999), e mais recentemente o Landsat 8 (em 2013).



Fonte: NASA (2017b).

Figura I-16 – Cronologia das missões Landsat

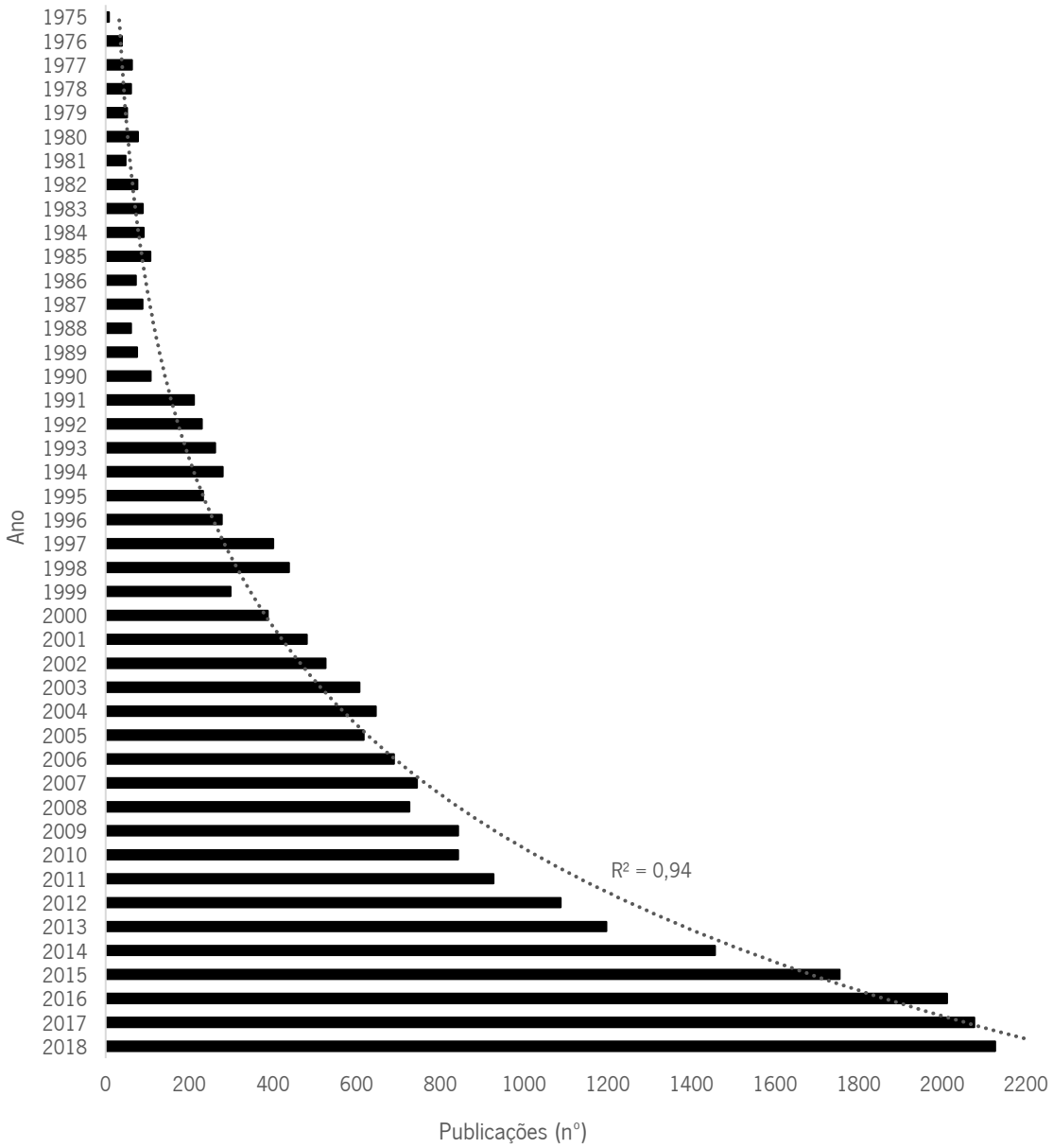
Os três primeiros satélites do Programa Landsat foram lançados com o sensor *Multispectral Scanner* – MSS, que funcionava em conjunto com *Return Bean Vidicon* – RBV. As imagens eram disponibilizadas com 80m de resolução espacial e uma resolução radiométrica de 6-*bits.* A quarta e quinta geração transportavam em conjunto o sensor MSS e o *Thematic Mapper* (TM). Com o lançamento do Landsat 5 TM as imagens passaram a ser disponibilizadas com uma resolução de 30m (Fugate *et al.*, 2010) – que, tal como o nome indica, foi especialmente concebido para a produção de cartografia temática, dada a maior resolução espacial e espectral quando comparada com o seu predecessor (Chuvieco, 1992; Yang, 2011b).

O Landsat 6, que falhou aquando do lançamento, possuía uma nova geração de sensores designada de *Enhanced Thematic Mapper* (ETM), evidenciando uma vez mais a preocupação da NASA em melhorar a captura de imagens para a produção de cartografia temática. No Landsat 7, o sensor denominado *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) possui uma nova banda – *i.e.*, a pancromática, com 15m de resolução espacial –, e possibilita o armazenamento da informação do infravermelho térmico com um pixel com 60m. Infelizmente o *Scan Line Corretor* (SLC) falhou de modo permanente em 31 de maio de 2003, o que obriga o sensor a funcionar em ziguezague

– como resultado, um quarto da imagem não tem informação, enquanto a restante é captada duas vezes (Yang, 2011b).

O Landsat 8 é composto pelo sensor o *Operational Land Imager* (OLI) e pelo *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). O sensor OLI representa uma melhoria em relação aos anteriores, possibilitada pela adição de duas bandas espectrais: uma no azul profundo (banda 1), projetada especificamente para estudar os recursos hídricos e as zonas costeiras; e, outra localizada no infravermelho de ondas curtas (banda 9), para a deteção de nuvens. O TIRS coleta duas bandas espectrais no infravermelho térmico, comprimento de onda coberto por uma única banda nos sensores TM e ETM+.

A amplitude temática e geográfica dos utilizadores dos produtos Landsat explica o grande interesse que existe na comunidade internacional relativamente ao futuro deste programa, encontrando-se previsto o lançamento do Landsat 9 para dezembro de 2020 (Figura I-16). Efetivamente, se atendermos aos trabalhos científicos indexados no Portal *Web of Science* (2019a) – publicados sob a forma de artigos de revista, resumos ou textos de conferências, editoriais –, sobressai, desde logo, o aumento exponencial (R^2=0,94) das publicações que entre 1975 até 2018 mencionam o Landsat, consubstanciando um total de 23496 registos (Figura I-17). As referências ao Landsat passam de apenas 8 em 1975 para 2127 em 2018; no entanto, se até 1991 a produção científica é residual, a partir desta data até 2010 cresce de modo acelerado, verificando-se nos últimos anos uma verdadeira 'explosão' no número de trabalhos (Figura I-17). Para tal, em muito tem contribuído a política de acesso gratuito às imagens Landsat, encetada pela NASA desde 9 de janeiro de 2009.

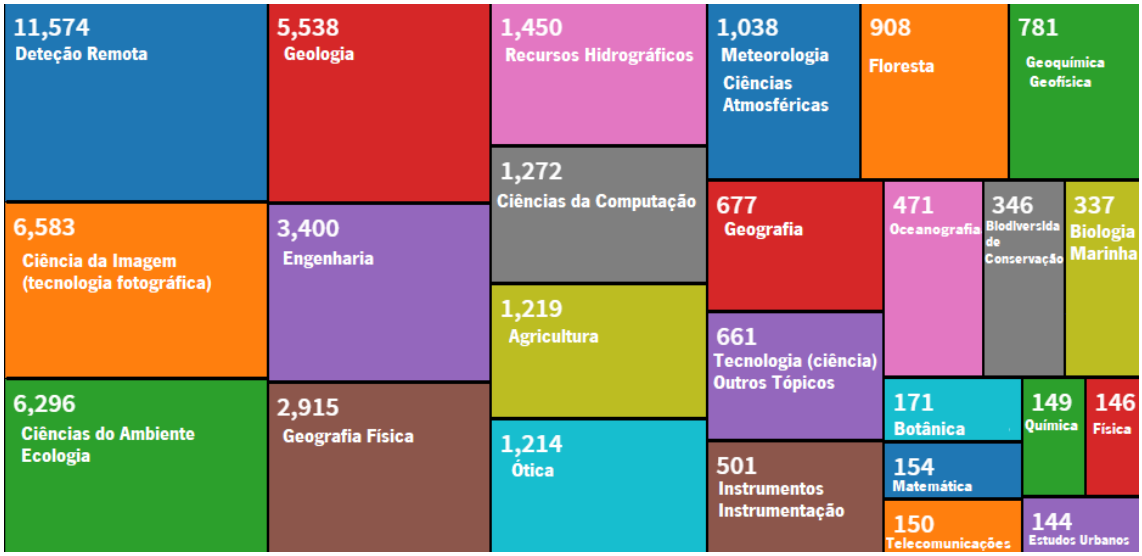


Fonte dos dados: *Web of Science* (2019a), dados referentes a 03 de janeiro de 2019.

Figura I-17 – Evolução dos estudos (nº) que aludem ao Landsat

De acordo com os dados da *Web of Science* (2019a), os trabalhos que mencionam o Landsat foram elaborados maioritariamente por autores norte americanos (cerca de 30%) ou chineses (cerca de 20%). No top 10 dos países figuram ainda, pela respetiva ordem de importância a Alemanha, a Índia, a Itália, a Austrália, a Inglaterra, o Brasil e o Japão. Neste *ranking* Portugal encontra-se posicionado no 32º lugar, com 167 publicações. Não obstante, o inglês emerge – de modo assombroso – como a principal língua de publicação dos resultados, pois detém mais de 97% das publicações. O português – ainda que detenha apenas 0,9% dos trabalhos – corresponde ao segundo idioma com maior importância, seguindo-se o espanhol, o chinês e o francês.

Ao se tomar em consideração as áreas de pesquisa dos registos que aludem ao Landsat é por demais evidente a transversalidade das suas aplicações, ainda que quase 50% das investigações se encontram afiliadas no domínio genérico da Deteção Remota, seguindo-se as Ciências da Imagem, muito próximo das do Ambiente/Ecologia (Figura I-18). No que se refere aos domínios da Geografia, denota-se a preponderância dos estudos relacionados com os aspetos físicos do território, com 12,3% dos estudos, subindo este valor para 15,2% se somarmos os 2,9% detidos pelo tópico Geografia. Os Estudos Urbanos surgem em 25º lugar, apenas 0,61% dos estudos (Web of Science, 2019a).



Fonte dos dados: *Web of Science* (2019a), dados referentes a 03 de janeiro de 2019.

Figura I-18 – Estudos que mencionam o Landsat (nº) por área de pesquisa

O Landsat tem sido menos explorado para o estudo das áreas urbanas, quando comparado com áreas agrícolas ou florestais (Web of Science, 2019a). De facto, segundo Herold e Roberts (2010), a distribuição das bandas mais adequadas para o mapeamento das coberturas/usos urbanos encontram-se localizados nas margens ou fora da configuração espectral do Landsat (Tabela I-7), o que pode introduzir algumas limitações na capacidade de este sensor discriminar as áreas urbanas. Ainda assim, os mesmos autores enfatizam que na extração das áreas contruídas o Landsat oferece melhor desempenho do que o IKONOS, particularmente devido à banda do infravermelho médio (SWIR).

Para vários autores a resolução espacial do Landsat (30m x 30m) é suficiente para detetar as áreas urbanas, e efetuar a distinção entre as superfícies impermeáveis antrópicas e espaços permeáveis, como a vegetação ou o solo nu. Tenedório *et al.* (2004) provou que a resolução

espacial é importante, mas não determinante – visto que os resultados do Landsat foram mais fáceis de interpretar e de justificar do que os obtidos com o SPOT. Para Carlson (2003) a resolução espacial do Landsat não constitui uma limitação ao estudo do crescimento urbano, bem pelo contrário considera-a ideal. Efetivamente, o Landsat tem sido utilizado como a fonte primária de informação em estudos urbanos de escala nacional até à global (Yang, 2011b).

Note-se que, se do ponto de vista das bandas do visível e do infravermelho o Landsat é considerado um satélite de média resolução espacial, quando atendemos em específico ao infravermelho térmico esta é considerada elevada. Na prática, o Landsat continua a deter o infravermelho térmico com o grau de resolução espacial mais elevado.

No que concerne às diferenças nas características dos sensores dos satélites Landsat TM, ETM+ e OLI, destaca-se desde logo o número de bandas e o comprimento de onda abarcada em cada uma (Tabela I-7). Zhu *et al.* (2016) referem que as diferenças mais significativas entre os Landsat 8 e as gerações anteriores residem nas bandas do visível, particularmente no azul (*BLUE*). Além disto, os mesmos autores mostraram-se relutantes em recomendar a comparação do NDVI derivado a partir do Landsat 8, com o obtido a partir do Landsat 5 e 7, em estudos sobre a evolução da vegetação. Não obstante, Estoque e Murayama (2015) salientam que apesar das diferenças no comprimento de onda das bandas do Landsat 7 ETM+ e do Landsat 8 OLI, as coberturas/usos do solo típicas demonstram um padrão de refletância similar.

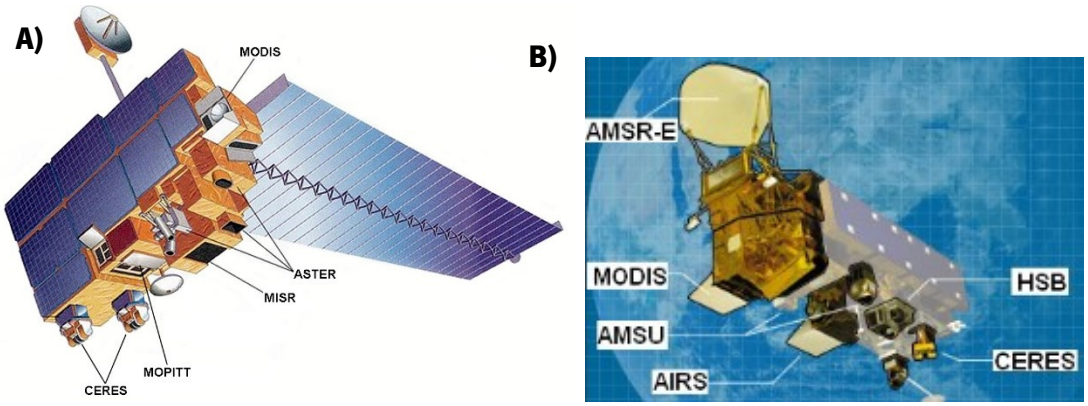
Tabela I-7 – Resolução espacial e espectral das bandas do satélite Landsat para o sensor TM, ETM+ e OLI

Designação	Acrónimo	Resolução Espacial (m)*	Landsat 5 TM		Landsat 7 ETM+		Landsat 8 OLI		Principais Utilizações
			Banda (nº)	Resolução Espectral (µm)	Banda (nº)	Resolução Espectral (µm)	Banda (nº)	Resolução Espectral (µm)	
Costeira	*Coastal*	30	—	—	—	—	1	0,44 – 0,45	Estudos costeiros e de aerossóis.
Azul	*Blue*	30	1	0,45 – 0,52	1	0,44 – 0,51	2	0,45 – 0,51	Mapeamento das águas costeiras e das águas interiores (no caso do TM e do ETM+); Distinção entre o solo e a vegetação; Discriminação do tipo de floresta (*e.g.*, folha caduca e coníferas).
Verde	*Green*	30	2	0,50 – 0,60	2	0,52 – 0,60	3	0,53 – 0,59	Estimar a quantidade e o vigor da vegetação; Distinguir entre ruas e prédios.
Vermelho	*Red*	30	3	0,63 – 0,69	3	0,63 – 0,69	4	0,63 – 0,67	Distinguir as espécies vegetais com base nas diferenças de absorção de clorofila.
Infravermelho Próximo	*NIR*	30	4	0,76 – 0,90	4	0,77 – 0,90	5	0,85 – 0,87	Determinar o tipo de vegetação, o vigor e o conteúdo de biomassa; Delinear os corpos de água; Determinar o conteúdo de humidade do solo.
Infravermelho Médio1	*SWIR1*	30	5	1,55 – 1,75	5	1,55 –1,75	6	1,57 – 1,65	Indicativo do conteúdo de humidade da vegetação e do solo.
Infravermelho Médio2	*SWIR2*	30	7	2,08 – 2,35	7	2,06 – 2,35	7	2,11 – 2,29	Sensível ao conteúdo de humidade da vegetação.
Infravermelho Térmico1	*TIR1*	30	6	10,04 – 12,5	6	10,31 – 12,36	10	10,60 – 11,19	Útil na análise do *stress* hídrico da vegetação e do conteúdo de humidade do solo; Extração dos valores de temperatura das superfícies.
Infravermelho Térmico2	*TIR2*	30	—	—	—	—	11	11,50 – 12,51	
Pancromática	*PAN*	15	—	—	8	0,52 –0,90	8	0,50 – 0,68	Melhora a definição da imagem.
Nuvens	*Cirrus*	30	—	—	—	—	9	1,36 – 1,38	Deteta as nuvens.

*Como disponibilizada atualmente pela NASA.

I – 1.3.4. Arquivo MODIS

O *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) é composto por um sensor duplo, transportado pelos satélites Terra e Aqua, lançados a 18 de dezembro de 1999 e a 04 de maio de 2002, respetivamente. Ambos os satélites estão posicionados a 705km de altitude e descrevem uma órbita polar circular e heliossíncrona (Figura I-8). Estes satélites além do MODIS transportam também outros sensores, que detêm características únicas, pelo que fornecem informações complementares entre si. Assim, os cinco sensores abordo do satélite Terra são (Figura I-19-A): o MODIS; o *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER); o *Clouds and Earth's Radiant Energy System* (CERES); o *Multi-angle Imaging Spectroradiometer* (MISR); e, o *Measurements of Pollution in the Troposphere* (MOPITT). Por sua vez, o satélite Aqua é composto pelos seguintes sensores (Figura I-19-B): *Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS* (AMSR-E), o *Advanced Microwave Sounding Unit* (AMSU); o *Clouds and the Earth's Radiant Energy System* (CERES); o *Humidity Sounder for Brazil* (HSB); e, ainda o MODIS.



A) – Satélite Terra; B) Satélite Aqua.

Fonte: NASA (2017c).

Figura I-19 – Sensores a bordo das plataformas Terra e Aqua

O MODIS fornece imagens diárias para latitudes acima dos 30°, porém abaixo destas só capta imagens a cada dois dias, com uma resolução radiométrica de 12-bits (NASA, 2019). Ambos os satélites disponibilizam 36 bandas, desenhadas nas regiões do espectro visível, infravermelho próximo, infravermelho médio e o infravermelho térmico (Tabela I-8 e Tabela I-9), de modo a evitar a absorção atmosférica (*vide* Figura I-7). A resolução espacial das bandas oscila entre 250m, 500m e 1km (Tabela I-8 e Tabela I-9).

Tabela I-8 – Resolução espacial e espectral das bandas 1 a 19 do sensor MODIS

Banda (nº)	Resolução Espectral (nm)	Resolução Espacial (m)	Principal Utilização
1	620 - 670	250	Limites da superfície terrestre/nuvens/aerossóis
2	841 - 876	250	
3	459 - 479	500	Propriedades da superfície terrestre/nuvens/aerossóis
4	545 - 565	500	
5	1230 - 1250	500	
6	1628 - 1652	500	
7	2105 - 2155	500	
8	405 - 420	1000	Cor dos oceanos/fitoplâncton/ bioquímica
9	438 - 448	1000	
10	483 - 493	1000	
11	526 - 536	1000	
12	546 - 556	1000	
13	662 - 672	1000	
14	673 - 683	1000	
15	743 - 753	1000	
16	862 - 877	1000	
17	890 - 920	1000	Vapor de água atmosférico
18	931 - 941	1000	
19	915 - 965	1000	

Fonte dos dados: NASA (2019).

As primeiras 19 bandas do MODIS captam a informação que é refletida pela superfície terrestre, encontrando-se as bandas 1 a 7 direcionadas para aplicações terrestres, as bandas 8 a 16 para observações oceânicas e as bandas 17 a 19 para medições atmosféricas (Tabela I-8). Por sua vez, as bandas 20 a 36 são captadas no infravermelho térmico 3,660μm e os 14,385μm, com exceção da banda 26 cuja captação ocorre entre os 1,360 μm e os 1,390μm (Tabela I-9). O MODIS oferece observações globais contínuas, com uma resolução radiométrica, espectral, espacial e temporal elevada, nomeadamente quando comparado com o *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR). Este sensor encontra-se vocacionado para a observação terrestre (*e.g.*, vegetação, incêndios, cobertura gelada), oceânica (*e.g.,* fluorescência da clorofila, gelo marinho) e atmosférica (*e.g.* propriedades das nuvens e de aerossóis), permitindo entender relações de natureza cíclica e sistémica, e, como tal, estudar a Terra como um ecossistema integrado.

Tabela I-9 – Resolução espacial e espectral das bandas 20 a 36 do sensor MODIS

Banda (nº)	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)	Principal Utilização
20	3,660 - 3,840	1000	Temperatura das nuvens/superfície terrestre
21	3,929 - 3,989	1000	
22	3,929 - 3,989	1000	
23	4,020 - 4,080	1000	
24	4,433 - 4,498	1000	Temperatura atmosférica
25	4,482 - 4,549	1000	
26	1,360 - 1,390	1000	Nuvens de Cirrus/vapor de água
27	6,535 - 6,895	1000	
28	7,175 - 7,475	1000	
29	8,400 - 8,700	1000	Propriedades das nuvens
30	9,580 - 9,880	1000	Ozono
31	10,780 - 11,280	1000	Temperatura das nuvens/superfície terrestre
32	11,770 - 12,270	1000	
33	13,185 - 13,485	1000	Altitude do topo das nuvens
34	13,485 - 13,785	1000	
35	13,785 - 14,085	1000	
36	14,085 - 14,385	1000	

Fonte dos dados: NASA (2019).

As imagens Terra-MODIS são catadas às 10:30 e às 22:30 (hora local aproximadamente), coincidindo o primeiro horário com o Landsat, cuja captura de imagens oscila entre as 10:00 e as 11:00. O Aqua-MODIS captura as imagens no período noturno por volta da 01:30 e de dia pelas 13:30. A elevada resolução temporal torna os produtos MODIS particularmente atrativos para a monitorização contínua dos processos superficiais a nível regional, nomeadamente as variações diárias, sazonais ou num período de tempo específico (*e.g.,* uma onda de calor ou de frio).

Os produtos do MODIS[5] encontram-se categorizados em cinco níveis hierárquicos, mais precisamente do 0 ao 4. O nível 0 à corresponde aos dados em bruto, que são convertidos automaticamente pelo satélite (estes não são disponibilizados ao utilizador, pelo que não constam das listas dos produtos MODIS). A seguir, estes dados são divididos em frações menores, às quais são aplicados fatores de correção geodésica – resultando nos produtos MODIS de nível 1A – fornecidos no formato *Hierarchical Data Format* (HDF). Neste nível são disponibilizadas as 36 bandas do MODIS, com a informação referente á latitude, longitude e altitude. Além disto, são

[5] A listagem completa dos produtos MODIS encontra-se disponível em https://lpdaac.usgs.gov/product_search/?collections=Combined+MODIS&collections=Terra+MODIS&collections=Aqua+MODIS&view=list.

adicionados indicadores de qualidade, para assinalar a perda de pixéis ou a sua má qualidade. De referir que a captação no visível, no infravermelho próximo e médio apenas é efetuada durante o dia, enquanto as medições do infravermelho térmico ocorrem tanto de dia, como de noite.

Os produtos 1B decorrem do processamento dos produtos 1A, consistindo este na calibração da radiância para todas as bandas espectrais de refletância da superfície. A refletância bidirecional é determinada para as bandas 1-19 e 26. Neste nível é igualmente disponibilizada informação acerca da qualidade dos dados e de possíveis erros. Não obstante, o nível 1B é ainda considerado informação do satélite, pelo que estes dados são utilizados maioritariamente como *input* para derivar outros produtos MODIS com maior informação biofísica, consubstanciados nos níveis 2 a 4.

Os produtos MODIS 2G são gerados a partir de um conjunto de dados de um único dia, que são reorganizados e armazenados num sistema de grelha uniforme para a superfície terrestre. O nível 3 fornece estimativas de variáveis biofísicas em função de uma resolução espacial e temporal predefinida (*e.g.*, diária, oito dias, mensal).

No nível 3, o processamento dos dados envolve técnicas mais avançadas, como a reamostragem espacial, média e composições temporais. Por fim, os produtos de nível 4, resultam de uma variedade de algoritmos, modelos e métodos estatísticos, para os quais é frequentemente necessário a incorporação de dados auxiliares (Shao *et al.*, 2011).

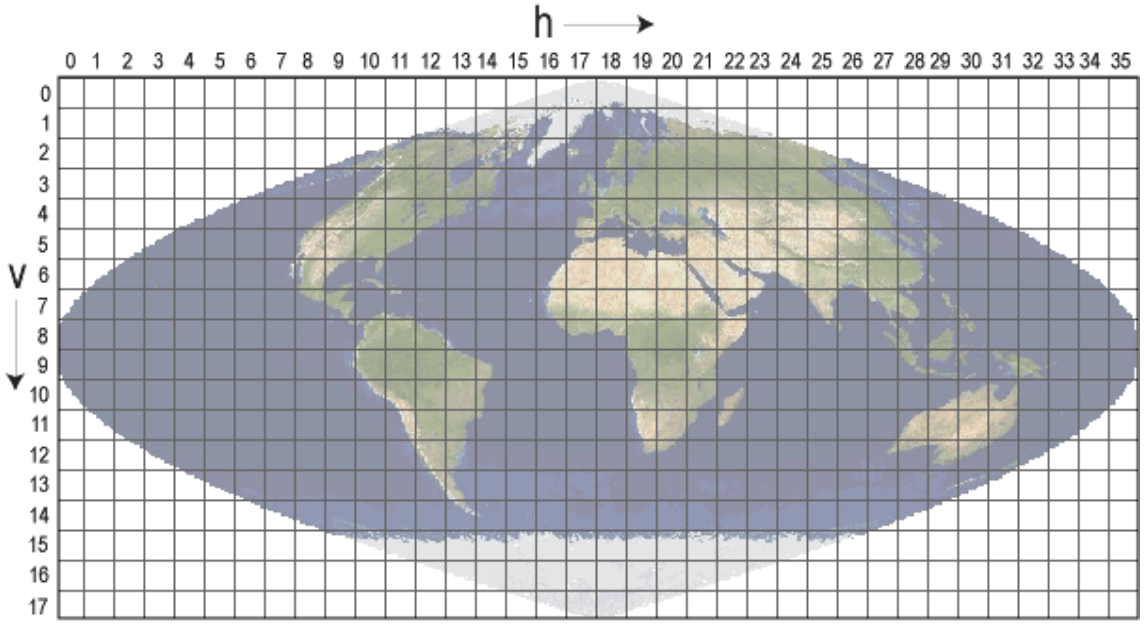
Os produtos MODIS encontram-se agrupados em três grandes temáticas (Figura I-20), um relacionado com o balanço energético, outro voltado para as variáveis do ecossistema, e, um terceiro, centrado nas características da cobertura terrestre (NASA, 2019).

Produtos MODIS		
Balanço Energético	**Variáveis do Ecossistema**	**Características da Cobertura Terrestre**
Refletância da superfície	Índices de vegetação	Anomalias térmicas e do fogo
Temperatura de superfície e emissividade	Índice de área foliar e radiação fracionada fotossinteticamente ativa	Cobertura terrestre
Função de distribuição de refletância bidirecional e albedo	Produtividade primária bruta	
	Produtividade primária líquida	
	Evapotranspiração	

Fonte dos dados: NASA (2019).

Figura I-20 – Categorias temáticas dos produtos MODIS

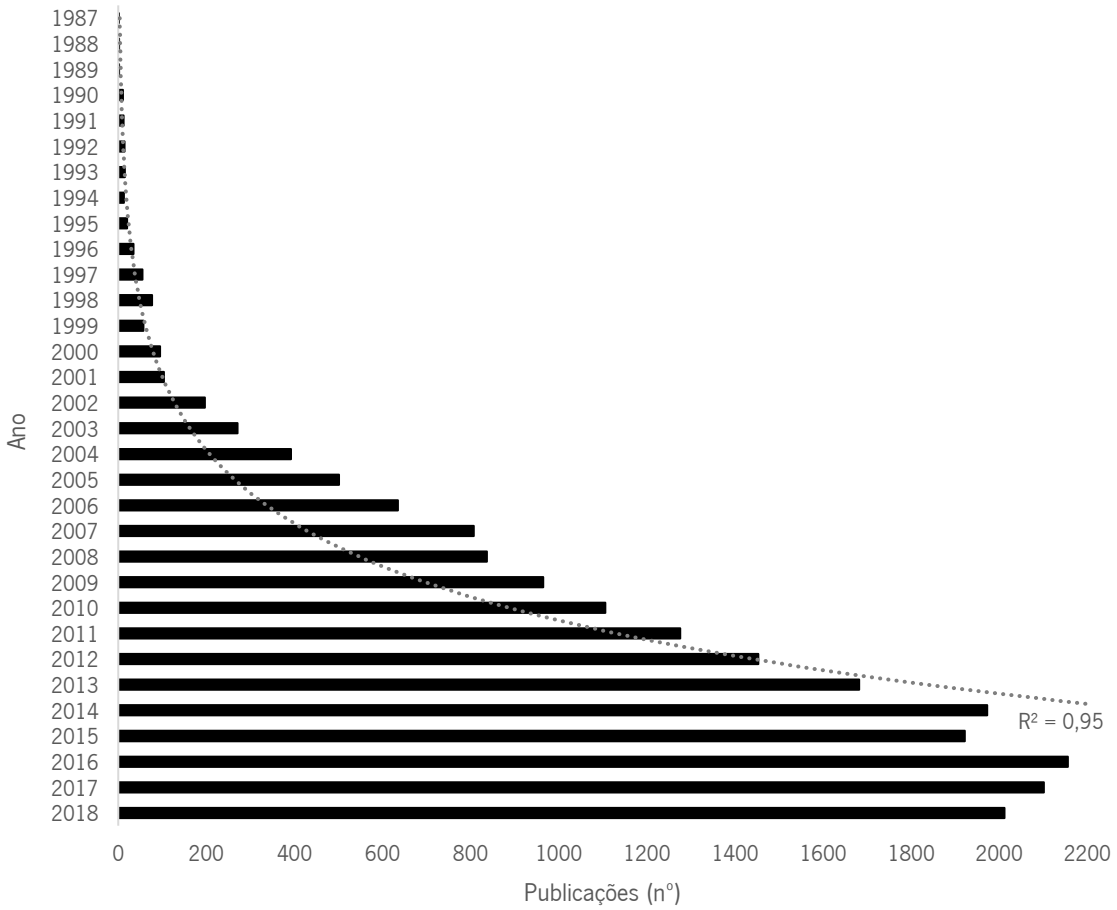
Como referido anteriormente, os produtos MODIS do nível 2G, 3 e 4 são processados e distribuídos segundo uma grelha homogénea sobre o globo – na qual cada unidade assume a designação de *tile*, que abrange uma extensão de 1200km por 1200km. O sistema de coordenadas começa no *tile* 'H0, V0', no canto superior esquerdo, e termina no *tile* 'H35, V17, no canto inferior direito (NASA, 2018).



Fonte: NASA (2018).

Figura I-21 – Divisão do globo para o processamento e distribuição dos produtos MODIS

Ao considerar os trabalhos científicos indexados no Portal *Web of Science* (2019b), tal como anteriormente efetuado para o Landsat, denota-se igualmente um aumento exponencial (R^2=0,95) do número de publicações que aludem a este arquivo de imagens (Figura I-22). Apesar do satélite Terra que transporta, entre outros, o sensor MODIS só ter sido lançado em 1999, os primeiros estudos que referem esta designação remontam a 1987, não se podendo em alguns casos excluir em que se trate de uma designação homónima. Não obstante, os estudos publicados até 1999/2000 eram em número muito reduzido e detinham essencialmente um carácter prospetivo das especificações técnicas do satélite. Com o advento do novo milénio, e até 2014, observa-se um crescimento acelerado do número de publicações que mencionam o MODIS. Em 2015 pela primeira vez o número de estudos é inferior ao do ano anterior, ainda assim, em 2016 verifica-se um novo aumento, sendo neste o ano que ocorre o maior número de publicações, dado que nos dois últimos anos volta a diminuir (Figura I-22).



Fonte dos dados: *Web of Science* (2019b), dados referentes a 03 de janeiro de 2019.

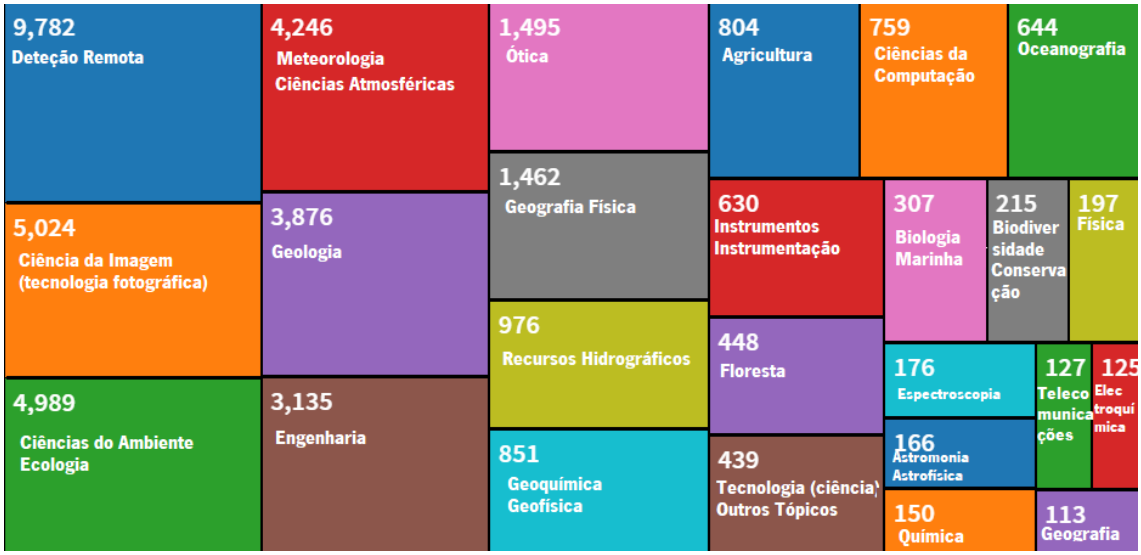
Figura I-22 – Evolução dos estudos (nº) que aludem ao MODIS

Segundo os dados da *Web of Science* (2019b), os trabalhos que mencionam o MODIS foram elaborados maioritariamente por autores norte americanos (cerca de 40%) ou chineses (cerca de 30%), sendo a sua representatividade ainda mais importante do que a verificada no caso do Landsat. Esta constatação coloca em evidencia que o Landsat tem uma abrangência mais global do que o MODIS. Neste *ranking* Portugal encontra-se posiciona-se no 26º lugar, com 178 publicações, indiciando que este arquivo se encontrará mais bem explorado do que o do Landsat.

O inglês emerge uma vez mais de modo inequívoco como a principal língua de publicação dos resultados, pois detém mais de 98% das publicações. O português – com apenas 0,3% dos trabalhos – corresponde ao terceiro idioma mais importante, sendo precedido do chinês com 0,8% dos trabalhos (*Web of Science*, 2019b).

Relativamente às áreas de pesquisa dos registos que aludem ao MODIS denota-se a similaridade relativamente ao observado no Landsat (*c.f.*, Figura I-18 e Figura I-23), sendo as três primeiras

posições detidas pelos mesmos tópicos. No que se refere ao domínio da Geografia, observa-se igualmente a preponderância dos estudos relacionados com os aspetos físicos do território, com 7% dos estudos, pois a importância do tópico 'Geografia' é muito exígua (Web of Science, 2019b).



Fonte dos dados: *Web of Science* (2019a), dados referentes a 03 de janeiro de 2019.

Figura I-23 – Estudos que mencionam o MODIS (nº) por áreas de pesquisa

Ao nível dos estudos urbanos o MODIS tem sido menos utilizado que o Landsat, devido à sua resolução espacial mais grosseira. Não obstantes, Espinoza (2012) refere que que estas imagens conseguem detetar as mudanças na temperatura de superfície e nas condições da atmosfera verificada no entorno das áreas urbanas – pelo que se converteu num instrumento muito importante para a Climatologia Urbana. Assim, o facto de o MODIS captar imagens durante a noite permite superar a principal limitação decorrente da utilização do Landsat.

I – 1.4. Potencialidades da Observação da Terra

Recapitulando, um sistema de Deteção Remota, no seu conjunto, necessita dos seguintes elementos (Chuvieco, 1992):

– Uma fonte de energia, podendo tratar-se de um foco intrínseco ao sensor (ativo) ou exterior a este (passivo, no qual o Sol constitui o foco de energia mais importante).

— Cobertura terrestre (no caso da Observação da Terra), formanda pelas distintas massas de vegetação, solos, água e tecido urbano, que recebem o sinal energético e o refletem ou emitem de acordo com as suas características físicas.

— Sistema do sensor, composto pelo sensor propriamente dito, e pela plataforma que o suporta. Este tem como finalidade captar a energia procedente da superfície terrestre, atribuir-lhe uma codificação e proceder à sua gravação ou envio direto para um sistema de receção.

— Sistema de receção e de divulgação/comercialização, recebe a informação transmitida pela plataforma, procede a sua gravação e correções necessárias com vista à sua distribuição.

— Interprete, que analisa a informação, convertendo os valores alfanuméricos em cartografia temática, com vista a análise/resolução de um prolema concreto.

— Usuário final, fica encarregue de analisar o documento decorrente da interpretação da imagem.

Neste sentido, a descrição proposta por Chuvieco (1992) aproxima-se, em certa medida, da visão humana, pois os olhos humanos recebem um feixe energético, decorrente do reflexo da luz solar. Este sinal é transmitido ao cérebro, que transforma esta informação em imagens sobre o mundo circundante. O indivíduo que observa a imagem é, ao mesmo tempo, o intérprete e o usuário final, da imagem detetada, que lhe permite tomar as decisões do dia-a-dia. Não obstante, a perceção visual humana apresenta algumas limitações, uma vez que apenas consegue decifrar algumas regiões do espectro eletromagnético – que por essa mesma razão se denomina de visível. Outras regiões, como o infravermelho térmico, que capta o calor, não são diretamente percecionadas pela visão humana, pelo que é necessário o auxílio destes 'olhos artificiais'. De facto, tem-se verificado um emprego crescente de sensores remotos para a observação da superfície terrestre decorrente das inúmeras vantagens que estes oferecem no entendimento dos múltiplos processos que afetam a Terra.

Atendendo a que as potencialidades e vantagens da Deteção Remota são muito extensas, procura-se fazer somente uma súmula daquelas que diretamente se relacionam com os objetivos do presente trabalho. Assim sendo, importa salientar, desde logo, a cobertura global e periódica da superfície terrestre, pois os satélites fornecem sistematicamente imagens da maior parte da Terra, inclusive de áreas inacessíveis por outros meios, como as zonas polares ou desérticas. A esta questão soma-se a visão panorâmica, dado que a altura orbital dos satélites permite captar numa só imagem grandes extensões geográficas. A título de exemplo, numa imagem Landsat é possível contemplar 34 000km^2, e numa imagem NOAA-AVHRR estão abarcados 9 milhões de km^2.

Neste seguimento, sobressai a homogeneidade dos dados, uma vez que o satélite capta uma vasta área numa fração muito reduzida de tempo, assegurando a coerência da informação, mesmo

perante grandes extensões geográficas. Além de mais, capta informações sobre regiões do espetro eletromagnético não diretamente percecionadas pelos olhos humanos, nomeadamente no infravermelho médio e térmico, e ao nível das ondas micro (Yang, 2011a). Deste modo, os satélites fornecem informação valiosa acerca das transformações ambientais que os olhos humanos não conseguem discernir.

O formato digital das imagens agiliza o seu tratamento, nomeadamente por via da conversão dos dados alfanuméricos em cartografia temática. Nesta aceção, a elevada resolução temporal da informação (quando comparada com os meios mais tradicionais) pode ser determinante, não só no planeamento e gestão do território, como também de meios de socorro em situações de catástrofes natural, como cheias, terramotos ou incêndios florestais. De facto, esta informação poder ser aplicada antes, durante ou depois destes eventos ocorreram, nomeadamente com vista à prevenção, gestão e recuperação destas situações, respetivamente.

A tudo isto soma-se o baixo custo (ou mesmo a sua total ausência) na aquisição da informação referentes a alguns arquivos de dados disponibilizados pela NASA e pela Agência Espacial Europeia Em suma, o custo-benefício é muito elevado.

I – 2. ANÁLISE DO ECOSSISTEMA URBANO POR DETEÇÃO REMOTA

"*Remote sensing technology, especially multi-spectral analysis introduces a new opportunity to establish substantial insights into urban ecosystems through objective and verifiable characterization of urban composition*".
|Ridd, 1995, p.2165|

A urbanização é um dos exemplos mais profundos das modificações humanas na superfície terrestre (Weng, 2011); ainda assim, continua a ser notória a falta de informação de base para analisar os seus impactes, tanto à escala local como global. A Deteção Remota – desde logo, pela sua visão sinótica e repetitiva – constitui uma importante oportunidade para recolher informação acerca do ambiente urbano a diversas escalas espaciais, temporais e espectrais (Netzband *et al.,* 2007; Netzband e Jürgens, 2010). Esta questão assume particular acuidade em áreas onde se verificam mudanças nas coberturas/usos do solo muito aceleradas, pois permite captar estas modificações de modo sistemático, sem que seja necessário despender grandes quantidades de tempo e de dinheiro na atualização da base de dados (Netzband *et al.*, 2007; Weeks, 2010).

É de notar que, as imagens multiespectrais de satélite permitem muito mais que a mera identificação e quantificação das coberturas/usos do solo (Gluch e Ridd, 2010), pois permitem descrever, medir e modelar a evolução da configuração espacial das áreas urbanas, bem como inferir as mudanças no ambiente físico que que estas provocam (Weeks, 2010). De facto, é possível: (i) mapear e quantificar os padrões de mudanças nas áreas urbanas (*e.g.*, Batty e Longley, 1994; Herold *et al.*, 2005; Liu *et al.,* 2010); (ii) aplicar modelos relacionados com a energia, humidade e poluição atmosférica, em função da cobertura/uso do solo (*e.g.*, Carlson *et* al., 1995; Sandholt *et al.*, 2002; Fisher *et al.*, 2007; Tran *et al.,* 2017; Feng *et al.*, 2019); (iii) estimar parâmetros populacionais e demográficos (*e.g.,* Sutton *et al.*, 2010; Kumar *et al.*, 2019); (iv) estabelecer comparações ambientais entre diferentes cidades do mundo (*e.g.,* Kwarteng e Small, 2010; Schwarz *et al.*, 2011; Huang *et al.,* 2017); e, (v) enriquecer o planeamento urbano, superando a frequente limitação de falta de dados (*e.g.*, Miller e Small, 2003; Sliuzas *et al.*, 2010).

I – 2.1. Deteção Remota das Áreas Urbanas

A Deteção Remota das áreas urbanas é "*by nature defined as the measurement of surface radiance and proprieties connected to the land cover and land use in cities*" (Netzband e Jürgens, 2010,

p.3). Com efeito, a classificação das características de refletância dos materiais presentes nas áreas urbanizadas fornece informação robusta e comparável sobre a dicotomia coberturas naturais/artificiais. Para além disto, permite ainda discernir a estrutura física (*i.e.*, dimensão) e morfologia (*i.e.*, forma) do espaço urbano (Besussi *et al.*, 2010).

Os primeiros estudos das áreas urbanas com base em dados obtidos por Deteção Remota foram publicados na revista *Photogrammetric Engineering* (atualmente designada de *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*), aquando da edição do seu segundo volume em 1936 (Fugate *et al.*, 2010). Entre 1950 e 1970, período anterior ao lançamento do primeiro satélite Landsat, as imagens de Deteção Remota eram obtidas essencialmente com recurso a veículos aéreos, que captavam fotografias aéreas e, em alguns casos, vídeo ou imagens multiespectrais. As imagens de RADAR ou do infravermelho térmico, embora pouco frequentes, também foram utilizadas em algumas investigações. Neste período, os estudos – essencialmente de carácter exploratório – centraram-se em três áreas-chave: (i) uso do solo e dinâmicas residenciais e industriais; (ii) mapeamento, análise e planeamento das infraestruturas de transportes; e, (iii) mapeamento da densidade e qualidade das habitações, incluindo as condições de higiene (Fugate *et al.*, 2010).

Comparada com outras aplicações, a Deteção Remota das áreas urbanas é recente para os geógrafos até porque numa primeira fase, devido à fraca resolução espacial das imagens, estas eram essencialmente utilizadas à escala regional, nacional ou mundial, nomeadamente para o estudo das grandes unidades morfológicas, pedológicas, biogeográficas, geológicas e de ocupação e uso do solo (Rocha e Sousa, 2007). Porém, resultado do aumento de resolução espacial das imagens, o interesse, a confiança e a dependência relativamente aos dados de Deteção Remota em estudos urbanos têm registado um incremento significativo, considerando a facilidade da aquisição de informação para extensas áreas e largos períodos, a possibilidade do seu processamento digital e a integração com os SIG (Bhatta, 2010).

De acordo com Fugate *et al.* (2010), desde 1971 até ao presente, os estudos das áreas urbanas baseados em dados de Deteção Remota centram-se: (i) na identificação e classificação das coberturas/usos do solo, que se tem revelado uma tarefa muito complexa, por causa da elevada heterogeneidade do ambiente urbano; (ii) na compreensão do padrão espacial da estrutura urbana, com recurso aos índices de estrutura espacial ou à geoestatística; e, (iii) na deteção das mudanças verificadas no tempo e no espaço, designadamente através da quantificação do crescimento urbano. Ademais, os dados diurnos e noturnos têm sido utilizados para a realização

de estimativas populacionais, no que se refere ao seu tamanho, densidade e distribuição espacial. Esta análise quantitativa revela-se especialmente importante para os países que não possuem dados de censos da população recentes e fiáveis, esperando-se que no futuro a informação derivada a partir das imagens de satélite possa contribuir para estimativas intercensitárias, particularmente nos países que verificam um crescimento populacional muito acelerado. Ainda no domínio das ciências sociais, a investigação com recurso à Deteção Remota tem-se voltado para a compreensão da relação entre o ambiente físico urbano e/ou espaços verdes e os processos demográficos – *e.g.*, população urbana (Huang *et al.*, 2011) – e sociais – *e.g.*, qualidade de vida (Fung e Siu, 2000), saúde pública (Dousset *et al.*, 2011; Depietri *et al.*, 2013), pobreza (Dadvand *et al.*, 2014), criminalidade (Al-Awar e El-Baz, 2010).

Ao nível do ordenamento do território – frequentemente limitado pela generalização espacial ou desfasamento temporal dos indicadores obtidos a partir de bases de dados convencionais – a Observação da Terra representa igualmente uma poderosa fonte de informação. Efetivamente, as imagens de satélite possibilitam o cálculo de um vasto número de indicadores de sustentabilidade urbana, de modo eficiente e preciso, com custos económicos e temporais reduzidos (*e.g.*, Bhatta, 2010; Wentz *et al.*, 2012; Chrysoulakis *et al.*, 2014). De entre estes indicadores, aquele que tem sido mais amplamente utilizado é a cobertura/uso do solo, cuja delimitação para diversas datas permite traçar as suas mudanças ao longo do tempo (Ridd, 1995; Mesev, 2011) – ou seja, segue-se uma lógica de *story-telling* (Sui, 2011). Neste campo, destacar a possibilidade de mapear a globalidade do tecido urbano, que permite descortinar o processo de urbanização, nomeadamente no que se refere à morfologia e ao modo de crescimento urbano (*e.g.*, Batty e Longley, 1994; Herold *et al.*, 2005; Liu et al., 2010) – assim, este assunto será retomado adiante com maior detalhe. Ademais, permite monitorizar as mudanças que o crescimento urbano provoca nas condições ambientais, dado que este processo, por norma associado à vitalidade económica de um território, raramente ocorre de modo planeado (Lo e Quattrochi, 2003; Yang, 2011b). Esta informação é vital quer do ponto de vista das dinâmicas urbanas quer da gestão dos recursos naturais.

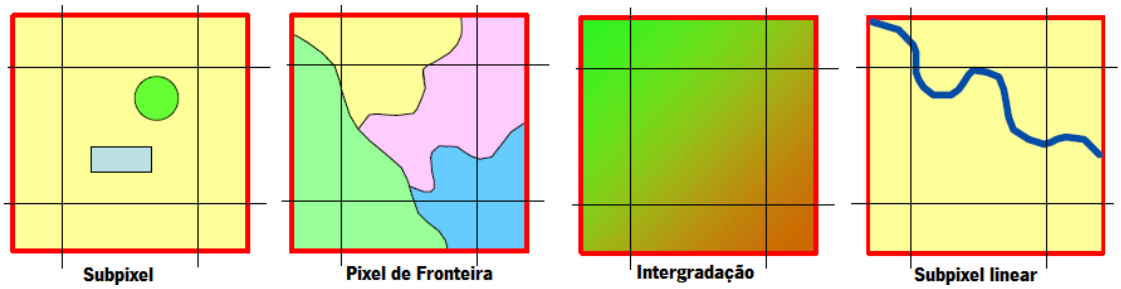
A Deteção Remota – com a sua visão ampla, mas ao mesmo tempo detalhada – pode desempenhar um papel fulcral no estabelecimento de conexões entre as diferentes escalas de análise – *i.e.*, espaciais e temporais – inerentes aos múltiplos domínios (ou ramos) disciplinares que se dedicam ao estudo do espaço urbano (Yang, 2011a; Wentz *et al.*, 2012), assim como entre as distintas escalas espaciais definidas no sistema de ordenamento do território. De facto, como

enfatiza Yang (2011a), "*failure in observing the entire mosaic of an urban phenomenon may hinder our ability to understand the potential processes behind the observed patterns*" (p.5).

Em epitome, face a natureza complexa e dinâmica das áreas urbanas, a Deteção Remota constitui-se cada vez mais como uma disciplina imprescindível à promoção do desenvolvimento territorial sustentável. A compreensão do estado, tendência(s) e oportunidades/ameaças nas áreas urbanas é fundamental para a definição de estratégias e medidas de planeamento e gestão do território, pois estas dependem não só do conhecimento da estrutura/padrão urbano, como também dos processos que lhe estão subjacentes e das suas consequências (Yang, 2011a).

I – 2.2. O Problema dos Mixels

O número digital de cada pixel resulta do somatório das interações das várias classes de cobertura/uso do solo existentes na porção de território abrangido por um dado pixel (*e.g.*, 30m x 30m, no caso do Landsat), ponderado pelas respetivas proporções (Tenedório *et al.*, 2004). Assim, quando os pixéis captam mais do que uma cobertura/uso do solo designam-se por mixels, sendo que este termo deriva do inglês *mixed pixels* – ou seja, 'pixéis misturados'. Regra geral, um mixel (*i.e.*, pixel não puro) ocorre quando se verifica uma destas situações (Figura I-24): (i) objetos com dimensão inferior ao pixel (*e.g.*, casas, árvores); (ii) fronteira entre duas ou mais coberturas/usos do solo; (iii) intergradação entre conceitos centrais do fenómeno cartografado, e, (iv) elementos lineares ao nível do subpixel (*e.g.*, estradas ou rios).



Fonte: Tenedório *et al.* (2004).

Figura I-24 – Características da superfície que originam mixels

Quando se procede à classificação das imagens de satélite apenas pode ser atribuída uma classe a um pixel misto, ainda que na realidade este pertença a duas ou mais. Assim, por exemplo, se

um pixel for composto pelas classes A (60%) e B (40%) deve ser classificado como pertencente à classe A; esta situação leva à sobrestimação em 40% da área da classe A (logo, a uma subestimação da classe B, em igual valor). Por outro lado, o mixel pode não corresponder a nenhuma das classes existentes, pois a conjugação das refletâncias das classes A e B poderá assemelhar-se à assinatura espectral de uma classe totalmente diferente (classe C), que não está presente no pixel. Como se compreende, estas situações resultam em imprecisões no cálculo da área detida por cada classe de cobertura/uso do solo.

Esta questão assume particular acuidade nas áreas urbanas, caracterizadas por uma acentuada mescla de coberturas/usos do solo, que facilmente origina mixels. Mas se, por um lado, o número de mixels é inversamente proporcional ao aumento da resolução espacial (*i.e.*, uma maior resolução permite que mais pixéis sejam totalmente enquadrados pelas fronteiras dos objetos), por outro, o aumento do detalhe pode levar à introdução de novas classes espectrais não detetadas anteriormente e, por consequência promover o incremento de mixels. Assim, de acordo com Tenedório *et al.* (2004, p.10), "é licito argumentar que o problema dos mixels não se resolve através de um simples aumento de resolução espacial". De igual modo Wu e Yuan (2011) alertam,

> "the *mixed pixel problem may still be one of the major factors that affect the accuracy of impervious surface estimation in high resolution imagery, given the heterogeneous characteristics of urban environment*" (p.242).

Embora o aumento de resolução espacial permita, numa primeira instância, elevar a precisão na classificação das imagens, paradoxalmente pode também comprometer a extração de informação e tornar problemática uma classificação coerente e homogénea, pois aumenta o 'ruído' originado pela elevada heterogeneidade espacial (Besussi *et al.*, 2010; Bhatta, 2013). Efetivamente, quanto maior é a resolução da imagem mais variações intraclasse são captadas, decorrentes das diferenças locais de humidade ou de elevação. Deste modo, o maior número de pixéis exige mais tempo de processamento (Tenedório *et al.*, 2004), além de que estas imagens cobrem porções do território muito reduzidas, o que obriga à aquisição de um grande número de cenas.

Nesta perspetiva, a dimensão ótima de um pixel depende, acima de tudo, das características do território em análise e dos objetivos do estudo (Tabela I-10). Moller-Jensen (1990) refere que é plausível dividir a utilização das imagens em duas lógicas metodológicas: (i) uma sintética, que visa a recolha de informação sobre as características gerais da área de estudo (*e.g.*, disposição e

extensão da mancha urbana); e, (ii) outra mais analítica, que tem por objetivo a recolha de informação detalhada sobre o território (*e.g.*, casas, estradas, áreas verdes).

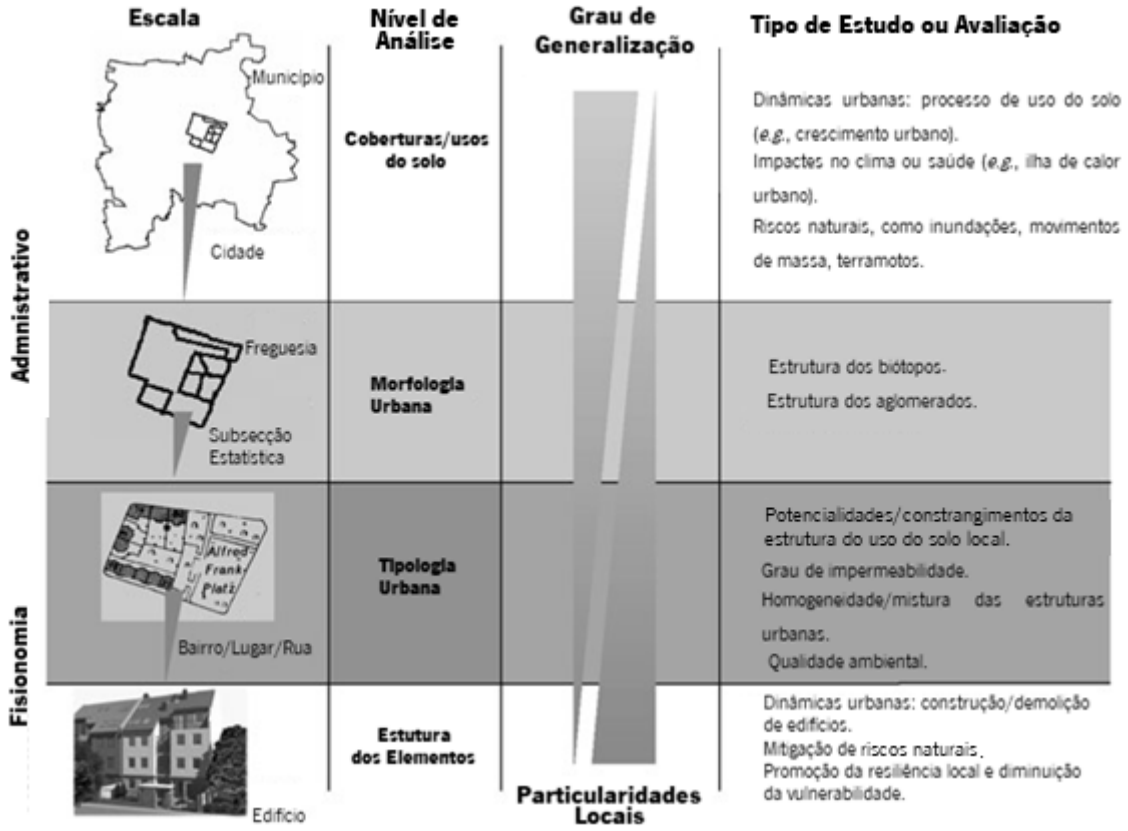
Tabela I-10 – Escala de aplicação em função da resolução espacial das imagens de satélite

Tamanho do pixel (m)	Resolução	Plataforma/Sensor	Escala de Aplicação
0,1–0,5	Muitíssimo alta	Fotografia Aérea, Geoeye-1 (pan), WorldView-1 (pan), WorldView-2 (ms)	1:500 – 1:5 000
>0,5–4	Muito alta	IKONOS (pan), QuickBird (pan)	1. 5 000 – 1: 10 000
>1–4	Alta	IKONOS (ms), QuickBird (pan), Geoeye-1 (ms)	1. 10 000 – 1: 15 000
>4–12	Média	SPOT (pan)	1. 15 000 – 1: 25 000
>12–50	Baixa	ASTER, Landsat TM/ETM+/OLI (pan, ms), SPOT (ms)	1. 25 000 – 1: 100 000
>50–250	Muito baixa	Landsat MSS	1. 100 000 – 1: 500 000
>250	Muitíssimo	NOAA	>1:500 000

*pan – pancromática; ms – multiespectral.

Fonte: Bhatta (2010).

Netzband e Jürgens (2010) salientam a importância de considerar o efeito da escala sobre os objetivos do trabalho (Figura I-25). Na realidade, a análise urbana apenas se torna possível com a agregação de múltiplos pixéis adjacentes com características similares, quer isto dizer, um pixel do ponto de vista isolado não traduz grande informação (salvo algumas exceções, que serão retomadas no decurso do trabalho).



Fonte: Adaptado de Netzband e Jürgens (2010).

Figura I-25 – Análise urbana em função da escala

Adicionalmente, o aumento da resolução espacial é acompanhado pelo prejuízo da resolução espectral e/ou da resolução radiométrica. A este respeito, note-se que a combinação da resolução espacial—espectral do Landsat ou do SPOT tem permitido que estes sensores continuem competitivos em relação a outros com maior resolução espacial, como o IKONOS ou o QuickBird (Tenedório *et al.*, 2004).

Por fim, é de realçar que a segmentação das diferentes superfícies que compõem as áreas urbanas (e sua envolvente) persiste como um claro desafio para a comunidade académica (Chrysoulakis *et al.*, 2014), por causa da similaridade espectral dos materiais – particularmente entre o solo nu e as superfícies impermeáveis antrópicas (Herold e Roberts, 2010).

I – 2.3. Componentes Biofísicas do Ecossistema Urbano

As áreas urbanas integram uma multiplicidade de aspetos (*e.g.*, físicos, biológicos, sociais, económicos, institucionais, infraestruturais), pelo que são frequentemente abordadas como um sistema complexo. O conceito de sistema, amplamente utilizado nos estudos científicos desde os anos 70 do século passado, decorre da Teoria Geral dos Sistemas, proposta por Ludwig Bertalanffy em 1968, e desenvolvida sob os auspícios do paradigma estruturalista (Passos, 2016b). O objetivo central desta teoria consiste em determinar similitudes estruturais entre fenómenos comuns descobertos em diferentes escalas – *e.g.*, uma galáxia, uma cidade ou uma célula –, e, desta maneira, poder utilizar as mesmas ferramentas teóricas para os analisar (Buzai, 2016). Num sistema, não se concebe a possibilidade de explicar um elemento componente se não for em relação com os outros e com a estrutura total que os vincula, com base numa perspetiva sinérgica e holística.

O conceito de sistema ecológico ou ecossistema, originalmente biocêntrico, foi assimilado pelos Estudos Urbanos nas suas mais diversas facetas (*e.g.,* Ridd, 1995; Czamanski *et al.,* 2008; Wilson, 2010; Tenedório e Rocha, 2018; Almeida, 2018). Para Bhatta (2010), o ecossistema urbano constitui um sistema híbrido, uma vez que é constituído por materiais naturais, seminaturais e artificiais. Esta diversidade de materiais (em termos de composição, tamanho e forma), decorre da miscelânea de usos do solo e da complexidade dos padrões morfológicos (Gluch e Ridd, 2010), resultando em propriedades muito heterogéneas e interações complexas (Ridd, 1995; Xu, 2007; Mesev, 2010). Não obstante a sua natureza diversa, estes materiais apresentam uma elevada similaridade espectral, o que coloca desafios acrescidos à classificação das áreas urbanas por via da Deteção Remota. Ainda assim, existem componentes, propriedades e processos que podem ser generalizados. De facto, Tenedório *et al.* (2004) salientam que o estudo quantitativo do ecossistema urbano requere a simplificação dos materiais, coberturas e/ou usos do solo que o compõem.

I – 2.3.1. Cobertura do Solo *versus* Uso do Solo

Os termos 'cobertura do solo' e 'uso do solo' são frequentemente utilizados de modo intercambiável ou em conjunto para descrever a superfície terrestre, pois assume-se que a sua relação é linear (Mesev, 2011). Todavia, existem importantes diferenças entre estes conceitos

(Weng, 2012; Vargo *et al.*, 2013) que importa salientar. A cobertura do solo refere-se às condições biofísicas das superfícies, não só ao nível dos materiais como também da estrutura (*e.g.*, rugosidade), podendo ser natural, seminatural ou artificial – *e.g.*, povoamentos florestais, culturas agrícolas, áreas construídas. O uso do solo reflete informação socioeconómica decorrente da apropriação antrópica do território – *e.g.*, função florestal, agrícola, residencial.

O uso do solo adequa-se ao ordenamento e planeamento do território, ainda que as teorias urbanas sugiram que a dinâmica das cidades exibe um desfasamento temporal entre estrutura e função (Mesev, 2011). Nos estudos ambientais, nomeadamente os climáticos, é claramente preferível ter como *input* a cobertura do solo, posto que um mesmo uso pode abarcar distintas coberturas. Por sua vez, uma determinada cobertura pode corresponder a diferentes usos (Carlson e Arthur, 2000). Note-se que, esta pode mudar várias vezes apesar do uso do solo não se alterar, como ocorre por exemplo sazonal ou mensalmente nas áreas de uso agrícola e episodicamente nas áreas de produção florestal, que perante um incêndio passam de uma cobertura com vegetação arbórea densa para solo nu.

A cobertura do solo é diretamente observável a partir dos satélites, enquanto o uso do solo apenas pode ser inferido (Mesev, 2011), dado que não gera uma assinatura espectral (Ridd, 1995). Efetivamente, as mudanças observadas no tamanho, forma e densidade das áreas construídas (*i.e.*, cobertura do solo) são indicativas de processos de crescimento urbano, como a periferização da habitação e a descentralização do comércio/indústria (*i.e.*, usos do solo). É notório que a cobertura e o uso do solo apresentam um grau de correlação elevado, mas tal como explicitado não são sinónimos, sendo que a importância dada a cada um depende claramente da natureza e dos objetivos do trabalho (Kiel, 2008). Sem embargo, o 'urbano' pode ser considerado simultaneamente um tipo de cobertura do solo e uma classe de uso. Assim, no que se refere à cobertura do solo apenas se classificam como urbano os pixéis que correspondem às superfícies impermeáveis antrópicas, como o edificado e as estradas. Contudo, o uso do solo urbano pode incluir pixéis com outras coberturas classificadas de 'não urbano', designadamente as áreas correspondentes aos espaços verdes (urbanos) ou solos expectantes (Bhatta, 2010). Com efeito, existem importantes diferenças entre o que é geralmente definido por urbano – *e.g.,* nos Planos Diretores Municipais (PDM), pelo Instituto Nacional de Estatísticas (INE) ou na Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) – e aquilo é considerado urbano em termos de resposta espectral. Carlson e Arthur (2000) enfatizam que para determinar os efeitos ambientais da urbanização, a

definição espectral é mais instrutiva do que a baseada meramente no uso do solo, pelo que no âmbito do presente trabalho empírico se adota esta aceção.

I – 2.3.2. O Modelo V-I-S

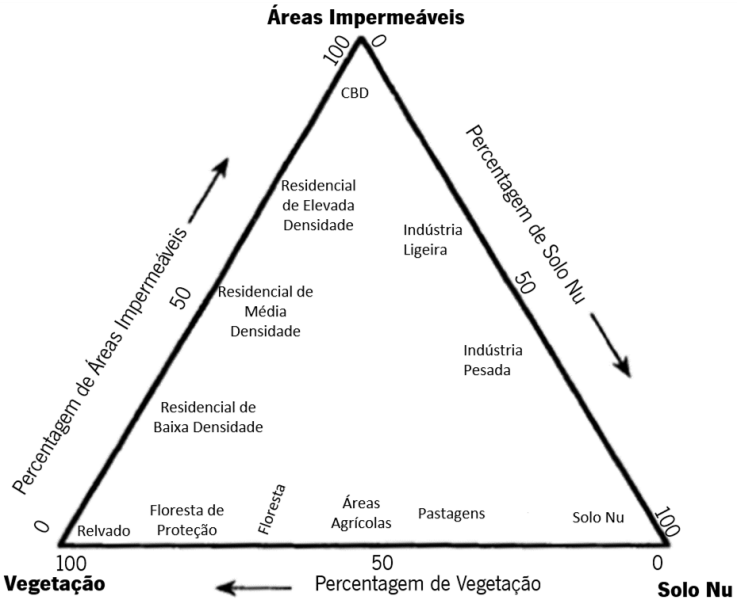
O modelo teórico proposto por Ridd em 1995 – denominado modelo V-I-S (Vegetation–Impervious Surface–Soil) –, oferece a base à simplificação necessária do ecossistema urbano, subdividindo-o em três componentes biofísicas fundamentais: (i) a vegetação; (ii) as superfícies impermeáveis antrópicas; e, (iii) o solo nu (a esta trilogia junta-se ainda a água). As componentes biofísicas – *i.e.*, coberturas do solo – identificadas no modelo V-I-S exibem características muito contrastadas (Tabela I-11), quer ao nível dos processos biofísicos (*i.e.*, fluxos de energia e de água), quer da perceção humana sobre elas (Gluch e Ridd, 2010).

Tabela I-11 – Fluxos de energia e de água (condições de humidade) nas diferentes componentes biofísicas

Parâmetros	Vegetação (saudável)	Superfícies Impermeáveis	Solo Exposto	Água
Energia (insolação)	Impulsiona a fotossíntese e a evapotranspiração	Refletem parte, mas absorvem a maioria; e passam a irradiadoras de calor	Geralmente absorve, e passa a irradiador calor	Absorve e armazena energia; irradia muito pouco
Fluxos diários de calor	Mínimos	Elevados	Moderados	Mínimos
Precipitação e infiltração	Interceta e armazena nas plantas e no solo; retarda a escorrência	Promoves a aceleração da escorrência; armazenamento muito reduzido	Interceta e armazena; taxa de escorrência intermédia	Aceita e armazena
Evapotranspiração	Evaporação e transpiração elevadas	Evaporação exígua; sem transpiração	Evaporação moderada; sem transpiração	Evaporação considerável; sem transpiração

Fonte: Adaptado de Gluch e Ridd (2010).

A concetualização teórica de Ridd (1995), que tem por referência o diagrama ternário de classificação da textura do solo (areia–argila–limo), considera que a paisagem urbana pode ser classificada através de um diagrama triangular vegetação–áreas impermeáveis–solo nu, e que o somatório das três componentes é igual a 100% (Figura I-26).



Fonte: Adaptado de Ridd (1995).

Figura I-26 – Distribuição das coberturas/usos do solo no modelo V-I-S

De acordo com o modelo V-I-S, os vértices representam os pixéis puros (à exceção da água), sendo que os pixéis mistos (ou mixels) se distribuem ao longo do diagrama. Um pixel que se encontre no centro do diagrama é constituído por 33% de cada componente biofísica (Gluch e Ridd, 2010). No eixo 'vegetação – áreas impermeáveis' situam-se as áreas residenciais, enquanto as áreas comerciais e industriais se distribuem ao longo do eixo 'áreas impermeáveis – solo nu', ainda que a sua localização se desloque mais ou menos para a esquerda em função da quantidade de vegetação existente (Figura I-26).

Por sua vez, o eixo 'solo nu – vegetação' compreende o território que ainda não foi urbanizado ou os espaços urbanos que estão a ser renovados, pelo que apresentam pouca ou nenhuma superfície impermeável. As áreas de pastagens e/ou outros terrenos a descoberto (*e.g.*, em pousio agrícola) caracterizam-se por uma reduzida cobertura vegetal, enquanto as áreas agrícolas tipicamente apresentam uma mistura de vegetação e de solo exposto, sendo que à medida que as culturas crescem a assinatura V-I-S migra em direção ao vértice da vegetação. As florestas, dependendo da densidade das copas das árvores e da quantidade de vegetação arbustiva, exibem variações na quantidade de solo nu. Junto ao vértice da vegetação, para além das áreas florestais, encontram-se os espaços verdes urbanos, campos de golfe ou espaços verdes privados (Figura I-26). Estes últimos, frequentemente ignorados nos mapas de coberturas/usos do solo, são imprescindíveis para a compreensão da complexidade do ecossistema urbano.

Posto isto, o presente trabalho baseia-se na pressuposição de que as áreas urbanas são compostas por uma combinação linear de vegetação, solo nu e áreas impermeáveis (e de água), tal como descrito por Ridd (1995), para cartografar as componentes biofísicas da área de estudo, visto que o principal interesse desta investigação reside na obtenção da cobertura do solo (e não do uso deste).

I – 2.3.3. Aplicação do Modelo V-I-S

A divisão do ecossistema urbano proposta por Ridd (1995) – *i.e.*, vegetação, superfícies impermeáveis e solo nu – aproxima-se do nível I do esquema de classificação da cobertura/uso do solo definido por Herold e Roberts (2010) para as paisagens urbanas (Tabela I-12). Por sua vez, este modelo baseia-se no proposto por Anderson *et al.* (1976) que, apesar de antigo, continua a ser utilizado como referência (Sliuzas *et al.*, 2010), particularmente no que se refere à resolução espacial necessária para a identificação das coberturas do solo em cada nível (Tabela I-12).

Tabela I-12 – Esquema de classificação da cobertura/uso do solo nas áreas urbanas

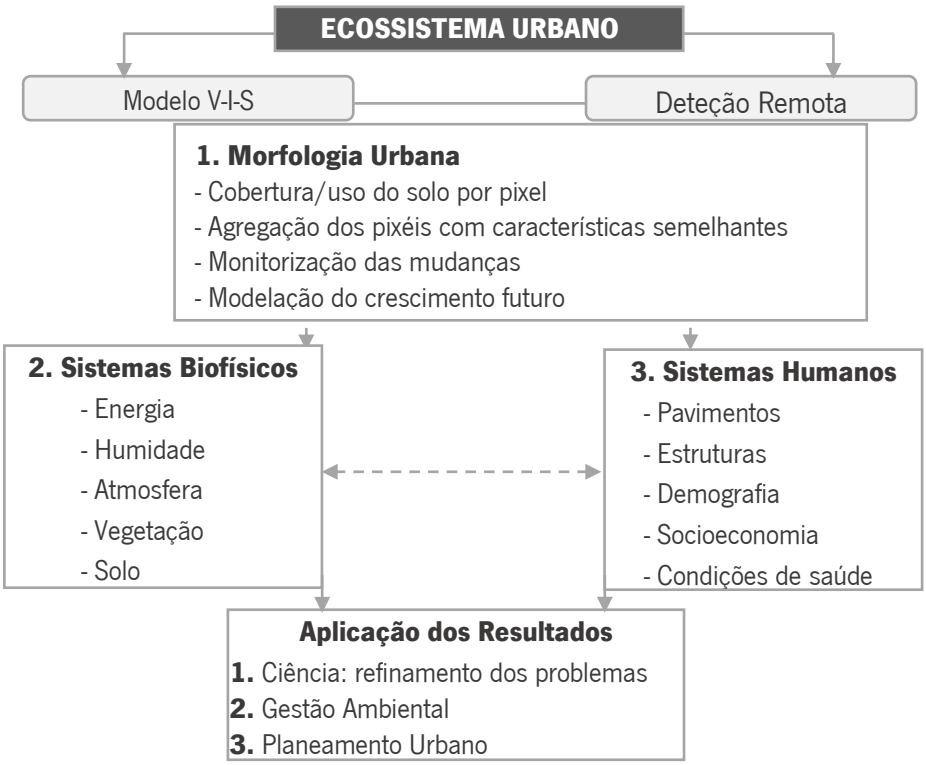
Nível	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Cobertura do Solo	Áreas Construídas	Edifícios/Telhados Infraestruturas de Transportes Outras Áreas Construídas	Telhados de Telha Telhados de Gravilha Telhados de Metal Telhados de Alcatrão Estradas de Asfalto Estradas de Concreto Estradas de Gravilha Parques de Estacionamento Linhas de Caminho de Ferro Aeroportos Campos de Ténis
	Vegetação	Vegetação Verde Vegetação Não Fotossintética*	
	Solo Nu Não Urbano	Solo Nu Rocha Nua	
	Corpos de Água	Corpos de Água (Naturais/Seminaturais) Piscinas	
Resolução Espacial	≤100m	≤20m	≤5m

*Vegetação senescente ou morta.

Fonte: Baseado em Anderson *et al.* (1976) e em Herold e Roberts (2010).

Vale ressalvar que o modelo V-I-S pode ser aplicado a várias escalas de observação: subpixel, pixel, grupos de pixéis similares, ou até mesmo à cidade como um todo. Efetivamente, o modelo V-I-S efetua a ligação entre a composição das áreas urbanas e as características espectrais das imagens de satélite, permitindo identificar as componentes biofísicas de modo estandardizado, objetivo e quantitativo a partir dos dados de Deteção Remota (Gluch e Ridd, 2010). Por conseguinte, é possível efetuar uma análise comparativa da 'anatomia das cidades' (Ridd, 1995), tanto no espaço (*i.e.*, diferentes territórios), como no tempo (*i.e.*, evolução cronológica), atendendo a que o crescimento urbano exibe mudanças internas (processos de colmatação) e externas (expansão do núcleo central e/ou aparecimento de novos núcleos), que se refletem na composição V-I-S. Sem embargo, este modelo por si só oferece pouca ou nenhuma explicação teórica sobre os fatores que promovem a urbanização, ou sobre as suas consequências.

Vários autores (Ridd, 1995; Carlson e Arthur, 2000) alertam para o facto de existir mais informação biofísica nos dados de satélite do que se é levado a crer com a mera preocupação de criação de das mapas das coberturas/usos do solo, visto que os dados multiespectrais fornecem as bases para a investigação relacionada com: (i) a morfologia urbana; (ii) os sistemas biofísicos; e, (iii) os sistemas humanos (Figura I-27).



Fonte: Traduzido de Ridd (1995).

Figura I-27 – Interação entre a Deteção Remota e o ecossistema urbano

A morfologia urbana consiste na definição das coberturas/usos do solo ao nível do pixel. Porém, a determinação da composição de um único pixel tem pouco ou nenhum poder analítico, sendo a agregação de pixéis adjacentes com composição semelhante que torna possível a análise ecológica. A lógica subjacente ao agrupamento dos pixéis está dependente da natureza e dos objetivos do estudo. Deste modo, é possível não só monitorizar as mudanças registadas nas áreas urbanas, como também modelar o crescimento futuro destas (Figura I-27). Neste sentido, a morfologia urbana fornece as bases para uma análise efetiva dos sistemas biofísicos e humanos (Gluch e Ridd, 2010).

Ao nível dos sistemas biofísicos, a análise da morfologia urbana possibilita o estudo e a quantificação de certos processos ecológicos (Figura I-27). De facto, o modelo V-I-S permite inferir os padrões dos fluxos de energia (*i.e.*, balanço energético superficial), e, por consequência, da temperatura do ar, atendendo às diferentes composições da superfície urbana – *e.g.*, a ilha de calor urbano surge como resultado do predomínio de superfícies impermeáveis, bem como da libertação de calor antrópico. O modelo V-I-S fornece, ainda, as bases para a aplicação de modelos referentes: (i) à qualidade do ar, definida em função das coberturas/usos do solo; (ii) às condições de humidade, determinadas pelas variações na composição morfológica das áreas urbanas; e, (iii) da escorrência e evapotranspiração (Gluch e Ridd, 2010).

Os sistemas humanos também beneficiam da análise morfológica baseada no modelo V-I-S (Figura I-27), pois esta permite estimar aspetos populacionais e socioeconómicos. Os padrões dos pavimentos e das estruturas podem ser utilizados nos estudos relacionados com os transportes. Além disto, é possível incorporar os resultados deste modelo nos estudos sobre as condições de saúde, a partir da relação das coberturas/usos do solo com a qualidade do ar (Gluch e Ridd, 2010).

Por fim, é de salientar que estes estudos contribuem não só para a resolução de problemas científicos, como também para a elaboração de estratégias de gestão ambiental e medidas de planeamento e ordenamento do território (Figura I-27).

I – 2.4. Índices Espectrais

As componentes biofísicas que compõem o ecossistema urbano – *i.e.,* vegetação, solo nu e superfícies impermeáveis antrópica e água (Ridd, 1995) – exibem uma resposta singular numa determinada região do espectro eletromagnético, pelo que combinações apropriadas entre as bandas de imagens de satélite permite o desenvolvimento de índices espectrais, que as discriminam de forma automática.

Regra geral, os índices espectrais são apresentados sob a forma de rácio ou de diferença normalizada (Vescovo e Gianelle, 2008) – *i.e.*, são adimensionais –, variando os valores entre menos um e um, em função da abundância relativa do elemento de interesse, o que simplifica a sua interpretação. Assim, uma das principais vantagens dos índices consiste na possibilidade de serem facilmente adaptados a diferentes satélites.

A simplicidade concetual e eficiência computacional, somada à elevada confiabilidade destes índices (Zhao e Chen, 2005; Villa, 2012; Xue *et al.,* 2014), permitem uma rápida atualização da informação (Piyoosh e Gosh, 2017) – pelo que constituem um dos métodos mais utilizados para a extração das coberturas/usos do solo. Esta situação é particularmente evidente quando se trata das investigações da ilha de calor de superfície, pois em cerca de metade dos estudos recorrem aos índices espectrais para extrair o tecido urbano, responsável pela sua formação (Deilami *et al.,* 2018).

I – 2.4.1. Formulações Desenvolvidas

O primeiro índice espectral foi proposto por Rouse *et al.* (1973) um ano após a disponibilização das primeiras imagens do satélite Landsat. Este índice, por discriminar as condições da vegetação de forma automática, foi designado de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), traduzido por Fonseca e Fernandes (2004) como Índice de Vegetação de Diferença Normalizada. Nos dias de hoje, o NDVI constitui o índice espectral mais amplamente utilizado, não existindo nenhum com a mesma precisão e aceitação para identificação de outras componentes biofísicas (Stathakis *et al.*, 2012). Esta situação traduziu-se no desenvolvimento de uma multiplicidade de índices espectrais que discriminam de modo automático a vegetação, o solo nu, as superficies impermáveis antrópicas e a água.

Vegetação

A vegetação é a componente biofísica cuja assinatura espectral se encontra mais estudada, facto que fica bem patente na pluralidade de índices desenvolvidos para a sua identificação (Tabela I-13). Estes índices, construídos de modo a que os valores mais elevados correspondam às maiores densidades de vegetação, permitem: (i) discernir os padrões de vegetação; (ii) revelar as condições fisiológicas e o vigor da vegetação; (iii) quantificar a biomassa; e, (iv) minimizar as diferenças de iluminação resultantes da topografia (Fonseca e Fernandes, 2004).

A vegetação apresenta uma grande variação na refletância em função do comprimento de onda (Figura II-13), sendo que a maior parte dos índices (*e.g.*, NDVI, DVI, IPVI) tira partido do contraste entre a acentuada refletância do infravermelho próximo (*NIR*) e a reduzida refletância no vermelho (*RED*), resultantes das diferenças de absorção, transmitância e refletância da energia pela vegetação nestas bandas (Rondeaux *et al.*, 1996; Fonseca e Fernandes, 2004; Fung e Siu, 2010; Orhan *et al.*, 2014). Estas diferenças ocorrem porque as folhas 'verdes' absorvem a radiação nos comprimentos de onda do vermelho, devido à presença de pigmentos de clorofila, e, por outro lado, dispersam a radiação nos comprimentos de onda do infravermelho próximo, por causa da sua estrutura interna (Mróz e Sobieraj, 2004; Kumar e Shekhar, 2015).

De acordo com Mróz e Sobieraj (2004), a refletância nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo depende, entre outros fatores: (i) do tipo de vegetação (arbórea, arbustiva, herbácea); (ii) das características das folhas (forma, ângulo); (iii) do desenho das copas; (iv) da fase de vida da planta; e, (v) do teor de pigmentos (clorofila, xantofila) e da sua distribuição nas folhas. Ademais, outros fatores, como as condições atmosféricas (*e.g.*, partículas em suspensão), as características do solo (*e.g.*, cor) ou a posição do Sol podem introduzir ruído na informação que o sensor capta nestas bandas e, por consequência, introduzir discrepâncias nos valores dos índices de vegetação (Mróz e Sobieraj, 2004).

O teor de água também influencia consideravelmente a refletância da vegetação, atendendo a que perante valores de humidade inferiores a 50%, as condições de vitalidade da planta degradam-se diminuindo a produção de clorofila, que por consequência altera a absorção e a refletância no infravermelho próximo (Fonseca e Fernandes, 2004).

Tabela I-13 – Índices espectrais que discriminam a vegetação (continua)

Índice	Formulação	Descrição e Aplicação	Referências
NDVI *Normalized Difference Vegetation Index* (Rouse *et al.*, 1973)	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	O NDVI é o índice de vegetação mais comumente utilizado nos estudos sobre a vegetação (fração de vegetação, fenologia das plantas, produtividade), na quantificação da cobertura florestal, na monitorização da seca, bem como no estudo da urbanização, do efeito de ilha de calor urbano superficial (Sharma *et al.*, 2013a) e da qualidade ambiental (Fung e Siu, 2000; Ryznar e Wagner, 2001). Este índice permite eliminar os efeitos da topografia (declive e orientação das vertentes), as variações na inclinação dos raios solares, entre outros elementos atmosféricos, como a neblina (Mróz e Sobieraj, 2004). Apresenta uma distribuição normal dos valores (Mróz e Sobieraj, 2004). Contudo, o NVDVI satura em áreas densamente vegetadas, pelo que não apresenta uma relação linear com a quantidade de vegetação. Além disto, sofre interferências das condições do solo, particularmente em áreas com vegetação esparsa (Meng *et al.*, 2014; Rondeaux *et al.*, 1996).	Carlson *et al.*, 1995; Carlson e Ripley, 1997; Carlson e Arthur, 2000; Weng, 2001; Hebbel *et al.*, 2001; *Kearney et al.*, 2002; Ryznar e Wagner, 2001; Arthur-Hartranft *et al.*, 2003; Wilson *et al.*, 2003b; Lo e Quattrochi, 2003; Weng *et al.*, 2004; Mróz e Sobieraj, 2004; Chen *et al.*, 2006; Yuan e Bauer, 2006; Xian e Crane, 2006; Carlson, 2007; Villa, 2007; Xiao *et al*, 2008; Vescovo e Gianelle, 2008; Meng *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2009; Uddin *et al.*, 2010; Buyantuyev *et al.* 2010; Fung e Siu, 2000; Barati *et al.*, 2011; Liu e Zhang, 2011; As-syakur *et al.*; 2012; Xiong *et al.*, 2012; Stathakis *et al.*, 2012; Pinheiro e Laranjeira, 2013a; Sharma *et al.*, 2013a; Sharma *et al.*, 2013b; Deng e Wu, 2013; Acero *et al.*, 2013; Fan e Myint, 2014; Effat *et al.*, 2014; Zhou *et al.*, 2014; Weng e Fu, 2014; Orhan *et al.*, 2014; Effat e Hassan, 2014; Xue *et al.*, 2014; Martin *et al.*, 2015; Kumar e Shekhar, 2015; Jiang, *et al.*, 2015; Guo *et al.*, 2015; Mei *et al.*, 2015.
SRI *Simple Ratio Index,* também designado por *Simple Vegetation Index* ou *Ratio Vegetation Index* (Rouse *et al.*, 1973)	$SRI = \frac{NIR}{RED}$	Este índice captura de forma simples o contraste entre a refletância na banda do infravermelho próximo e do vermelho. Para Mróz e Sobieraj (2004) este índice tem uma reduzida aplicabilidade, dado que não permite eliminar os efeitos da topografia e nem das variações na inclinação dos raios solares. Além disto, apresenta uma relação não linear com a vegetação, sendo mais sensível a variações em áreas com cobertura vegetal abundante do que em área com vegetação esparsa.	Mróz e Sobieraj, 2004; Vescovo e Gianelle, 2008; Barati *et al.*, 2011; Kumar e Shekhar, 2015.
DVI *Difference Vegetation Index* (Tucker, 1980)	$DVI = NIR - RED$	Este índice distingue o solo da vegetação, mas não tem em consideração as diferenças entre a refletância e a radiância dos efeitos da atmosfera e da sombra.	Barati *et al.*, 2011.

Tabela I.13 – Índices espectrais que discriminam a vegetação (continuação I)

Índice	Formulação	Descrição e Aplicação	Referências
IPVI *Infrared Percentage Vegetation Index* (Crippen, 1990)	$IPVI = \frac{NIR}{RED + NIR}$	Este índice é semelhante ao NDVI, no entanto, como se retira o infravermelho próximo do numerador, nunca apresenta valores negativos.	Barati *et al.*, 2011; Stathakis *et al.*, 2012.
ARVI *Atmospherically Resistant Vegetation Index* (Kaufman e Tanre, 1992)	$ARVI = \frac{(NIR - 2 * RED - BLUE)}{(NIR + 2 * RED - BLUE}$	Este índice, modificado a partir do NDVI, inclui a banda azul – sensível aos efeitos atmosféricos. Este índice procura minimizar os efeitos atmosféricos na banda do vermelho.	Rondeaux *et al.*, 1996.
GEMI *Global Environmental Monitoring Index* (Pinty e Verstraete, 1991)	$GEMI = \frac{eta * (1 - 0{,}25 * eta) - (RED - 0{,}125)}{(1 - RED)}$ em que, eta= $\frac{[2*(NIR^2 - RED^2) + 1{,}5*NIR + 0{,}5*RED]}{(NIR + RED + 0{,}5)}$	Este é um índice não linear que aplica uma correção atmosférica estandardizada à banda do infravermelho próximo e do vermelho. Este índice é muito sensível às variações do solo em áreas com pouco vegetação.	
NLI *Non-linear Index* (Goel e Quin, 1994)	$NLI = \frac{NIR^2 - RED}{NIR^2 + RED}$	-	Vescovo e Gianelle, 2008.
RDVI *Ratio Difference Vegetation Index* (Roujean e Breon, 1995)	$RDVI = \frac{NIR - RED}{\sqrt{NIR + RED}}$	Este índice resulta de uma alteração do NDVI, e, ao contrário deste, apresenta uma relação linear com a quantidade de vegetação (Barati *et al.*, 2011).	Barati *et al.*, 2011.
RDI *Renormalized Difference Index* (Roujean e Breon, 1995)	$RDI = \frac{NIR - RED}{(NIR + RED)^{1/2} + 1}$	Visa linear a relação entre parâmetros que tendem a não ser lineares (Vescovo e Gianelle, 2008).	Vescovo e Gianelle, 2008.
MSR *Modified Simple Ratio Index* (Chen *et al.*, 1996)	$MSR = \frac{\left(\frac{NIR}{RED}\right) - 1}{\left(\sqrt{\frac{NIR}{RED}}\right) + 1}$	Objetiva linearizar a relação entre o índice e os parâmetros biofísicos.	Barati *et al.*, 2011.

Tabela I.13 – Índices espectrais que discriminam a vegetação (continuação II)

Índice	Formulação	Descrição e Aplicação	Referências
GNDVI *Green Normalized Vegetation Index* (Gitelson e Merzlyak, 1998)	$GNDVI = \frac{(NIR - GREEN)}{(NIR + GREEN)}$	Este índice é similar ao NDVI, porém substituiu a banda do vermelho pela do verde. Este ajuda a determinar a influência do nitrogénio a partir da cor verde das folhas (Vescovo e Gianelle, 2008).	Vescovo e Gianelle, 2008; Barati *et al.*, 2011.
SLAVI *Specific Leaf Area Vegetation Index* (Lymburner *et al.*, 2000)	$SLAVI = \frac{NIR}{RED + SWIR1}$	Índice de área foliar.	Vescovo e Gianelle, 2008; Barati *et al.*, 2011.
EVI *Enhanced Vegetation Index* (Huete *et al.*, 1997)	$EVI = 2.5\frac{(NIR - RED)}{(NIR + 6 + RED - 7{,}5 * BLUE + 1)}$	Este índice, desenvolvido para o MODIS, recorre à refletância na região do azul para minorar a influência atmosférica, designadamente a dispersão causada pelos aerossóis (Huete *et al.*, 2002).	Huete *et al.*, 2002.
GDVI *Green Difference Vegetation Index* (Sripada *et al.*, 2006)	$GDVI = NIR - GREEN$	Este índice foi criado para calcular os requerimentos de nitrogénio para o milho.	
CI *Canopy Index* (Vescovo e Gianelle, 2008)	$CI = SWIR1 - GREEN$	Apresenta uma relação linear com a quantidade de vegetação, particularmente em relvados (Vescovo e Gianelle, 2008).	Vescovo e Gianelle, 2008; Barati *et al.*, 2011.
NCI *Normalized Canopy Index* (Vescovo e Gianelle, 2008)	$NCI = \frac{SWIR1 - GREEN}{SWIR1 + GREEN}$	Este índice apresenta um comportamento semelhante ao CI (Vescovo e Gianelle, 2008).	Barati *et al.*, 2011.
VCI *Vegetation Condition Index*	$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} + NDVI_{min}}$	O VCI corresponde ao que se designa por NDVI normalizado (NDVI*), podendo variar entre 0 e 1, em que 0 corresponde a condições muito desfavoráveis para a vegetação e 1 a condições ótimas (Orhan *et al.*, 2014).	Orhan *et al.*, 2014.
Fr *Fractional Vegetation Cover*	$Fr = NDVI^{*2}$ em que, NDVI* corresponde ao valor de NDVI normalizado	Fr traduz a percentagem de vegetação ao nível do solo numa determinada área (*e.g.*, um pixel), com base na sua projeção vertical (Liang *et al.*, 2008). Quando um pixel é composto apenas por vegetação, Fr=1.	Carlson *et al.*, 1995; Carlson e Ripley, 1997; Carlson e Arthur, 2000; Hebble *et al.*, 2001; Carlson, 2007; Amiri *et al.*; 2009.

Para minimizar a influência dos efeitos da atmosfera podem ser adicionadas outras bandas, para além do infravermelho próximo (*NIR*) e do vermelho (*RED*), designadamente a banda do azul (*BLUE*), visto que, é nesta banda que são mais notórios os efeitos das poeiras e dos gases. Estes gases podem provocar a dispersão da radiação solar, pelo que à radiação que o sensor do satélite recebe dos materiais da superfície soma-se a que é dispersada pelas poeiras e gases (Mróz e Sobieraj, 2004), deturpando a informação captada. Por conseguinte, a estimação do valor da refletância causada pelas poeiras e gases e a sua subtração na imagem antes do cálculo do índice contribui para o seu aperfeiçoamento (*e.g.*, ARVI e GEMI).

Ao longo do tempo foram sendo desenvolvidos outros índices para a identificação da vegetação, cujas formulações procuram incorporar fatores como a refletância do solo, da atmosfera e a densidade de vegetação, de modo a obter informação mais fiável (Mróz e Sobieraj, 2004). Além disto, os índices de vegetação tendem a saturar nas áreas densamente vegetadas (*e.g.*, NDVI) pelo que foram desenvolvidos outros índices que procuram linearizar esta relação (*e.g.*, fração de vegetação - Fr). O desenvolvimento de índices que não recorram ao 'verde' (clorofila) para a identificação da vegetação pode constituir um importante complemento aos tradicionais índices de vegetação, designadamente a introdução do infravermelho médio 1 (*SWIR1*), que é sensível ao conteúdo de humidade (*e.g.*, CI e NCI).

Os índices de vegetação correlacionam-se claramente com a densidade de folhagem, porém são sensíveis a três grandes fatores externos: (i) o ângulo dos raios solares; (ii) as características do solo; e, (iii) aos efeitos atmosféricos (Rondeaux *et al.*, 1996). Neste cômputo, surgiram vários índices que procuram minimizar estas influências (*e.g.*, RDI e RDVI), visto que a refletância emitida pela vegetação ao nível da copa é uma combinação da refletância da planta com a do solo. À medida que a vegetação aumenta, diminui progressivamente a contribuição do solo, no entanto, permanece importante, variando em função da densidade da vegetação, da geometria das copas, do vento, entre outros aspetos (Rondeaux *et al.*, 1996). O tipo de solo influencia os índices de vegetação, particularmente nas áreas com baixa cobertura de vegetação, por outro lado a vegetação pode alterar significativamente a resposta espectral do solo, pelo que se torna difícil o desenvolvimento de índices de vegetação e de solo em separado (Tenedório *et al.*, 2004).

Em síntese, os índices espectrais de vegetação podem ser agrupados em três categorias (Rondeaux *et al.*, 1996): (i) índices intrínsecos, que não envolvem outros fatores externos para além da medição da refletância (*e.g.*, SRI e NDVI); (ii) índices relacionados com a linha do solo,

que inclui entre outros o índice de vegetação ajustado ao solo (*e.g.*, SAVI); e, (iii) índices que corrigem os efeitos atmosféricos (*e.g.*, ARVI e GEMI).

Sem embargo a todas as formulações desenvolvidas para a extração da vegetação (Tabela I-13), o NDVI continua a ser índice de referência para os estudos sobre a vetação e não só, dado que nenhum índice, mesmo que mais complexo, demonstrou de modo convincente melhorias em relação a este (Rondeaux *et al.*, 1996). De facto, Mróz e Sobieraj (2004) não encontraram diferenças significativas no que concerne à adequação dos diversos índices vegetação no conjunto de dados testados, portanto utilizar um índice de vegetação mais complexo ou o NDVI não tem fortes implicações no resultado.

Solo Nu

A curva de refletância espectral do solo reflete o conteúdo de humidade, a textura e a rugosidade da superfície, bem como as características físicas e químicas dos seus constituintes, nomeadamente o teor em matéria orgânica – cujo aumento produz uma diminuição dos valores da refletância na banda do visível (Fonseca e Fernandes, 2004).

De acordo com Rondeaux *et al.* (1996), a refletância do solo na região do azul (*BLUE*) é muito reduzida (≤10%), aumentando uniformemente com o comprimento de onda – *i.e.*, do visível para o infravermelho próximo. Regra geral, a relação entre a refletância no infravermelho próximo (*NIR*) e no visível (*VIS*) é linear, pelo que vários índices espectrais (*e.g.*, SAVI e OSAVI) se baseiam no coeficiente desta relação (Tabela I-14).

Os solos com elevado teor de humidade apresentam valores de refletância baixos no visível (VIS) e no infravermelho térmico (TIR), pois são arrefecidos por evaporação; por sua vez, os solos secos (e com muita matéria orgânica) apresentam valores baixos no visível (VIS) altos no infravermelho térmico (TIR). Deste modo, a introdução da banda do infravermelho térmico nos índices espectrais (Tabela I-14), pode contribuir para a distinção entre os campos com solo nu e as superfícies impermeáveis antrópicas (*e.g.*, NDSI e NDBaI).

Tabela I-14 – Índices espectrais que discriminam o solo nu (continua)

Índice	Formulação	Descrição e Aplicação	Referências
SAVI *Soil Adjusted Vegetation Index* (Huete, 1988)	$SAVI = (1 + L)\frac{NIR - RED}{NIR + RED + L}$ em que, L corresponde ao fator de ajustamento de brilho do solo (0,5)	Este índice minimiza a influência do solo na quantificação da vegetação, através de um fator de ajustamento designado por 'L' (Mróz e Sobieraj, 2004), cujo valor diminui à medida que aumenta a densidade de vegetação. Assim, Rondeaux *et al.* (1996) sugere três fatores de ajustamento: L= 1 – para áreas com vegetação muito reduzida; L= 0,5 para áreas com vegetação intermédia; e, L= 0,25 para áreas com elevada densidade de vegetação. Este índice apesar de similar ao NDVI lida melhor com as características do solo (Kumar e Shekhar, 2015), sendo adequado para extrair a vegetação em locais com reduzida cobertura vegetal, designadamente nas áreas urbanas (Xu, 2007; Meng *et al.*, 2014).	Mróz e Sobieraj, 2004; Villa, 2007; Xu, 2007; Vescovo e Gianelle, 2008; Xu *et al.*, 2009; Barati *et al.*, 2011; Meng *et al.*, 2014; Ganguly e Shankar, 2014.
NBR *Normalized Burn Ratio* (García e Caselles, 1991)	$NBR = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2}$		Li *et al.*, 2014.
MSAVI *Modified Soil Adjusted Vegetation Index* (Qi *et al.*, 1994)	$MSAVI2 = \frac{[2 * NIR + 1 - \sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - RED)}]}{2}$	Este índice deriva do SAVI, mas em vez de um fator de ajustamento fixo (L=0,5), este valor é definido de modo dinâmico.	Mróz e Sobieraj, 2004; Barati *et al.*, 2011.
OSAVI *Optimized Soil Adjusted Vegetation Index* (Rondeaux *et al.*, 1996)	$OSAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + 0.16)}$	Este índice é uma otimização do SAVI. Rondeaux *et al.* (1996) verificou que o valor de 0,16 permite reduzir o ruído do solo, tanto em áreas de baixa densidade de vegetação, como de elevada.	Barati *et al.*, 2011.
NDSI *Normalized Difference Soil Index* (Rogers e Kearney, 2004)	$NDSI = \frac{SWIR1 - NIR}{SWIR1 + \mathrm{NIR}}$	Este índice utiliza a mesma fórmula que Zha *et al.* (2003) utilizou para o NDBI, aproveitando o facto de o solo nu ter uma refletância mais elevada no infravermelho médio 1 (*SWIR1*) do que no infravermelho médio (NIR).	Zhao e Chen, 2005; Stathakis *et al.*, 2012; Piyoosh e Ghosh, 2017.
BI *Bareness Index* (Lin *et al.*, 2005)	$BI = RED + SWIR1 + NIR$		Piyoosh e Ghosh, 2017.

Tabela I.14 – Índices espectrais que discriminam o solo nu (continuação)

Índice	Formulação	Descrição e Aplicação	Referências
NDBaI *Normalized Difference Bareness Index* (Zhao e Chen, 2005)	$NDBaI = \frac{SWIR1 - \mathrm{TIR}}{SWIR1 + \mathrm{TIR}}$	Nas áreas agrícolas, geralmente planas, o conteúdo de húmus é elevado pelo que a refletância no infravermelho médio 1 (*SWIR 1*) é mais elevada do que a radiação no infravermelho térmico (*TIR*). Assim, apesar de se verificaram pequenas diferenças entre as áreas urbanas e as áreas agrícolas, os campos cultivados apresentam uma menor capacidade térmica. O NDBaI não capta as áreas construídas (As-syakur *et al.*, 2012).	Uddin *et al.*, 2010; As-syakur *et al.*; 2012; Stathakis *et al.*, 2012; Pinheiro e Laranjeira, 2013a; Sharma *et al.*, 2013a; Sharma *et al.*, 2013b; Guo *et al.*, 2015; Piyoosh e Ghosh, 2017.
NDSI_2 *Normalized Difference Soil Index* (Deng *et al.,* 2015)	$NDSI_2 = \frac{SWIR2 - \mathrm{GREEN}}{SWIR2 + \mathrm{GREEN}}$	Este índice assume a mesma designação do proposto por Rogers e Kearney (2004), no entanto, a sua formulação é muito distinta.	Piyoosh e Ghosh, 2017.

O solo nu e a vegetação rasteira seca apresentam características espectrais muito semelhantes, pelo que é muito difícil distinguir estas duas coberturas do solo (Tenedório *et al.*, 2004). Esta questão assume particular acuidade no verão, quando as gramíneas se encontram secas e num estado de hibernação. De facto, Tricart (1978) refere que algumas espécies de gramíneas apenas crescem durante a estação da chuva, uma vez que possuem um sistema radicular muito ramificado e denso perto da superfície que faz secar rapidamente o solo assim que cessa a precipitação.

Superfícies Impermeáveis Antrópicas

Os índices espectrais que discriminam as superfícies impermeáveis antrópicas (Tabela I-15) recorrem ao infravermelho próximo (*NIR*), visto que nesta região do espectro eletromagnético as áreas com vegetação apresentam valores de refletância mais elevados do que as superfícies impermeáveis antrópicas. Concomitantemente, é utilizado o infravermelho médio 1 (*SWIR1*), uma vez que as áreas contruídas tem uma refletância mais elevada neste comprimento de onda do que no infravermelho próximo (Zha *et al.*, 2003; Xu, 2008; As-syakur *et al.*; 2012; Estoque e Murayama, 2015). Todavia, os índices espectrais que combinam estas duas bandas (Tabela II.15) apresentam muitas dificuldades em separar as superfícies impermeáveis antrópicas das áreas com solo nu (ou com vegetação rasteira seca), pois como referido apresentam uma assinatura espectral muito semelhante (Zha *et al.*, 2003; As-syakur *et al.*; 2012; Estoque e Murayama, 2015), assim como temperaturas de superfície elevadas (Wang *et al.*, 2015).

O facto de Zha *et al.* (2003) e Rogers e Kearney (2004) utilizarem a mesma combinação de bandas (*i.e.*, SWIR1 – NIR/ SWIR1+NIR) para obter as superfícies impermeáveis antrópicas (NDBI) e o solo nu (NDSI), respetivamente, atesta bem a semelhança espectral destas duas componentes biofísicas.

Por sua vez, outros índices recorrem a outras regiões do espectro eletromagnético, nomeadamente ao infravermelho térmico (*TIR*) ou ao infravermelho médio 2 (*SWIR2;* Tabela I-15).

Tabela I-15 – Índices espectrais que discriminam as superfícies impermeáveis antrópicas (continua)

Índice	Formulação	Descrição e Aplicação	Referências
UI *Urban Index* (Kawamura *et al.*, 1996)	$UI = \frac{SWIR2 - NIR}{SWIR2 + NIR}$	Este índice explora a relação inversa da refletância no infravermelho médio 2 (SWIR2) e no infravermelho próximo (NIR) (Kawamura *et al.*, 1996; Xu, 2007).	Villa, 2007; Xu, 2007; Stathakis *et al.*, 2012; Estoque e Murayama, 2015; Piyoosh e Ghosh, 2017.
NDISI *Normalized Difference Impervious Surface Index* (Kearney *et al.*, 2002)	$NDISI = \frac{TIR - \frac{(MNDWI + SWIR1)}{3}}{TIR + \frac{(MNDWI + SWIR1)}{3}}$	Este índice explora, para além do infravermelho térmico (*TIR*), as regiões do visível, do infravermelho próximo e do infravermelho médio (*SWIR1*) (Estoque e Murayama, 2015).	Ma *et al.*, 2009; As-syakur *et al.*; 2012; Meng *et al.*, 2014; Fan e Myint, 2014; Estoque e Murayama, 2015.
NDBI *Normalized Difference Built-Up Index* (Zha *et al.*, 2003)	$NDBI = \frac{SWIR1 - NIR}{SWIR1 + NIR}$	Extração das áreas construídas, para os estudos sobre a expansão urbana e do efeito da ilha de calor urbano superficial (Sharma *et al.*, 2013a). Este índice aproveita o facto de a refletância das superfícies impermeáveis antrópicas ser mais elevada no infravermelho médio 1 (*SWIR1*) do que no infravermelho próximo (*NIR)* (Estoque e Murayama, 2015). Todavia, as áreas com vegetação seca ou com água com elevada concentração de materiais em suspensão também apresentam valores elevado de NDBI (Xu, 2007). Os pixéis com solo nu apresentam valores de NDBI próximos de zero (Stathakis *et al.*, 2012). Zhou *et al.* (2014) defendem que o NDBI convencional não é adequado para a extração das superfícies impermeáveis a partir dos dados do Landsat 8 OLI.	Chen *et al.*, 2006; Xu, 2007; Meng *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2009; Uddin *et al.*, 2010; Liu e Zhang, 2011; As-syakur *et al.*; 2012; Xiong *et al.*, 2012; Stathakis *et al.*, 2012; Pinheiro e Laranjeira, 2013a; Sharma *et al.*, 2013a; Sharma *et al.*, 2013b; Zhou *et al.*, 2014; Weng e Fu, 2014; Ganguly e Shankar, 2014; Li *et al.*, 2014; Estoque e Murayama, 2015; Guo *et al.*, 2015; Sinha *et al.*, 2016; Piyoosh e Ghosh, 2017.
SVI *Soil and Vegetation Index* (Villa, 2007)	$SVI = \frac{SWIR1 - BLUE}{SWIR1 + BLUE}$	Este índice baseia-se no infravermelho médio 1 (SWIR 1) e no azul (BLUE), apresentado valores elevados quer para a vegetação quer para o solo nu, o que permite evitar a confusão entre as áreas agrícolas e as áreas urbanas (Villa, 2007).	Villa, 2012.
BASVI *Brilliance Adjusted Soil and Vegetation Index* (Villa, 2007)	$BASVI = (1 + L)\frac{SWIR1 - BLUE}{SWIR1 + BLUE}$ em que, L corresponde ao fator de correção de brilho do solo (0≤L≤1)	A este índice é construído a partir do SVI, soma-se um fator de correção de brilho do solo, geralmente de 0,5 (Villa, 2007).	

Tabela I.15 – Índices espectrais que discriminam as superfícies impermeáveis antrópicas (continuação I)

Índice	Formulação	Descrição e Aplicação	Referências
IBI *Index-based Built-up Index* (Xu, 2007)	$IBI = \frac{NDBI - \frac{(SAVI + MNDWI)}{2}}{NDBI + \frac{(SAVI - MNDWI)}{2}}$	O IBI subtrai ao NDBI o SAVI e o MNDWI, pelo que as áreas contruídas apresentam sempre valores positivos (Xu *et al.*, 2009). Ao explorar as regiões do visível, do infravermelho próximo e do infravermelho médio (*SWIR1*) o IBI procura ultrapassar as limitações do NDBI, nomeadamente aos que resultam do ruído introduzido pela vegetação.	Xu *et al.*, 2009; As-syakur *et al.*; 2012; Stathakis *et al.*, 2012; Ganguly e Shankar, 2014; Estoque e Murayama, 2015; Piyoosh e Ghosh, 2017.
Buc *Continuous Built-Up Index* (He *et al.*, 2010)	$BUc = NDBI - NDVI$	Não permite distinguir as superfícies impermeáveis antrópicas das áreas com solo nu.	
EBBI *Enhanced Built-Up and Bareness Index* (As-syakur *et al.,* 2012)	$\text{EBBI} = \frac{SWIR1 - NIR}{10\sqrt{SWIR1 + NIR}}$	Este índice permite cartografar as superfícies impermeáveis antrópicas e os solos nus, embora não consiga distinguir estes dois tipos de cobertura (As-syakur *et al*; 2012).	Piyoosh e Ghosh, 2017.
VIBI *Vegetation Index Built-Up Index* (Stathakis *et al.*, 2012)	$\text{VIBI} = \frac{NDVI}{NDVI + NDBI}$	Este índice explora para cada pixel a relação entre o conteúdo de vegetação (NDVI) e de solo nu ou superfícies impermeáveis antrópicas (NDBI).	
NDBIavc *Normalized Difference Built-Up Index* para extrair telhados azuis/vermelhos/cinzentos (Zhou *et al.*, 2014)	$NDBIavc = \frac{BLUE - GREEN}{BLUE + GREEN}$	Estes índices propostos por Zhou *et al.* (2014) a partir do NDBI não têm a capacidade de distinguir as áreas construídas do solo nu	
NDBIvcS *Normalized Difference Built-Up Index* para extrair telhados vermelhos/cinzentos e solo nu (Zhou *et al.*, 2014)	$NDBIvcS = \frac{RED - GREEN}{RED + GREEN}$		

Tabela I.15 – Índices espectrais que discriminam as superfícies impermeáveis antrópicas (continuação II)

Índice	Formulação	Descrição e Aplicação	Referências
NDII *Normalized Difference Impervious Index* (Wang *et al*, 2015)	$NDII = \frac{VIS - TIR}{VIS + TIR}$ em que, VIS corresponde às bandas blue, green e red.	Segundo Wang *et al.* (2015) este índice foi concebido para estimar e monitorizar as áreas impermeáveis, não sendo sensível às sombras. Na elaboração deste índice não foi tido em consideração as áreas com solo (estas foram excluídas).	
VrNIR-BI (Estoque e Murayama, 2015)	$VrNIR - BI = \frac{RED - NIR}{RED + NIR}$	Este índice, que é o inverso do NDVI, explora o facto de as áreas contruídas terem uma refletância mais baixa no vermelho (*RED*) do que no infravermelho próximo (*NIR*) (Estoque e Murayama, 2015).	
VgNIR-BI (Estoque e Murayama, 2015)	$VgNIR - BI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$	Este índice partilha a mesma estrutura que o NDWI, explorando o facto de as áreas contruídas terem uma refletância mais baixa no verde (GREEN) do que no infravermelho próximo (*NIR*) (Estoque e Murayama, 2015).	
NBUI *New Built-Up Index* (Sinha *et al.*, 2016)	$NBUI = \frac{SWIR\ 1 - NIR}{10 * \sqrt{SWIR1 + NIR}} - \left(\frac{(NIR - RED) + (1 + L)}{(NIR - RED + 1)} + \frac{GREEN - SWIR1}{GREEN + SWIR1}\right)$	Este índice utiliza aquase todas as regiões do espectro eletromagnético, minimizando a confusão espectral entre as diferentes componentes biofísicas (Sinha *et al.*, 2016).	Piyoosh e Ghosh, 2017.
ISA *Impervious Surface Area*	$ISA = (1 - Fr)_{dev}$ em que, *dev* se refere aos pixéis classificados como desenvolvidos/construídos	Á área impermeável (ISA) corresponde a superfícies onde a água não evapora nem consegue se infiltrar (Carlson *et al.*, 2000). Nas áreas urbanas este índice apresenta uma variação inversa à fração de vegetação.	Carlson e Arthur, 2000; Hebbel *et al.*, 2001.

Cartografar as superfícies impermeáveis antrópicas constitui uma tarefa laboriosa, por causa da similaridade espectral destas áreas com o solo nu e com a vegetação rasteira seca, pelo que é frequente a confusão entre estas componentes biofísicas (Piyoosh e Ghosh, 2017). Ademais, existem poucos estudos que explorem esta questão (e.g., As-syakur *et al.*, 2012; Stathakis, 2012). De facto, a generalidade dos índices espectrais desenvolvidos para a identificação das superfícies impermeáveis antrópicas é incapaz de as separar de modo automático (*e.g.*, NDBI, EBBI), pelo que uns autores optam por efetuar uma máscara nas áreas com solo nu, removendo-as do processo de classificação (Wang *et al.*, 2015), enquanto outros assumem desde logo esta limitação (As-syakur *et al.*, 2012; Zhou *et al.*, 2014).

Água

A singularidade da assinatura espectral da água, comparada com as restantes componentes biofísicas, permite que seja identificada facilmente – pelo não justifica um levantamento exaustivo destes índices espectrais. Estes índices possibilitam não só a extração dos corpos de água (*e.g.*, rios, barragens ou lagos), como também determinar o conteúdo de humidade das superfícies (Tabela I-16).

Tabela I-16 – Índices espectrais que discriminam a água e o conteúdo de humidade

Índice	Formulação	Descrição e Aplicação	Referências
NDWI *Normalized Difference Water Index* (Gao, 1996)	$NDWI = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1}$	Este índice recorre ao infravermelho próximo (*NIR*), dado que a água absorve a radiação neste comprimento de onda (Uddin *et al.*, 2010). Este índice funciona como um indicador de humidade da vegetação (Sharma *et al.*, 2013a).	Kearney *et al.*, 2002; Chen *et al.*, 2006; Vescovo e Gianelle, 2008; Uddin *et al.*, 2010; Barati *et al.*, 2011; Pinheiro e Laranjeira, 2013a; Sharma *et al.*, 2013a; Sharma *et al.*, 2013b; Weng e Fu, 2014; Li *et al.*, 2014; Jiang, *et al.*, 2015.
MDWI *Modified Normalized Difference Water Index* (Sharma *et al.*, 2013a)	$MNDWI = \frac{BLUE - SWIR1}{BLUE + SWIR1}$	Este índice permite cartografar as áreas cobertas por água (*e.g.*, rios, barragens, lagos).	Xu, 2007; Ma *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2009; Sharma *et al.*, 2013b; Meng *et al.*, 2014; Ganguly e Shankar, 2014; Li *et al.*, 2014; Xue *et al.*, 2014; Estoque e Murayama, 2015.

I – 2.4.2. Sistemas de Classificação Propostos

Em territórios com paisagens muito heterogéneas (como sucede nos municípios de Braga e de Guimarães) – é muito difícil subdividir as áreas urbanas, pelo que é necessário proceder à classificação e combinação de diversos índices para melhorar a precisão na extração das componentes biofísicas (As-syakur *et al.*, 2012; Deilami *et al.,* 2018). Para alguns autores (*e.g.*, Chen *et al.*, 2006; Uddin *et al.*, 2010) a classificação das imagens a partir da combinação dos índices espectrais, com base por exemplo em operadores booleanos, permite obter melhores resultados do que a tradicional classificação supervisionada e não supervisionada.

A identificação dos limiares ótimos de classificação de cada índice constitui uma tarefa tão ou mais árdua do que a escolha dos índices espectrais, uma vez que estes limites variam em função das características do território, das condições atmosféricas e de precipitação (Chen *et al.*, 2006). Por esta razão, os limiares identificados para um determinado território poderão não ser os mais adequados para outro, pelo que o ajustamento dos limiares à realidade de cada estudo de caso contribui para a melhoria da precisão na extração das componentes biofísicas (Li *et al.*, 2013).

Vários autores têm proposto um sistema próprio de classificação dos índices espetrais para a extração das diversas coberturas do solo, destacando-se neste campo os trabalhos desenvolvidos por Chen *et al.* (2006), Uddin *et al.* (2010), As-syakur *et al.* (2012) e por Sharma *et al.* (2013a; 2013b).

Chen *et al.* (2006) extraíram as componentes biofísicas através da combinação de índices espectrais, recorrendo para tal a operadores booleanos. Os índices foram previamente classificados em função de limites apropriados, obtidos a partir de uma amostra repetitiva de pontos típicos de cada classe, para as quais os autores calcularam o respetivo valor médio (Tabela I-17).

Tabela I-17 – Limites dos índices espectrais definidos por Chen *et al.* em 2006

Componentes Biofísicas	**Índices Espectrais**			
	NDVI	**NDWI**	**NDBI**	**NDBaI**
Vegetação	>0,2	>0,05	<0	<-0,25
Superfícies Impermeáveis	<0,2	<0	0.1–0,3	<-0,2
Solo Nu (totalmente exposto)	<0,2	<0	>0,25	>0
Solo Nu (semiexposto)	>0,2	<0	>0,25	-0,1–0
Água	<0	>0	<0	<-0,65

Fonte: Chen *et al.* (2006).

Uddin *et al.* (2010) recorrem à mesma metodologia utilizada por Chen *et al.* (2006) para encontrar os limites apropriadas para a classificação dos índices, assim como para proceder à sua conjugação (Tabela I-18).

Tabela I-18 – Limites dos índices espectrais utilizados por Uddin *et al.* em 2010

Componentes Biofísicas	**Índices Espectrais**			
	NDVI	**NDWI**	**NDBI**	**NDBaI**
Vegetação	>0,2	>0	<0	<0
Superfícies Impermeáveis	<0,2	<0	>0,3	<0,05
Solo Nu (deserto estabilizado)	<0,2	<0	0,2 a 0,3	>0
Solo Nu (deserto com areias)	<0,2	<0	>0,2	>0

Fonte: Uddin *et al.* (2010).

As-syakur *et al.* (2012) definem os limites de vários índices espectrais, porém somente no que respeita às superfícies impermeáveis e ao solo nu (Tabela I-19).

Tabela I-19 – Limites dos índices espectrais estabelecidos por As-syakur *et al.* em 2012

Componentes Biofísicas	**Índices Espectrais**				
	NDBI	**UI**	**NDBaI**	**IBBI**	**EBBI**
Superfícies Impermeáveis	0,1 a 0,3	>0	–	0,018 a 0,308	0,1 a 0,35
Solo Nu	>0,3	–	>-0,15	>0,308	>0,35

Fonte: As-syakur *et al.* (2012).

Sharma *et al.* (2013a; 2013b) recorrem a uma técnica de decisão hierárquica em árvore, baseada no teste de hipóteses, que avalia várias regras ('*If*') e condições ('*Then*') definidas pelo utilizador. As hipóteses, regras e condições representadas numa árvore de decisão dendrítica linear são inferidas e processadas de modo a gerar os *outputs*. No caso, os índices constituem as hipóteses e os valores dos limiares constituem as regras para cada hipótese (Tabela I-20).

Tabela I-20 – Limites dos índices espectrais definidos por Sharma *et al.* em 2013

Componentes Biofísicas	**Índices Espectrais**			
	NDVI	**NDWI**	**NDBI**	**NDBaI**
Vegetação	>0,3	0–0,3	-0,2 a -0,02	-0,6 a 0,3
Superfícies Impermeáveis	<0,02	<0.2	>0,15	<-0,25
Solo Nu (sedimentos)	–	–	–	-0,75 a 0,6
Solo Nu (terrenos em pousio)	<0,2	-0,25 a -0,1	0,1 a 0,3	<-0,3
Água	–	>0,3	–	–

Fonte: Sharma *et al.* (2013a; 2013b).

Os estudos analisados evidenciam uma opção clara pela utilização dos índices NDVI, NDBI, NDBaI, NDWI e MNDWI para a extração das componentes biofísicas, em consonância com o verificado aquando do levantamento dos índices espectrais (*vide* Tabela I-13, Tabela I-14, Tabela I-15 e Tabela I-16).

I – 2.5. Classificação Discreta *versus* Classificação Contínua

A maior parte dos modelos de análise espacial adota como paradigma o mosaico de manchas, cuja delimitação assenta em processos de classificação das coberturas/usos do solo, das componentes biofísicas, nomeadamente tendo por base o modelo V-I-S, ou dos materiais. Nesta aceção, assume-se que as paisagens são uma coleção de unidades homogéneas separadas por fronteiras claramente definidas (Pearson, 2002), que ignora qualquer variação intraclasse e a existência de gradientes interclasse.

Recentemente, este paradigma tem vindo a ser alvo de reflexão no âmbito da Deteção Remota, dado que os erros decorrentes do processo de classificação categórica das coberturas/usos do solo podem induzir resultados e conclusões erróneas (Fan e Myint, 2014). Os equívocos podem advir das características intrínsecas às imagens de satélite (*e.g.,* resolução espacial, espectral, radiométrica), dos procedimentos de retificação e registo das imagens, dos distintos métodos de classificação implementados, de mudanças temporais (*e.g.*, variações sazonais ou interanuais) ou da falta de conhecimentos técnicos e das especificidades do território em estudo (Lu *et al.,* 2011). De facto, a maioria dos métodos de classificação foca-se na dimensão espectral da informação dos satélites, encontrando-se o contexto espacial muito menos explorado. Ademais, a estratégia de classificação *all-as-one* apenas permite uma avaliação binária das conversões da cobertura/uso do solo, obliterando as mudanças mais subtis, igualmente importantes (Fan e Myint, 2014).

De notar que todas estas questões se encontram maximizadas no contexto das paisagens urbanas, pois ao integrarem um intrincado conjunto de componentes naturais e antrópicas caracterizam-se por uma acentuada mistura espectral e fronteiras muito complexas, que redundam num trabalho laborioso de classificação do ponto de vista técnico, temporal e/ou financeiro (quando este exige a aquisição de imagens de alta resolução espacial, apenas disponibilizadas pelos satélites comerciais). Tudo isto se complexifica em se tratando de estudos ambientais, pois, não raras as

vezes, a representação discreta do ecossistema urbano revela-se incapaz de traduzir a heterogeneidade que determina a natureza dos processos ecológicos.

No seio da comunidade científica dedicada às questões ecológicas, a análise de gradientes e os modelos contínuos têm vindo a ganhar destaque por fornecerem uma representação mais precisa das paisagens heterogéneas (Laranjeira, 2010). A título de exemplo, autores como Pearson (2002) ou Fan e Myint (2019) recorrem aos indicadores de autocorrelação espacial, para modelar a estrutura da paisagem e identificar mudanças ao longo do tempo em territórios onde os elementos espaciais não podem ser claramente definidos, tendo por base imagens de média resolução espacial, disponibilizadas de modo gratuito para todo o globo. Ainda assim, Fan e Myint (2014) alertam para o facto de estas abordagens ainda serem em reduzido número, e essencialmente exploratórias, direcionadas para a sua comparação com os modelos discretos.

Face este cenário, e atendendo às especificidades do modelo territorial dos municípios em estudo decorrentes do processo de urbanização difusa, considera-se pertinente a consideração – e, sempre que possível, a inclusão – no trabalho empírico da representação contínua das variáveis. Assim, do ponto de vista metodológico procura-se combinar as duas tipologias de classificação: discreta e contínua. Por um lado, a classificação das componentes biofísicas, segundo o modelo V-I-S (Ridd em 1995) permite estabelecer a morfologia urbana e possibilita um certo grau de generalização, indispensável ao estudo do processo de crescimento urbano e à definição de medidas de planeamento urbano (*vide* Figura I-27). Por outro, os modelos contínuos fornecem informação complementar vital para a compreensão do funcionamento do ecossistema urbano, particularmente quando se trata da componente biofísica (*vide* Figura I-27), como sucede em relação à quantidade de vegetação (*e.g.*, captada pelo NDVI) ou à temperatura de superfície (Ts).

I – 3. CLIMATOLOGIA URBANA E ANÁLISE DO AMBIENTE TÉRMICO

> "*Individual scientists come to urban climate with their own curiosities about the fundamental physics, chemistry or biology of urban atmospheres or the wish to apply existing knowledge to questions of building better houses, neighborhoods and cities that are efficient, safe, healthy and frugal with resources such as water and energy*".
> |Oke, 2006, p. 180|

A Climatologia, integrada no domínio da Geografia Física, dedica-se ao estudo do comportamento dos elementos do clima, com base na análise dos fatores climáticos (Garrido e Costa, 1996). O clima, na sua definição clássica, corresponde ao "conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera num dado lugar da superfície terrestre" (Ribeiro, 1987, p. 98). Hodiernamente, mais do que 'arrumar' os climas por grandes grupos em função de características muito genéricas, impõe-se a necessidade de o compreender, muito particularmente no que concerne às modificações introduzidas pelas atividades antrópicas (Monteiro, 1997). As áreas urbanas constituem o exemplo maior destas alterações (*e.g.*, poluição atmosférica, aumento da carga térmica; DGOTDU, 2009; Oke *et al.,* 2017), pelo que cabe à Climatologia – adjetivada de Urbana – a sua investigação. Associado a este contexto surge frequentemente o termo 'clima urbano' como contração de Climatologia Urbana ou de Meteorologia Urbana (Oke, 2006). A utilização de informação climática para a resolução de problemas práticos designa-se por Climatologia (Urbana) Aplicada.

I – 3.1. O Campo de Investigação do Clima Urbano

A Climatologia Urbana estuda as interações entre a atmosfera e os assentamentos humanos, incluindo a sua influência sobre indivíduos, infraestruturas, edifícios e atividades diversas, e vice-versa. Esta perspetiva muda drasticamente o foco da pesquisa, cuja preocupação, mais do que analisar as características intrínsecas ao clima das áreas urbanas, se volta para a determinação dos efeitos da urbanização sobre o clima, tendo como elemento de comparação os espaços rurais adjacentes (uma vez que dados referentes às condições pré-urbanas raramente existem ou estão disponíveis). Não obstante, importa notar que na grande maioria das áreas rurais as condições climáticas foram também altamente modificadas pela ação humana (*e.g.*, florestação, cultivo agrícola), tal como alerta Oke (1984).

Os estudos de Climatologia Urbana desenvolvem-se numa vasta gama de escalas de análise (Steyn *et al.*, 1981; Alcoforado, 1993; Andrade, 2005; Oke *et al.*, 2017). Com efeito, as escalas temporal e espacial são ditadas pelo fenómeno em estudo, variando (Steyn *et al.*, 1981; Oke *et al.*, 2017): a primeira de segundos (*e.g.*, flutuações de fluxos de calor latente) a séculos (*e.g.*, alterações climáticas desencadeadas pelo crescimento urbano) e a segunda entre milímetros (*e.g.*, pequenos redemoinhos dos fluxos turbulentos) e centenas de quilómetros (*e.g.*, pluma de poluentes das megalópoles). Sem embargo, o enfoque espacial ocorre preferencialmente a três escalas (Alcoforado, 1993; Andrade, 2005): (i) a do mesoclima (empregue como sinónimo de clima regional), que corresponde à influência integrada da cidade (*i.e.*, compreende vários climas locais), sentindo-se a sua influência até ao nível da atmosfera urbana superior; (ii) a do clima local (ou topoclima), que depende diretamente das características do substrato (*e.g.*, posição topográfica, ocupação do solo, presença ou proximidade a extensões de água), e engloba, por isso, um conjunto de microclimas; e, (iii) a do microclima, que reflete a influência de elementos urbanos individuais e dos seus arranjos mais elementares (*e.g.*, edifícios, orientação das ruas, praças, pequenos jardins), restringindo-se a sua influência direta à atmosfera urbana inferior. Assim, apesar de diversos estudiosos considerarem a microclimatologia um domínio da competência dos meteorologistas (*e.g.*, Geiger, 1990), Alcoforado (1993) salienta que "o geógrafo-climatólogo não terá, neste campo, um papel passivo: tal como a outras escalas espaciais, deverá testar leis, modelos meteorológicos e micro-meteorológicos na sua área de estudo" (p.12).

Do ponto de vista metodológico, poucos procedimentos foram desenvolvidos em específico para a Climatologia Urbana; na realidade, a maioria destes foi adaptada de outros domínios científicos (Oke, 1984), tanto mais que a afiliação dos investigadores é muito diversa, incluindo a Meteorologia, a Geofísica, a Geografia, a Biologia, a Ecologia, a Engenharia (Civil, Mecânica, Química), a Arquitetura, a Arquitetura Paisagista, o Planeamento Urbano e a Medicina (Oke, 2006). Ademais, cada cidade (*lato sensu*) detém características únicas, tanto no que se refere à localização geográfica, história e arquitetura, como ao nível das opções de planeamento e desenho urbano – já para não falar da respetiva envolvente rural, tomada como referência numa proeminente linha de investigação do clima urbano (*e.g.*, ilha de calor urbano; Oke, 1984, 2006). Embora aliciante, esta diversidade torna a comparação entre os estudos particularmente desafiante, pois dificulta a generalização das conclusões e a transferibilidade do conhecimento (Oke, 1984, 2006).

I – 3.1.1. Evolução Temporal

A Climatologia Urbana constitui uma área de investigação recente – apesar dos primeiros estudos terem sido realizados há cerca de 200 anos –, tendo sido reconhecida como um subdomínio científico nas primeiras décadas do século XX (Oke, 2006). Para García (1996), os primórdios da disciplina remontam ao início do século XIX, mais precisamente ao estudo que Luke Howard desenvolveu sobre o clima de Londres, publicado em 1833. Este trabalho, centrado na análise da diferença da temperatura do ar entre as estações meteorológicas existentes na área urbana e as rurais envolventes (Alcoforado, 1999), constituiu o primeiro exame sistemático sobre o clima urbano e firmou uma metodologia de investigação que ainda se mantém. Nas décadas seguintes o trabalho de Howard foi replicado em diversas cidades europeias e norte-americanas, contribuindo assim para consolidar Climatologia Urbana como domínio de investigação na primeira metade do século XX (García, 1996).

Os estudos clássicos do clima urbano enfatizavam então a análise das diferenças verificadas nas variáveis climáticas entre as estações meteorológicas urbanas e as localizadas nas áreas rurais próximas. Todavia, o interesse crescente pela investigação empírica, de carácter quantitativo, obrigou à introdução de formas complementares de obtenção de dados: (i) numa primeira fase, através da realização de transetos; e, (ii) posteriormente com a colocação estratégica de estações de medição fixas (García, 1993). A utilização de medições itinerantes, obtidas ao longo de transetos, remonta a 1920/30 com o advento dos transportes motorizados, que permitiam atravessar a cidade e os seus arredores de maneira a registar uma série de informações e medidas meteorológicas, quase em simultâneo. Os perfis elaborados com base nos transetos, ilustravam de modo detalhado a variação espacial de um determinado elemento (*e.g.*, temperatura do ar, humidade relativa do ar, velocidade do vento), que possibilitava a compreensão das características climáticas de áreas urbanas e não urbanas (García, 1993). Nos dias de hoje, esta constitui ainda uma das técnicas mais utilizadas na Climatologia Urbana.

Depois da Segunda Guerra Mundial, o crescimento urbano e o desenvolvimento industrial sem precedentes desencadearam a proliferação dos estudos acerca das respetivas implicações no clima. Neste contexto, destacam-se os trabalhos de Oke, em 1973, e de Lowry, em 1977 – o primeiro procurou, com base em modelos, explicar a intensidade da ilha de calor a partir da dimensão populacional das cidades; e, o segundo, estimar a contribuição real da cidade no clima local (Espinoza, 2012).

Em Portugal, os estudos de Climatologia Urbana surgem mais tardiamente, encontrando-se os primeiros associados às teses de doutoramento de Maria João Alcoforado, em 1988, centrada na investigação do clima da "Região de Lisboa", e, cinco anos mais tarde, de Ana Monteiro, dedicada ao estudo do clima urbano do Porto. Não obstante, Rebelo (2008) considera – em certa medida – José Pereira de Oliveira o percurso dos estudos de Climatologia Urbana em Portugal, por tratar na sua tese de doutoramento, datada de 1973, tão pormenorizadamente as características climáticas da cidade do Porto, num esboço climático de 85 páginas (Rebelo, 2008). A este respeito importa destacar ainda três teses de doutoramento: por um lado, a de Nuno Ganho, de 1998, centrada na aplicação da climatologia local ao ordenamento urbano, tendo como caso de estudo Coimbra (Ganho, 1998); e, por outro, a de António Lopes e a de Henrique Andrade, de 2003, orientadas em simultâneo por Maria João Alcoforado, que tratavam facetas diversas do clima urbano de Lisboa, dando sequência aos trabalhos iniciados por esta (Alcoforado, 2013). Se a investigação de Henrique Andrade se foca na bioclimatologia humana (Andrade, 2003), António Lopes dedica-se ao estudo das modificações no clima de Lisboa decorrentes do crescimento urbano (Lopes, 2003) – constituindo em Portugal o primeiro exemplo de aplicação de imagens de satélite (ou mais especificamente a informação captada no infravermelho térmico) ao estudo do clima urbano.

Dos avanços recentes na Climatologia Urbana, Souch e Grimmond (2006) destacam o interesse crescente pelos processos que desencadeiam os climas urbanos, e não apenas os efeitos resultantes. Numa outra perspetiva (intrinsecamente relacionada com a natureza deste trabalho), destacam-se as mudanças decorrente da introdução dos dados do infravermelho térmico captado pelos satélites. Estes facultam em simultâneo uma visão global e multiescalar, que possibilita uma análise detalhada da distribuição espacial e temporal da temperatura de superfície, bem como a sua correlação com parâmetros ambientais, sociais e económicos, fundamentais na sincrética compreensão do ambiente térmico.

I – 3.1.2. Mudanças Viabilizadas pela Deteção Remota

O clima local resulta das condições particulares de um determinado lugar, sendo que um microclima é, dentro do clima local, um cambiante acessível à ação do homem (Ribeiro, 1987). Para avaliar o comportamento microclimático são necessários registos contínuos, que forneçam dados à escala intraurbana, porém tal informação não existe em Portugal (Monteiro, 1997), bem

como na generalidade das cidades (Huang *et al.,* 2017). Esta limitação tem vindo a ser ultrapassada, ou pelo menos em parte minorada, com recurso à utilização da temperatura da superfície obtida por Deteção Remota, a partir do infravermelho térmico. Tanto mais, que alguns satélites (*e.g.*, Landsat) apresentam já uma longevidade que permite monitorizar as mutações que o acelerado crescimento urbano das últimas décadas desencadeou no clima (Hung *et al.*, 2006).

As imagens de satélite – ao contrário dos registos tradicionais que efetuam medições pontuais, e sobre as quais é necessário efetuar generalizações –, apresentam valores homogéneos para a seu grau de resolução. Deste modo, evitam-se os erros resultantes dos métodos de interpolação, uma vez que a informação que se esta a generalizar pode não ser representativa. Além de mais, a variação dos fenómenos climáticos – determinada pelas características da superfície terrestre – é extremamente complexa e, como tal, difícil de traduzir em fórmulas matemáticas (Daveau, 1977). Outras vantagens predem-se com: (i) a cobertura temporal contínua e sincrónica (*e.g.,* Landsat, cuja captura da imagem ocorrer cerca das 10/11h); (ii) a amplitude espacial dos dados, adquiridos tanto para cidades como para áreas remotas; (iii) a facilidade de atualização da informação, devido à periodicidade da aquisição das imagens (*e.g.,* 16 dias no caso do Landsat); (iv) o formato digital, que permite a utilização de métodos automáticos; (v) o baixo custo de aquisição da informação, sendo em muitos casos mesmo gratuito (*e.g.*, *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), Landsat); e, (vi) a elevada confiabilidade dos dados.

Numa primeira fase, os estudos de Climatologia Urbana foram efetuados com recurso a imagens do satélite AVHRR (Roth *et al.* 2007), porém recentemente o Landsat, o MODIS e o *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) assumiram maior protagonismo, decorrente do maior detalhe espacial que fornecem. Efetivamente, mais de 50% dos estudos acerca da ilha de calor superficial realizados desde 1972 recorrem ao Landsat, seguindo-se o MODIS, o ASTER, e por fim o AVHRR (Deilami *et al.,* 2018; Zhou *et al.,* 2019). De entre as várias missões do Landsat, destaca-se o TM, seguindo-se o ETM+, e depois o OLI (Deilami *et al.,* 2018) – numa ordenação que reflete a longevidade de cada sensor.

A popularidade do Landsat no estudo do ambiente térmico superficial decorre: (i) da cobertura global, com uma resolução razoável (30mx30m); (ii) da longevidade temporal, que permite monitorizar as mudanças por longos períodos temporais; e, (iii) da combinação das bandas temáticas com a térmica, que permite identificar e monitorizar os fatores responsáveis pela

formação da ilha de calor (Deilami *et al.,* 2018; Zhou *et al.,* 2019). Por oposição, a limitação a uma imagem a meio da manhã, somado ao período de 16 dias de revisitação, não raras as vezes grandemente estendido devido às condições meteorológicas – impede o estudo dinâmico dos fenómenos climáticos (Mohamed *et al.*, 2017). Além disto, a reduzida dimensão de cada cena, obriga a efetuar diversos mosaicos para a análise de áreas extensas, o que aumenta o tempo de processamento.

O MODIS resolve algumas das limitações do Landsat, nomeadamente em termos de resolução temporal, pois fornece diariamente 4 imagens: duas do sensor Terra, captadas às 10:30 e às 22:30; e outras duas do Aqua, captadas à 01:30 e às 13:30. Além disto, disponibiliza a informação já processada, permitindo ao utilizador focar-se fenómeno e não nos procedimentos técnicos (Deilami *et al.*, 2018; Zhou *et al.,* 2019). Sem embargo, estas vantagens são comprometidas pela sua baixa resolução espacial (de aproximadamente 1km).

O ASTER dispõe de cinco bandas térmicas, com uma resolução espacial de 90x90m, captada no período diurno e noturno num intervalo de revisitação de 16 dias. A sua reduzida representatividade nos estudos acerca da ilha de calor urbano de superfície advém de dois fatores: por lado, possui um arquivo de imagens limitado, quando comparado com outros sensores; e, por outro, entre 1999 (a data de lançamento) e 2016 as imagens eram pagas, o que limitou o acesso a este arquivo (Zhou *et al.,* 2019).

Em síntese, os satélites geoestacionários, utilizados na Climatologia Regional apresentam uma elevada cobertura espacial e temporal (*i.e.*, aquisição de várias imagens por dia), no entanto, a sua resolução espacial (de mais de 1km) é demasiado grosseira para os estudos da Climatologia Urbana. Por sua vez, nos satélites de órbita polar que dispõem de infravermelho térmico sobressaem as limitações decorrentes da relação inversa entre a resolução espacial e temporal – *e.g.,* no Landsat, alta resolução espacial, baixa resolução temporal; no MODIS, alta resolução temporal, baixa resolução espacial. Consequentemente, os estudos detalhados à escala intraurbana encontram-se profundamente limitados ao horário do meio da manhã, não se dispondo de imagens com o mesmo detalhe para outros períodos do dia.

A despeito do elevado número de estudos de Climatologia Urbana com recurso a imagens de satélite verificados no início do século XX, Voogt e Oke (2003) alertavam para o facto de muitos dos resultados serem meramente descritivos e decorrentes de correlações simples. Para tal em muito tem contribuído complexidade inerente à calibração dos dados, o anglo de visão do satélite,

próximo dos 'olhos de pássaro' (Roth, 2013) e as condições das condições atmosféricas – dado que apenas é possível analisar as situações de calma atmosférica.

I – 3.1.3. Aplicação no Planeamento Urbano

A despeito do conhecimento acumulado sobre o clima nas áreas urbanas, traduzido nas normas de urbanismo bioclimático, a Climatologia – e, muito especialmente, a Climatologia Urbana – raramente tem um papel ativo no ordenamento e gestão do território (Souch e Grimmond, 2006; Zhao *et al.,* 2011). Para tal, contribui a reduzida existência de literatura e de técnicas que traduzam os conceitos científicos complexos em indicadores úteis ao planeamento urbano, pois os agentes responsáveis pela sua execução não dispõem de conhecimentos nem de tempo para tal – estes apoiam-se sobretudo em diretrizes e gráficos visuais (Zhao *et al.,* 2011).

Em Portugal esta situação é notória, pois não existe legislação que salvaguarde e promova diretamente a dinâmica climática local (Pinheiro e Laranjeira, 2013b). Os instrumentos de planeamento urbano (*e.g.*, Planos Diretores Municipais) apenas excecionalmente têm em consideração as características climáticas; e quando tal acontece limita-se à inclusão de valores médios, referentes às condições climáticas regionais (Lopes, 2008). Por conseguinte, é fundamental uma mudança de paradigma no planeamento urbano, tanto mais que existem diversas variáveis que influenciam o clima nas áreas urbanas que podem ser controladas pelo desenho urbano (Zhao *et al.,* 2011), nomeadamente: (i) o fator de visão do céu, através de parâmetros urbanísticos (*e.g.*, altura dos edifícios); (ii) as características dos materiais de construção, como o albedo; (iii) os espaços verdes urbanos, e, (iv) a orientação dos eixos viários (Espinoza, 2012). Assim, tal como refere García (1996),

> "*a ciudad es un excelente laboratorio en el que se pueden experimentar, de forma relativamente simple, los complejos mecanismos desencadenados por la acción humana sobre el clima, las modificaciones que se producen como consecuencia de estas acciones y las influencias que tales modificaciones pueden tener sobre el hombre*" (p.255).

Recentemente, por força do impacte das alterações climáticas no território – particularmente no que concerne aos extremos climáticos (*e.g.,* ondas de calor ou ondas de frio*)* –, o planeamento urbano parece dar sinais de algum interesse por esta temática. A elaboração das Estratégias

Municipais de Adaptação às Alterações Climáticas (EMAAC) constitui um dos melhores exemplos desta preocupação à escala local.

De notar uma vez mais que a Deteção Remota, apesar de não constituir a panaceia para o estudo do clima (pois, apenas mede a temperatura radiante das superfícies), permite gerar informação pertinente para o planeamento urbano. Ademais, possibilita uma avaliação das implicações que as decisões de planeamento – *e.g.*, o zonamento (Wilson *et al.*, 2003) – têm no ambiente. Deste modo, auxilia na resposta a um dos principais desafios que os atores envolvidos no planeamento urbano enfrentam, designadamente – como equilibrar as demandas do crescimento urbano com o correto funcionamento ecológicos do território (nomeadamente em termos climáticos).

I – 3.1.4. Perspetivas Futuras

Considerando que a maior parte dos estudos de Climatologia Urbana incide sobre a conceptualização, a teorização, a observação de campo e a modelação, para Oke (2006) o futuro da disciplina deve passar (necessariamente) pela validação dos modelos desenvolvidos. Para tal, é fundamental a aplicação concreta no território das soluções de planeamento urbano e desenho sistematicamente elencadas – com vista à avaliação da sua eficácia, e eventual reformulação. De facto, como salienta Oke (2006),

> "*it is difficult to find examples to illustrate the positive or negative impact (in climatic, economic or other terms) of designs inspired or informed by urban climate input. Ideally such assessment should form the basis of policy directives and management plans to move towards more sustainable practices in the ongoing development and operation of settlements*" (p.181).

Ao mesmo tempo, os esforços devem ser dirigidos na melhoria da comunicação no seio da disciplina, mas também com os campos de conhecimento congéneres (Oke, 1984, 2006). De facto, a adoção de uma linguagem comum contribuirá para a melhoria na precisão e estandardização do discurso – que por consequência facilitam a comparação e a transferibilidade dos resultados, independentemente da afiliação científica ou localização geográfica do investigador. Ainda assim, notar que termos como 'subúrbio' ou 'quarteirão' – tipicamente anglo-saxónicos – encontram difícil tradução noutros contextos territoriais. De igual modo, conceitos como rural ou campo podem revelar-se de difícil aplicação, nomeadamente em áreas que se encontram rodeadas por água ou por desertos (Oke, 2006). Neste sentido, não deixa de ser curioso

que um dos aspetos que mais discussão origina no seio da Climatologia Urbana seja a definição de 'rural' (Souch e Grimmond, 2006), decorrente diversidade de condições e da pluralidade de interpretações.

Por outro lado, os avanços nesta temática encontram-se dependentes da existência de Programas de Observação da Terra que combinem uma elevada resolução temporal e espacial (Sobrino *et al.*, 2012). Não obstante, a superação deste *trade-off* reflete-se diretamente na diminuição da área coberta em cada imagem, o que obriga à criação de mosaicos, com consequências na uniformidade da imagem e no tempo de processamento da informação.

No âmbito da versão mais aplicada, os esforços devem ser dirigidos no desenvolvimento da sua capacidade preditiva, sendo para tal necessário (Oke, 2006): (i) mais rigor metodológico; (ii) estudar relações gerais em vez de insistir em infindáveis casos de estudo; (iii) maior enfâse no estudo dos processos e na modelação numérica; (iv) a adoção de procedimentos comuns no processamento dos dados, na descrição das áreas de análise; e, (v) a sugestão de medidas de desenho e planeamento razoáveis e simples, para as diferentes zonas climáticas.

I – 3.2. Ambiente Térmico

Para Lowry (1977) o ambiente térmico superficial (doravante designado apenas ambiente térmico) encontra-se dependente de fatores sinóticos (*e.g.,* insolação, cobertura de nuvens, vento), das características naturais (*e.g.,* topografia, proximidade a corpos de água), bem como de elementos locais (*e.g.*, coberturas/usos do solo). Deste modo, traduz de modo integrado todos os aspetos do ambiente urbano (Meng *et al.,* 2009), ditados pela complexa interação entre fatores sociais (*e.g.*, densidade populacional), económicos (*e.g.*, rede viária) e ecológicos (*e.g.*, cobertura vegetal). As propriedades térmicas das superfícies, consubstanciadas na sua temperatura, podem ser extraídas a partir da banda do infravermelho térmico das imagens de satélite – visto que, todos os objetos com temperatura acima de 0K (ou -273°C) emitem radiação eletromagnética (Rocha e Sousa, 2007).

Rao (1972) foi o primeiro autor a demonstrar que era possível detetar o padrão térmico superficial do território a partir dos dados de Deteção Remota. Desde a década de 70 do século XX vários

autores têm recorrido à temperatura de superfície (Ts) para analisar o clima urbano (Orhan *et al.*, 2014) – assumindo atualmente uma importância primordial nos estudos de Climatologia Urbana. Efetivamente, a Ts constitui praticamente a única variável relevante que se encontra ampla e explicitamente disponível para estudos climáticos com enfoque cronogeográfico. Com efeito, e por se tratar em diversos casos de uma alternativa mais fiável do que os valores de temperatura do ar interpolados a partir das estações meteorológicas (Dousset *et al.*, 2011), a Ts constitui um dos parâmetros biofísicos mais analisados (Sharma *et al.*, 2013a).

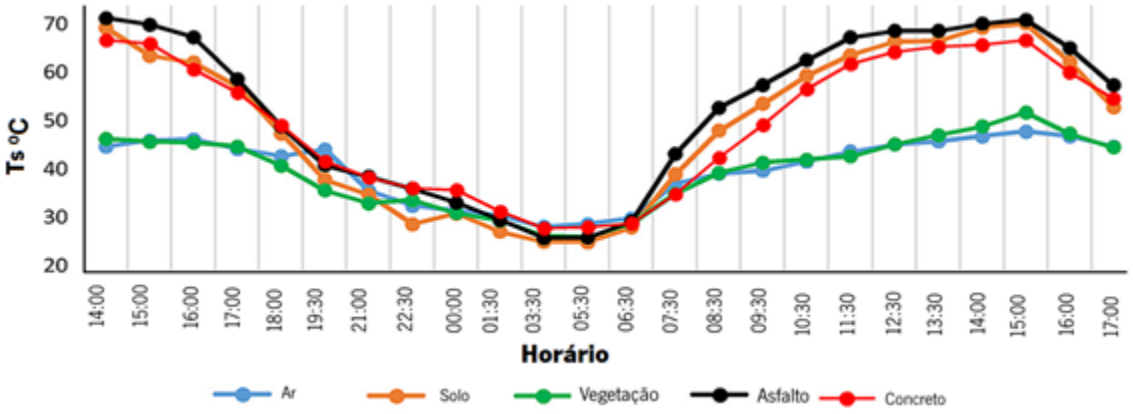
I – 3.2.1. Temperatura de Superfície

A Ts não constitui uma medição física direta, mas sim a uma modelização efetuada a partir do valor de radiância do topo da atmosfera; em razão disso, é intrinsecamente diferente da temperatura do ar – que corresponde à temperatura ambiente medida a 1,50m da superfície. A captação dos valores de radiância pelos satélites restringe-se ao intervalo 8μm–15μm do espectro eletromagnético, sendo que inclui a radiância ascendente emitida pelas superfícies, a radiância ascendente emitida pela atmosfera, a radiância descendente emitida pela atmosfera e a refletida pela superfície. Durante o dia, coexiste a reflexão e emissão de radiação eletromagnética, ao passo que à noite esta se restringe à emissão.

Considerando que a energia emitida por uma superfície se encontra diretamente relacionada com a sua temperatura, é possível com base na inversão da Lei de Planck derivar a temperatura de brilho – correspondente a um corpo negro, ou seja, emissividade igual a 1 (Ɛ=1) –, tendo como referência os valores de radiância do topo da atmosfera. Para a obtenção da real temperatura das superfícies é necessário proceder à correção dos efeitos atmosféricos e de emissividade (Mohamed *et al.*, 2017). Em concreto, a Ts corresponde à temperatura da camada terrestre diretamente exposta aos sensores (*e.g.*, telhados, estradas, copa das árvores ou relvados), que diversos autores classificam como a temperatura da 'pele' da Terra (*e.g.*, Hung *et al., 2006;* Klock *et al.*, 2012).

A Ts dita os fluxos energéticos entre a superfície terrestre e o ar, dado que modela a temperatura do ar na atmosfera urbana inferior (Voogt e Oke, 2003); porém, ao mesmo tempo, é também influenciada por esta (Uddin *et al.*, 2010). Assim, quanto mais próxima estiver a Ts da temperatura do ar menor será a transmissão de calor para o ar por convecção e para a envolvente por radiação.

Efetivamente, durante o dia as superfícies podem atingir temperaturas muito mais elevadas do que o ar (Figura I-28), correspondendo mesmo em alguns casos a mais do dobro (Ferreira e Prado, 2003); porem, Lopes (2003) alerta que nem sempre as superfícies mais quentes correspondem às temperaturas do ar mais elevadas. No período noturno a Ts tende a ser mais baixa do que a temperatura do ar (Figura I-28). Dousset *et al.* (2011) constaram que durante a noite a diferença entre a Ts e a temperatura do ar em Paris é de cerca de 1 a 2°C, aumentando esta diferença para 5°C no pico de uma onda de calor.



Os valores apresentados correspondem às medições *in situ* efetuadas por Mathew *et al.* (2018) em diversos locais da cidade de Jaipur (na Índia) durante o verão.

Fonte: Traduzido de Mathew *et al.* (2018).

Figura I-28 – Variação diária da temperatura de superfície e do ar (°C) durante o verão (Jaipur, Índia)

A correlação mais elevada entre a temperatura do ar e a das superfícies ocorre durante a noite, e muito particularmente em áreas com vegetação densa (Voogt e Oke, 2003). Não obstante, Nichol (2005) encontrou também uma correlação elevada durante o dia, realçando a importância desta informação para os estudos microclimáticos. De igual modo, Klock *et al.* (2012) reportam uma forte correlação (R^2=0,81) entre a temperatura do ar medida *in situ* e os valores de Ts obtidos pelo Landsat, aquando da sua passagem. Mais recentemente, Martin *et al.* (2015) confirmaram que a variação de Ts a meio da manhã (período de captura das imagens Landsat) pode ser utilizada como indicador da variação da temperatura do ar, visto que a temperatura das superfícies e a do ar se encontra ligada por via de processos diabáticos, que influenciam fortemente a temperatura do ar acima da superfície (através das relações termodinâmicas). Assim, perante condições de vento fraco – *i.e.*, ausência de advecção térmica –, os processos diabáticos do calor sensível e dos fluxos de radiação, juntamente com a libertação de calor latente da superfície, determinam localmente a tendência do comportamento e da flutuação a curto-prazo da temperatura do ar junto

à superfície. Por conseguinte, a Ts detém uma ligação mais direta com as coberturas do solo do que a temperatura do ar (Huang *et al., 2017*), e tal como alertam Zhao *et al.* (2018),

> "*due to the air mixes and advection effect, the study of atmosphere UHI is not capable of capturing the heterogeneous thermal pattern caused by land use and land cover (LULC) and composition and configuration*" (p.2).

Notar que, a Ts constitui um dos principais fatores responsáveis pelo controlo dos fenómenos físicos, químicos e biológicos do ambiente, porém é ao mesmo tempo é determinada por estes – quer isto dizer, que apresenta uma relação bidirecional com diversos parâmetros ecológicos (Sharma *et al.*, 2013a). Deste modo, a compreensão das variações espaciotemporais do padrão de Ts é fundamental para decifrar os mecanismos que lhe estão subjacentes (Weng e Fu, 2014; Kumar e Shekhar, 2015), nomeadamente o impacte que a urbanização detém sobre o ambiente (Meng *et al.*, 2009; Weng *et al.*, 2014).

I – 3.2.2. Variáveis que Influenciam a Temperatura de Superfície

Os valores de Ts extraídos a partir das imagens de satélite incorporam as propriedades radiativas e termodinâmicas das superfícies (Voogt e Oke, 2003). À escala local, o albedo e a emissividade são as variáveis que mais influenciam o balanço da radiação (Lopes, 2003), e consequentemente a temperatura das superfícies.

O albedo corresponde ao quociente entre o fluxo de radiação refletido e o fluxo incidente, variando este em função do comprimento de onda – ou seja, traduz a refletância de um objeto, num dado comprimento de onda (Ferreira e Prado, 2003). Os materiais com baixo albedo (*e.g.,* asfalto) absorvem mais radiação solar do que os materiais com albedo elevado (*e.g.*, telhados claros, vegetação) – sendo que, quanto maiores (menores) as entradas de calor mais quentes (frescas) as superfícies (Wentz *et al.*, 2012).

A emissividade dos materiais determina a quantidade de radiação térmica que é irradiada, e, por consequência, o define o seu desempenho térmico (Ferreira e Prado, 2003; Amorim *et al.*, 2009). A emissividade pode variar entre 0 e 1, porém, sem nunca se igualar a 1, pois não existem corpos negros perfeitos na superfície terrestre. Esta é determinada pelo comprimento de onda (*i.e.*, emissividade espectral), composição química (*e.g.*, no alumínio sem pintura a emissividade é de

0,05 enquanto a pedra é de 0,97), cor, rugosidade da superfície, fator de visão do céu (s*ky view factor*), teor de humidade, tipo de vegetação, e ângulo de visão do satélite (Carlson *et al.*, 1995a).

A reflexão e a emissividade tendem a exibir uma relação inversa (Ortiz e Amorim, 2011) – exemplificando, objetos escuros absorvem e emitem mais energia do que os mais claros, dado que estes refletem uma maior quantidade da energia incidente. Assim, enquanto o albedo determina os ganhos de calor das superfícies, uma vez que representa a porção da radiação solar incidente que é refletida, a emissividade consubstancia as perdas, por via do arrefecimento radiativo decorrente da irradiação (Ferreira e Prado, 2003). Conjugando estes dois aspetos (Tabela I-21), as superfícies com elevado albedo e emissividade tendem a permanecer mais frias quando expostas à radiação solar – pois, absorvem menos radiação e emitem mais radiação térmica para a atmosfera, logo transmitem menos calor para o ar da área envolvente (Ferreira e Prado, 2003). Pelo contrário, quanto menor for o albedo e a emissividade maior será a absorção do calor, pelo que também é maior o calor para transmitir para a área envolvente.

Tabela I-21 – Valores típicos de albedo e emissividade de cada cobertura do solo

Cobertura do Solo	Albedo	Emissividade
Água	0,08	0,98
Tecido Urbano	0,15	0,88
Solo Nu	0,25	0,90
Vegetação Arbórea Mista	0,13	0,97
Vegetação Arbustiva	0,22	0,93
Vegetação Herbácea	0,19	0,96
Culturas Agrícolas Temporárias	0,17	0,985
Culturas Agrícolas Anuais	0,18	0,985
Áreas Pantanosas	0,14	0,95

Fonte: Traduzido de Vargo *et al.* (2013).

A Ts é função da quantidade de radiação refletida, absorvida e emitida pelas superfícies (Ferreira e Prado, 2003). Com efeito, dois materiais com albedo semelhante – *e.g.*, cerâmica branca e materiais metálicos – podem apresentar uma temperatura da superfície muito díspar, decorrente das diferenças de emissividade. Efetivamente, os materiais metálicos apresentam temperaturas muito elevadas porque detêm uma capacidade de emissividade muito baixa.

Para além da emissividade e do albedo, outras quatro propriedades internas dos materiais desempenham um papel importante na regulação da temperatura de um corpo em equilíbrio com

a sua envolvente (Curran, 1985; Chuvieco, 1992; Espinoza, 2012), nomeadamente: (i) a capacidade calorífica, que corresponde à capacidade potencial de um corpo armazenar calor; (ii) a condutividade térmica, mede o ritmo a que o calor é transmitido por um material; (iii) a difusividade térmica traduz a velocidade (ou ritmo) de variação da temperatura num dado volume de material (*i.e.*, a forma como esta se difunde no material), pelo que expressa o quão rapidamente um corpo se ajusta por inteiro à temperatura do seu entorno; e, (iv) a inércia térmica traduz o grau de resposta térmica – ou de resistência – de um material às mudanças de temperatura. Estas quatro propriedades apresentam valores muito diferenciados em função da cobertura do solo (Tabela I-22).

Tabela I-22 – Propriedades térmicas das coberturas do solo

Tipo de Cobertura	Capacidade Calorífica	Condutividade Térmica	Difusividade Térmica	Inércia Térmica
Vegetação	**7**	**1**	**9**	**9**
Solo Seco	**3**	**3**	**3**	**3**
Solo Húmido	**7**	**3**	**3**	**9**
Água	**9**	**1**	**9**	**9**
Tecido Urbano	**3**	**9**	**1**	**7**

1 – Baixa; 3– Média-Baixa; 7 – Média-Alta; 9 – Alta.

Fonte: Adaptado de Curran (1985).

De realçar que a água possui uma capacidade calorífica alta pelo que armazena mais calor do que a vegetação ou o solo (Chuvieco, 1992), particularmente se estiver seco (Tabela I-22). As áreas edificadas são boas condutoras de calor, ao contrário do que sucede com as superfícies naturais *e.g.,* vegetação, água – que resistem mais à transferência de calor. O solo seco aquece muito rapidamente pois detém pouca capacidade de resistência ao calor – *i.e.*, baixa inercia térmica –, particularmente se comparado com a vegetação (Weng *et al.*, 2004; Weng e Fu, 2014).

I – 3.2.3. Alterações no Balanço Energético Desencadeadas pela Urbanização

A Ts constitui um bom indicador do balanço energético da superfície terrestre (Orhan *et al.*, 2014), pois permite inferir as trocas de energia entre a superfície da Terra e a camada inferior da atmosfera (Arthur-Hartranft *et al.,* 2003). Deste modo, torna-se possível inferir as alterações no ambiente térmico decorrentes do processo de urbanização

Nas áreas urbanas o balanço energético durante o dia é descrito pela seguinte formulação (Lopes, 2008):

$$Q* + Q_F = Q_E + Q_H + \Delta Q_S + \Delta Q_A \uparrow \qquad (\mathrm{Wm^{-2}})$$

[Eq. 6]

em que,
Q^* = balanço energético;
Q_F = calor de origem antrópica;
Q_E = fluxos turbulentos de calor latente;
Q_H = fluxos turbulentos de calor sensível;
ΔQ_S = energia armazenada ou libertada pelas superfícies;
ΔQ_A = termo de advecção (transporte horizontal do calor pelo vento).

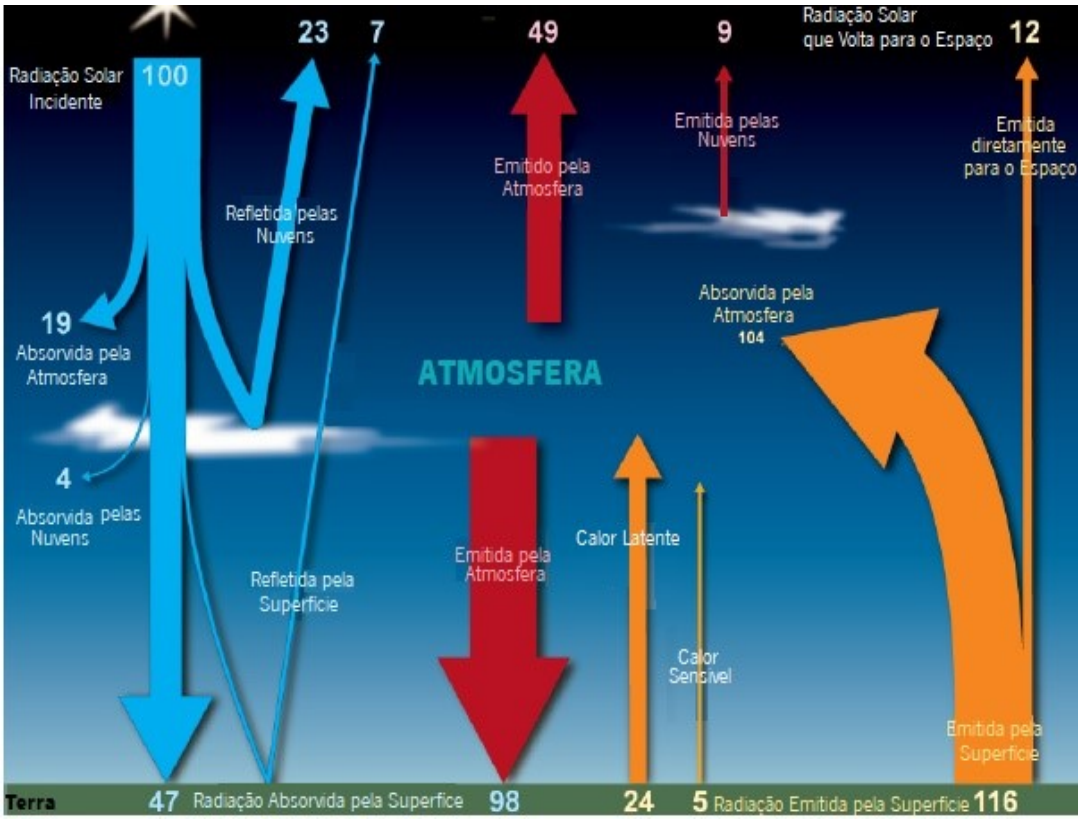
No sentido estrito das superfícies, o balanço energético é determinado pela seguinte equação (Lopes, 2008), que corresponde ao balanço radiativo:

$$Q* = K\downarrow - K\uparrow + L\downarrow - L\uparrow \qquad (\mathrm{Wm^{-2}})$$

[Eq. 7]

em que,
Q^* = balanço energético superficial;
$K\downarrow$ = fluxo radiativo de pequeno comprimento de onda descendente;
$K\uparrow$ = fluxo radiativo de pequeno comprimento de onda ascendente;
$L\downarrow$ = fluxo radiativo de grande comprimento de onda descendente;
$L\uparrow$ = fluxo radiativo de grande comprimento de onda ascendente.

Utilizando como referência 100 unidades de energia libertada pelo Sol, o balanço energético encontra-se sintetizado na Figura I-29.



Fonte: Traduzido de National Weather Service (s.d.).

Figura I-29 – Balanço radiativo e energético

No topo da atmosfera ocorre o balanço entre a energia proveniente do Sol e a que deixa a Terra (Tabela I-23).

Tabela I-23 – Trocas energéticas no topo da atmosfera

Entradas de Energia		**Saídas de Energia**	
Unidades	**Fonte**	**Unidades**	**Fonte**
+100	Radiação de pequeno comprimento do Sol	-23	Radiação de longo comprimento de onda refletida de volta para o Espaço pelas nuvens
		-7	Radiação de longo comprimento de onda refletida de volta para o Espaço pela superfície terrestre
		-49	Radiação de longo comprimento de emitida pela atmosfera para o Espaço
		-9	Radiação de longo comprimento de emitida pelas nuvens para o Espaço
		-12	Radiação de longo comprimento de emitida da superfície terrestre para o Espaço
+100	Total de radiação incidente	-100	Total de radiação que sai

Fonte: National Weather Service (s.d.).

Na atmosfera, verifica-se o balanço energético entre a energia proveniente do Sol e da superfície terrestre e a que deixa a atmosfera (Tabela I-24).

Tabela I-24 – Trocas energéticas na atmosfera

Entradas de Energia		Saídas de Energia	
Unidades	**Fonte**	**Unidades**	**Fonte**
+19	Radiação de pequeno comprimento de onda absorvida pelos gases na atmosfera	-9	Radiação de longo comprimento de onda emitida para o Espaço pelas nuvens
+4	Radiação de pequeno comprimento de onda absorvida pelas nuvens	-49	Radiação de longo comprimento de onda emitida para o espaço pelos gases da atmosfera
+104	Absorção de radiação de longo comprimento de onda pela superfície terrestre	-98	Radiação de longo comprimento de onda emitida para superfície terrestre pelos gases da atmosfera
+5	Proveniente das correntes convectivas (subida de ar quente na atmosfera)		
+24	Condensação/Deposição do vapor de água (calor libertado para a atmosfera por este processo)		
+156	Total de radiação incidente	-156	Total de radiação que sai

Fonte: National Weather Service (s.d.).

Na superfície terrestre, a energia absorvida encontra-se em equilíbrio com a que é libertada pelos (Tabela I-25).

Tabela I-25 – Trocas energéticas na superfície terrestre

Entradas de Energia		Saídas de Energia	
Unidades	**Fonte**	**Unidades**	**Fonte**
+47	Absorção de radiação de pequeno comprimento de onda proveniente do Sol	-116	Radiação de longo comprimento de onda emitida pela superfície
+98	Absorção de radiação de longo comprimento de onda proveniente dos gases da atmosfera	-5	Remoção de calor por convecção (subida do ar quente)
		-24	Calor utilizado no processo de evaporação e sublimação e, como tal, removido da superfície terrestre
+145	Total de radiação incidente	-145	Total de radiação que sai

Fonte: National Weather Service (*s.d.*).

Durante a noite, perante condições de calma atmosférica, o balanço energético aproxima-se da seguinte formulação (Holttslag e Bruin, 1988):

$$Q* = L\downarrow - L\uparrow \qquad (\mathrm{Wm^{-2}})$$

[Eq. 8]

em que,
Q^* = balanço energético superficial;
$L\downarrow$ = fluxo radiativo de grande comprimento de onda descendente;
$L\uparrow$ = fluxo radiativo de grande comprimento de onda ascendente.

A descida de radiação de longo comprimento de onda é governada pelo gradiente térmico e pela humidade da atmosfera – quer dizer, não depende dos processos superficiais; por sua vez, a radiação de longo comprimento que deixa a superfície depende da sua temperatura – ou seja, encontra-se na dependência dos processos superficiais (Holttslag e Bruin, 1988). Deste modo, o potencial de arrefecimento noturno é função do fluxo radiativo de grande comprimento e da admitância térmica (ou inércia térmica), que determina a capacidade de absorver e armazenar calor.

A urbanização promove alterações significativas no balanço energético (Lopes, 2008). Desde logo, o valor de energia radiante recebida (Q^*) nas áreas urbanas é menor do que no território circundante, consequência da elevada presença de partículas na baixa troposfera que vão absorvendo e/ou refletindo a radiação solar (Figura I-29). Para esta situação concorrem as alterações desencadeadas pela rugosidade do edificado nos ventos regionais – *e.g.*, a alteração do rumo ou a diminuição da velocidade –, que modificam as transferências de calor por advecção (ΔQ_A) e minimizam a remoção de poluentes (Alcoforado *et al.*, 2005). Deste modo, em locais muito poluídos o fluxo radiativo de pequeno comprimento de onda ($K\downarrow$) que atinge a superfície pode ser consideravelmente inferior ao verificado noutros territórios próximos.

Concomitantemente, o fluxo radiativo de pequeno comprimento de onda que ascende ($L\uparrow$) também é mais baixo, pois nas ruas com reduzido fator de visão do céu – determinado pelo rácio entre a altura dos edifícios e a sua largura (Oke, 2006) – coexistem múltiplas reflexões entre as paredes dos edifícios, que retardam o envio da radiação para o Espaço (Alcoforado *et al.,* 2014). Note-se que é a irradiação para a atmosfera ($L\uparrow$) que possibilita o arrefecimento noturno das superfícies (García, 1996). Assim, consequência da poluição atmosférica e da existência de ruas

com reduzido fator de visão do céu, aumenta a entrada de radiação de grande comprimento de onda ($L\downarrow$) nas áreas urbanas.

A substituição de superfícies permeáveis pelo tecido construído impede a infiltração da água, pelo que perante episódios de precipitação esta rapidamente escoa para o sistema de drenagem, onde fica resguardada do processo evaporação (Kuttler, 2008). De lembrar que os processos evaporativos assentam na disponibilidade de água à superfície e de energia para proceder à sua mudança de fase, bem como na existência de um gradiente de vapor e de turbulência atmosférica para transportar esse vapor (Lopes, 2003). A diminuição da evaporação (e da evapotranspiração) traduz-se na redução do calor latente (Q_E) – que corresponde à quantidade de calor libertado ou absorvido por um sistema na mudança de fase da água, por unidade de massa. Estas perdas são mais intensas de dia do que de noite, devido à maior quantidade de energia disponível para realizar este processo. Adicionalmente, verifica-se um aumento dos *inputs* energéticos nas áreas urbanas decorrente tráfego, indústria ou do aquecimento/arrefecimento dos edifícios (Q_F) e da maior capacidade de armazenamento de calor (ΔQ_S) dos materiais utlizados na construção.

Em suma, as alterações na cobertura/uso do solo e na composição da atmosfera decorrentes da urbanização promovem o incremento dos fluxos de calor sensível (Q_H) – descrito como aquele que é sentido pelos seres vivos (Monteiro, 1997) ou que pode ser medido com um termómetro (Alcoforado *et al.,* 2014) – em detrimento dos fluxos de calor latente (Q_E), dado que nas áreas urbanas a evapotranspiração não se processa e a evaporação é muito reduzida (Oke, 1982). Estas modificações nos fluxos de energia (Weng, 2011), conjugadas com a libertação de calor antrópico (Q_F), promovem um aumento da temperatura por comparação com o território que permanece menos artificializado; melhor dizendo, as áreas urbanas ao favorecerem um leque diversificado de entradas de energia e ao bloquear as possíveis vias para a sua saída criam condições para se tornar no seu todo, ou em parte, uma ilha de calor (Monteiro, 1997).

I – 3.3. Ilha de Calor Urbano de Superfície

O fenómeno da ilha de calor urbano consiste na existência de valores de temperatura mais elevados nas áreas urbanas por comparação com a sua envolvente rural. Em consonância com o referido anteriormente, este aumento de temperatura decorre das modificações no balanço

energético entre a atmosfera e a superfície terrestre que o processo de urbanização acarreta (Lopes, 2008), bem como da libertação de calor antrópico, que apesar de ser em menor grau não se pode descurar (García-Cueto *et al.*, 2007).

A ilha de calor urbano encontra-se presente em quase todos os aglomerados urbanos (Klock *et al.,* 2012) – constituindo a manifestação mais icónica das modificações no clima causadas pela ação do Homem (Roth, 1989, 2013). Este efeito climático da urbanização foi documentado pela primeira vez por Howard em 1820, quando este constatou que a cidade de Londres tinha temperaturas mais elevadas do que o entorno rural (Liu e Zhang, 2011). Contudo, o conceito de 'ilha de calor urbano' – do inglês '*urban heat island'* – surge apenas no início da segunda metade do século XX, com o trabalho de Mandey sobre a frequência de nevões em Inglaterra (Espinoza, 2012). Em 1970 o Simpósio Internacional de Clima Urbano, promovido pela Organização Meteorológica Mundial, impulsionou grandemente a investigação desta temática. O interesse despertado foi de tal modo significativo que nos dias de hoje a maior parte dos estudos e métodos de Climatologia Urbana se encontra dirigida nesse sentido (García, 1996; Alcoforado, 1999; Souch e Grimmond, 2006; Espinoza, 2012), constituindo a ilha de calor o aspeto do clima urbano mais bem conhecido (Alcoforado *et al.*, 2005; Chen *et al.*, 2006; Mirzaei, 2015). Em Portugal os estudos dedicados a esta temáticas não são muito abundantes, centrando-se na temperatura do ar, e tendo como estudo caso as cidades de Lisboa (*e.g.*, Alcoforado, 1993; Alcoforado *et al.*, 2014) e do Porto (*e.g.*, Monteiro, 1997). Por sua vez, as cidades de pequena/média dimensão não têm sido alvo da mesma atenção dada às áreas metropolitanas, em consonância com o verificado em termos internacionais (Zhou *et al.,* 2019).

Não obstante a consolidação do conceito de 'ilha de calor urbano', na realidade as cidades (entendidas em sentido lato) são compostas por um mosaico de áreas quentes (*e.g.*, bairros residenciais com elevada densidade e vias rodoviárias com tráfego intenso) e de outras mais frescas (*e.g.*, espaços verdes). Deste modo, não será correto falar de um microclima urbano – como por exemplo considera Amorim (2002) –, mas sim de um conjunto de climas locais que se traduzem num padrão térmico organizado, resultado da pluralidade de microclimas característicos de cada elemento do espaço urbano (Alcoforado *et al.,* 2005). Esta questão assume particular relevância num quadro de urbanização difusa, como sucede nos municípios de Braga e de Guimarães em estudo, onde se verifica uma acentuada mescla das componentes biofísicas.

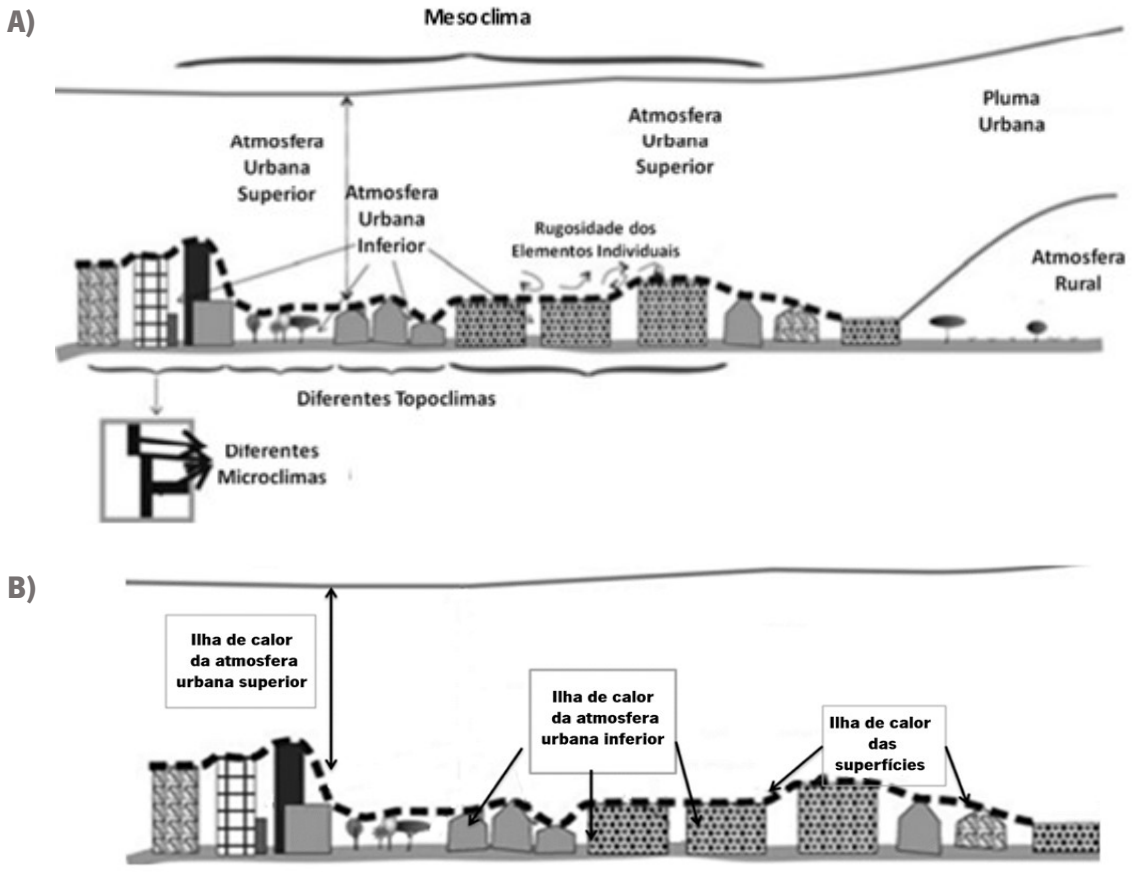
Para García (1996) os aspetos mais significativos da ilha de calor são: (i) a intensidade, que indica a magnitude do fenómeno, depende em grande medida do tamanho do espaço urbano e das condições meteorológicas dominantes; (ii) as variações espaciais, causadas pelas características urbanas; e, (iii) o ritmo diário e entre estações, determinadas pelos respetivos ciclos de radiação solar. Com efeito, o interesse na investigação deste tópico reside não só no seu padrão e intensidade, como também nas dinâmicas, causas e consequências, que são transversais ao ambiente, sociedade e economia.

A despeito do efeito benéfico que a ilha de calor detém nas cidades localizadas em climas frios durante o inverno, os efeitos nefastos sobrepõem-se, particularmente durante o verão para as cidades localizadas em climas quentes e temperados (Roth, 2013). Ao nível do ambiente as consequências mais notórias prendem-se com a modificação dos padrões de precipitação (Yuan e Bauer, 2007) e com a poluição do ar, uma vez que o aumento da temperatura promove a formação de ozono (Roth, 2013). Em termos económicos, provoca a diminuição da produtividade laboral e incrementa as demandas de energia para os aparelhos de ar condicionado, que num efeito espiral irão agravar ainda mais este fenómeno. Do ponto de vista do conforto térmico e da saúde humana, o calor excessivo potencia os distúrbios do sono, o aumento dos internamentos hospitalares, e em casos mais severos a taxa de mortalidade. Estes efeitos são particularmente nocivos para as camadas da população mais vulneráveis em termos físicos – *i.e.*, crianças e idosos – e sociais – *e.g.*, menores rendimentos; habitações mais degradadas (Sharma e Joshi, 2014).

I – 3.3.1. Clarificação da Escala de Análise

O clima urbano é caracterizado por uma combinação de processos que ocorrerem a uma grande variedade de escalas, impostas pela composição biofísica do território e pela estruturação vertical da atmosfera; com efeito, a definição da escala de análise em que decorre a investigação é condição *sine qua non* para o entendimento do clima urbano, em sentido lato, e da ilha de calor, em particular (Oke, 2006; Roth, 2013). Note-se que a ilha de calor pode advir tanto de diferenças na temperatura do ar como das superfícies (Lopes, 2003), cujos mecanismos subjacentes, bem como a configuração espacial e temporal, são claramente distintos. Com efeito, o facto de o fenómeno da ilha de calor urbano ser dependente da escala obriga ao desenvolvimento de estudos com abrangências espaciais e temporais distintas – de modo a abarcar a sua total complexidade (Sharma e Joshi, 2014).

Seguindo a estratificação vertical da atmosfera (Figura I-30-A) é possível distinguir três tipos de ilha de calor (Voogt e Oke, 2003; Alcoforado *et al.*, 2005; Lopes, 2008; Figura I-30-B): (i) ilha calor urbano da atmosfera urbana inferior, localizada entre o nível do solo e o nível médio do topo dos edifícios, sendo as temperaturas do ar medidas abaixo do nível dos telhados (*e.g.*, nas estações meteorológicas); (ii) ilha calor urbano da atmosfera urbana superior, que se sobrepões à anterior, podendo estender-se até à atmosfera livre; e, (iii) ilha de calor urbano das superfícies que contatam com a atmosfera urbana inferior, medida a partir de instrumentos de Deteção Remota. Assim sendo, sublinhar que o termo 'ilha de calor urbano' utilizado no presente trabalho empírico refere-se somente à ilha de calor verificada ao nível das superfícies (Figura I-30).



A) Estruturação vertical da atmosfera; B) Tipos de ilha de calor urbano.
Fonte: Adaptado de Andrade (2005).

Figura I-30 – Ilhas de calor urbano em função da estratificação vertical da atmosfera

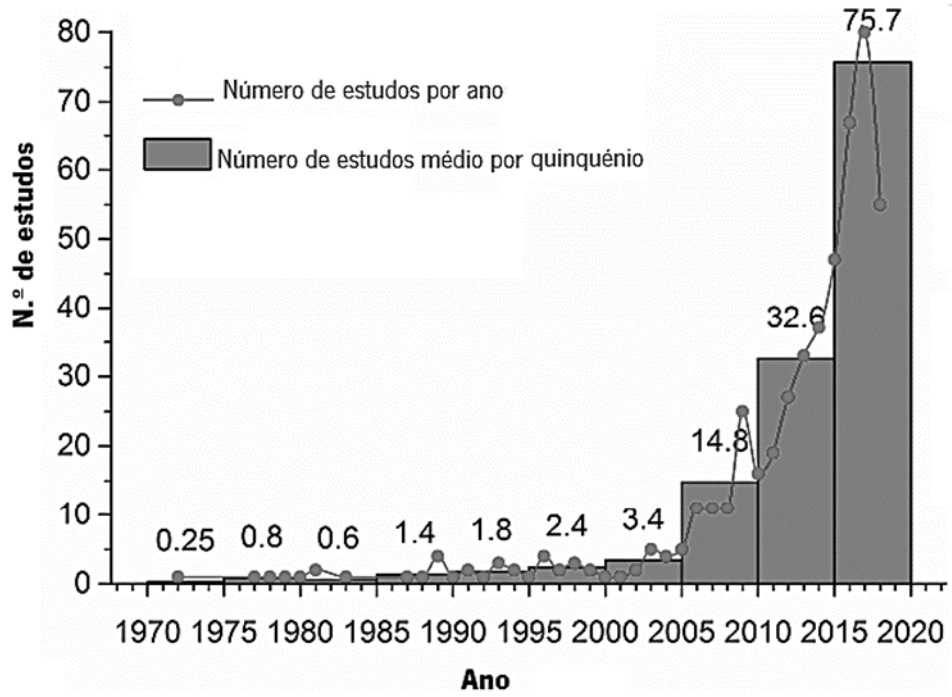
Tradicionalmente, a ilha de calor urbano é identificada a partir da temperatura do ar na atmosfera urbana inferior recolhida nas estações meteorológicas ou obtida em medições itinerantes, porém, a recolha dos dados constitui um processo dispendioso e moroso. Face a este cenário, a utilização

da temperatura de superfície – derivada a partir de imagens de satélite (Voogt e Oke, 2003) – tem vindo a ganhar destaque nos estudos acerca do clima urbano (Voogt e Oke, 2003; Guo *et al.*, 2015; Mohamed *et al.*, 2017; Deilami *et al.*, 2018), uma vez que fornece uma visão sinótica e uniforme de todo o território (Wilson *et al.*, 2003b; Yuan e Bauer, 2007; Ganguly e Shankar, 2014), praticamente impossível de obter de outro modo (Miller e Small, 2003).

Vale a pena lembrar que Lowry (1997) defendia que idealmente a magnitude da ilha de calor deveria ser determinada com base em medições de temperatura (do ar) antes e depois do processo de urbanização; porém, são muito raras as situações em que tal é possível, devido à inexistência de dados de estações meteorológicas que detenham a amplitude espacial e temporal necessária. Por sua vez, a existência de séries cada vez mais longas e contínuas de dados captados pelo infravermelho térmico dos satélites (*e.g.,* o arquivo Landsat, com mais de três décadas de existência) possibilitam a análise da ilha de calor sob a perspetiva de Lowry – pois os retratos sequenciais fornecidos pela Deteção Remota permitem não só monitorizar o crescimento urbano, como também comparar a temperatura de um dado lugar antes e depois do processo de urbanização. Ressalve-se que, a comparação direta dos valores de Ts deve ser acompanha de especial cautela, uma vez que apresenta uma forte dependência com as condições atmosféricas.

I – 3.3.2. Evolução dos Estudos sobre a Ilha de Calor Urbano de Superfície

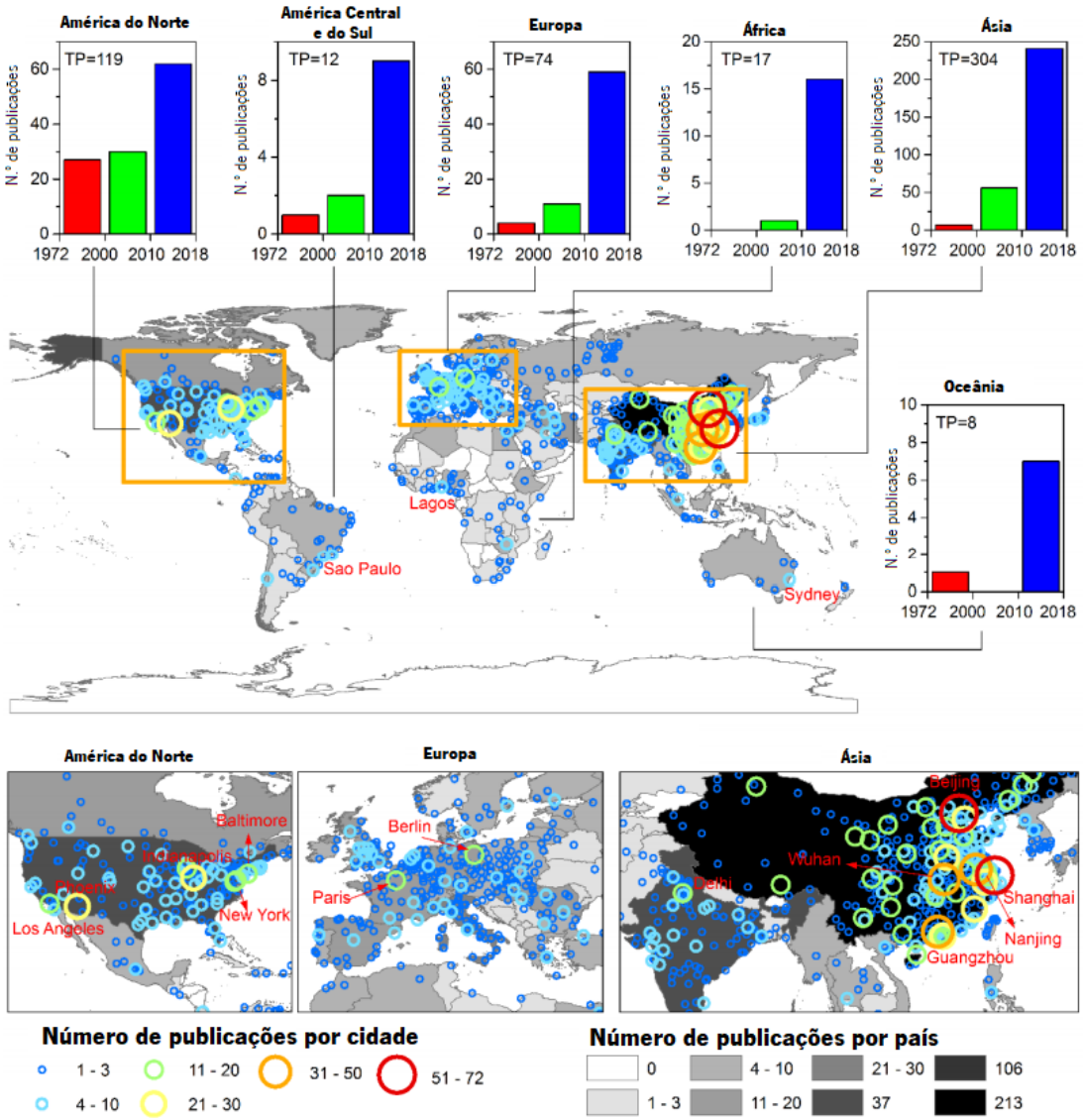
A despeito dos primeiros estudos da ilha de calor urbano de superfície datarem do início da década de 70 do século XX, com as pesquisas de Rao (1972), este tópico de investigação permaneceu muito pouco ativo até ao final da centúria – registando-se menos de 5 publicações por ano (Zhou *et al.,* 2019). Com o advento do novo milénio, e mais precisamente a partir de 2005, verifica-se um aumento exponencial das publicações (Figura I-31). De acordo com o referido autor, no quinquénio seguinte (2006-2010) o número de publicações foi 40% superior ao total registado até então. Nos últimos anos tem perdurado a mesma tendência – em grande medida, desencadeada pelo acelerado processo de urbanização, alicerçada no cenário das mudanças climáticas e suportada pelas melhorias qualitativas e quantitativas das imagens de satélite, decorrente da disponibilização sem custos das imagens Landsat, MODIS e, mais recentemente, do ASTER.



Fonte: Traduzido de Zhou *et al.* (2019).

Figura I-31 – Evolução do número de estudos sobre a ilha de calor de superfície entre 1972 e 2018

Do ponto de vista geográfico, o estudo da ilha de calor urbano de superfície apresenta enviesamento espacial notório – no qual sobressaem os estudos chineses. Os resultados obtidos por Zhou *et al.* (2019) permitem quantificar precisamente essa perceção, pois 62% dos estudos realizados entre 1972 e 2018 focam-se na Ásia, 24% na América do Norte e apenas 15% na Europa (Figura I-32). Os trabalhos desenvolvidos em África, na América Central e do Sul, e na Oceânia são residuais, e não raras as vezes incluem-se em investigações mais amplas (*e.g.*, escala regional ou global). Os estudos norte-americanos dominaram a literatura até 2000, data a partir da qual a Ásia assume a primazia. Numa análise mais detalhada, sobressai o domínio claro dos estudos chineses (213), por comparação com os realizados nos Estados Unidos da América (106). Ao nível da cidade, as conclusões são análogas, pois Beijing (em português Pequim) é a cidade alvo do maior número de estudos (72 no total), ao passo que a cidade norte-americana com mais estudos – Indianápolis – apenas detém 22 (Zhou *et al.,* 2019).

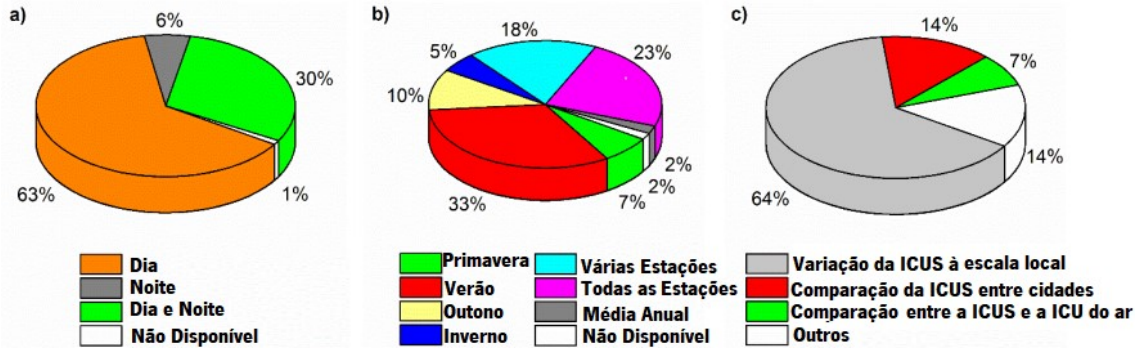


TP corresponde ao total de publicações analisadas.

Fonte: Traduzido de Zhou *et al.* (2019).

Figura I-32 – Localização geográfica dos estudos acerca da ilha de calor urbano de superfície realizados entre 1972 e 2018

O foco temporal dos estudos da ilha de calor urbano de superfície também apresenta um claro viés – dado que estes se concentram-se no período diurno do verão. De facto, e tendo como referência uma vez mais os resultados obtidos por Zhou *et al.* (2019), constata-se a hegemonia das investigações acerca do comportamento da ilha de calor urbano durante o dia (63%), por comparação com a noite (6%). A maior parte dos estudos que abarca o período noturno (30%), inclui igualmente a sua variação diurna (Figura I-33-a).



a) Período do dia; b) Estação do ano; c) Foco da investigação, em que, ICU refere-se à ilha de calor urbano e ICUS à ilha de calor urbano de superfície.

Fonte: Traduzido de Zhou *et al.* (2019).

Figura I-33 – Distribuição dos estudos da ilha de calor de superfície realizados entre 1972 e 2018 em função do período do dia, estação do ano e foco da investigação

Do ponto de vista sazonal, os estudos da ilha de calor de superfície concentram-se numa única estação do ano (55%), embora a repartição entre estas seja claramente desigual, pois o verão abarca 33% das publicações, enquanto o inverno com apenas 5% surge como a estação menos estudada (Figura I-33-b). Estas diferenças decorrem das limitações impostas pela cobertura de nuvens na captura de imagens de satélite. Note-se que apenas 23% dos estudos abarcam todas as estações do ano (Figura I-33-b), segundo a meta-análise realizada por Zhou *et al.* (2019).

Numa perspetiva comparativa, Deilami *et al.* (2018) salientam que os estudos sobre a variação sazonal da ilha de calor de superfície preponderam sobre os referentes ao ciclo diário – nomeadamente 33,3% *versus* 25,3%.

No que concerne às temáticas de investigação da ilha de calor urbano de superfície Voogt e Oke (2003) agruparam os estudos em três temáticas principais: (i) análise da estrutura espacial do padrão térmico e a sua relação com as características do tecido urbano; (ii) estudo do balanço energético superficial a partir de modelos climáticos; e, (iii) comparação entre a ilha de calor atmosférica e a superficial, com base na combinação de medições de *in situ* e de satélite coincidentes. Mais recentemente, Deilami *et al.* (2018) contataram que a maioria dos estudos se centra na relação da ilha de calor de superfície com os usos do solo – particularmente com fração de vegetação (44%) e a percentagem de área impermeável (28%) – incluindo-se por isso primeira categoria definida por Voogt e Oke (2003). Zhou *et al.* (2019) acrescentam que a maioria dos autores (64%) investiga a ilha de calor de superfície à escala local (*i.e.*, o estudo de caso é apenas uma cidade), detendo a comparação entre cidades uma importância muito menos significativa

(14%). Os restantes investigações centram-se na comparação da ilha de calor de superfície com a temperatura do ar (7%) – ou seja, abarcam a terceira categoria proposta por Voogt e Oke (2003) –, ou então encontram-se dispersas por uma ampla miríade de temáticas que não se enquadram em nenhuma das supramencionadas (Figura I-33-c).

As conclusões obtidas pelas meta-análise apresentadas (Voogt e Oke, 2003; Deilami *et al.,* 2018, Zhou *et al.,* 2019) apontam para necessidade de as investigações acerca da ilha de calor urbano de superfície acautelarem diferentes âmbitos geográficos, contextos climáticos, estações do ano e períodos do dia – com vista à superação do viés de investigação identificado.

I – 3.3.3. Determinação da Ilha de Calor Urbano de Superfície

O conhecimento do padrão e da intensidade (ou magnitude) da ilha de calor é fundamental nos estudos de Climatologia Urbana, uma vez que esta apresenta uma relação clara com a qualidade ambiental, social e económica. A ilha de calor urbano decorre *lato sensu* da diferença da temperatura entre a cidade (ou a área urbana, ou o tecido construído – mais quente) e a envolvente rural (ou o campo, ou as áreas menos urbanizadas – mais frescas). No caso específico das superfícies, é determinada pela diferença de temperatura entre os materiais que compõem o tecido urbano e as superfícies que permanecem permeáveis, que podem possuir maior ou menor cobertura vegetal (Sharma e Joshi, 2014; Zhou *et al.*, 2019).

A despeito da consolidação da formulação teórica da 'ilha de calor' na prática não se verifica consenso na sua definição (Oke, 2006). Esta questão – particularmente evidente no caso da ilha de calor urbano de superfície – traduziu-se numa multiplicidade de métodos que foram sendo desenvolvidos em concordância com os objetivos específicos de cada investigação. Por conseguinte, a sua demarcação contínua a variar significativamente não existindo um limiar uníssono para o que é considerado (ou não) ilha de calor; com efeito, a magnitude ou intensidade permanece uma medida mais relativa do que absoluta (Martin *et al.*, 2005).

De entre uma ampla miríade de métodos utilizados na definição da ilha de calor urbano de superfície, emerge num primeiro grupo (por ser o mais antigo e mais volumoso) os estudos que utilizam a Ts como *proxy* da ilha de calor urbano de superfície. Neste caso, os mecanismos subjacentes à formação da ilha de calor são determinados com base na distribuição de Ts, correspondendo os valores mais elevados aos locais sob efeito da ilha de calor. Este método,

aplicado à escala local, não quantifica o efeito da ilha de calor, o que impossibilita a sua comparação entre cidades ou períodos (Zhou *et al.*, 2019).

Uma segunda categoria abarca os estudos da ilha de calor de superfície que têm por base a diferença de Ts entre as áreas urbanas e as rurais consideradas de referência; todavia, a sua execução tem-se revelado deveras complexa, residindo a principal dificuldade na definição do que é considerado urbano – não sendo esta menor quando se trata da área rural (Oke, 1984, 2006). Esta questão é de suma importância, tal como alertam Oke *et al.* (1998),

> "*because urban effects assed in this manner are largely controlled by the state of the surrounding rural area – especially its relative wetness or dryness – rather than the nature of the urban area*" (p.59).

Neste contexto, as áreas de referência são definidas com base na delimitação cobertura/uso do solo, ou na percentagem de área impermeável ou da fração de vegetação. O efeito da ilha de calor é, por sua vez, determinado pela da diferença Ts média do que é considerado urbano *versus* o restante território – que pode oscilar desde campos agrícolas, áreas florestais, corpos de água a espaços suburbanos (Zhou *et al.*, 2019). A este respeito destaca-se o trabalho de Chen *et al.* (2006) que calcula a intensidade da ilha de calor com base na diferença de Ts média do tecido construído e a verificada nas áreas com vegetação, nos corpos de água e nos campos solo exposto. Esta metodologia foi igualmente aplicada por Xiong *et al.* (2012) – porém adicionalmente determinou a intensidade da ilha de calor com base na diferença entre o ponto mais quente da área urbana e o ponto mais fresco localizado no seu exterior. Esta opção por valores de Ts de pixéis individuais assemelha-se em termos metodológicos aos estudos da ilha de calor da atmosfera urbana inferior (Zhou *et al.*, 2019). Os diferentes métodos assentes em áreas de referência têm em comum o facto de calcularem a intensidade da ilha de calor urbano de superfície para cada imagem térmica de modo individual, para a partir daí efetuarem comparações espaciotemporais (Chen *et al.*, 2006). Neste sentido, diferentemente dos estudos que utilizam a Ts com proxy da ilha de calor, possibilitam não só a comparação entre períodos, como também entre territórios.

Os resultados obtidos pelos métodos anteriores encontram-se profundamente dependentes (ou mesmo limitados) pelas áreas de referência definidas. Em resposta, diversos autores propuseram métodos que não requerem a diferenciação prévia do território entre urbano e rural – optando pela utilização de limiares definidos em função dos valores de Ts de cada imagem (Tabela I-26).

Tabela I-26 – Métodos propostos para a delimitação da ilha de calor urbano de superfície com base em limiares da temperatura de superfície

Autor(es)	Metodologia
Zhang e Wang (2008) Ward *et al.* (2016)	Segmentaram a Ts com base em limiares definidos a partir da seguinte formulação: $\mu + X\sigma$ (em que o X corresponde ao valor de multiplicação do desvio-padrão, nomeadamente -2,5; -1,5; -1; -0,5, 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; ou 3). Após a classificação da imagem em função destes limiares, os autores concluíram que 80% dos pixéis classificados como urbanos se encontravam no limiar $\mu + 1\sigma$, pelo que adotaram este intervalo para classificar as áreas com ilha de calor.
Ma *et al.* (2009) Ma *et al.* (2010)	Dividiram o território em áreas com efeito e sem efeito de ilha de calor, com base nas seguintes equações: $Ts > \mu + 0.5\sigma$, para a área com ilha de calor; e, $Ts < \mu + 0.5\sigma$, para a área sem ilha de calor. A intensidade da ilha de calor é determinada pela diferença entre a temperatura média das áreas que formam a ilha de calor e a média do restante território.
Martin *et al.* (2015)	Partindo do valor médio de Ts em cada data para a área urbana (excluindo deste modo corpos de água e campos agrícolas), classificaram a ilha de calor função dos seguintes limiares: μ + 1°C; μ + 2°C; μ + 3°C; μ + 4°C; μ + 5°C; μ + 6°C; e, μ + 7°C. Os autores não encontraram pixéis significativos acima dos 7°C.
Xiong *et al.* (2012) Meng *et al.* (2014) Qiao *et al.* (2014) Fang (2015)	Delimitaram a ilha de calor com base na divisão de Ts normalizada (em função do máximo e mínimo da imagem) em cinco classes: área de frescura acentuada (0 a 0,2); área de frescura moderada (0,2 a 0,4); área mediana (0,4 a 0,6); área de calor moderado (0,6 a 0,8); e, área de calor acentuado (0,8 a 1). As classes 0,6 a 0,8 e 0,8 a 1 traduzem o território sob efeito de ilha de calor.
Chen *et al.* (2016)	Classificaram os valores de Ts em cinco classes, baseadas em limiares definidos a partir dos desvios em relação à média: (i) Muito baixo ($Ts < \mu - 1\sigma$); (ii) Baixo ($\mu - 1\sigma \leq Ts < \mu - 1\sigma/3$); (iii) Mediano ($\mu - 1\sigma/3 \leq Ts < \mu + 1\sigma/3$); (iv) Elevado ($\mu + 1\sigma/3 \leq Ts < \mu + 1\sigma$); e, (v) Muito elevado ($Ts \geq \mu + 1\sigma$). Após a aplicação destes limiares os autores propõem para cada imagem a seguinte classificação: muito baixo=1; baixo=2; mediano=3; elevado=4; e, muito elevado=5. Neste sentido, as diferenças bitemporais são determinadas em função desta nova escala (e não dos valores absolutos de Ts), que pode ser agrupada em três tendências: (i) grande diminuição; (ii) pequena variação; e, (iii) grande aumento. À imagem classificada de 1 a 5 os autores aplicam ainda dois métodos de análise espacial:(i) a análise de clusters LISA, que examina a dinâmica de Ts à escala local; e, (ii) a análise de centroides, que retrata a dinâmica holística de Ts, pois traduz a migração observada no padrão térmico, e descortina a evolução espaciotemporal das mudanças ocorridas ao longo do intervalo temporal em estudo.

Em que, Ts – temperatura de superfície; μ – média de Ts na área de estudo; σ – desvio-padrão de Ts na área de estudo.

A decisão dos limiares utilizados na definição das áreas de referência não constitui um processo trivial, pois a sua escolha determina os resultados e, consequentemente, as conclusões retiradas. Ademais, notar que não foram incluídos os trabalhos que não efetuem algum procedimento de normalização dos valores de Ts em estudos multitemporais (*e.g.*, Singh *et al., 2014*), posto que este procedimento é condição *sine qua non* para a investigar a evolução temporal da ilha de calor de superfície (Meng *et al.*, 2014; Fang, 2015; Rasul *et al.,* 2017). Os métodos mais comuns de normalização predem-se com a utilização dos valores da média e do desvio-padrão ou então com o máximo e mínimo verificado em cada imagem (Rasul *et al.,* 2017), à semelhança do que sucede nos estudos que utilizam a temperatura do ar (*e.g.*, García-Cueto *et al.*, 2007).

Os autores que recorrem a limiares de Ts para delimitar a ilha de calor urbano de superfície quantificam a sua intensidade a partir da diferença entre a Ts média nas áreas consideradas sob efeito da ilha de calor e o restante território (Ma *et al.,* 2009&2010; Zhang e Wang, 2016; Ward *et al., 2016; Guha et al.,* 2018). Neste caso, tal como sucede nos estudos que efetuam a divisão prévia do território em urbano/não urbano, a intensidade da ilha de calor é claramente afetada pelas características não só do tecido construído, como também das condições da sua envolvente.

Numa outra aceção, o efeito da ilha de calor tem vindo a ser determinado a partir do *Urban Thermal Field Variance Index* (UFTVI), ainda que a sua formulação se encontre sujeita a algumas variações em função do estudo consultado – *c.f.,* Zhang *et al.* (2006) com Liu e Zhang (2011). Este índice, definido a partir dos valores de Ts, mede de igual modo o conforto térmico e as condições ecológicas das áreas urbanas (Tabela I-27). Não obstante, apresenta uma limitação severa, pois não consegue efetuar uma repartição eficaz do território, uma vez que a grande maioria deste é englobada nas duas classes mais extremas (Guha *et al.*, 2018).

Tabela I-27 – Classificação do UFTVI

UFTVI	Fenómeno da ilha de Calor	Avaliação Ecológica
<0	Ausente	Excelente
0,000 a 0,005	Fraco	Bom
0,005 a 0,010	Mediano	Aceitável
0,010 a 0, 015	Forte	Mau
0,015 a 0,020	Muito Forte	Muito mau
>0,020	Fortíssimo	Muitíssimo mau

Fonte: Adaptado de Zhang *et al.* (2006).

Mais recentemente, alguns autores têm recorrido à estatística espacial, nomeadamente ao *Local Indicator of Spatial Association* (LISA), proposto Anselin, para detetar os clusters de valores elevados de Ts que constituem as áreas sob efeito da ilha de calor (*e.g.*, Guo *et al.,* 2015; Chen *et al.,* 2016)

A pluralidade de métodos desenvolvidos dificulta o entendimento do fenómeno da ilha de calor urbano de superfície – *per si* muito complexa dada a unicidade de cada território. Ademais, Schwarz *et al.* (2011) constataram que apesar de os diferentes métodos medirem – supostamente – a mesma situação, apenas alguns exibem uma correlação significativa para um mesmo ponto, num determinado momento.

I – 3.3.4. Características da Ilha de Calor Urbano de Superfície

A principal característica da ilha de calor urbano de superfície prende-se com a sua acentuada variabilidade espacial (*e.g.*, materiais, contexto geográfico, zona climática) e temporal (*e.g.,* horária, sazonal, interanual) – que dificulta a sua compreensão. Não obstante, o vasto corpo de trabalho empírico disponível permite avançar com algumas considerações acerca das suas características espaciotemporais.

Em termos sazonais, a intensidade da ilha de calor das superfícies é determinada pela quantidade de radiação solar que atinge a superfície terrestre e pelo metabolismo da vegetação. Esta é mais é mais elevada na primavera e no verão (Hung *et al.,* 2006; Deilami *et al.,* 2018) e menor no outono e no inverno (Deilami *et al.,* 2018). A explicação para tal reside no facto de as áreas rurais se encontrarem revestidas de vegetação na primavera e no verão, que incrementam as diferenças de Ts entre a área urbana (mais quentes) e a sua envolvente (mais fresca).

Ao longo do dia a escala dos fatores que determinam a formação da ilha de calor de superfície é distinta (Nichol,2005): (i) no período diurno, perante radiação solar direta, sobressaem as variações microclimáticas – pois a temperatura das superfícies é determinada pelas características dos materiais, não sendo modificada pela circulação do ar (*i.e.,* advecção do calor); (ii) no período noturno, os fatores da mesoescala detêm maior relevância – dado que a temperatura das superfícies é determinada mais pela localização relativa (*e.g.*, posição topográfica ou proximidade a um corpo de água) do que pelo tipo de materiais (Nichol, 2005; Hung *et al.*, 2006).

A maior intensidade da ilha de calor urbano de superfície verifica-se durante o dia (Roth *et al.*, 1989; Lo e Quattrochi, 2003; Wilson *et al.*, 2003b; Yuan e Bauer, 2007; Liu e Zhang, 2011; Schwarz *et al.*, 2011; Guo *et al.*, 2015; Sun *et al.*, 2018), particularmente nos meses de verão. Corroborando esta asserção, Mathew *et al.* (2018) acrescentam que no inverno a ilha de calor de superfície é mais intensa durante a noite. A maior intensidade durante o dia deve-se ao efeito da radiação solar, que aquece diretamente as superfícies (EPA, 2008) – daí que no verão, e especialmente perante ondas de calor, este efeito seja exacerbado (Sharma e Joshi, 2014; Rasul *et al.*, 2017). Em termos concretos, Klock *et al.* (2012) ao analisar o ambiente térmico da cidade Roterdão (Holanda), aquando da onda de calor de 2016 (15-30 de julho), constataram que no decorrer deste evento climático extremo a intensidade da ilha de calor de superfície foi de 12°C durante o dia, e de 9°C à noite.

Sem embargo, em algumas situações a intensidade da ilha de calor de superfície pode ser mais elevada durante a noite (Oke, 2006; Espinoza, 2012). Em regiões áridas ou semiáridas, onde a cidade se encontra rodeado por areias ou solo exposto (com baixa inércia térmica), perante a radiação intensa os materiais artificiais (com maior inércia térmica) exibem uma temperatura mais baixa do que a envolvente dita 'rural'. Nos casos em que a cidade surge mais fresca do que a sua envolvente o fenómeno designa-se por ilha de frescura urbana. Deilami *et al.* (2018) destacam duas diferenças entre a ilha de calor urbano e a ilha de frescura urbana: (i) primeira, a ilha de frescura é fenómeno exclusivamente diurno, enquanto a ilha de calor tanto pode ocorrer de dia como de noite; e, (ii) segunda, a intensidade da ilha de frescura é menor do que a da ilha de calor. Com o pôr-do-sol, o solo nu ou as areias arrefecem muito rapidamente (dada a baixa inércia térmica), enquanto os materiais artificiais continuam a libertar a energia armazenada – formando a ilha de calor das superfícies (e do ar).

A morfologia urbana – nomeadamente a existência de um reduzido fator de visão do céu (Oke, 2006) – promove igualmente a maior intensidade da ilha de calor durante a noite, uma vez que impede a saída de energia de longo comprimento de onda (García, 1996), bem como a circulação das brisas (Deilami *et al.,* 2018). Importa realçar que as variações noturnas do ambiente térmico são menos conhecidas/estudadas do que as diurnas, decorrente da menor quantidade e pior qualidade da informação, pelo que permanecem mais controversas até à data (Zhou *et al.,* 2019). Nichol (2005) acrescenta que o estudo da ilha de calor superficial noturna é particularmente importante, pois é durante a noite que se verifica a maior correlação entre a Ts e a temperatura do ar.

As discordâncias no comportamento da ilha de calor de superfície relatadas decorrem das características intrínsecas a cada área de estudo e ao período temporal abarcado (Mathew *et al.,* 2018) – cuja unicidade dificulta a transferibilidade dos resultados, como desde sempre alertou Oke (1984). Tanto mais que, Schwarz *et al.* (2011) constataram que a ilha de calor exibe uma fraca correlação entre o dia e a noite, assim como entre o inverno e o verão. Tudo isto, enfatiza o papel que a localização geográfica e a relação urbano/rural (ou campo/cidade, superfícies impermeáveis/permeáveis) desempenham na formação e intensidade da ilha de calor de superfície (Zhou *et al.,* 2019).

Por último, numa analogia entre a ilha de calor de superfície e a que resulta das medições da temperatura do ar, Lopes (2003) constatou que na cidade de Lisboa "os padrões térmicos de superfície são semelhantes ao da ilha de calor do ar, permitindo concluir que, no geral, as duas ilhas de calor têm ritmos e características idênticas" (p.265), porém, os resultados desta comparação nem sempre são congruentes (Tabela I-28).

Tabela I-28 – Comparação das características da ilha de calor de superfície com a ilha de calor do ar

Fatores		**Ilha de Calor de Superfície**	**Ilha de Calor do Ar**
Posição na Atmosfera		Ao nível das superfícies ('olhos de pássaro')	Atmosfera urbana inferior (e superior)
Influência dos Fatores		Microescala	Mesoescala
Maior Intensidade	Sazonal	Verão	Inverno
	Diária	Dia (e noite)	Noite
Magnitude		Muito elevada	Elevada
Dados Base	Tipo	Infravermelho térmico (satélites ou aviões)	Estações meteorológicas ou medições itinerantes
	Condições de Aquisição	Condições anticiclónicas (exclusivamente)	Condições anticiclónicas (preferencialmente)

A ilha de calor de superfície exibe uma variação espacial e temporal mais acentuada do que a do ar (Weng e Fu, 2014; Weng *et al.*, 2014), decorrente da maior estabilidade da temperatura do ar quando comparada com a das superfícies (Klock *et al.,* 2012). Centrando apenas no aspeto temporal, a ilha de calor de superfície é mais evidente durante o dia nos meses de verão (Roth *et al.*, 1989; Lo e Quattrochi, 2003; Wilson *et al.*, 2003b; Yuan e Bauer, 2007; Liu e Zhang, 2011; Schwarz *et al.*, 2011; Guo *et al.*, 2015; Sun *et al.*, 2018), enquanto a ilha de calor na atmosfera urbana inferior é mais notória à noite durante o inverno (Voogt e Oke, 2003; Alcoforado *et al.*, 2005; Souch e Grimmond, 2006).

I – 3.4. Relação da Temperatura de Superfície com a Vegetação

Os fluxos de calor sensível e de calor latente, e por consequência de Ts, são determinados pelo conteúdo de humidade do solo e pela cobertura de vegetação, pelo que assumem a designação de efeitos biofísicos no clima (Vargo *et al.*, 2013). Os níveis mais elevados de trocas de calor latente ocorrem em áreas com vegetação densa, ao passo que a sua ausência favorece os fluxos de calor sensível, como sucede nas áreas urbanas (Oke, 1982).

Para Kwarteng e Small (2010) a Ts e a abundância de vegetação (*e.g.*, extraída a partir de índices espectrais) constituem as condições ambientais medidas de modo mais eficaz pelos satélites. Sem embargo, persistem dificuldades na interpretação de Ts em áreas com vegetação esparsa, pois nestes locais os valores de temperatura resultam da combinação (note-se que não é direta) da temperatura da copa das árvores e do solo – que resulta numa assinatura térmica compósita (Sandholt *et al.*, 2002). Por conseguinte, Weng *et al.* (2004) enfatizam a necessidade de mais estudos em áreas sem vegetação (*e.g.,* solo exposto) ou com vegetação esparsa, desidratada ou morta.

A forte correlação negativa entre Ts e os índices de vegetação comprova que as áreas com maior biomassa são as que apresentam Ts mais baixas. A despeito da existência de vários índices espectrais que possibilitam a quantificação da cobertura vegetal, a relação de Ts com o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) encontra-se particularmente bem documentada (Wilson *et al.*, 2003b; Weng *et al.*, 2004; Weng, 2011). Conquanto, o NDVI detém uma relação não linear com a abundância de vegetação, dado que é fortemente influenciado pela presença de água, quer seja através do conteúdo de humidade dos solos e da vegetação, quer seja na forma líquida armazenada nos corpos de água. A exclusão dos pixéis que correspondem a corpos de água promove o incremento da correlação entre as duas variáveis (Wilson *et al.*, 2003b).

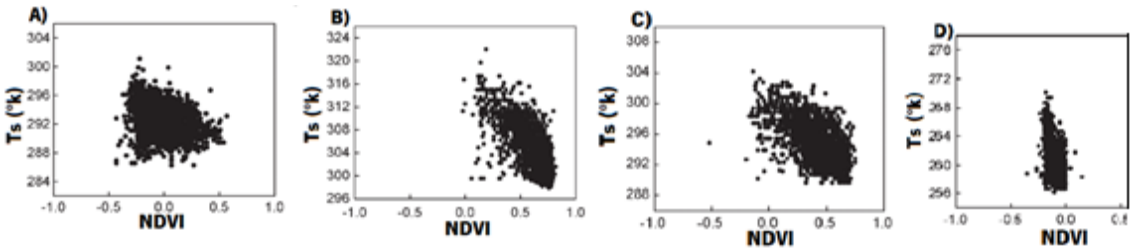
De igual modo, a correlação entre Ts e os índices de vegetação varia em função da estação do ano, sendo mais forte entre o final da primavera e o início do outono, coincidindo com o período em que os valores de NDVI são mais elevados (Yuan e Bauer, 2007). Com vista à superação desta limitação, vários autores optam por utilizar a fração de vegetação, derivada a partir da normalização do NDVI (*e.g.*, Carlson e Arthur, 2000) ou da análise de mistura espectral (*e.g.*, Weng *et al.*, 2004). A fração de vegetação retrata a quantidade e a natureza da vegetação, e modela a proporção de vegetação e de solo visível ao sensor. Ainda assim, de notar que a fração de

vegetação apresenta uma forte correlação com o NDVI e portanto redunda em conclusões similares (Yuan e Bauer, 2007).

A investigação da relação de Ts com o NDVI encontra-se direcionada para duas grandes linhas de investigação (Amiri *et al.*, 2009): por um lado, a análise estatística, efetuada com recurso a correlações simples (*e.g.*, Weng, 2001; Weng *et al.*, 2004), bem como a regressões lineares simples e/ou múltiplas (*e.g.*, Weng *et al.*, 2004; Ma *et al.*, 2009, 2010; Fang, 2015) – na qual sobressai o forte poder de explicação que a vegetação tem na variação de Ts (*e.g.*, Weng *et al.*, 2004; Klock *et al.,* 2012; Guo *et al.,* 2015); e, por outro, na abordagem denominada *Thermal Vegetation Index* (TVX), em seguida analisada com maior detalhe.

I – 3.4.1. *Thermal Vegetation Index* (TVX)

O TVX é um método multiespectral, pois combina a Ts (normalizada ou não) e o NDVI (ou outro índice de vegetação – *e.g.,* a fração de vegetação) num diagrama de dispersão, que evidencia a sua relação. Por regra, esta associação exibe uma forma triangular, dado que a variação de Ts nas áreas densamente vegetadas é menor do que em superfícies com baixo teor de humidade, como sucede no solo nu (Carlson *et al.*, 1995b; Carlson e Arthur, 2000). Proposto por Gillies e Carlson (1995) é também conhecido como método triangular ('*triangle' method*), em virtude da sua forma característica (Figura I-34-A). Não obstante, ao longo do ano a configuração do espaço TVX pode sofrer alterações (Figura I-34), tal como demonstraram Yuan e Bauer (2007). De igual modo, as mudanças na configuração do TVX podem advir das condições da superfície aquando da captação da imagem, designadamente a ocorrência de um episódio de chuva ou predomínio das condições secura. Segundo Amiri *et al.* (2009) em regiões heterógenas e/ou com elevados valores de insolação o diagrama apresenta uma forma mais trapezoide.

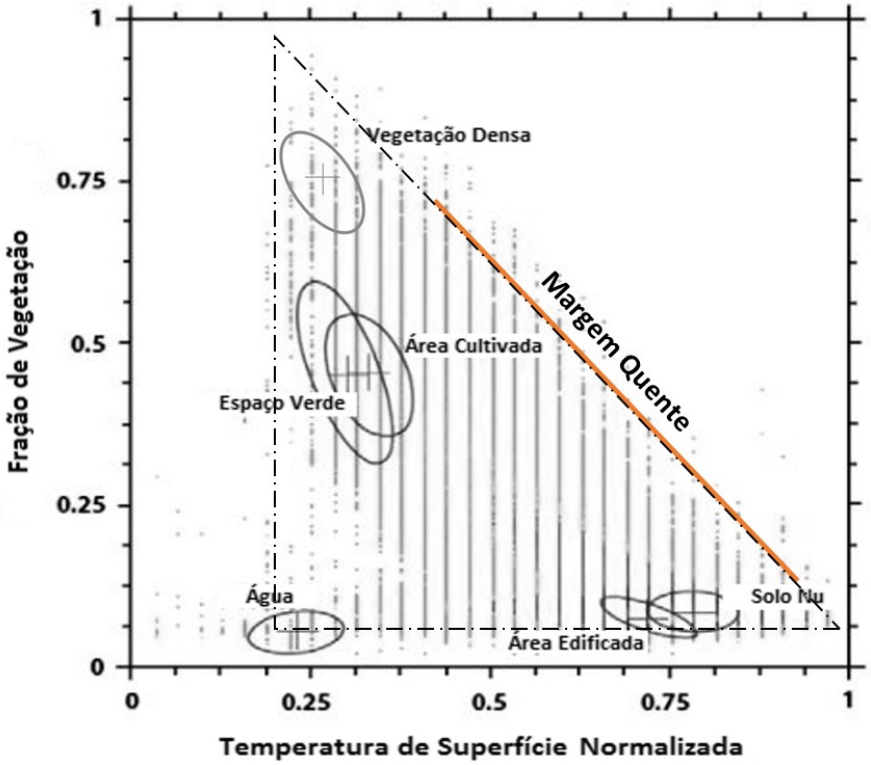


Espaço TVX em Twin Cities (Minesota, Estados Unidos da América) em: A) 21 de maio de 2002; B) 16 de julho de 2002; C) 12 de setembro de 2000; e, D)27 de fevereiro de 2001.

Fonte: Modificado de Yuan e Bauer (2007).

Figura I-34 – Variação da configuração do espaço TVX ao longo do ano

A relação entre a Ts e o NDVI foi inicialmente utilizada para derivar a fração de vegetação e o conteúdo de humidade do solo, bem como os fluxos de calor latente a partir do modelo *Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer* (SVAT; Gillies e Carlson, 1995; Carlson *et al.*, 1995b). Nas últimas décadas têm sido desenvolvidas múltiplas variações deste modelo assentes na interpretação de diferentes setores do triângulo (Figura I-35), variando a escala de aplicação do local ao global (Amiri *et al.*, 2009).



Em que, o sinal + corresponde ao valor médio de temperatura de superfície normalizada e de fração de vegetação de cada cobertura/uso do solo; a elipse traduz o valor do desvio-padrão das mesmas variáveis.

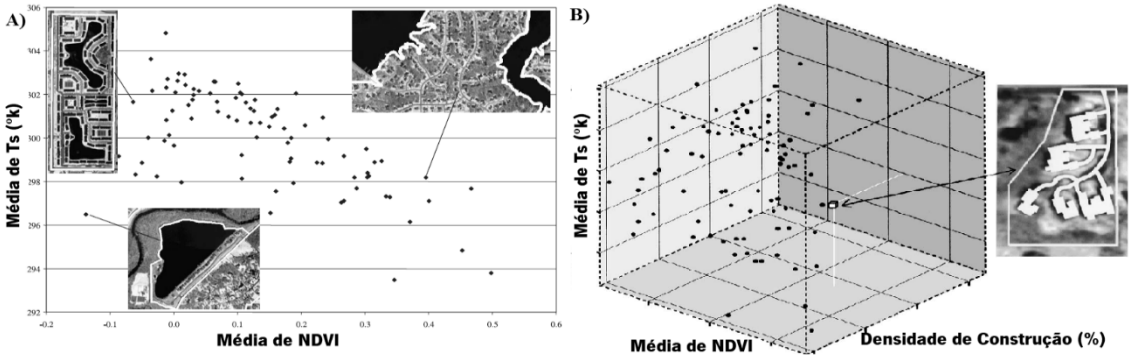
Fonte: Adaptado de Amiri *et al.* (2009)

Figura I-35 – Esquema concetual do espaço TVX

De acordo com Amiri *et al.* (2009), a cada secção do espaço TVX corresponde a uma cobertura do solo/componente biofísica (Figura I-35). Os vértices do triângulo, que determinam a sua forma, refletem as condições físicas do território. No canto inferior esquerdo localizam-se os pixéis das áreas onde o mecanismo de arrefecimento ocorre essencialmente por evaporação e não por transpiração, como é o caso dos planos de água ou de terrenos pantanosos. O canto superior esquerdo corresponde às condições de frescura (Fr elevada e, portanto, baixa Ts), característico das áreas com vegetação arbórea densa. Por oposição, o canto inferior direito traduz as condições de calor (Fr reduzida e Ts elevada), típica dos terrenos com o solo exposto e das áreas urbanas.

Ao longo da extremidade diagonal da direita encontra-se delineada a 'margem quente'. No espaço entre os vértices (pixéis puros) e os limites do triângulo encontram-se pixéis com características mistas, sendo a sua posição determinada em função da maior ou menor cobertura de vegetação (Figura I-35).

Partindo da relação inversa entre Ts/NDVI, Wilson *et al.* (2003) recorrem ao espaço TVX para distinguir o impacte ambiental das diferentes categorias de zonamento urbano. Nesta aceção, são consideradas zonas com elevado impacte as que apresentam reduzida quantidade de biomassa (*i.e.*, de NDVI) e valores elevados de temperatura; por sua vez, as categorias de zonamento com baixo impacte devem apresentar valores elevados de NDVI e reduzidos de Ts. Na prática, os referidos autores demonstram que são áreas com baixa densidade de construção que detêm os menores impactes ambientais (Figura I-36-A). Considerando que este modelo de urbanização é frequentemente preterido pelo planeamento, os autores adicionaram um terceiro eixo ao TVX com a densidade de construção (Figura I-36-B), para ilustrar os melhores exemplos de desenvolvimento urbano – *i.e.*, Ts baixa, NDVI elevado e densidade de construção alta . O polígono selecionado pelos autores (Figura I-36-B) apresenta uma densidade de construção de 37%, um valor de NDVI de 0,3 e Ts de 297°K (≈23,85°C)

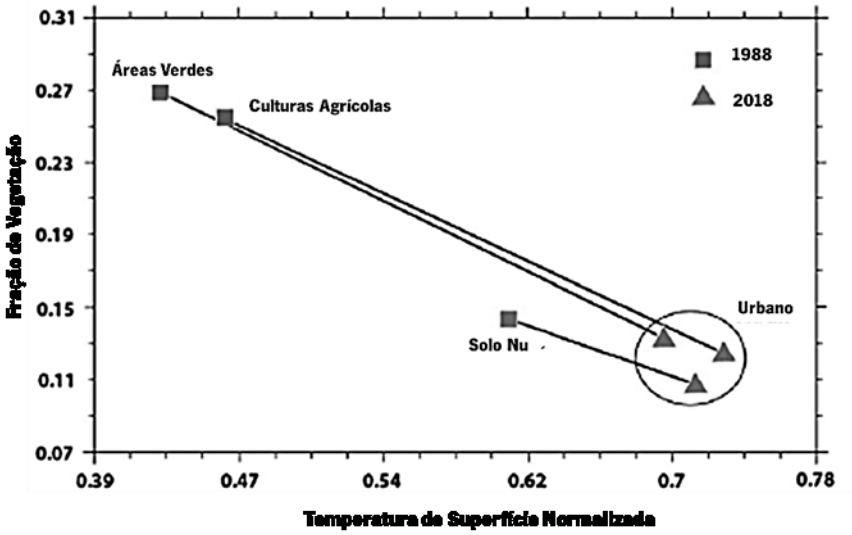


A) Diagrama de dispersão Ts/NDVI; B) Diagrama de dispersão 3D Ts/NDVI/Densidade de Construção
Fonte: Modificado de Wilson *et al.* (2003).

Figura I-36 – Aplicação do método TVX ao zonamento urbano

Ademais, o espaço TVX tem sido utilizado para detetar modificações na cobertura do solo decorrentes do processo de urbanização, bem como para evidenciar as modificações no clima local que estas mudanças introduzem (Amiri *et al.*, 2009). Uma das técnicas desenvolvidas assenta na análise da trajetória de pixéis individuais – que correspondem a lugares conhecidos no território em estudo (Carlson e Sanchez-Azofeifa, 1999; Carlson e Arthur, 2000) – dentro de um espaço TVX multitemporal (Figura I-37). A localização inicial dos pixéis no diagrama determina,

em grande medida, a magnitude e a direção da trajetória de migração (Owen *et al.*, 1998; Amiri *et al.*, 2009). Este método apresenta melhores resultados para intervalos temporais amplos, uma vez as mudanças a curto-prazo se podem dever a variações de origem natural, como o estado fenológico da vegetação ou o tipo de cultura agrícola. (Amiri *et al.*, 2009).

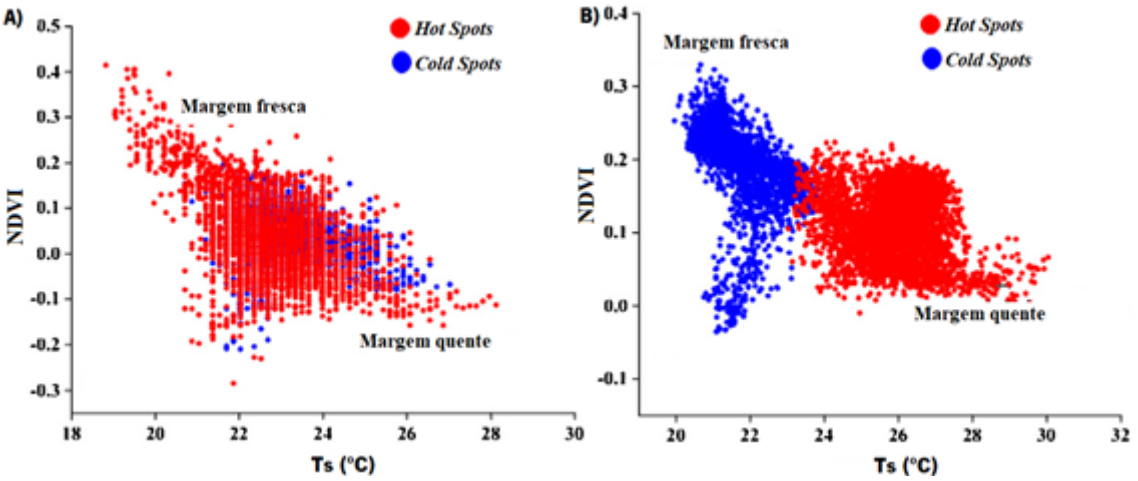


Os vetores traduzem a magnitude da mudança decorrente da alteração da cobertura/uso do solo dos pixéis de áreas verdes, culturas agrícolas e solo nu em direção ao urbano.

Fonte: Adaptado de Amiri *et al.* (2009)

Figura I-37 – Trajetória de mudança dos pixéis no espaço TVX

Majumdar e Biswas (2016) propuseram uma nova abordagem ao espaço TVX, assente na integração da técnica de diferenciação de imagens com a análise de clusters LISA – que permite identificar os locais com mudanças de Ts estatisticamente significativas entre duas datas (*i.e.,* aumentos e diminuições). Deste modo, são apenas projetados no espaço TVX os valores de Ts e de NDVI correspondentes aos clusters *High-High* (*i.e.,* grandes aumentos) e *Low-Low* (*i.e.,* grandes dimensões), obtidos com o LISA (Figura I-38). Assim, na primeira data a sobreposição dos pontos dos clusters *High-High* e *Low-Low* coloca em evidencia forma triangular típica espaço TVX (Figura I-38-A) – imposta pelas distintas condições físicas da área urbana (*i.e.*, condições de frescura no canto superior esquerdo e condições de calor no canto inferior direito). Na segunda data, é notória a separação dos *clusters* (Figura I-38-B), decorrente das alterações nas condições de Ts e de NDVI. A migração dos pontos no seio do espaço TVX, comprova que este método permite detetar e validar o padrão de transformação do solo, nomeadamente o que decorre do processo de crescimento urbano.

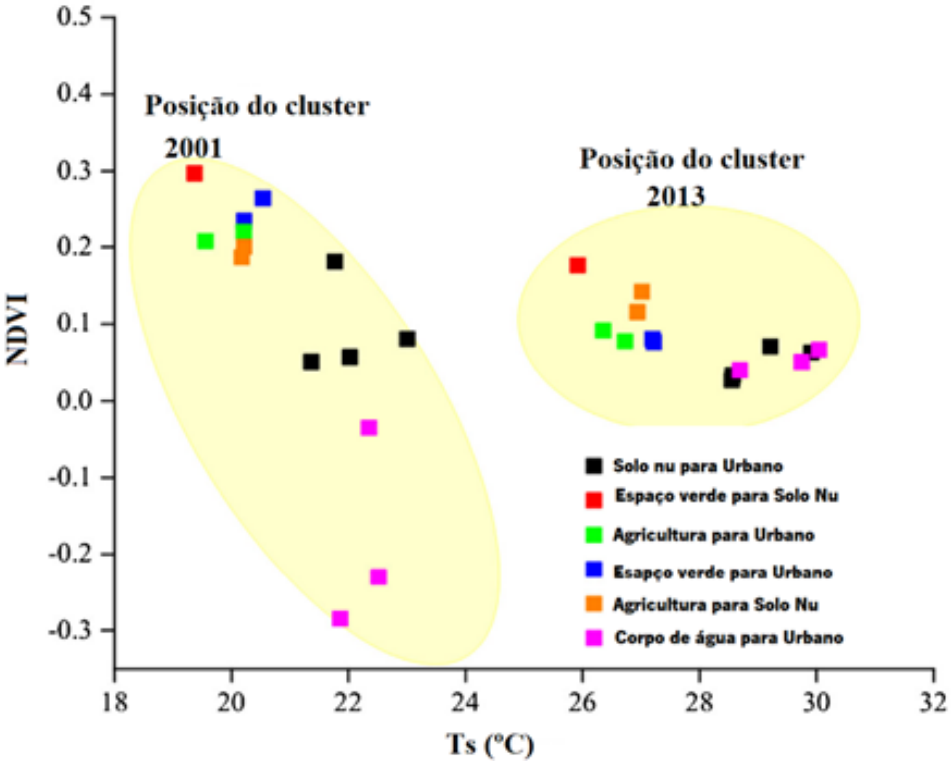


A) Ano de 2001; B) Ano de 2013.

Fonte: Modificado de Majumdar e Biswas (2016).

Figura I-38 – Classificação do espaço TVX em função dos clusters LISA

Com auxílio do Google Earth, Majumdar e Biswas (2016) selecionaram alguns pontos dos clusters *High-High*, referentes a diferentes coberturas/usos do solo, para traçar a sua trajetória de mudança a partir da migração efetuada no espaço TVX (Figura I-39). Uma vez mais, torna-se claro que a urbanização promove as condições de calor no território.



Fonte: Modificado de Majumdar e Biswas (2016).

Figura I-39 – Trajetória de mudanças dos pontos classificados como *High-High* na análise de clusters LISA

I – 3.4.2. Outros Métodos

Dale e Quattrochi (2003) desenvolveram uma metodologia para avaliar em que medida as mudanças no NDVI se encontravam relacionadas com as de Ts. Para tal, os autores começaram por aplicar a técnica de diferenciação de imagens para determinar as mudanças – *i.e.*, aumentos e diminuições – no NDVI e em Ts entre duas datas. De seguida, calcularam a média e o desvio-padrão destas variáveis na imagem de mudança, e reclassificaram os valores em função do respetivo desvio-padrão (Tabela I-29). Tal como seria de esperar, os autores encontraram uma forte correlação entre as duas imagens, pois grandes diminuições de NDVI promovem grandes aumentos de Ts (Dale e Quattrochi, 2003).

Tabela I-29 – Limiares definidos por Dale e Quattrochi (2003) para a classificação das imagens de mudança de Ts e de NDVI

Classe	Designação	Limiar
Classe 1	Grande diminuição	$< -2 * \sigma$
Classe 2	Pequena diminuição	$\geq -2 * \sigma$ a $< -1 * \sigma$
Classe 3	Sem alteração	$\geq -1 * \sigma$ a $< +1 * \sigma$
Classe 4	Pequeno aumento	$\geq +1 * \sigma$ a $< +2 * \sigma$
Classe 5	Grande aumento	$Ts > +2 * \sigma$

Em que, σ –desvio-padrão de Ts na área de estudo.

Por sua vez, Orhan *et al.* (2014) combinam a informação acerca da vegetação e do conteúdo de humidade da superfície que a Ts e o NDVI fornecem para monitorizar o efeito da seca à escala local e regional. Note-se que o NDVI é um indicador bastante conservador da secura da vegetação, uma vez que esta permanece verde num período inicial de *stress* hídrico. Em oposição, a Ts aumenta rapidamente com a diminuição da humidade (Sandholt *et al.*, 2002). Este método, também denominado *Temperature Vegetation Index* (TVX), é doravante epitetado de TVI, de modo a evitar a confusão com o *Thermal Vegetation Index* (TVX) descrito anteriormente. O TVI é determinado pela equação:

$$TVI = \frac{Ts}{NDVI} \qquad \text{[Eq. 9]}$$

em que,
Ts = temperatura de superfície;
NDVI = Normalized Difference Vegetation Index.

É nota de apontamento que, já anteriormente Senanayake *et al.* (2013) tinham recorrido à mesma formulação do TVI para determinar o nível de criticidade no ambiente térmico de Colombo (Sri Lanka). O índice denominado *Environmental Critical Index* (ECI) demonstra que quanto maior o valor de Ts menor o de NDVI mais severo o nível de criticidade do ambiente urbano.

I – 3.5. Explicação Estatística da Temperatura de Superfície

Contrariamente à relação de Ts com a vegetação, a sua variação em função de outros fatores biofísicos encontra-se significativamente menos explorada (Sharma *et al.,*2013b; Meng *et al.,* 2014). Numa tentativa de minimizar as limitações do NDVI, alguns autores optam por estudar a relação de Ts com percentagem de área impermeável, por esta apresentar uma correspondência linear ao longo de todo ano, diferentemente do que sucede com o NDVI, cuja capacidade de explicação se restringe aos meses de verão e início do outono (Yuan e Bauer, 2007). A intensidade da ilha de calor urbano é tanto maior quanto mais elevado for o grau de impermeabilização do solo (Weng, 2001; Liu e Zhang, 2011; Tran *et al*., 2017), como demonstram as correlações positivas entre Ts e o *Normalized Built-Up Index* (NDBI).

Para Deng e Wu (2013) a variação de Ts no espaço decorre da combinação de três indicadores biofísicos: a fração de vegetação, a densidade de impermeabilização do solo e a quantidade de solo nu – precisamente as componentes biofísicas definidas por Ridd (1995). Deste modo, a sincrética compreensão de Ts só é possível com recurso a diversos índices espectrais (Deng e Wu, 2013) – lembrando que um determinado índice quantifica somente uma parte das características da superfície terrestre. Neste contexto, apesar de os índices espectrais mais frequentes serem o NDVI, o NDBI e o *Normalized Difference Bareness Index* (NDBaI) (Chen *et al*., 2006; Guo *et al.,* 2015), a sua escolha é muito diversa – a título de exemplo refira-se o trabalho de Meng *et al.* (2014), que recorre ao *Normalized Difference Impervious Surface Index* (NDSI), ao *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI) e ao *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI).

A par da relação dos descritores biofísicos com Ts, verifica-se um interesse crescente no estudo dos efeitos da configuração espacial urbana – determinada pelos índices de estrutura espacial (ou métricas da paisagem, métricas espaciais), desenvolvidos no final dos anos 80 do século XX no

âmbito da Ecologia da Paisagem (Forman, 1995). Para tal, são utilizadas tanto as métricas ao nível da classe como da paisagem (Huang *et al.*, 2017; Sun *et al.,* 2018, Zhao *et al.*, 2018).

A relação de Ts com os mais diversos parâmetros se fatores (*e.g.,* económicos, sociais, naturais) tem sido analisada com recurso à análise estatística – desde correlações simples até modelos mais complexos como a *Ordinary Least Squares* (OLS) ou a *Geographically Weighted Regression* (GWR). De acordo com a meta-análise realizada por Deilami *et al.* (2018) mais de metade dos estudos centrados na análise do ambiente térmico superficial (*i.e.*, 68%) recorre à corelação de Pearson, em conjunto com a OLS, para analisar os fatores subjacentes à formação da ilha de calor.

Os parâmetros da OLS (*i.e.*, coeficiente e interceção) são constantes ao longo de toda a área de estudo – ou seja, parte do pressuposto que a relação entre a variável dependente (y) e as variáveis independentes (x_1, x_2) não se altera ao longo da área de estudo; todavia, quando se trata de investigações de enfoque geográfico esta assunção nem sempre é válida – como aliás sucede com a temperatura de superfície. Esta questão assume a designação de heterogeneidade geográfica ou não estacionariedade espacial, sendo que os métodos estatísticos mais tradicionais – como sucede com a OLS – são incapazes de modelar este tipo de relações, por não serem lineares (Su *et al.,* 2012; Huang *et al.,* 2017; Zhao *et al.*, 2018).

De acordo com Fotheringham *et al.* (2003), a não estacionariedade espacial pode dever-se a inúmeras razões, entre as quais não se pode excluir a má especificação do modelo. Esta questão constitui a maior limitação imputada à Deteção Remota enquanto fonte de informação das características ambientais da superfície terrestre, particularmente quando se utilizam técnicas de análise estatística tradicionais (Su *et al.,* 2012). Neste sentido, têm vindo a ser desenvolvidos alguns métodos de regressão global que procuram incorporar a estrutura espacial no modelo, como por exemplo a existência de autocorrelação espacial. O *Spatial Lag Model* (SLM) e o *Spatial Error Model* (SEM) apesar de distintos do ponto de vista formal, na prática atuam de modo similar (Sun *et al.,* 2018). No SLM, também designado de *Spatial Auto-Regressive Model* (SAR), a autocorrelação espacial é ignorada, sendo atribuída à variável dependente – ou seja, é incorporada como componente do modelo. Por sua vez, o SEM ou *Conditional Auto Regressive Model* considera que os efeitos espaciais constituem uma perturbação que causa ruído no modelo, pelo que devem ser removidos. No caso, a autocorrelação espacial é adicionada ao termo de erro.

Por outro lado, a ausência de estacionariedade espacial das variáveis ambientais (por contraponto ao verificado nas Leis da Física), exortou ao desenvolvimento de métodos de regressão local. A este respeito, destaca-se a *Geographically Weighted Regression,* cujo principal intuito consiste na captura da não estacionariedade espacial entre a variável dependente (y) e as independentes (x_1, x_2). Assim, contrariamente à OLS, a GWR explora a variação espacial, ao possibilitar que que os parâmetros da regressão (*e.g.*, coeficientes e interseção) mudem de um local para o outro. Na prática, a GWR gera coeficientes locais, que quando representados espacialmente possibilitam uma descrição e previsões mais acertadas da variável dependente (Huang *et al.,* 2017). Efetivamente, diversos autores (*e.g.*, Su *et al.*, 2012; Huang *et al.,* 2017; Zhao *et al.*, 2018) afirmam que a modelação de Ts (ou da ilha de calor) com recurso à GWR exibe um poder de explicação mais elevado do que o verificado de modo agregado com a OLS. Ainda assim, notar que a GWR continua a deter baixa representatividade no estudo do ambiente térmico superficial – pois, apenas 4% nos estudos analisados na meta-análise de Deilami *et al.* (2018) recorrem a este método estatístico.

Recentemente, Fotheringham *et al*. (2017) propuseram um outro método de regressão local, denominado *Multi-Scale Geographically Weighted Regression* (MCGWR), que possibilita que os processos variem não só localmente, como também ao nível da escala espacial – dando ênfase a um dos conceitos basilares da Geografia (Meentemeyer, 1989). Assim, enquanto a GWR assume que os processos ocorrem todos à mesma escala (*i.e.*, em função de um número ótimo de vizinhos ou de uma distância), a MCGWR procura encontrar de modo intuitivo a escala associada a cada um, que no caso específico dos processos naturais tende a ser muito diversificada. De facto, Liu *et al.* (2019) demonstram que a relação entre Ts e os diversos fatores explicativos (*e.g.,* biofísicos, morfológicos) ocorre a múltiplas escalas - corroborando que é irrealista o pressuposto da estacionariedade espacial do ambiente térmico superficial.

I – 4. Estudo Espaciotemporal das Áreas Urbanas no Seio da Geografia Urbana

> "*Cualquiera que se aproxime a la evolución histórica del pensamiento geográfico pude comprobar que se trata de un proceso no lineal, hecho de sucesivas rupturas y transformaciones, en un movimiento de aceleración constante que culmina en la diversidad de enfoques que coexisten en la actualidad*".
> |Méndez, 1992, p.9|

O estudo da evolução espaciotemporal das áreas urbanas – uma das questões basilares da Geografia Urbana (Clark, 1991) – requere uma abordagem pluralista, considerando que se trata de um fenómeno multifacetado, ainda que o principal fator de mudança decorra do crescimento urbano. Este traduz-se em padrões muito diferenciados dependendo do 'onde', 'como' e 'quando' se processa.

Os padrões urbanos podem ser sumariados a partir da distribuição das atividades humanas, sintetizadas nas coberturas/usos do solo (Clark, 1991; Benguigui *et al.*, 2001), ou do tipo de intercâmbios e ligações que ocorrem entre os centros urbanos (ou dentro destes) – posto que, as cidades se caraterizam tanto pela sua forma material, como pelas interações funcionais que aí se produzem (Estébanez, 1992).

A abordagem cronogeográfica das áreas urbanas, desde sempre limitada pela falta de dados espaciais (dado o elevado custo de criação, gestão e atualização da informação), ganhou recentemente um novo impulso, por via da integração dos retratos sequenciais adquiridos por Deteção Remota, que fornecem uma forma – ainda que indireta, a partir das áreas construídas – para medir a urbanidade (Weeks, 2010).

I – 4.1. Evolução Concetual da Geografia Urbana

A Geografia – adjetivada de Urbana – é o ramo da Geografia Humana (Ribeiro, 1989a) dedicada ao estudo das cidades (em todo este trabalho entendidas em sentido lato como áreas urbanas) nas suas múltiplas facetas (*e.g.,* distribuição espacial, forma física, função e transformações históricas), ainda que se foque preferencialmente nos aspetos espaciais (Estébanez, 1992), por via da explanação das lógicas de causa-efeito de ordem geográfica, económica e social (Peres *et al.*, 2010), assente em modelos e teorias de base espacial (Hall, 2001; Peres *et al.*, 2010). Por

conseguinte, considera-se que a Geografia Urbana "tem uma longa cauda, mas um corpo curto" (Clark, 1991, p.22).

Clark (1991) atribui as origens da Geografia Urbana a Eratóstenes e Estrabão – "sobressaindo a ancestralidade do interesse pelo estudo da cidade, ainda que na perspetiva de uma Geografia sem geógrafos" (Bandeira, 2014, p.108); porém situa a sua fundação como domínio científico nos primeiros decénios do século XX. Os trabalhos anteriores a esta centúria meramente descritivos atingiam pouco mais do que a observação da aparência física da cidade, residindo na troca da descrição pela interpretação da localização – *i.e.*, sítio e situação – os fundamentos da Geografia Urbana moderna.

Apesar de o objetivo central da Geografia Urbana não ter sofrido modificações significativas desde o início da disciplina, ao longo dos tempos foram-se verificando importantes alterações do ponto de vista teórico, metodológico e instrumental (Clark, 1991; Estébanez, 1992; Hall, 2001; Bandeira, 2001, 2014), que se refletiram na enfâse dada às diferentes componentes do sistema urbano. Neste quadro, emerge uma disciplina dinâmica e em rápida mudança – que obriga a uma reflexão e síntese das abordagens desenvolvidas com vista à explicação do fenómeno urbano, particularmente no que concerne à sua evolução espacial.

I – 4.1.1. As Primeiras Abordagens

Os primeiros estudos de Geografia Urbana centravam-se nas características físicas da cidade (Clark, 1991; Hall, 2001), tendo como referência duas escalas de análise (Estébanez, 1992): por um lado, as cidades como elementos interrelacionados, distribuídos e organizados num território (*i.e.*, abordagem sistémica); e, por outro, como objeto de estudo individualizado, tomando-se cada cidade com um todo (*i.e.,* abordagem regional).

Na aceção mais comum a cidade é estudada relativamente a dois aspetos, nomeadamente (Derruau, 1973; Estébanez, 1992; Beaujeu-Garnier, 1995; Albergaria, 2007): (i) a sua envolvente, determinada pelo sítio (que corresponde ao espaço geográfico concreto em que se desenvolve a cidade, que condiciona indubitavelmente a paisagem urbana, bem como a sua evolução espacial) e pela situação (definida pelo entorno geográfico, designadamente as vias de comunicação e os grandes espaços económicos, que determinam as relações que a cidade estabelece); e (ii) a componente física, consubstanciadas nos planos (que verte a disposição e combinação dos

espaços edificados), nos usos do solo (que traduzem espacialmente o equilíbrio entre o meio e a ação humana) ou no edificado (que corresponde à musculatura da cidade).

O sítio (localização absoluta) e a situação (posição relativa) desde cedo constituíram o foco dos estudos urbanos (Derruau, 1973; Estébanez, 1992; Beaujeu-Garnier, 1995), uma vez que a escolha do lugar para a implantação de cada cidade não foi deixada ao acaso, pelo contrário desde sempre se revelou fulcral (Albergaria, 2007), pois acreditava-se que os sítios eram governados pelo *Genius Loci* – o espírito do lugar (Mattoso *et al.*, 1997). Todavia, a importância dos fatores originais de localização da cidade foram declinando à medida que a forma e as funções da cidade se foram alterando, pelo que a análise do sítio e da situação se revelaram insuficientes para explicar as similaridades e/ou as diferenças no carácter urbano, pois não considerava a vertente socioeconómica ou histórica.

As limitações apontadas foram superadas nos estudos de morfologia urbana (*i.e.*, componente física da cidade), desde cedo desenvolvidos nas universidades alemãs. Estes estudos baseavam-se na planta da cidade (*i.e.,* plano viário, aparência das edificações e uso do solo) para determinar a sua origem, fases de crescimento e funções associadas (Clark, 1991). Na prática, mapeavam e descreviam em detalhe as características urbanas antes de avançar com explicações. Todavia, devido ao carácter variado das cidades e à natureza complexa dos processos, esta abordagem – com foco no particular, às expensas das relações gerais – deixou por explorar os principais fatores responsáveis pela estrutura e forma urbana. Por conseguinte, nos anos 50 do século XX (já sob o pensamento positivista) verifica-se a substituição desta abordagem por outras mais centradas nas exposições gerais (*i.e.*, assentes em métodos indutivos). A revolução concetual e metodológica desencadeada (Clark, 1991) é analisada em seguida; antes, sublinhar apenas que esta abordagem, fortemente criticada à data, ganhou muito recentemente uma nova dinâmica (Hall, 2001), como mais adiante se evidencia.

I – 4.1.2. Segunda Metade do Século XX

A partir de 1950 verifica-se uma maior maturidade da Geografia Urbana, decorrente da multiplicidade de paradigmas, abordagens e perspetivas desenvolvidas. Para Hall (2001) as teorias urbanas da segunda metade do século XX podem-se enquadrar em dois grandes grupos: (i) as abordagens ecológicas, baseadas no pressuposto que o espaço, nas suas múltiplas vertentes

(*e.g.,* geográfica, ecológica, cultural), condiciona os comportamentos e os estilos de vida (Silva, 2002); e, (ii) as abordagens neoclássicas, assentes na lógica de que as decisões do Ser Humano têm como motivação a minimização dos custos, em termos de tempo e de dinheiro – que se denomina por maximização utilitária (Hall, 2001).

As abordagens ecológicas alicerçaram-se no aumento da capacidade de processamento dos computadores; e, sob a égide do pensamento filosófico positivista – assente no princípio de que o comportamento do Ser Humano é determinado por leis universais e que este apresenta regularidades fundamentais (Hall, 2001) –, argumentavam que os padrões e processos urbanos são resultado da combinação da escolha e ação humana com processos sociais mais amplos, que lhe impõem constrangimentos, sendo que a principal diferença entre elas residia na importância conferida a cada elemento.

Fundada por Park em 1920, a Escola de Sociologia de Chicago – principal percussora das abordagens ecológicas – recuperou as bases teóricas do modelo de produção agrícola concebido na Alemanha ainda no século XIX por Von Thünen – considerado pioneiro no desenvolvimento de modelos e teorias espaciais urbanas. Neste modelo, denominado 'Estado Isolado', as culturas agrícolas mais lucrativas eram plantadas na parte central da exploração e as menos rentáveis nos campos mais distantes; deste modo a habitação encontrava-se no centro dos anéis concêntricos que indicavam o uso da terra numa ordem decrescente de intensidade e valor (Clark, 1991).

As contribuições da Escola de Sociologia de Chicago incluem o modelo espacial de Burgess de 1926, o modelo setorial de uso do solo de Hoyt de 1939 (Peres e Polidori, 2010), nos quais: (i) o padrão de distribuição dos usos no espaço é respetivamente concêntrico e setorial; (ii) as cidades são fortemente polarizadas pela área central; e, (iii) os processos ecológicos são os mecanismos responsáveis pela evolução da estrutura no tempo, ainda que Hoyt tenha também considerado os fatores económicos (Salgueiro, 1992). Estes trabalhos, focados na cidade de Chicago, com a qual os investigadores tinham grande familiaridade, procuravam explicar a complexidade da comunidade urbana e descobrir os padrões de regularidade na sua aparente confusão.

Sem embargo, as bases mais amplas dos modelos e teorias espaciais provêm do trabalho de Christaller – denominado 'Teoria do Lugar Central' – proposto em 1933. Este modelo (bem como o de Lösch, de 1940), mantém a linha de pensamento dos anéis concêntricos, porém foca-se no planeamento do território à escala regional, a partir da existência de várias centralidades (Peres *et al.*, 2010). A teoria do lugar central fornece o número, dimensão e localização das povoações no

território (Salgueiro, 1992). A proposta de Christaller não foi de modo algum a única teoria de localização urbana desenvolvida neste período, mas foi claramente a mais importante, pelo seu conteúdo empírico e pelas inovações metodológicas (Clark, 1991).

Os modelos espaciais desenvolvidos até 1940 encaram a cidade como um objeto isolado, monocêntrico e plano, na qual todos os serviços se encontram localizados no setor central, num cenário de competição perfeito. Além disto, ignoram as forças económicas, institucionais e políticas determinantes na formação dos padrões sociais. Todavia, com advento dos computadores os modelos espaciais – *i.e.*, representações idealizadas da realidade, com recurso a uma linguagem matemática), prática antiga no seio da Geografia em sentido lato (Teixeira, 2016), e da Geografia Urbana de modo muito particular –, são recuperados e aperfeiçoados (Czamanski *et al.*, 2008), nomeadamente com a introdução e processamento de informação mais complexa. Neste cômputo, sobressai o trabalho de Alonso sobre a atividade económica e social na cidade, que funde as explicações ecológicas e sociais).

Como enfatiza Bandeira (2014), "não há cortes epistemológicos que não assentem nas suas antecedências, nos seus ensaios percussores, nos rasgos e visões de antecipação" (p.17). Efetivamente, após a II Guerra Mundial verifica-se uma rutura epistemológica na Geografia, assente na adoção de métodos quantitativos em detrimento das abordagens qualitativas predecessoras (Teixeiras, 2016). No domínio específico da Geografia Urbana, a construção de modelos foi amplamente adotada a partir de 1960, por via de dois campos de investigação (Clark, 1991): (i) os estudos de localização da cidade; e, (ii) os estudos da estrutura social e espacial interna das cidades. Deste modo, o enfoque da disciplina é colocado na análise espacial, recuperando-se o interesse pela estrutura interna da cidade, tradicionalmente cingido ao estudo morfológico.

Os trabalhos de Shevky e de Bell, inicialmente confinados a mapeamentos simples de dados censitários, foram sendo refinados à medida que os computadores possuíam maior capacidade de processamento. Esta abordagem denominada ecologia fatorial começava por procurar correlações básicas entre as variáveis, através de uma matriz de correlação, que dada sua dimensão necessitava de ser simplificada com recurso à análise de componentes principais. Estes estudos revelaram que complexidade geográfica da cidade é – de facto – produto da sobreposição de padrões socioeconómicos distintos com origem muito diversa (Clark, 1991). Com enfoque no paradigma espacial, a ecologia fatorial constitui um importante avanço técnico na geografia social urbana; porém, mesmo com a sua crescente sofisticação revelou-se incapaz de progredir além da

identificação dos padrões urbanos, em direção à explicação dos mecanismos e processos que levaram a essa diferenciação (Clark, 1991).

No caso específico de Portugal somente a partir de 1970 é que se verifica um surto de estudos de Geografia Urbana, dedicados tanto à análise morfológica e funcional das cidades, como à apreciação do seu significado na organização do território circundante. Até então, a Geografia Urbana era pouco praticada (Daveau, 1999c), restringindo a alguns artigos da autoria de: (i) Amorim Girão, centrado em Viseu; (ii) Orlando Ribeiro, sobre Lisboa; (iii) L. Schwalbach, sobre o aglomerado ferroviário do Entroncamento e posteriormente também sobre Lisboa; e, (iv) Alfredo Fernandes Martins, focado em Coimbra. Como salienta Bandeira (2001), relativamente a Orlando Ribeiro destacar a sua importância,

> "no plano da ação académica ao apoiar no círculo dos seus discípulos a promoção de futuro escol de geógrafos, que viriam a marcar, sobretudo a partir década de sessenta a Geografia Urbana em Portugal. São eles Ilídio do Amaral, J. M. Pereira de Oliveira, Jorge Gaspar, Maria Alfreda Cruz, Teresa Barata Salgueiro e Maria Clara Mendes" (p.25).

A teoria de Christaller aplicada à realidade urbana portuguesa já no início da década de 70, por M. Caetano, permitiu concluir que existiam quatro níveis hierárquicos no país: o primeiro correspondia a Lisboa e ao Porto, o segundo incluía as cidades de Braga e de Coimbra, que detinham a capacidade de polarizar um ou mais centros de nível inferior; o terceiro abarcava as restantes sedes de distrito e, pontualmente, outros centros equiparáveis, como é o caso de Guimarães, que detinham a capacidade de polarizar alguns centros de nível inferior; e, por fim, o último nível englobava os núcleos urbanos com influência supraconcelhia mas infradistrital (Salgueiro, 1992). Em 1972, Jorge Gaspar, com o estudo da 'Área de Influência de Évora, naturalizou as técnicas da nova Geografia Urbana em Portugal (Daveau, 1999a). Ainda assim, Ribeiro (1994) obstava que as imagens construídas a partir de um espaço ideal homogéneo e de relações hierárquicas teóricas só têm aplicação com fortes distorções da realidade observável; pois, o que realidade urbana mais comum evidencia são as assimetrias de posição dos grandes e dos pequenos centros.

De volta ao contexto internacional, as metodologias quantitativas, à data amplamente utilizadas na Geografia Urbana, começam a ser alvo de muito criticismo, por causa da simplicidade dos pressupostos teóricos em que se baseavam, dos fatores e motivações que ignoravam, bem como por não abordarem os problemas relacionados com o crescimento físico das cidades (Ley, 1983).

Em vista disso, foram paulatinamente suplantadas por outros modelos. Estas críticas advinham sobretudo das abordagens comportamentais e das humanísticas, que colocavam a complexidade da motivação da escolha do Ser Humano no centro da investigação (Hall, 2001).

As abordagens comportamentais expandem a visão positivista sobre o comportamento humano, articulando-a com os valores, objetivos e motivações que lhe estão subjacentes. Para os comportamentalistas a cidade tem ao mesmo tempo uma estrutura física (*i.e.,* a morfologia urbana) e uma estrutura psicológica ou cognitiva – centrando-se os seus estudos na influência que o conhecimento subjetivo do ambiente tem no comportamento humano. Com efeito, o foco é colocado nos processos que dão origem aos padrões urbanos (Clark, 1991) – numa resposta direta à principal crítica que apontavam aos estudos da ecologia fatorial (atrás mencionada).

Por sua vez, as abordagens humanísticas derivam ideais filosóficos muito diferentes, pois procuram perceber as profundas, subjetivas e complexas relações entre indivíduos, grupos, lugares e paisagens (Hall, 2001), recorrendo a técnicas e fontes mais próximas das humanidades (*e.g.*, fotografias, filmes, diários ou biografias). Todavia, a influência do humanismo na Geografia Urbana foi muito limitada, centrando-se na crítica às paisagens monótonas e desumanas das cidades modernas.

Sem embargo às diferenças da abordagem comportamental e da humanística, uma e outra estavam menos preocupadas com a produção de modelos descritivos da forma urbana, e mais com a descrição das relações entre as pessoas e o ambiente que as rodeava. Neste sentido, foram alvo de grande criticismo, particularmente pelos estruturalistas, por não considerarem as restrições que atuam sobre a tomada de decisão e o comportamento humano (Hall, 2001). Note-se que o paradigma estruturalista, nas ciências sociais em geral, e na Geografia Urbana em particular, assenta na convicção que as relações sociais e espaciais são determinadas, ou em certo grau influenciadas, pelos imperativos do capitalismo (o modo de produção dominante). Conquanto, estas abordagens, ao reduzir o Ser Humano a um mero agente passivo das estruturas económicas (pois não consideram o papel da ação humana nestas relações), foram rapidamente alvo de várias críticas. Numa tentativa de superar este 'reducionismo', procuraram incorporar para além da dimensão estrutural também a humana. No seio da Geografia Urbana, a análise estrutural foi em grande parte inspirada na teoria de economia política de Karl Marx, ainda que este tenha escrito muito pouco sobre a cidade, como salienta Clark (1991).

Denunciada a expressão geográfica das injustiças sociais atribuídas ao capitalismo – que assentava na hegemonia da propriedade privada e no monopólio do solo urbano (Bandeira, 2014) –, a influência neomarxista na Geografia Urbana surge por volta de 1960, num período em que os geógrafos são chamados à resolução ativa dos problemas sociais (*e.g.*, guerra, pobreza urbana, desigualdades sociais), particularmente porque se considerava que a abordagem quantitativa positivista tinha falhado (Hall, 2001).

A abordagem neomarxista, apesar de afiliada num contexto ideológico comum, não produziu um corpo claro e coerente de conhecimento, pelo contrário assentou em disputas entre diferentes autores, designadamente Manuel Castells e David Harvey, consideradas as duas figuras mais importantes da influência neomarxista na Geografia Urbana (Hall, 2001).

Na década de 80 do século XX, o estudo da cidade passa a estar sobre o escrutínio de uma grande diversidade de disciplinas científicas, numa abordagem que se designou de Nova Geografia Cultural. Estas abordagens amplamente semióticas (*i.e.*, sistemas de comunicação não verbal) apresentavam prepósitos semelhantes (Hall, 2001): (i) procuravam desvendar os significados das cidades, das paisagens e dos edifícios; e, (ii) argumentavam que se podia pensar a cidade e as suas componentes como a manifestação visível de processos e posições culturais menos visíveis (ou invisíveis), ou então como representações simbólicas dessas posições culturais.

Não obstante a sofisticação do quadro teórico dos trabalhos da Nova Geografia Cultural, também esta abordagem foi amplamente criticada. Alguns destes trabalhos podem ter sofrido um enviesamento, pois preocupavam-se essencialmente com a produção do significado urbano, nomeadamente a sua inscrição nas paisagens urbanas, e negligenciavam a forma como as pessoas entendem, reagem ou 'consomem' esses significados e ideologias. Como refere Hall (2001), não existe necessariamente uma correspondência entre os significados inscritos nas paisagens urbanas e aqueles que as pessoas retiram aquando do contacto com essas paisagens.

Em epítome, a contínua exposição da inadequação das teorias urbanas desenvolvidas ao longo da segunda metade do século XX contribuiu para a sucessão de abordagens, cada uma com os seus paradigmas de pensamento, questões de investigação e métodos analítico; mesmo assim são por demais evidentes pontos em comuns e elementos de continuidade.

I – 4.1.3. Na Viragem do Século

Na última década do século XX a teoria urbana entra num estado de alguma incerteza, verificando-se grande cautela na reivindicação de uma doutrina urbana totalizante, posto que os paradigmas filosóficos e ideológicos anteriores se revelaram incapazes de fornecer algo mais do que explicações parciais da cidade. Em resultado, verifica-se uma progressiva tendência para fragmentação e o transgressionismo disciplinar (Bandeira, 2014), sendo notória a evasão ao debate teórico. A tematização dos estudos urbanos repercute-se no desenvolvimento de perspetivas muito ecléticas (*i.e.*, lado positivo), assentes em investigações atomísticas – sobressaindo, ainda assim, as abordagens assentes na geometria fractal e as baseadas na teoria da complexidade.

Desenvolvida por Batty e Longley (1994), a teoria da 'Cidade Fractal' procura, sob a lógica geométrico-morfológica da dimensão fractal, explicar a descontinuidade espacial das áreas urbanas. Estes estudos revelaram semelhanças geométricas entre os espaços construídos e os abertos, quando observados quer em baixas quer em altas resoluções – o que sugere que a organização das macroestruturas urbanas está associada às regras de microescala. Para Sui (2011), a geometria fractal constitui uma das maiores ruturas com as abordagens tradicionais da morfologia urbana, pois inaugura na teoria urbana os estudos dedicados à descontinuidade espacial do crescimento urbano. Nesta teoria residem as premissas para medir a fragmentação do sistema urbano, do local ao global (Batty e Longley, 1994).

A teoria fractal permitiu uma abordagem dinâmica das áreas urbanas, pelo que atraiu uma grande atenção no final da década de 90 do século XX. Neste contexto, lembrar que uma das principais críticas apontadas às teorias urbanas desenvolvidas no decorrer do século XX residia precisamente no facto de não incorporaram o fator tempo – que modifica as condições gerais (Beaujeu-Garnier, 1995), uma vez que os modelos espaciais assentavam na visão estática da configuração urbana, como se a cidade se mantivesse num equilíbrio perpétuo (Czamanski *et al.*, 2008; Peres *et al.*, 2010). Todavia, também a teoria da 'Cidade Fractal' caiu em desuso, quando as regras fractais se mostraram incapazes realizar a tão proclamada abordagem dinâmica (Czamanski *et al.*, 2008; Peres *et al.*, 2010).

Na entrada do novo milénio a população urbana ultrapassa o contingente rural – naquele que será o primeiro século urbano da História da Humanidade. Este facto, e particularmente os problemas ambientais daí decorrentes (*e.g.,* poluição atmosférica, aquecimento global), renovam o interesse

pelos estudos urbanos (Sui, 2011), que em resposta à crescente complexidade das cidades se ancoram numa nova disciplina científica, que agrega as contribuições de várias ciências (*e.g.*, urbanismo, arquitetura, ciências sociais e naturais) numa teoria unificadora baseada no pensamento computacional (*e.g.*, *neuronal networks*, *celular automata* ou *agent-based*) e na complexidade (Lopes *et al.*, 2013) – denominada por Portugali *et al.* (2013) como '*Complexity Theories of Cities*' (CTC). Este paradigma retoma os estudos integrados entre o urbanismo e a ecologia iniciados pela Escola de Chicago, pelo que é também designado de sistémico ou ecológico (Sui, 2011). A CTC encara as cidades e as sociedades como organismos que crescem continuamente e cujas modificações podem ser direcionadas ou induzidas, mas impossíveis de serem geridas, controladas e planeadas no sentido *top-down* (*i.e.,* cima para baixo), pois são o resultado da ação de milhares de indivíduos (Peres e Polidori, 2010). Neste sentido, verifica-se uma mudança do foco de *top-down* para *bottom-up*, centrando-se em ações e decisões locais, invés de medidas globais (Batty e Marshall, 2012).

Concomitantemente, um sem-número de trabalhos de Geografia Urbana focados na abordagem dinâmica das cidades prende-se com discussões técnicas acerca dos aspetos metodológicos, determinados pela necessidade de dominar novas tecnologias – nomeadamente a Deteção Remota – e desenvolver (ou adaptar) métodos de análise (*e.g.* índices de estrutura espacial). Em vista disso, os avanços empíricos apresentam uma incipiente ligação com produção teórica, restringida em grande medida ao debate entre as vantagens e desvantagens do crescimento compacto *versus* o disperso, como mais à frente se evidencia. Este debate recupera uma vez mais a obsessão pelo desenho ideal da cidade – que afinal de contas constitui uma das perspetivas mais antiga dos estudos urbanos. Sem embargo, este interesse não só pela forma urbana, como também pelos processos que lhe estão subjacentes, promoveu a criação de um novo paradigma – assente no estudo das áreas urbanas como eventos espaciais (Batty, 2002; Sui, 2011).

Sintetizando, o estudo dos padrões e dinâmicas urbanas tem oscilado entre o processo dedutivo e o indutivo, métodos quantitativos e qualitativos, e, entre a teoria e a prática. Sem embargo, o conjunto infindável teorias e modelos desenvolvidos foi incapaz de captar – *per si* – a complexidade urbana, maximizada pela introdução do fator tempo. Em acordo com Halll (2001), para que a teoria urbana ofereça contributos úteis esta deve crescer e evoluir juntamente com o desenvolvimento das cidades, e estar enraizada em problemas urbanos reais. Neste sentido, os trabalhos mais recentes de Geografia Urbana centram-se na abordagem dinâmicas das áreas urbanas, particularmente no que se refere ao crescimento urbano (Bhatta, 2010; Garay, 2016),

atendendo a que este é um processo *ongoing* (Peres *et al.*, 2010). Estes estudos determinam as implicações espaciais (onde), temporais (quando) e socioambientais (causas e consequências) do crescimento urbano a partir do uso sistemático dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e da Deteção Remota – pelo que serão abordados em maior detalhe numa fase posterior do trabalho.

Por fim, como refere Sui (2011),

> "*it is interesting to observe that humanity's understanding of cities have evolved from conceiving them as celestial manifestations on earth to thinking of cities as machines to simulating cities as organisms to regarding cities simply as spatial events*" (p.378).

I – 4.2. Mudança de Paradigma na Análise Espaciotemporal Urbana Viabilizada pela Deteção Remota

Para Estébanez (1992) "*el estudio del paisaje urbano no concluye con el análisis estático de sus componentes, sino que es preciso añadir la perspectiva dinámica*" (p.358). O estudo da evolução espaciotemporal das áreas urbanas pode ser efetuado para o passado, presente e futuro; porém, se para o passado e presente é baseada em observações empíricas, no caso do futuro recorre-se a simulações, assentes em evidências do passado e do presente (Bhatta, 2010). Esta análise pode ser desenvolvida sob três pontos de vista: (i) espacial ou formal, que trata a forma como a cidade evolui etapa por etapa no tempo; (ii) funcional, centrada na sucessão das funções em respostas às alterações histórico-sociais; e, (iii) demográfica, tendo em conta o crescimento da população (Derruau, 1973). Tradicionalmente, os estudos urbanos centravam-se mais nas duas últimas perspetivas (Xian e Homer, 2013), por via da maior disponibilidade de informação, do que na primeira (na qual se foca a presente investigação empírica). Conquanto, a visão sinótica e repetitiva da Deteção Remota viabilizou importantes mudanças na análise da evolução espaciotemporal das áreas urbanas do ponto de vista da configuração espacial.

Os retratos sequenciais das áreas urbanas captados pelos satélites foram numa primeira fase utilizados para extrair e quantificar o tecido urbano (*i.e.*, recriar a trajetória urbana), com recurso a uma infinidade de técnicas de classificação de coberturas/usos do solo (Lu e Weng, 2007) – aproximando os estudos urbanos do *story-telling* e da metanarrativa (Sui, 2011). Deste modo, o foco da investigação deixa de estar no equilíbrio, como se a cidade se mantivesse estática no

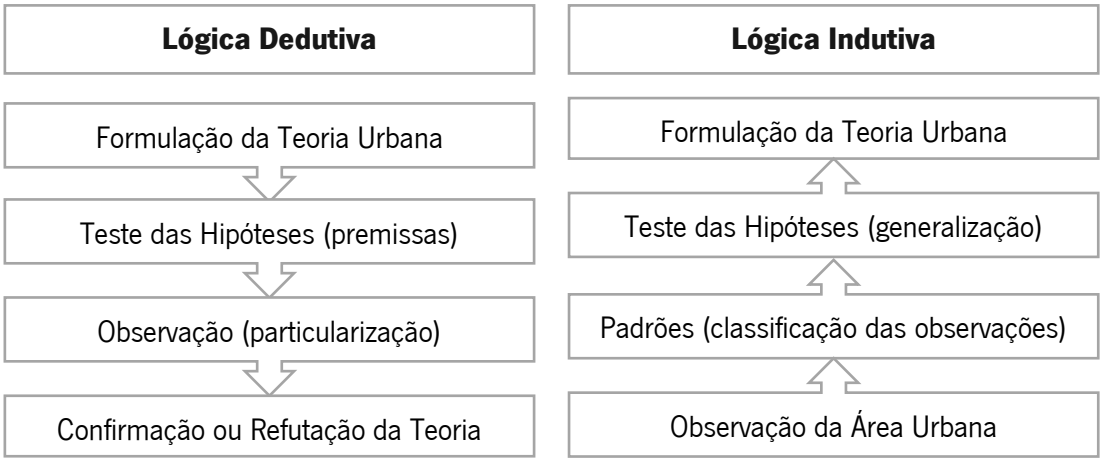
tempo (Besussi et al., 2010), para passar a estar nas dinâmicas e ritmos urbanos (Sui, 2011) – que podem ser determinados quer a partir da configuração espacial das coberturas/usos do solo num determinado momento (*i.e.*, visão estática – padrão) quer das mudanças verificadas nesse padrão entre diferentes datas (*i.e.*, fenómeno dinâmico – processo).

Mais recentemente, o recurso a um conjunto diversificado de métodos e de técnicas (*e.g.*, índices estrutura espacial, métodos de geoestatística, técnicas de deteção de mudança) permitiu estabelecer a ligação entre as formas urbanas e os processos que lhe estão subjacentes (*i.e.*, *driving forces*, em português fatores forçadores), bem como às consequências ambientais decorrentes de cada padrão urbano. De entre estas inovações, destaca-se a aplicação dos índices de estrutura espacial – originalmente concebidos no âmbito da Ecologia da Paisagem (Forman, 1995) – à análise da estrutura espacial urbana (Tabela I-30). Tendo como referência as métricas da paisagem, a quantificação da estrutura espacial urbana (à semelhança da natural) pode ser efetuada para o conjunto dos mosaicos, medindo a estrutura global da paisagem (*i.e.*, riqueza, regularidade, dispersão, contágio), ou considerando as manchas de modo individual (*i.e.*, tamanho, forma, perímetro, rácio perímetro-área e dimensão fractal). A escolha das métricas reside num conjunto diversificado de fatores, nomeadamente o tipo de aplicação, o contexto, as características da paisagem e a natureza dos dados utilizados (Tabela I-30). Para a sua aplicação os autores tiram de igual modo partido do *software* FRAGSTATS (desenvolvido por McGarigal e Marks, 1995), ou mais recentemente da ferramenta *Patch Analyst,* disponibilizada no *software* ArcGIS da ESRI (Tabela I-30).

Tabela I-30 –Estudo espaciotemporal das áreas urbanas a partir de índices de estrutura espacial

Autor(es)	Métricas Utilizadas	Observações
Dietzel *et al.* (2005a)	(i) *Percentage of landscape* (PLAND); (ii) *patch density* (PD); (iii) *edge density* (ED); (iv) *largest patch index* (LPI); (v) *mean euclidean nearest neighbor distance* (MENN); (vi) *euclidean nearest neighbor distance standard deviation* (ENN_SD); (vii) *area weighted mean patch fractal dimension* (AWMPFD); (viii) *contagion* (CONTAG).	Calculadas no FRAGSTATS apenas para a classe do urbano.
Dietzel *et al.* (2005b)	(i) *Number of patches* (NP); (ii) *patch density* (PD); (iii) *total edge* (TE); (iv) *edge density* (ED); (v) *landscape shape index* (LSI); (vi) *largest-patch index* (LPI); (vii) *mean patch area* (AREA_MN); (viii) *mean perimeter-to-area fractal dimension* (PAFRAC); (ix) *mean perimeter-to-area* (PARA_NM); (x) *mean patch fractal dimension* (FRAC_MN); (xi) *mean euclidean nearest neighbor distance* (MENN); (xii) *contagion* (CONTAG).	Calculadas no FRAGSTATS para a classe do urbano.
Liu *et al.* (2010)	(i) *Landscape expansion index* (LEI), *mean expansion index* (MEI) e o *area-weighted mean expansion index* (AWMEI).	Criação de uma nova métrica da paisagem, denominada *Landscape Expansion Index* (LEI), aplicada à classe do urbano em diferentes datas.
Zhou *et al.* (2011)	(i) *Percentage of landscape* (PLAND); (ii) *largest patch index* (LPI); (iii) *landscape shape index* (LSI); (iv) *Shannon´s diversity index* (SHDI).	Calculadas no FRAGSTATS para todas as classes de uso do solo, no conjunto da área de estudo. Depois numa análise direcional, com recurso a anéis concêntricos, aplicaram a métrica PLAND para determinar a abundância relativa de cada mancha.
Li *et al.* (2013)	(i) *Landscape expansion index* (LEI) e *area-weighted mean expansion index* (AWMEI); (ii) *patch density* (PD); (iii) *edge density* (ED); (iv) *landscape shape index* (LSI); (v) *mean patch fractal dimension* (FRAC-MN); e, (vi) *mean euclidean nearest neighbor distance* (MENN)	Calculadas no FRAGSTATS, para três níveis hierárquicos – regional, distrital, municipal – e para cinco datas.
Zhao *et al.* (2015)	(i) *Mean patch size* (MPS); (ii) *edge density* (ED).	Calculadas no *Patch Analyst* do ArcGIS, para as manchas urbanas.
Aguejdad e Hubert-Moy (2016)	(i) *Number of patches* (NP); (ii) *mean patch size* (MPS); (iii) *largest patch index* (LPI); (iv) *mean euclidean nearest neighbor distance* (MENN); (v) *edge density* (ED); (vi) *landscape shape index* (LSI); (vii) *area weighted mean patch fractal dimension* (AWMPFD);(viii) *aggregation index* (AI).	Calculadas no FRAGSTATS para uma cidade em para cinco datas.
Dahal *et al.* (2017)	(i) *Number of patches* (NP); (ii) *mean patch size* (MPS); (iii) *largest patch index* (LPI); (iv) *mean euclidean nearest neighbor distance* (MENN); (V) *total edge* (TE); (vi) *mean expansion index* (MEI).	Calculadas no *Patch Analyst* do ArcGIS, para as manchas do urbano.

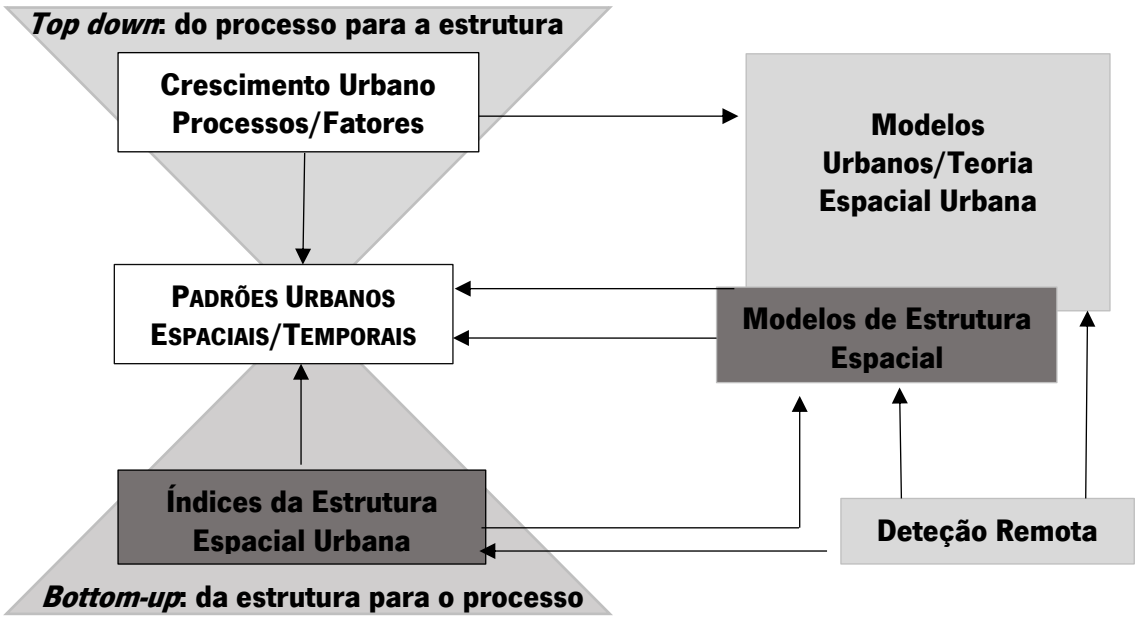
Por conseguinte, verifica-se uma primazia das investigações urbanas assentes na lógica indutiva (*i.e.*, do estudo de casos particulares para tecer considerações gerais), em detrimento da dedutiva (*i.e.*, da aplicação de considerações gerais a casos particulares), presente nos estudos mais tradicionais. Assim, enquanto na abordagem dedutiva os dados servem para confirmar ou refutar uma teoria, na lógica indutiva é partir da análise dos dados que se desenvolvem novas teorias (Figura I-40 e Figura I-41), pelo esta é também designada de lógica de aprendizagem. Não obstante, Bhatta (2013) defende que os estudos urbanos devem assentar na combinação das duas abordagens.



Fonte: Adaptado de Bhatta (2013).

Figura I-40 – Lógica dedutiva *versus* lógica indutiva na análise das áreas urbanas

Vale lembrar que na perspetiva mais tradicional da Geografia Urbana as estruturas urbanas surgem como resultado de processos de mudança pré-definidos – *i.e.*, análise da evolução do processo para a estrutura (Herold *et al.*, 2005) – encontrando-se a enfâse dos trabalhos na formulação de teorias. Todavia, esta abordagem desenvolvida no sentido *top-down* não capta nem traduz a complexidade espacial e temporal das mudanças urbanas, pelo que os estudos mais recentes, assentes na interpretação de imagens de satélite, partem no sentido *bottom-up* da estrutura para o processo (Figura I-41) – ocorrendo a formulação de teorias ocorre a jusante.



Fonte: Adaptado de Herold *et al.* (2005).

Figura I-41 – Abordagem concetual para o estudo da dinâmica espacial e temporal das áreas urbanas

I – 4.3. A Problemática do Crescimento Urbano

O crescimento urbano é o principal fator responsável por mudanças no território, pois cada vez mais vez mais deixa de se confinar às cidades. Do ponto de vista histórico, o crescimento urbano experienciou momentos críticos bem delimitados no tempo: o primeiro, ocorreu aquando da Revolução Agrária do Neolítico, no Médio Oriente, por volta do V milénio A.C.; o segundo, aconteceu com a Revolução Industrial, no final do século XVIII, na Grã-Bretanha, que originou a proliferação de aglomerações urbanas e o aparecimento de grandes metrópoles (Clark, 1991; Estébanez, 1992), decorrente da migração do campo para a cidade de contingentes massivos de população (Frenkel e Orenstein, 2011); e, o terceiro sucede com o fim da Segunda Guerra Mundial, período a partir do qual se verifica um movimento inverso ao da Revolução Industrial, uma vez que o crescimento urbano (residencial, industrial e comercial) passa a ocorrer essencialmente fora dos centros urbanos, num processo designado por suburbanização.

No âmbito dos objetivos estritos da investigação empírica foca-se a análise na expressão física do crescimento urbano, particularmente no que concerne às questões onde, quando e como este ocorre.

I – 4.3.1. Crescimento Urbano, Urbanização e Desenvolvimento Urbano

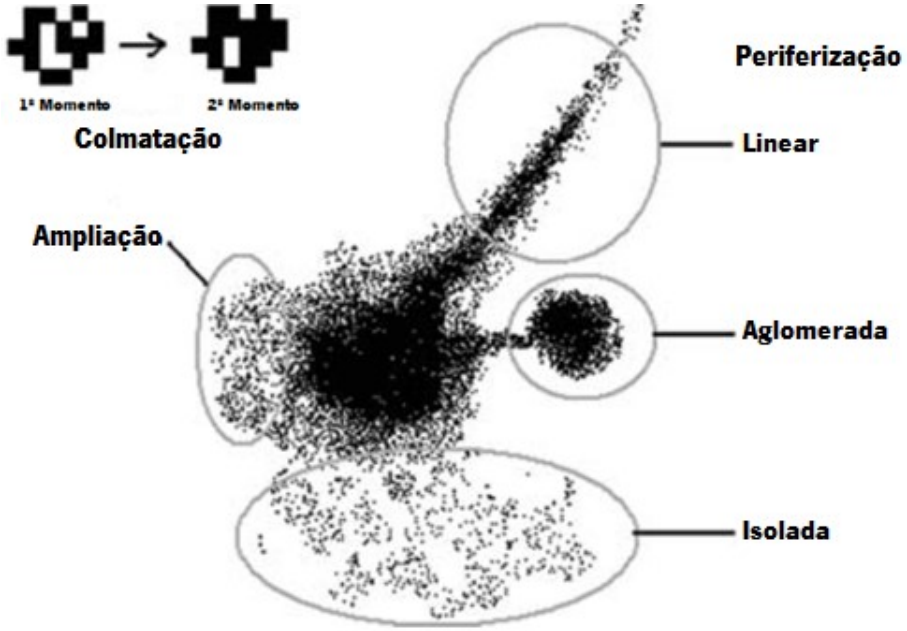
Os conceitos de crescimento urbano, urbanização e desenvolvimento urbano são frequentemente utilizados como sinónimos, porém vários autores (*e.g.*, Clark, 1991; Estébanez, 1992; Bhatta, 2010) alertam para a necessidade da sua clarificação. O crescimento urbano é um processo espacial e demográfico, tradicionalmente utilizado para designar o aumento de importância das cidades, em resultado da concentração da população. Por sua vez, a urbanização é um processo não espacial, uma vez que ocorre na dimensão social, referindo-se às mudanças nos comportamentos e nas relações sociais (*i.e.*, estilos de vida), em resultado das pessoas viverem na cidade. Historicamente, estes processos foram interdependentes, uma vez que a aglomeração de pessoas em vilas ou cidades ditava uma mudança nos modos de vida tradicionais (Clark, 1991). Todavia, este vocábulo é igualmente utilizado num contexto mais amplo, referindo-se tanto ao crescimento físico das áreas urbanas (Bhatta, 2010; Xiao e Weng, 2016; Pazos e Sexto, 2016; Dahal *et al.*, 2017), como ao impacto que estas têm sobre a sociedade (Clark, 1991; Shi *et al.*, 2012; Jiao *et al.*, 2015; Oke *et al.,* 2017). Para Bandeira (2014) encontra-se invariavelmente associado a uma dimensão processual – ou seja, à transformação de solo rústico em solo urbano.

Em consonância com conceito de urbanização surge o de desenvolvimento urbano, processo mediante o qual o mundo vai sendo progressivamente dominado por cidades e pelos valores urbanos (Estébanez, 1992). Esta formulação combina o crescimento em extensão (*i.e.*, aumento da superfície edificada), com o da população e do peso económico dos principais núcleos e das periferias. Adicionalmente, é ainda empregue para designar as melhorias nas condições urbanas ou na qualidade de vida dos seus habitantes. Deste modo, o desenvolvimento urbano, diferentemente do crescimento, implica a existência de alterações produtivas, sociais e culturais interrelacionadas (González, 2016).

I – 4.3.2. Padrões do Crescimento Urbano

O padrão do crescimento urbano refere-se às características das novas manchas de tecido urbano que surgem num determinado período, numa localização geográfica especifica. Wilson *et al.* (2003a) definiram três modos de crescimento urbano, em função da distância e da relação com a área urbana preexistente, designadamente (Figura I-42): (i) colmatação (*infill*), quando urbanização ocorre em terrenos já infraestruturado; (ii) ampliação (*expansion*), quando as novas

manchas surgem em contiguidade com o tecido urbano preexistente, pelo que resulta no aumento de dimensão do núcleo urbano central; e, (iii) periferização (*outlying*), por via da adição de áreas construídas em terrenos para além dos limites da área urbana existente. Para os referidos autores a periferização pode ocorrer (Figura I-42): (i) isolada (*isolated growth*), quando a urbanização se processa num local afastado da área urbana preexistente; (ii) numa ramificação linear (*linear branch*), sempre que a urbanização ocorre ao longo de uma estrada ou de uma linha de metro (*i.e.*, de um corredor); e, (iii) em cluster (*clustered branch*), pelo que esta mancha urbana é maior e mais compacta que nos dois modos anteriores. Assim, apesar de os termos crescimento urbano e expansão urbana serem comummente utilizados como sinónimos, referem-se a situações distintas, pois o crescimento urbano consubstancia o somatório das áreas urbanizadas, enquanto a expansão é apenas uma das formas como este processa (Wilson *et al.,* 2003; Bhatta, 2010).



Fonte: Adaptado de Bhatta (2010).

Figura I-42 – Padrões de crescimento urbano

No contexto específico da Deteção Remota, Wilson *et al.* (2003a) consideram que ocorre crescimento urbano quando um pixel não urbano é convertido em urbano. Com efeito, relativamente ao padrão do crescimento urbano os referidos autores propõem a seguinte classificação: (i) crescimento por colmatação, quando o novo pixel urbano se encontra rodeado por pelo menos 40% de outros pixéis classificados como urbano; (ii) crescimento urbano por ampliação, sempre que o novo pixel urbano estiver rodeado por menos de 40% de outros pixéis

classificados como urbano.; e, (iii) crescimento urbano por periferização nos casos em que o novo pixel urbano não interceta com a mancha urbana preexistente.

I – 4.3.3. As lógicas do *Urban Sprawl*

Os padrões de crescimento urbano propostos por Wilson *et al.* (2003a), anteriormente descritos (Figura I-42), não caracterizam o crescimento disperso, não planeado e desordenado, deixando ao utilizador a decisão do que deve ou não considerar como *sprawl* (termo anglo-saxónico comummente utilizado para designar este tipo de crescimento). Com efeito, trata-se de uma questão acima de tudo de grau – ainda que a linha que separa o crescimento disperso do policêntrico seja muito ténue (Bhatta, 2010).

Não obstante a atenção que o *sprawl* tem recebido nos estudos urbanos nas últimas décadas (Galster *et al.*, 2001; Peres *et al.*, 2010), vários autores salientam a ambiguidade do conceito, que tem sido alternativamente ou simultaneamente utilizado para descrever: (i) um padrão de uso do solo (*i.e.*, estrutura física e dimensão espacial deste fenómeno); (ii) um processo de urbanização; (iii) as causas do comportamento do uso do solo, centrado nas tendências socioeconómicas; e, (iv) as consequência sociais, económicas e ecológicas deste comportamento de uso do solo (Bhatta, 2010). Assim, como referem Frenkel e Orenstein (2011),

> "*urban sprawl is indeed something that many people seem to recognize and have an opinion about, but when it comes to quantifying its dimensions, we become less certain regarding what we are measuring on the ground*" (p.166).

Por conseguinte, não existe uma definição qualitativa, nem quantitativa, amplamente aceite do que se caracteriza como *sprawl*. A dificuldade reside no facto desta questão variar consideravelmente em função do contexto geográfico, cultural e político do território em análise (Peres e Polidori, 2010; Peres *et al.*, 2010), sendo este um fenómeno mais relativo do que absoluto (Frenkel e Orenstein, 2011). Efetivamente, se nos países ditos 'desenvolvidos' o crescimento urbano para além dos centros urbanos tem sido designado de *sprawl*, naqueles que possuem menores recursos económicos este movimento está associado a um processo de periferização. Para Encarnação *et al.* (2013) *sprawl* é acima de tudo um termo genérico que descreve um tipo de crescimento que ocorre em regiões que não são dispersas nem compactas.

Deste modo, o *urban sprawl* requere uma abordagem pluralista, pois como é um fenómeno multifacetado assume características distintas dependendo do como, onde e quando é medido. De mais a mais, como este é um fenómeno dinâmico – pois varia significativamente não só no espaço, como também no tempo – é crucial efetuar não só a sua medição (*i.e.*, *sprawl* enquanto padrão), como também a sua monitorização (*i.e.*, *sprawling* como processo). Considerando este ângulo, Frenkel e Orenstein (2011) consideram que o *sprawl* deve ser 'julgado' pelas suas consequências económicas e ecológicas, nomeadamente: (i) consumo excessivo de solo florestal e agrícola; (ii) fragmentação dos ecossistemas e dos habitats; (iii) perda de acessibilidade entre os diferentes setores urbanos; e, (iv) elevadas taxas de utilização do transporte privado e reduzida viabilidade do transporte coletivo.

Em sentido oposto, Czamanski *et al.* (2008) alertam que o *sprawl* é um processo inevitável do crescimento das cidades e até certo ponto um estado desejável da evolução do sistema urbano, atendendo a que este fenómeno em geral reflete as características da paisagem natural. O crescimento urbano descontínuo – designado de *leap frog* – pode ocorrer naturalmente devido às variações no terreno, atendendo a que algumas partes do território podem não ser adequadas à urbanização (*e.g.*, áreas muito declivosas, corpos de água). Neste contexto, os novos centros urbanos, decorrentes do aumento populacional (Benguigui, 2001), podem surgir a alguma distância do núcleo original, sem continuidade espacial (Besussi *et al.*, 2010). Partindo deste pressuposto, vários autores têm realizado importantes estudos sobre a possibilidade de compatibilizar a descontinuidade do crescimento urbano com o ecossistema natural (Czamanski *et al.*, 2008; Peres *et al.*, 2010).

Em epítome, o *urban sprawl* é mais bem definido para um determinado estudo de caso, tendo por base indicadores selecionados em função das características do território em análise e dos objetivos do estudo. Assim sendo, não se justifica uma discussão exaustiva deste conceito, até porque no contexto particular do território em estudo – *i.e.*, a Área Urbana de Braga e de Guimarães – a estrutura de povoamento exibe características *sui generis*, que impelem a uma análise específica detalhada.

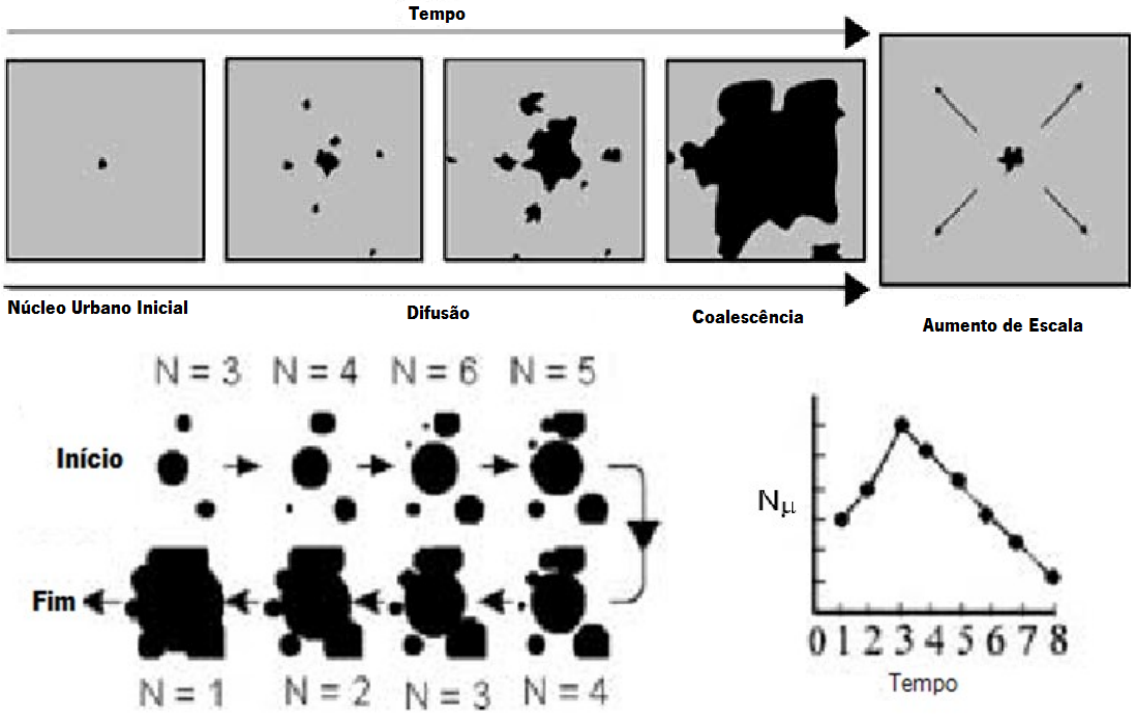
I – 4.4. Modelos Dinâmicos do Crescimento Urbano

A despeito dos vários modelos teóricos desenvolvidos para descrever os padrões de crescimento urbano, Benguigui *et al.* (2001) salientam a falta de consenso no que se refere à natureza das dinâmicas urbanas. No passado, certas fases da evolução urbana eram estudadas de forma frutífera porque assumiam a existência de um único centro (*central business district* – CBD), embora mais tarde a referência a vários centros fosse também incluída (Benguigui, 1998; Czamanski *et al.*, 2008), como verificado anteriormente.

A maioria dos modelos espaciais assume que o crescimento das áreas urbanas é um processo contínuo no tempo e no espaço, porém Benguigui *et al.* (2001) argumentam que esta afirmação não é corroborada pelas observações empíricas. Note-se que, durante certos períodos e em determinados espaços geográficos a continuidade está presente, porém esta não se verifica noutras partes da cidade por longos períodos. Além disto, a evolução urbana pode parecer contínua numa determinada escala ou resolução e assumir um carácter descontínuo numa outra escala. A descontinuidade do crescimento urbanos assume a designação de *leap-frogging*, constituindo uma premissa basilar dos modelos espaciais do crescimento urbano, ainda que a sua inclusão não seja tarefa fácil (*e.g.,* Herold *et al.*, 2005).

I – 4.4.1. Alternância Cíclica entre Fases de Difusão e de Coalescência

Para Benguigui *et al.* (2001) o núcleo urbano central das cidades encontra-se em contínuo crescimento, no entanto, em alguns casos atinge o ponto de saturação e entra em declínio. Ao mesmo tempo, os núcleos secundários também se encontram em expansão, acabando eventualmente por se fundir numa mancha urbana única. Partindo desta base, Dietzel *et al.* (2005a&b) e Herold *et al.* (2005) desenvolveram uma teoria espacial assente no pressuposto que as áreas urbanas se formam a partir de processos oscilatórios de crescimento, que alternam de modo cíclico fases de difusão com fases de coalescência. Neste modelo, a difusão consiste na dispersão das novas parcelas urbanas, ou seja, estas afastam-se do núcleo principal e passam a localizar-se na periferia; por sua vez, a coalescência resulta da união de entidades individuais numa única mancha ou grupo, em virtude do aumento de dimensão (Dietzel *et al.*, 2005a&b). Herold *et al.* (2005) sintetiza a evolução espacial das áreas urbanas ao longo do tempo a partir da representação concetual presente na Figura I-43.



*O gráfico (Nμ) representa o número de aglomerados em diferentes períodos.

Fonte: Adaptado de Herold *et al.* (2005).

Figura I-43 – Evolução espaciotemporal das áreas urbanas

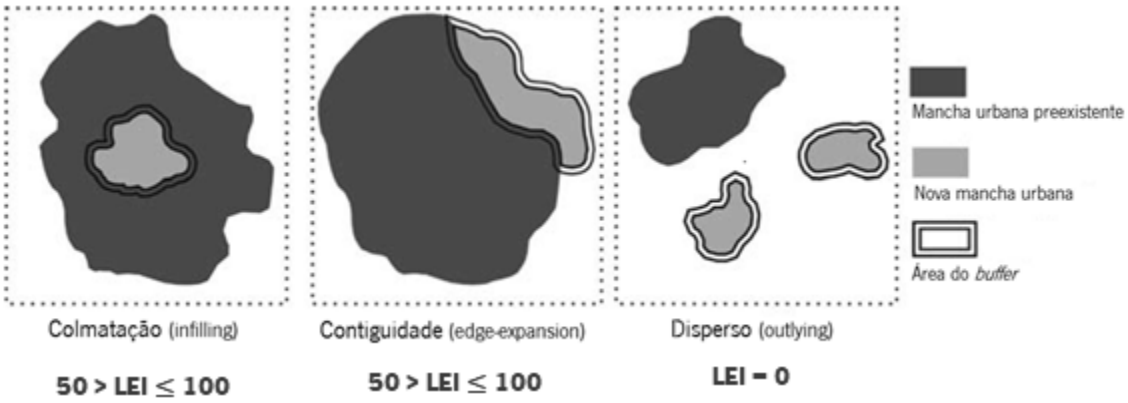
No modelo de Herold *et al.* (2005) a expansão da cidade começa com o crescimento do núcleo histórico, podendo ao mesmo tempo verificar-se o aparecimento de minúsculos segmentos urbanos na periferia da cidade (Figura I-43, N=3 e N=4). Ao longo do tempo, o processo de difusão vai-se acentuando (Figura I-43, N=6), culminado com a coalescência das diferentes manchas urbanas. Este processo altera significativamente a estrutura da paisagem, visto que o número de aglomerados vai diminuindo progressivamente (Figura I-43, N=4; N=3; N=2). Na fase de transição, os espaços intersticiais existentes entre o núcleo urbano central e os núcleos periféricos vão sendo urbanizados, até atingir um ponto de saturação, sendo que o processo de coalescência está completo quando todo ou quase todo o solo está urbanizado (Figura I-43, N=1). A aglomeração 'final' apresenta uma configuração muito semelhante ao núcleo urbano inicial, quando vista numa escala mais reduzida – ou seja, na prática verifica-se um aumento da dimensão da mancha urbana (Figura I-43).

De ressalvar uma vez mais que, o modelo apresentado por Herold *et al.* (2005) – tal como todos os esquemas teóricos – constitui uma versão simplificada da evolução urbana, pois não tem em consideração os fatores locais, como a topografia, as estradas ou os corpos de água que introduzem distorções nos padrões urbanos (Peres e Polidori, 2010).

I – 4.4.2. *O Landscape Expansion Index*

Recentemente, Liu *et al.* (2010) propuseram uma nova métrica da paisagem – designada *Landscape Expansion Index* (LEI) – que capta informação sobre o processo de mudança nas áreas urbanas, a partir de dados multitemporais obtidos por Deteção Remota. O LEI não analisa a estrutura de um padrão numa determinada data (*i.e.*, visão estática), como acontece com as outras métricas da paisagem, mas sim o padrão da mudança, consubstanciados nos processos de crescimento urbano que são responsáveis pela modificação da paisagem (*i.e.*, visão dinâmica).

O LEI avalia as mudanças nas áreas urbanas com base em três modos de crescimento urbano (Figura I-44), designadamente colmatação (*infilling*), contiguidade (*edge-expansion*) e dispersão (*outlying*) – conceitos que têm sido amplamente utilizados nos estudos sobre a evolução espaciotemporal das áreas urbanas (Forman, 1995; Wilson *et al.*, 2003a; Dietzel *et al.*, 2005a&b; Herold *et al.*; 2005). Sem embargo, admitem a possibilidade de outras formas de crescimento resultante do hibridismo um destes três tipos.



Fonte: Modificado de Liu *et al.* (2010).

Figura I-44 – Modos de crescimento urbano captados pelo *Landscape Expansion Index* (LEI)

À semelhança do referido por Wilson *et al.* (2003a), também Liu *et al.* (2010) consideram que o crescimento por colmatação (*infilling*) ocorre quando as novas manchas urbanas se localizam nos interstícios do tecido urbano já existente. O crescimento em contiguidade (*edge-expansion*) verifica-se quando as novas manchas urbanas se estendem de modo mais ou menos paralelo a um limite urbano preexistente. Quando as novas manchas urbanas surgem isoladas do tecido urbano, então designa-se por crescimento disperso (*outlying*). Nesta aceção, os referidos autores definiram o seguinte conjunto de regras heurísticas aplicadas a *buffers* das novas manchas urbanas: (i) se a área do *buffer* é ocupada maioritariamente pelas manchas urbanas preexistentes, então considera-

se o crescimento urbano do tipo colmatação; (ii) se a área do *buffer* é ocupada por um misto de área vacante e de tecido urbano, então a nova mancha corresponde ao tipo contiguidade; (iii) se a área do buffer é composta exclusivamente por espaços não urbanos, então a nova mancha enquadra-se no disperso.

Na prática, o valor do LEI varia entre 0 e 100 (Figura I-44), sendo que: o crescimento disperso corresponde a LEI = 0 (*i.e.*, nenhuma parte da área do *buffer* intercecciona à área urbana preexistente); o crescimento em contiguidade situa-se no intervalo $0 > LEI \leq 50$ (*i.e.*, a área do buffer não intercecciona em mais de 50% a área urbana preexistente); e, o crescimento por colmatação posiciona-se no intervalo $50 > LEI \leq 100$ (*i.e.*, a área do buffer intercecciona em mais de 50% a área urbana preexistente). Liu *et al.* (2010) concluíram que quanto menor a distância do buffer, mais estável se torna o valor do LEI, pelo que definiram o valor do *buffer* em 1m.

Concomitantemente, os mesmos autores propuseram duas variantes deste índice: o *Mean Expansion Index* (MEI) e o *Area-weighted Mean Expansion Index* (AWMEI). O valor médio LEI permite quantificar de modo eficaz a preponderância relativa de cada um dos modos de crescimento urbano ao longo da série temporal, traduzindo com efeito a maior ou menor compacidade do processo de urbanização (Li *et al.,* 2013).

Enfatizar que, a aplicação do LEI permite a estandardização dos estudos sobre o crescimento urbano e a comparação dos resultados entre diferentes realidades urbanas, bem como distintas escalas geográficas e temporais.

I – 4.4.3. Algumas Linhas Atuais de Investigação

A análise da evolução espaciotemporal das áreas urbanas com base na alternância cíclica dos processos de difusão e coalescência, proposta por Dietzel *et al.* (2005a&b) e por Herold *et al.* (2005), foi testada por vários autores, tendo por base a aplicação LEI ou de outros métodos similares, como a análise fractal ou análise de rácio (Figura I-45 e Tabela I-31).

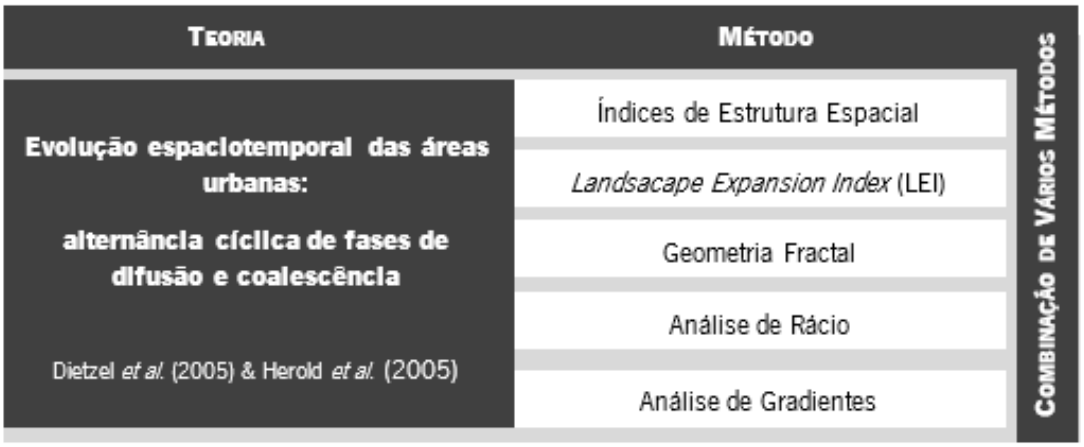


Figura I-45 – Métodos utilizados na aplicação da teoria da evolução urbana assente na alternância cíclica de fases de difusão e coalescência

Liu *et al.* (2010), com base no LEI, índice de sua autoria, constataram que entre 1988 e 2006 a cidade de Dongguan (China) experienciou um claro crescimento urbano; porém, o modo como este se processou o longo da série temporal em estudo variou significativamente. Sem embargo, os autores salientam que é bem percetível uma fase de difusão entre 1988 e 1993, caracterizada pelo aparecimento de novas manchas urbanas, e uma outra de coalescência entre 1993 e 2006, durante a qual o número de manchas urbanas apresentou uma tendência linear de diminuição (Tabela I-31). Os resultados de Liu *et al.* (2010) para a cidade de Dongguan encontram-se em consonância com a teoria apresentada por Dietzel *et al.* (2005a&b) e por Herold *et al.* (2005), descrita anteriormente.

Li *et al.* (2013) também aplicaram o LEI para estudar a expansão urbana da região do Delta do Rio Yangtze (China) entre 1979 e 2008. Os resultados do seu estudo indicam que durante este período se verificou a combinação dos três modos de crescimento urbano captados pelo LEI – *i.e.*, colmatação (*infilling*), contiguidade (edge-expansion) e disperso (l*eap frog*) – porém, não é percetível de modo claro a alternância cíclica dos processos de difusão-coalescência na região do Delta do Rio Yangtze, como verificado por Liu *et al.* (2010) em Dongguan.

Tabela I-31 – Métodos utilizados no estudo espaciotemporal das áreas urbanas (continua)

Autores	Objetivos	Metodologia
Dietzel *et al.* (2005a)	Observar e avaliar: (i) a dinâmica urbana (proposta de uma teoria urbana hipotética baseado na alternância cíclica de fases de difusão e coalescência).	1. Emprego do SLEUTH para a modelação do crescimento urbano futuro. 2. Utilização de métricas da paisagem. 2. Análise de gradientes, com base em *buffers* de definidos a partir do centro.
Dietzel *et al.* (2005b)	Examinar (i) o padrão de crescimento urbano.	1. Emprego do SLEUTH para a modelação do crescimento urbano futuro. 2. Utilização de métricas da paisagem.
Liu *et al.* (2010)	Identificar: (i) o modo de crescimento urbano (colmatação, contiguidade ou disperso).	1. Criação do *Landscape Expansion Index* (LEI), do *Mean Expansion Index* (MEI) e do *Area-weighted Mean Expansion Index* (AMWEI).
Zhou *et al.* (2011)	Caracterizar: (i) os padrões de mudanças nos espaços verdes, resultantes do processo de urbanização.	1. Classificação do uso do solo em quatro classes: espaços verdes; tecido construído; água e solo nu. 2. Utilização das métricas da paisagem; 3. Análise de gradientes: concêntrica, com *buffers* a partir do centro e direcional, em função de oito direções (células de 1,8km por 1,8km). 4. Cálculo das taxas de mudanças nas métricas da paisagem para os três níveis de análise definidos. 5. Correlação entre as métricas da paisagem calculadas.
Shi *et al.* (2012)	Quantificar: (i) o crescimento urbano; (ii) os modos de crescimento urbano (colmatação, contiguidade ou disperso); (iii) a densidade de cada modo de crescimento urbano a partir do centro urbano.	1. Classificação da cobertura/uso do solo em sete classes: tecido construído, solo nu, zonas húmidas salgadas, floresta, corpos de água doce, corpos de marítimos e pedreiras. 3. Aplicação do LEI. 4. Análise de gradientes, com base em buffers de 3km. 5. Cálculo da densidade de cada modo de crescimento urbano, por anel concêntrico.
Li *et al.* (2013)	Determinar: (i) o ritmo de urbanização (aumento de área urbana); (ii) o modo de crescimento urbano (colmatação, contiguidade ou disperso); (iii) as mudanças no padrão da paisagem (alterações na composição e configuração das manchas urbanas).	1. Classificação da cobertura/uso do solo em urbano e não urbano. 2. Cálculo da taxa anual de crescimento urbano. 3. Aplicação do LEI e cálculo do AMWEI. 4. Utilização de outras métricas da paisagem. 5. Aplicação do teste estatístico One-Away ANOVA.

Tabela I.31 – Métodos utilizados no estudo espaciotemporal das áreas urbanas (continuação)

Autores	Objetivos	Metodologia
Zhao *et al.* (2015)	Comparar: (i) a magnitude e a forma de expansão urbana de 32 cidades; (ii) a evolução urbana e a trajetória de formação da estrutura das manchas urbanas.	1. Classificação da cobertura/uso do solo em urbano e não urbano. 2. Cálculo da taxa de crescimento urbano por ano. 3. Utilização das métricas da paisagem. 4. Definição dos modos de crescimento urbano com base na análise de rácio (similar ao LEI) e de um índice de compactação
Mei *et al.* (2015)	Estudar: (i) as mudanças na cobertura/uso do solo.	1. Classificação da cobertura/uso do solo em quatro classes: vegetação densa, vegetação esparsa, solo e urbano. 2. Aplicação da técnica de diferenciação de imagens (ao NDVI). 3. Utilização de técnicas de pós-classificação, do qual resulta a matriz de mudança nas coberturas/usos do solo.
Aguejdad e Hubert-Moy (2016)	Determinar: (i) a taxa de crescimento urbano; (ii) a evolução urbana.	1. Classificação da cobertura/uso do solo em urbano e não urbano. 2. Utilização das métricas da paisagem.
Song *et al.* (2016)	Analisar: (i) os padrões espaciais, temporais e temáticos (*i.e.*, diferentes graus de impermeabilização) do crescimento urbano; (ii) a relação da evolução da população com o aumento de superfícies impermeáveis antrópicas.	1.Classificicação do grau de impermeabilização do solo. 2. Cálculo do ritmo de crescimento anual, em função dos diferentes graus de impermeabilização do solo. 3. Diagrama de dispersão (% de área impermeável *vs.* % do aumento de população).
Dahal *et al.* (2017)	Quantificar: (i) as mudanças verificadas nas coberturas/usos do solo; (ii) os modos de crescimento urbano (colmatação, contiguidade ou disperso); (iii) a relação entre o crescimento urbano e as vias rodoviárias (analise de gradientes).	1. Classificação da cobertura/uso do solo em seis classes: residencial unifamiliar; residencial multifamiliar, comercial, industrial, institucional e espaços abertos (o restante território foi classificado como 'outros' e excluído da análise). 2. Aplicação da fórmula de rácio para determinar o modo de crescimento urbano. 3. Utilização das métricas da paisagem (aplicadas às diferentes classificações de cobertura/uso do solo urbano). 4. Análise de gradientes, com base em buffers de 1milha em relação ao centro das cidades em análise e aos principais eixos rodoviários.

Em Portugal, Encarnação *et al.* (2013) aplicaram a teoria de geometria fractal às áreas construídas entre 1960 e 2004 na Margem Norte da Área Metropolitana de Lisboa, concluindo que a evolução deste território resultou de dois processos simultâneos: um de dispersão e outro de consolidação/compactação. Neste estudo a dispersão consiste no aparecimento de novas construções que não estão necessariamente em contiguidade com o tecido construído pré-existente e que têm potencial para induzir o desenvolvimento de novos núcleos de construção. Estes podem aparecer de modo isolado (*i.e., leap-frogging*) ou crescer de modo fragmentado a partir de pequenos núcleos pré-existentes, seguindo uma estrutura linear. A consolidação refere-se ao processo de colmatação de uma determinada área e pode ocorrer por crescimento contíguo ou agregação de núcleos construídos próximos, que promovem a compactação do território.

Aguejdad e Hubert-Moy (2016) aplicaram as métricas da paisagem para estudar o crescimento urbano da metrópole de Rennes (França) entre 1984 e 2005. Os autores concluíram que entre 1984 e 1995 o crescimento urbano em Rennes apresentou um cunho marcadamente disperso, dado que este se pautou pelo aparecimento de novos fragmentos urbanos. Estes novos núcleos urbanos constituíram o ponto de partida para a expansão urbana, verificando-se um aumento do número das manchas urbanas, e consequentemente uma diminuição do seu tamanho médio e da distância ao vizinho mais próximo. A partir de 1995, verifica-se uma viragem notória, assumindo o crescimento por contiguidade maior relevância, que se reflete num aumento da compacidade do tecido urbano. Assim, entre 1984 e 2005, Aguejdad e Hubert-Moy (2016) também conseguem demarcar temporalmente para o território em estudo as duas fases distintas de evolução urbana identificadas por Dietzel *et al.* (2005a&b) e por Herold *et al.* (2005) – uma primeira de difusão e uma segunda de coalescência.

Dahal *et al.* (2017) também classificaram o crescimento urbano verificado em Treasure Valley (Idaho, Estados Unidos da América) em três categorias: (i) expansão contígua, (ii) colmatação e (iii) periferização. Porém, esta classificação não foi efetuada com base no LEI, mas sim com base numa análise de rácio, cujos resultados variam entre 0 e 1 (e não, entre 0 e 100 acontece no LEI), determinado pela seguinte equação:

$$R_i = Pc/Pi$$

[Eq. 10]

em que,
R_i = rácio para uma nova mancha urbana *i*;
Pc = limite comum entre uma nova mancha urbana *i* e as manchas urbanas preexistentes;
Pi = total do perímetro da nova mancha urbana *i*.

Os resultados obtidos por Dahal *et al.* (2017) para o Treasure Valley revelam que entre 1938 e 2014 o crescimento urbano revelou algumas regularidades, designadamente o predomínio do crescimento por colmatação e por contiguidade (*i.e.*, 70% do total das novas manchas urbanas); ao passo que o crescimento disperso deteve uma importância reduzida (*i.e.*, menos de 30%). A análise de gradientes, efetuada para cada uma das datas, corroborou estes resultados, dado que 70% das novas machas urbanas se localizavam numa distância radial de duas milhas das áreas preexistentes (aproximadamente 3km). Ainda assim, Dahal *et al.* (2017) admitem a existência de duas fases distintas de evolução urbana no Treasure Valley, uma em que dominam as formas de dispersão e outra em que o desenvolvimento é mais compacto.

Os exemplos apresentados traduzem claramente a afirmação de Estébanez (1992) de que processos idênticos tenderiam a originar formas urbanas similares, porém, os processos não atuam sobre um mapa vazio, mas sim sobre formas herdadas que oferecem certas resistências à uniformidade, o que se reflete na pluralidade de cidades. Com efeito, a diversidade territorial (*e.g.*, Estados Unidos da América, China, França) a que a teoria da evolução urbana assente em fases cíclicas de difusão e de coalescência (Dietzel *et al.*, 2005a&b; Herold *et al.,* 2005) foi aplicada consumou-se numa grande diversidade de resultados, nem sempre congruentes. De facto, se alguns autores confirmam a existência da alternância cíclica (Liu *et al., 2013;* Aguejdad e Hubert-Moy, 2016; Dahal *et al.*, 2017), outros não, ou pelo menos não de modo explícito (Li *et al.*, 2013; Encarnação *et al.*, 2013). A este respeito, Dahal *et al.* (2017) alertam para o facto de a utilização

de séries de dados longitudinais curtas, bem como de intervalos de análise desiguais, ser menos eficiente na geração das curvas que revelam a oscilação dos padrões de difusão e coalescência.

Ainda neste quadro, Li *et al.* (2013) enfatizam que o processo de urbanização não pode ser descrito com base na simples alternância dos processos dicotómicos difusão-coalescência, mas antes como "*a spiraling process of shifting dominance among multiple growth modes: the wax and wane of infilling, edge-expansion, and leapfrog across the landscape*" (p.1875). Efetivamente, não existem duas cidades idênticas (Hall, 2001), pelo que a resposta à questão levantada por Herold *et al.* (2005) – "*how cities form over time*" –será tão diferente/numerosa quanto a diversidade de áreas urbanas o impuser.

Posto isto, sobressai a questão da aplicabilidade da teoria da alternância cíclica da difusão e coalescência à área em estudo, no período 1984 e 2016, dado que os municípios de Braga e de Guimarães evoluíram num contexto de urbanização difusa.

I – 5. URBANIZAÇÃO DIFUSA: MODELO TERRITORIAL SINGULAR

> "O princípio ou pressuposto da reflexão apresentada é o de que a paisagem produzida é expressão da história territorial, ou seja, faz-se da objetividade dos processos deslindados no território; é produto cultural e político que se transforma permanentemente, o que redunda, variavelmente, em novas formas e novos conteúdos".
> |Costa, 2016, p.68|

O modelo territorial traduz as relações espaciais entre as atividades e o modo como são marcadas ou deixam marcas no território, entendido este em simultâneo como recurso, espaço-tempo, ambiente e significante (Portas, 2005). Seguindo esta aceção, a urbanização constituiu ao mesmo tempo um fenómeno social e espacial (Bourdin, 2011), bem como temporal. A propósito da questão temporal, Portas (2005) enfatiza: "tudo no urbanismo se faz com o tempo. Nenhuma atitude é só do momento do plano ou dos momentos de gestão, tudo tem uma história" (p.10). A paisagem, enquanto epifenómeno, é o registo da sociedade – assim, se a sociedade muda, a paisagem muda com ela (Domingues, 2011b) – ou seja, não há 'paisagens para sempre'.

Em Portugal a urbanização é um fenómeno ubíquo, exibindo quase todas as cidades e vilas origens históricas remotas (Daveau, 1999a). A este respeito, note-se que o modelo territorial da urbanização difusa – no qual assenta a estrutura de povoamento dos municípios de Braga e Guimarães, em estudo – exibe raízes muito antigas (Sampaio, 1896; Ribeiro, 1999; Lautensach, 1999a), pelo que o seu entendimento cabal só será alcançado quando descortinados os processos – nacionais, regionais e locais – que conduziram ao cenário urbano atual. Efetivamente, como explana Ribeiro (1994),

> "tentar explicar uma aglomeração urbana é, antes de mais, inseri-la neste contexto complexo: a posição no espaço, lugar que ocupa entre as suas congéneres, sítio onde se implantou: mas é também, partindo da observação do atual, rastrear no tempo as condições da sua génese e as vicissitudes do seu destino, mostrar o que é antigo e persistente na sua figura, tanto como as transformações (...)" (p.171).

I – 5.1. O Contexto Urbano Português

No lapso de seis décadas, Portugal passou de uma sociedade essencialmente rural – tendo sido o último país rural da Europa (Domingues, 2010) – para uma predominantemente urbana

(Carvalho e Cancela de d'Abreu, 2011). Aliás, como sintetiza Domingues (2011a), perdida a importância económica da agricultura "por defeito tudo é urbano com maior ou menor conurbação" (p.118). Dessarte, Portugal apresenta uma rede urbana diversificada e complexa, desigualmente distribuída no território, decorrente da metropolização e litoralização, por um lado, e do esvaziamento demográfico e a rarefação urbana, por outro (Portas *et al.*, 2007). Esta contínua e intensa atração pelos espaços urbanos, em particular os metropolitanos e costeiros (Cavaco, 2015), consonante com as tendências europeias e mundiais (Magalhães, 1997), não anulou contudo a matriz territorial secular do país. Como sintetiza Ferrão (2002):

> "o território continental português reflete, hoje, a 'cominação' de três espacialidades macrorregionais: a oposição Norte/Sul caraterística do Portugal tradicional; a oposição litoral/interior, característica do Portugal moderno; um 'território-arquipélago' organizado em rede, característico do Portugal pós-Moderno" (p.151).

A recombinação complexa destas espacialidades (Salgueiro, 1992; Magalhães, 1997; Ferrão, 2002; Ferrão e Delicado, 2017) coloca em evidência que "as sobrevivências do passado se encontram lado a lado com fertilizações cruzadas que dão origem a novas espacialidades, reais ou imaginadas" (Ferrão, 2002, p.158). Ainda que estas espacialidades não detenham fronteiras passíveis de uma cartografia nítida e rigorosa, sobressaem – tanto pela antiguidade, como pela permanência histórica – as diferenças entre o Norte, caraterizado pela multiplicidade de cidades de pequena e média dimensão, decorrente da elevada densidade populacional já secular, e o Sul (a que se junta todo o interior do país), com uma estrutura de povoamento concentrado que se traduz numa rede urbana mais hierarquizada e organizada.

Além disto, são notórios os contrastes entre o litoral jovem e dinâmico, que gravita em torno das áreas metropolitanas de Lisboa e do Porto, e o interior envelhecido e em depleção, ancorado nas antigas capitais de distrito (Magalhães, 1997; Portas *et al.,* 2007). Esta dualidade (também ela histórica) foi agravada pelo êxodo rural nas décadas de 1950-1970, bem como pelo regresso de contingentes massivos de população das antigas colónias portuguesas em África, na década de 1970. A par disto, e para isto, contribuíram os processos de industrialização e terciarização do país (Cavaco, 2015). Efetivamente, uma das características mais evidentes do sistema urbano nacional prende-se com a dominância das Áreas Metropolitanas de Lisboa e do Porto, fruto da reduzida expressão das cidades de média dimensão (Salgueiro, 1992). Sem embargo, esta bicefalia é claramente desproporcional – com o domínio de Lisboa, consequência da díspar

repartição espacial das funções económicas e políticas no território. Nas cidades do interior (*e.g.*, Bragança, Évora e Beja) a reduzida pressão urbanística, fruto do envelhecimento, perda de população e das fragilidades económicas, promoveu um confinamento da urbanização ao núcleo central, como se de 'cidades-estado' se tratassem (Domingues, 2011a), num quadro urbano que em tudo contrasta com o restante território nacional. Recorrendo a número concretos, constata-se que cerca de 50% da população portuguesa se concentra no eixo Viana do Castelo-Setúbal e Algarve Litoral (Cavaco, 2015), sendo que a faixa costeira entre os 0 e os 25km abarca 60% da população, e ao aumentar este limiar para os 50km a percentagem de população captada apenas regista um acréscimo de 10% (PNCT, 2016).

O reforço do papel das cidades decorrente da terciarização da economia, alicerçado nas mudanças sociais, e viabilizado pelas políticas públicas (encetadas em ternos urbanos maioritariamente à escala municipal), consubstanciou-se num 'país em arquipélago' – imagem urbana do Portugal pós-Moderno para Ferrão (2002). Vale lembrar que, o "fascínio das cidades atravessou séculos, correntes de pensamento, sucessões de ciclos económicos, culturas, guerras, catástrofes, e chegou até nós mais forte do que nunca" (Andrade, 2005, p.9) – ao ponto de as cidades, ou melhor dizendo, os sistemas urbanos em que se transformaram, serem considerados o principal símbolo geográfico do nosso tempo (Ribeiro, 1994). Todavia, as alterações verificadas foram 'ora profícuas, ora perversas', alerta Serôdio (2006).

Em 2017 residiam nas 159 cidades portuguesas 4,5 milhões de indivíduos, o que representa 43% do total da população (INE, 2019). Seguindo a Tipologia de Classificação das Áreas Urbanas (TIPAU), desenvolvida pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), constata-se que as freguesias classificadas como 'Área Predominantemente Urbana' apesar de representarem somente 24% do território nacional, concentram 72% da população. Por sua vez, as 'Áreas Predominantemente Rurais', que cobrem 52% do território nacional, abarcam apenas 13% da população (INE, 2015; INE, 2018). Conquanto, esta dualidade não se traduz nos cidadãos, pois como refere Barreto (2013) trata-se de uma população urbana – do ponto de vista social e comportamental – que reside em espaço rural (*i.e.*, rústico), pelo que as políticas de ordenamento do território devem ter sempre este aspeto em consideração. Assim, ainda que a realidade urbana atual reavive a velha oposição entre áreas urbanas (cidades) e rurais (campo), na prática a questão é bem mais complexa.

Para diferenciar as aglomerações urbanas, e as respetivas bacias de emprego (por vezes, ainda com traços rurais), Ferrão (2002) opta pela designação de 'territórios ganhadores', formados pelos núcleos urbanos internacionalizados e dinâmicos, e de 'territórios perdedores', que abarca os restantes. Efetivamente, apesar de ligados entre si por redes físicas (*e.g.*, transportes, telecomunicações) ou digitais (*e.g.*, internet, de cooperação institucional), os territórios ganhadores ignoram os espaços intersticiais que os separam – daí a metáfora do 'arquipélago urbano' utilizada por Ferrão (2002).

A par das alterações económicas e sociais, a realidade urbana atual é igualmente fruto das mudanças que se verificaram nas políticas públicas no período da Democracia, decorrente: (i) do reforço do poder autárquico, por via da Lei das Finanças Locais, que tornou as autarquias, em grande medida, dependentes das taxas de licenciamento urbano; e, (ii) das novas práticas de planeamento que se foram instaurando, nomeadamente os Planos Diretores Municipais (PDM), que viabilizaram a construção de novos edifícios assentes em projetos de loteamento. Com esta figura legal, criada em 1965, qualquer proprietário passa a poder realizar operações de urbanização nos seus terrenos, ficando a produção de espaço urbano, como qualquer outra atividade económica, sujeita às leis de mercado.

Com os loteamentos, o processo a urbanização do território deixa de estar sobre alçada direta dos municípios, constituindo as autarquias meros agentes passivos, dado que apenas aprovam ou reprovam os projetos (Salgueiro, 1992). A insuficiente capacidade de resposta dos poderes públicos locais, por ausência e/ou inoperância dos mecanismos de regulação, conduziram à ocupação excessiva de alguns lotes, tanto nos centros urbanos historicamente já densos (por via da colmatação dos espaços intersticiais), como nos subúrbios das cidades de maior dimensão (Daveau, 1999c). Nas periferias, especialmente as de carácter monofuncional (*i.e.,* residencial, industrial, comercial), o processo de urbanização foi de tal modo acelerado que em alguns casos nem se chegaram a 'urbanizar' – *e.g.*, défice de infraestruturas e equipamentos (Magalhães, 1997), desenho urbano de baixa qualidade (Cavaco, 2015) – pelo que mantiveram até muito tarde os modos de vida rural, embora com a desvantagem de aí não poderem ser exercidos em plenitude, remata Magalhães (1997).

Os novos projetos de loteamento apoiaram-se igualmente na rede arterial de estradas e caminhos tradicionais, que, tal como no passado, continuaram a constituir as vertebras do sistema urbano nacional. Estes contínuos urbanos lineares, desenvolvidos em contiguidade com as estruturas

urbanas preexistentes, dependem, e em simultâneo propiciam, o uso do automóvel privado. Tanto mais que esta lógica foi sistematicamente promovida numa abordagem *predict and provide* (Carvalho, 2016), que remete as infraestruturas e o sistema de mobilidade para a dupla condição de indutor e induzido do processo urbano (Portas *et al.,* 2007). Por tudo isto, não admira que Gaspar (2005) afiance que é a rede viária é que tem comandado o ordenamento em Portugal. A densificação da rede viária, em muitos os casos de alta velocidade, não só comprimiu o espaço e o tempo – reduzindo o atrito territorial – como também favoreceu os processos de conurbação urbana. Os locais de intersecção destas redes (*i.e.,* os nós viários) criaram patamares superiores de acessibilidade, que despoletaram "processos de catálise urbana concordantes ou não com o esquema de centralidades preexistentes" (Portas *et al.,* 2007, p.72). Recorrendo à terminologia proposta por Ferrão (2002), estes constituem os atuais 'territórios ganhadores'.

Em paralelo, surgiram lotes avulsos e excêntricos a qualquer núcleo preexistente, que redundaram em estruturas urbanas fragmentadas e de difícil compreensão (Galvão, 2005; Travasso, 2015). Por conseguinte, a estrutura urbana atual decorre do somatório de iniciativas privadas (tanto por via da construção individual, como de projetos de loteamento), que nunca ninguém tratou de 'coser' – quer dizer, fez-se muita construção e pouco urbanismo (Fadigas, 2005). De facto, como Fontes e Fontes (2002) alertam, não se pode confundir planeamento com desenho urbano, pois por melhor que seja o desenho urbano (nos projetos de loteamento, por exemplo), se não tiver planeamento (quer dizer, a consideração pela envolvente) este é inconsequente. Na prática, os loteamentos não só aceleraram os ritmos de mudança do território, como também desembocaram nas mais variadas disfunções e 'irracionalidades' (Galvão, 2005), que não se podem explicar simplesmente pela evolução demográfica, pela avidez imobiliária, ou pela proverbial inoperância dos instrumentos de planeamento (Portas *et al.,* 2007).

Paradoxalmente a este surto de construção (resfriado apenas pela crise financeira dos últimos anos), os centros históricos 'esvaziaram-se' de população, à medida que as antigas habitações foram sendo reconvertidas em espaços de comércio ou de serviços, e mais recentemente, em alojamentos turísticos. Para tal contribuíram igualmente: (i) as mudanças no estilo de vida, e consequente preferência por habitações novas, decorrentes quer da construção em altura, quer de edifícios unifamiliares (com garagem e jardim), geralmente localizadas em terrenos periféricos ao centro urbano, onde o baixo custo do solo, se associava a menores entraves burocráticos e de controlo urbanístico; (ii) as melhorias nos transportes coletivos, mas sobretudo do automóvel privado, que proporcionaram movimentos diários mais distantes; e, (iii) as políticas fiscais de

incentivo à aquisição de habitação própria (Cavaco, 2015), por comparação às de manutenção e reabilitação do parque habitacional construído (Portas *et al.*, 2007; Marques, 2015; Cavaco, 2015).

Como bem sintetiza Domingues (2017), "o País desconfinou-se. Vai tudo veloz e caótico, no sentido em que não se percebe se o turbilhão evolui de forma linear, ou em direção a qualquer um ponto de equilíbrio ou estabilidade" (p.33). De facto, em Portugal, a situação urbanística que já era desordenada acentuou-se nas últimas décadas, decorrente de um crescimento urbano, tantas vezes apelidado de 'mancha de óleo' (Cavaco, 2015), que não teve em consideração a vocação dos territórios – pois destruíram-se talvegues, impermeabilizaram-se os leitos de cheia (nomeadamente no vale de Lamaçães, em Braga), ao mesmo tempo que se criaram espaços verdes tão artificiais como a própria construção. Esta situação leva Ribeiro Telles (2005) a afirmar (de modo generalizado) que as cidades, notáveis do ponto de vista histórico, são "do ponto de vista do crescimento deploráveis" (p.56). Ao mesmo tempo, a introdução da categoria de solo urbanizável na 1ª Geração dos PDM, ampliou despropositadamente os perímetros urbanos, pelo que continuam a proliferar terrenos rústicos sobrevalorizados expectantes (Cavaco, 2015).

Atualmente, um dos principais problemas ambientais associados às cidades, e mais especificamente ao seu crescimento físico, é a fragmentação do território (Fontes e Fontes, 2002; EEA, 2006). Sem embargo, esta questão desde há séculos que assume posição de destaque nos municípios de Braga e de Guimarães (*e.g.*, Sampaio, 1896; Ribeiro, 1999; Lautensach, 1999a), decorrente das características *sui generis* do modelo territorial da urbanização difusa. Assim, não sendo possível abarcar todos os particularismos territoriais portugueses (Daveau, 1999a), em seguida foca-se a atenção no modelo territorial que Daveau (1999a) classifica como o 'tipo minhoto', enfatizando o predomínio absoluto das formas de dispersão.

I – 5.2. O Modelo Territorial do Minho

A paisagem, enraizada no passado dos lugares, confere a cada região identidade e originalidade decorrente da articulação própria do ambiente com a cultura (Pimenta, 2012). No caso específico do Minho (Figura I-46) estas duas questões – identidade e originalidade – encontram-se bem patentes. De facto, considerando a uniformidade da sua paisagem, diversos os autores que aludem

à singularidade da estrutura territorial do Minho: um povoamento disseminado, mas denso, possibilitado pelas condições naturais, de que o Homem soube sempre tirar o máximo proveito (Ribeiro, 1994, 1995; Mattoso *et al.*, 1997; Portas, 2005; Domingues, 2007 e 2011b).

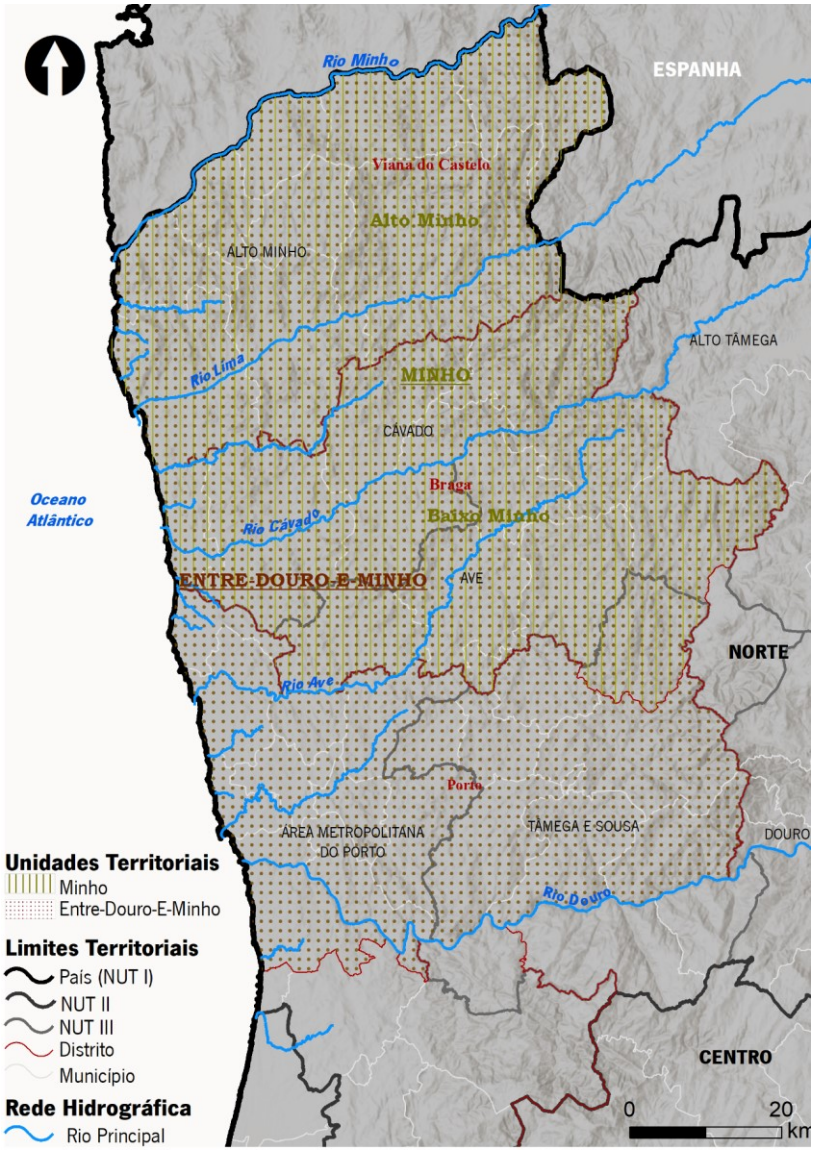


Figura I-46 – Circunscrição(ões) do Minho

Antes de prosseguir com a descrição do modelo territorial da região do Minho é fundamental esclarecer o alcance geográfico deste território (Figura I-46). A despeito das múltiplas significações, 'Minho' remete desde logo para as antigas as províncias (ou Comarcas) portuguesas. Este limite administrativo abandonado em 1835 aquando da implementação dos distritos (embora apenas oficialmente extinto com a aprovação da Constituição da República de 1976), é um referente que persiste, continuando a representar uma repartição do país socialmente aceite (Mattoso *et al.*, 1997; Bandeira, 2009). Situação que decorre do facto de o Minho ser uma das regiões mais bem

definidas em Portugal, pois, não obstante a diversidade de componentes da paisagem, a sua combinação sistemática e, portanto, repetida confere-lhe uma ideia de padrão de conjunto (Ribeiro, 1995).

A designação de Minho é em algumas situações substituída pela de Entre-Douro-E-Minho – numa alusão aos dois rios que efetuam a sua circunscrição. Em termos latos, se ao Minho correspondem os distritos de Viana do Castelo e de Braga, ao Entre-Douro-E-Minho acresce o distrito do Porto (Figura I-46). O Alto Minho e o Baixo Minho encontram-se demarcados desde o século XII, constituindo, à data, o rio Lima o elemento de fronteira. Presentemente, considera-se *lato sensu* que o Alto Minho corresponde ao distrito de Viana do Castelo (como comprova a denominação da atual NUT III) e o Baixo Minho ao de Braga (Figura I-46). Com efeito, a divisão entre o Alto e o Baixo Minho não se deve às diferenças de altitude, mas sim à distinta posição em latitude que ocupam (Ribeiro, 1995).

Considerando a divisão mais recente do território em Nomenclaturas de Unidades Territoriais (NUT), utilizadas pelo Eurostat para tornar comparáveis dados de base regional dos vários países da União Europeia, mas que em Portugal se designam oficialmente por unidades administrativas, o Entre-Douro-E-Minho abarca cinco NUT III: o Alto Minho, que preserva a denominação Minho, por via do nome rio; o Cávado, o Ave e o Tâmega e Sousa, cujo o nome advêm igualmente do rio mais importante; e a Área Metropolitana do Porto, única que deve a designação ao nome da principal cidade (Figura I-46).

O território em análise, confinado ao litoral Norte de Portugal, assume muitas outras designações – *e.g.*, Norte Litoral (Gaspar, 1987); Arco Metropolitano do Noroeste, utilizado por Marques (2015) na versão provisória do PROT-Norte; aglomeração urbano-industrial do Noroeste no Programa Nacional da Política de Ordenamento Território (PNPOT, 2006); ou simplesmente Noroeste para Ribeiro e Ferrão (2014) – variando consideravelmente os seus limites a Este e a Sul, uma vez que a Norte e a Oeste se encontram bem definidos pelos elementos naturais, mormente o rio Minho e o Oceano Atlântico (Figura I-46).

I – 5.2.1. Panorama Geral

A estrutura de um território exprime-se na paisagem, sendo esta um produto de condições naturais e históricas, que no decorrer do tempo se podem combinar de diferentes maneiras. A elevada densidade da população no Minho encontra-se na estreita dependência de um conjunto favorável de condições naturais, de que uma complexa evolução agrária soube extrair o máximo proveito (Ribeiro, 1995). A conjugação da elevada pluviosidade, com os verões curtos, resulta numa rede hidrográfica densa e caudalosos, que sempre forneceu a água necessária para que a terra desse alimento em abundância (Mattoso *et al.*, 1997). Deste modo, é expectável que já na Pré-História, o Noroeste da Península Ibérica apresentasse uma densidade populacional mais elevada do que o restante território, confirmando que a disseminação do povoamento é um fenómeno essencialmente Atlântico (Ribeiro, 1999). Assim sendo, o Minho terá sido sempre uma região densamente povoada (Domingues, 2007), primeiramente fruto da abundância de alimentos disponíveis na Natureza, e, posteriormente, da policultura intensiva que as condições naturais permitem.

Os campos agrícolas, de verão destinados à cultura do milho, e de inverno utilizados como pastagens, assumem uma dupla função no Minho: campo e prado (Ribeiro, 1998). Por norma, eram circundados por muros, construídos com a pedra que ao longo dos séculos foi sendo extraída dos terrenos; ou, então, vedados por árvores, que mais do que um elemento de fronteira, constituem um complemento económico (Ribeiro, 1998). De facto, as árvores eram plantadas com o intuito de servirem de suporte ao desenvolvimento das videiras – num sistema designado por vinha de enforcado. Este tipo de vinha tanto surge nos limites entre as parcelas, como junto a caminhos (entretanto convertidos em estradas asfaltadas) ou a linhas de água (Figura I-47), constituindo uma das paisagens mais típica do Minho (Domingues, 2007), e muito em particular do Baixo Minho. Neste cenário não é difícil entender porque o Minho é considerado o jardim de Portugal (Guia de Portugal, Entre Douro e Minho - II Minho).



A) São Torcato, Guimarães; B) Veiga de Creixomil, Guimarães.

Figura I-47 – Vinha de enforcado nos campos do Minho

A ocupação agrícola no Minho ocorre entre o fundo de vale, nas veigas, e a meia encosta, na qual os socalcos se destacam na fisionomia da paisagem, pois sublinham o desenho dos vales (Domingues, 2007). Para Ribeiro (1995),

> "os socalcos não se limitam a quebrar o pendor da vertente, alterando por completo o perfil do solo. Rega e estrume abundante incorporaram-se por toda a parte nas áreas cultivadas, a tal ponto que não parece lícito falar do solo produto da natureza, mas da terra, admirável criação das civilizações agrárias" (p.271).

No Minho, os socalcos multiplicaram-se quase até ao impossível (em termos de declive da vertente), aumentando a área de cultivo que sustentou durante séculos um povoamento disperso, mas denso (Domingues, 2015b). A reduzida dimensão das parcelas agrícolas decorrente da topografia, somada à sucessiva pulverização terra, traduziu-se numa agricultura de base familiar, onde uma parte da produção agrícola se destina ao autoconsumo (Pinho, 1995). Efetivamente, até a mais pequena parcela é utilizada para o cultivo – constituindo as hortas um outro aspeto dominante da paisagem. Esta pequena porção de terra, junto da habitação, onde se pratica uma policultura intensiva, detém o mais alto grau de intensidade do aproveitamento agrícola, apenas possível graças à rega durante todo o ano e aos sucessivos adubamentos (Ribeiro, 1989b). Vale ressalvar que, ainda nos dias de hoje, a horta fornece um importante complemento económico para muitas famílias que trabalham no setor secundário (Daveau, 1999c; Portas, 2012c). Parte integrante do modelo territorial, as hortas completam a 'manta de retalhos' que compõe a

multiplicidade de parcelas agrícolas, que no Minho se estendem desde os campos agrícolas de grandes dimensões nas veigas até aos pomares e vinhas.

A retração das áreas florestais, decorrente do aumento da área agrícola, obrigou à estabulação do gado, sendo precisamente nesta mudança que reside a capacidade de transformar o solo em 'terra', pois é do corte de matos (nas nesgas de floresta que subsistem), colocados nas cortes dos animais, que irá sair o estrume que durante séculos fertilizou os campos agrícolas. De facto, à profunda disseminação da população no território por milhares de casais, lugares e freguesias, apenas de excetuam os pontos mais altos ou as encostas mais escarpadas, onde se situava o 'monte', destinado aos matos, gado miúdo ou aos cultivos menos exigentes, e o povoamento era rarefeito e concentrado (Domingues, 2015b). Na prática, a exploração das manchas florestais remanescentes sempre funcionou como um complemento à exploração agrícola (*i.e.*, floresta camponesa). Conquanto, resultado das mudanças sociais ocorridas nas últimas décadas proliferaram os proprietários absentistas (Pinho, 1995) – o que contribuiu para um aumento do número de incêndios florestais. Assim, da vegetação atlântica restam apenas algumas manchas de folhosas, sobretudo carvalhos, mas profundamente retalhadas e mescladas com outras espécies, nomeadamente o pinheiro bravo, numa primeira fase, e, mais recentemente, o eucalipto (Domingues, 2007).

O quadro territorial descrito atesta bem a sabedoria dos 'antigos' que durante séculos se esforçaram por tirar partido das condições que a Natureza lhes impunha ou propunha (Mattoso *et al.*, 1997). Mesmo assim, para Ribeiro (1995) a urbanização no Minho alterou menos os caracteres tradicionais do território do que no resto do litoral, fruto de uma simbiose entre o urbano (edificações, estradas) e a geografia, quer dizer, entre a configuração do território e o modo como foi sendo ocupado. Como narra o referido autor,

> "raras paisagens nos dão a impressão de tão perfeito acordo entre o ambiente e as obras humanas do que o Minho: campos de milho no fundo abaulado dos vales, socalcos dos montes aonde chega a rega, uma cintura de pinhais nas encostas íngremes e o cimo escalvado dos blocos graníticos (Ribeiro, 1995, p.272)".

Como resultado, verifica-se uma continuidade entre a cidade e o campo que desde sempre atenuou os contrastes entre as funções urbanas e rurais, e permitiu uma antiga permeabilidade entre uma e outra (Mattoso *et al.*, 1997).

I – 5.2.2. Génese da Estrutura de Povoamento

Considerando que os territórios não se constroem num só dia (Portas, 2005), o entendimento de um modelo territorial só possível quando identificadas as suas raízes e descortinadas as vicissitudes históricas. Neste sentido, efetua-se em seguida uma síntese dos fluxos e refluxos civilizacionais que determinaram a atual estrutura de povoamento do Minho, e por extensão dos municípios de Braga e de Guimarães, em estudo.

A ocupação da fachada atlântica da Península Ibérica, território onde se encaixa o Minho, remontará ao fim do Neolítico e início da Idade do Bronze (Ribeiro, 1998). Esta civilização megalítica deixou apenas como vestígios elementos funerários, depreendendo-se que as moradias dos vivos seriam claramente mais precárias (Domingues, 2007). Por volta dos séculos IV e III A.C sucedeu-se a Cultura Castreja, com influência céltica, que se caracterizava pela aglomeração das populações no alto dos montes, numa estreita relação com a orografia e com a rede hidrográfica. Nestas povoações, entre as quais se destacam a Citânia de Briteiros (em Guimarães) e a Citânia de Sanfins (em Paços de Ferreira), as habitações eram de pedra, com cobertura de colmo, e as ruas encontravam-se pavimentadas. Assim, quando os Romanos alcançaram o Noroeste do atual território português, já existiria uma aldeia em cada cabeço (Ribeiro, 1999) – assemelhando-se este território a um formigueiro humano (Lautensach, 1999a).

Ao fim de dois séculos, com domínio dos Romanos e estabelecimento da paz, a ocupação do alto dos montes, por motivos estratégicos de defesa, deixou de fazer sentido, pelo que os castros foram abandonados em detrimento das áreas baixas e planas – do fundo de vale – mais férteis e, como tal, mais produtivas (Mattoso *et al.*, 1997; Lautensach, 1999a). Um dos melhores exemplos deste abandono é o caso da Citânia de Briteiros, que na altura constituiria quase uma cidade, considerando o número de casas (cerca de 150), o traçado das ruas, as muralhas e os acabamentos de algumas construções (Ribeiro, 1994). Não obstante, existem indícios de que alguns castros terão sido romanizados, antes de ser abandonados, nomeadamente em Briteiros, onde foram encontradas inscrições latinas e algumas moedas romanas (Ribeiro, 1994 e 1995). Com o Império Romano, aos povoamentos castrejos alcandorados, sucedem-se as *villas,* como designadas por Sampaio (1896), e os casais. As *villas* (ou quintas, denominação com que chegaram aos nossos dias) eram compostas pela habitação do senhor, as casas dos trabalhadores, estábulos, terras de cultivo e bravias. Por sua vez, um casal é um tipo de exploração de menor dimensão que combina parcelas de campo, prado, vinha, em terrenos distintos ou

coexistentes, e bouças que permitem o abastecimento de matos e lenhas (Ribeiro, 1998; Lautensach, 1999a). Esta fixação da propriedade e das unidades agrárias surge da necessidade de tributação; porém, desde cedo apareceu a tendência para as fracionar (Sampaio, 1896) – que se traduziu na multiplicação de casais isolados e, por oposição, na escassez de aldeias arruadas (Ribeiro, 1998).

Neste período os caminhos locais que ligavam as aldeias e vilas encontram-se instalados nas terras baixas, ao passo que as relações de maior distância atravessam as terras ermas e altas, por serem percursos com menos obstáculos (Mattoso *et al.*, 1997). Estas vias – calcetadas e providas de marcos miliários – resistiram ao passar dos séculos, sendo ainda visíveis nos dias de hoje alguns dos seus trechos, enquanto outros cederam lugares às estradas de macadame, que reproduziram assim os seus trajetos (Ribeiro, 1999).

O declínio do Império Romano decorre das invasões germânicas – a Sueva, numa primeira fase, e depois a Visigótica –, geralmente apelidadas de Bárbaras, por se considerar esta civilização culturalmente inferior à dos Romanos (Lautensach, 1999b). A instabilidade verificada neste período, somada à preferência destes povos pela vida no campo ditou o gradual eclipse da vida urbana (Lautensach, 1999a; Albergaria, 2007). Na prática, verificou-se uma contração dos territórios urbanos, que se retraíram a pequenas áreas muralhadas, deixando de fora muitas construções de períodos anteriores. Efetivamente, é nesta regressão que reside a explicação para o hiato temporal que separa as cidades romanas das medievais na Península Ibérica. Paralelamente, verificou-se também o desmantelamento das estruturas administrativas romanas, de carácter mais centralizador – situação que fomentou o reaparecimento de particularismos locais, em parte 'apagados' ou 'adormecidos' com homogeneização cultural imposta pela romanização (Daveau, 1999a).

A precoce aceitação do Catolicismo pelos Suevos (desde 448), enquanto os Visigodos permaneciam pagãos ou arianos (até 587), fomentou a organização paroquial e a fundação de dioceses no Noroeste peninsular. Note-se, porém, que estas dioceses se apoiavam na rede de estradas e cidades romanas pré-existentes, como é o caso de Braga (Ribeiro, 1994). O bispado conferiu às cidades, onde se localizavam, um cunho urbano forte e persistente – em verdade, é a Igreja que mantém a vida urbana em muitas cidades, impedindo o seu desaparecimento entre os séculos V a VIII.

De acordo com o historiador Alberto Sampaio (1896), a génese do povoamento disperso do Minho encontra-se precisamente neste processo de ruralização que se seguiu à queda do Império Romano e à organização das paróquias e conventos da Baixa Idade Média (Domingues, 2008). Seguindo a lógica de Sampaio (1896), os trabalhadores que viviam no perímetro do antigo prédio Romano, eram para os presbíteros que os guiavam espiritualmente *'freguezes'* (*i.e.*, *filiis ecclesie)* – pelo que lentamente à *villa* se sucederá a freguesia, que de organismo religioso passará a ser também a primeira circunscrição do ponto de vista administrativo. Com efeito, é lícito afirmar que e na organização eclesiástica dos Suevos e dos Visigodos (ou até mesmo dos Romanos) que residem as premissas da organização administrativa do Noroeste, nomeadamente as paróquias e freguesias que chegaram aos nossos dias (Ribeiro, 1989b; Domingues, 2007), não só em termos espaciais como também de toponímia (Lautensach, 1999a).

No final século VI a região compreendida entre o rio Minho e o Douro era a mais bem organizada do Noroeste da Península Ibérica. Braga, capital do Reino do Suevos, constituía à data a cidade mais importante da *Gallecia,* pelo que foi escolhida para a realização de Concílio da Igreja Católica em 561 (o primeiro ocorrido nesta cidade). Não obstante, o Porto detinha igualmente uma posição importante neste reino, como comprova a elevada quantidade de nomes de origem germânica que ainda nos dias de hoje persistem na toponímia, como sucede no distrito de Braga (Ribeiro, 1999). No século VIII, mais precisamente no ano de 712, os Árabes (muitas das vezes apelidados de Mouros) tornaram-se senhores de quase toda a Península Ibérica. Todavia, a sua estadia a norte do Rio Douro foi muito efémera, não sendo evidentes no território marcas da sua presença, nomeadamente ao nível da toponímia, como sucede com os povos predecessores.

Nestes séculos conturbados que medeiam as Invasões Bárbaras e Mouras e a Reconquista Cristã, ainda que a terra tenha mudado muitas de vezes de Senhor, o essencial da estrutura fundiária não se alterou (Salgueiro, 1992) e as populações continuaram a prestar culto aos Santos em voga antes destas convulsões (Ribeiro, 1999). Por conseguinte, o sistema de *villas* romanas encontrava-se pouco alterado aquando da Reconquista pelos reis Asturo-Leoneses (Sampaio, 1896), sendo esta constância particularmente evidente nas propriedades que não foram desmembradas pelas gerações que se foram sucedendo neste hiato. Um bom exemplo desta permanência secular é a atual vila de Moreira de Cónegos em Guimarães, doada pelo filho de Mumadona Dias ao Mosteiro de Guimarães; ou então a freguesia de Creixomil (igualmente localizada Guimarães), que corresponde precisamente à *villa* de *Creiximir* delimitada no século X (Lautensach, 1999a). De facto, mais do que modificações no fracionamento do território, neste período sobressaem as

alterações na toponímia, decorrente da incorporação dos nomes de origem germânica dos novos senhores da terra. Porém, importa ressalvar que sob a influência das leis reunidas no *Codex Visigoticus,* favorável à divisão por herança, as *villas* foram sendo sucessivamente retalhadas nos séculos seguintes (Lautensach, 1999a). Consequentemente, em vez de latifúndios os grandes Senhores possuíam muitas leiras e cortinhas (designação dada aos pequenos terrenos murados), sendo frequente a existência de prédios encravados em outros maiores ou então situações mais caricatas como o facto de a terra pertencer a um Senhor e as árvores a outro – confusão que só era possível num território desde há muito ocupado (Ribeiro, 1999; Lautensach, 1999a).

A debilidade, ou em alguns casos total ausência, do poder político central ou supralocal (*e.g.*, antigas *civitas* ou dioceses eclesiásticas) favoreceu a precoce implantação do regime senhorial, responsável pela fragmentação administrativa da terra. Esta pulverização do território ainda hoje se encontra bem patente no elevado número de freguesias e municípios do Norte do país, quando comparado com o Sul (Mattoso *et al.*, 1997). Deste modo, é lícito afirmar que a contínua dispersão da população pelos campos – que facilitava a extração do seu sustento nos períodos de maior instabilidade (Lautensach, 1999a) – remeteu os espaços urbanos para uma posição cada vez mais marginal, dado que estes não só deixam de funcionar como centro administrativo, como também se torna mínimo o seu papel enquanto centro de produção e de trocas, resultado da substituição da economia de intercâmbio pela de consumo. Como refere Albergaria (2007), esta situação atenuou as diferenças entre o espaço urbano e o rural.

Por volta do século X a vida urbana começa a ressurgir, fruto do clima político cada vez mais estável. Mesmo assim, tal como sucedera no passado e se continuaria a verificar ainda durante muitos séculos, nesta época a vida rural gravitava em torno dos Mosteiros (Mattoso *et al.*, 1997). Note-se que, dos 13 Mosteiros referidos em Diplomas até ao final do século X, 10 localizavam-se no território Entre-Douro-E-Minho, particularmente concentrados no setor Sul desta circunscrição (Ribeiro, 1999). Nos séculos XIII e XIV surge um conjunto de novas cidades, decorrente da congregação de pequenas freguesias rurais (lembrando que o interior das muralhas abrangia ainda terrenos de cultivo e de pastagem), enquanto outras urbes mais antigas se consolidavam. Todavia, estas continuavam a ser "pequenas ilhas num mundo predominantemente rural" (Albergaria, 2007, p.13), dado que as cidades constituíam apenas pontos de organização do poder e do comércio.

A paisagem do Minho só voltaria a registar profundas alterações no século XVI, com a introdução de novas espécies alimentares subtropicais advindas do descobrimento do continente americano, como o feijão, a batata e o milho (Lautensach, 1999a; Domingues, 2015a). De entre estas, de salientar a importância do milho, uma vez que esta nova cultura provocou: (i) o arroteamento de grandes parcelas de terrenos; (ii) a supressão do pousio; (iii) o aumento da área irrigada, favorecida pela criação de socalcos; (iv) o declínio do pastoreio, por falta de espaços para a circulação dos rebanhos; e, (v) a separação definitiva do campo e do bosque (Ribeiro, 1998; Domingues, 2007). Estes fatores promoveram – uma vez mais – o parcelamento do território, e repercutiram-se no incremento do trabalho familiar e na decadência irreversível do espírito de comunidade (que se prolongou até muito mais tarde em Trás-os-Montes). Ribeiro (1998) enfatiza "tudo o milho favoreceu, permitiu ou provocou" (p.122), nomeadamente a "acumulação de camponeses pobres" (Ribeiro, 1989b, p.433). Este contingente populacional, fruto da proverbial fertilidade minhota, funcionou nos séculos seguintes (como já tinha sucedido no passado) como um reservatório humano (Domingues, 2011b), à espera de um destino para emigrar, que se foi se alterando ao sabor das vicissitudes históricas nacionais e internacionais.

As inquirições de 1527 constituem a primeira contagem sistemática efetuada para todo o território nacional. Neste numeramento procedeu-se não só ao levantamento dos moradores das cidades e das vilas, como também dos que habitavam na aldeia, ou mesmo fora delas, fosse em herdades, quintas ou casais (Ribeiro, 1999a). Os resultados deste inquérito deixam bem patente o caráter disperso do povoamento na região de Entre-Douro-E-Minho, dado que apenas 21% da população se concentrava em 'lugares juntos', enquanto os restantes 79% viviam dispersos em casais. Assim, como descreve Lautensach (1999a), as habitações, localizadas juntos aos caminhos, que se cruzam em todas as direções, iam 'salpicando' o verde dos campos, numa paisagem que em nada evoca as 'verdadeiras aldeias' de casas apinhadas no meio da vastidão dos campos desertos. Esta forma de povoamento permitia à população ficar perto das nesgas de terra que cultivava (Mattoso *et al.*, 1997). A comarca Entre-Douro-E-Minho, que corresponderia nos dias de hoje *grosso modo* aos distritos de Viana do Castelo, Braga e Porto (*vide* Figura I-46), agrupava então 20% da população em apenas 8% do território (Lautensach, 1999a), constituindo na época a mais povoado do Reino de Portugal (Ribeiro, 1999a).

Ainda segundo as inquirições de 1527, apenas dez aglomerados populacionais no país tinham mais de 1 000 habitantes, exceção feita obviamente a Lisboa e Porto (Ribeiro, 1994; Mattoso *et al.*, 1997). A reduzida expressão populacional das cidades neste período resulta do exíguo espaço

existente no interior das muralhas, onde as casas se 'apinhavam' e as ruelas eram estreitas. Guimarães surge como a segunda maior aglomeração do Norte, sendo que à data constituía uma vila muito bem cercada por muros e torres fortes. Contudo, a indústria de curtumes já tinha provocado o crescimento urbano para além dos limites das muralhas, nomeadamente para a Rua de Couros. Tal como a designação indica, era neste local que se localizavam os tanques e as oficinas de curtir as peles, pois era apanágio deste período manter as indústrias insalubres fora do espaço urbano (Ribeiro, 1995).

A criação de novas dioceses entre os séculos XVI e XVIII promoveu o aparecimento de um grande número de cidades de pequena dimensão no Norte de Portugal (Ribeiro, 1994). Com a legislação liberal, que extinguiu os prazos e os morgadios, a propriedade do Minho, já de si tão retalhada, pulverizou-se ainda mais, visto que a terra passou a ser irmãmente repartida entre os herdeiros. Em sentido oposto, verifica-se uma clara diminuição do número de concelhos em Portugal, de 828 para 351, fruto da extinção de pequenas povoações criadas nas reformas administrativas dos séculos anteriores; no entanto, os poderes municipais são reforçados. Em termos administrativos salienta-se ainda a formação dos distritos, em substituição das Províncias e Comarcas, que promoveu a individualização das diferenças entre Porto, Braga e Viana do Castelo. A silhueta distrital modelada à data encontra-se muito próxima da observada atualmente, constituindo os distritos uma das divisões administrativas do território nacional mais duradoura (Bandeira, 2009).

No decorrer do século XIX verificou-se um alargamento notório dos perímetros urbanos, em muitos casos decorrente do desenvolvimento industrial. Note-se, porém, que no Noroeste o processo de industrialização (e, consequente urbanização) em tudo se diferenciou do paradigma inglês, uma vez que ocorreu de modo disseminado pelos campos, e não por via da criação de cidades industriais. Nesta primeira fase, foi preponderante a proximidade às linhas de água, pela importância dos engenhos hidráulicos, da máquina a vapor ou da necessidade de água para o processo produtivo, pelo que os edifícios fabris foram surgindo de modo intercalado com as habitações, e outros edifícios mais antigos – promovendo uma densificação urbana *in loco*. Em consequência, a histórica dispersão dos assentamentos humanos foi ainda acentuada pelo processo de industrialização difusa – cujo Vale do Ave constitui exemplo maior (Daveau, 1999a; Portas *et al.,* 2007), pelo este assunto será retomado adiante com maior detalhe, aquando da análise das especificidades de urbanização no município de Guimarães.

No final no século XIX, a chegada do caminho de ferro, nomeadamente a Braga e a Guimarães, obriga à abertura de novas ruas, que em muitos dos casos eram arborizadas, como sucedeu em Guimarães. De acordo com Salgueiro (1992), a rede urbana do início do século XX é produto da Revolução Industrial, pois destacam-se a nível nacional os núcleos onde este processo foi mais marcado – entre os quais Braga e Guimarães constituem bons exemplos. Neste seguimento, entre 1801 e 1911 denota-se uma evolução urbana significativa, particularmente evidente em Guimarães, que passa a figurar entre os 25 centros urbanos mais importantes do país, posição que viria a perder nas décadas seguintes. Por sua vez, Braga permanece na sexta posição até 1981 Salgueiro (1992).

Em 1920, a então província de Entre-Douro-E-Minho, conta com 299 128 fogos, enquanto nas inquirições de 1527, referidas anteriormente, este valor era de apenas 55 066 (Daveau, 1999a) – quer isto dizer, que em menos de quatro séculos o número de fogos mais que quintuplicou. Se atendermos ao número de fogos de 1940, que totalizavam 372 031, esta diferença torna-se ainda mais expressiva (Ribeiro, 1999a). Este território foi registando nas décadas seguintes um crescimento espacial gradual, porém regular, seguindo um processo de transformação e condensação *in situ,* algo desordenada, mas respeitadora do estilo regional de povoamento (Daveau, 1999a). Atente-se que muitas das habitações construídas *ex novo* constituíam a residência de um vasto contingente de emigrantes, que desde sempre optou – devido aos laços de afetividade – por construir a moradia junto dos familiares. Este processo urbanização, que replica e reforça as lógicas de povoamento secular, em tudo difere do modelo fordista dominante após a Segunda Guerra Mundial, assim como da tábua rasa que constituía o *sprawl* americano (Domingues, 2008).

O advento dos transportes motorizados e a melhoria da rede de estradas e autoestradas não só sustentou o modelo territorial instalado, como também potenciou o seu incremento. Ao longo das estradas foram surgindo fábricas (e, fabriquetas), não raras as vezes de modo alternado com habitações e com as parcelas agrícolas – numa simbiose tão sublime que se torna impossível dizer "onde acaba a cidade e onde começa o campo" (Daveau, 1999a, p.897). Do ponto de vista da teoria económica, a atividade industrial neste território encontra-se organizada em distritos industriais ou em sistema flexíveis de produção, especializada em fileiras: o têxtil, no Vale do Ave e Barcelos; a madeira/mobiliário no Vale do Sousa; o calçado em Felgueiras e São João da Madeira; os moldes em Oliveira de Azeméis; e a cortiça em Santa Maria da Feira (Portas *et al.,* 2007). O comércio e os serviços seguiram igualmente a lógica da estrada, como bem patenteia a

proliferação de 'edifícios-montra', para todo o tipo de atividades, desde a restauração, à venda de automóveis, vestuário ou mobiliário (Portas *et al.,* 2007). Assim, aquando da revolução terciária tardia (após a adesão de Portugal à então Comunidade Económica Europeia), a concentração funcional subjacente não provocou a aglomeração de população, uma vez que o comércio e boa parte dos serviços já se tinham dispersado pelo território.

De acordo com Ribeiro e Ferrão (2014), no último meio século o Noroeste ficou marcado por ritmos de crescimento diferenciados no tempo: moderados entre 1950 e 1980, e marcadamente acelerados entre 1980 e 2010. Nestas últimas décadas verificaram-se profundas mutações, decorrente de intensos processos de urbanização: (i) por extensão-agregação, onde a expansão urbana se desenvolve a partir dos núcleos tradicionais e ao longo das infraestruturas viárias; e, (ii) por dispersão, nas áreas de transição urbano-rural, reforçado pela infraestruturação destes territórios. No primeiro caso trata-se de um crescimento por contiguidade, em que se verifica a ampliação dos núcleos existentes e a sucessiva ocupação e colmatação de espaços vazios ou dos interstícios urbanos. Por sua vez, a dispersão residencial foi motivada por processos de promoção privada assentes em loteamentos, incluindo vários de génese ilegal (Portas, 2012a).

Lado a lado à estrutura industrial (não raras as vezes, altamente tecnológica e muito especializada) continuam a surgir habitações, hortas e plantações agrícolas, mais ou menos mecanizadas e orientadas para o mercado. Neste último caso, destacam-se: (i) as vinhas, altamente geometrizadas, que se vão sobrepondo às tradicionais vinhas de enforcado; (ii) as plantações de kiwis, que proliferem desde há uns anos atrás; e, (iii) a produção de frutos silvestres (*e.g.*, framboesas, amoras, mirtilos), de cogumelos ou plantas aromáticas.

Recapitulando, nos dois últimos séculos as mudanças no território foram adquirindo ritmos cada vez mais rápidos, pelo que à estabilidade aparente da paisagem verificada no passado (fruto dos ritmos lentos de mudança) contrapõe-se o hiperdinamismo atual, consequência da globalização dos processos económicos e sociais. Esta dualidade de evolução ainda se encontra bem patente na paisagem, pois: por um lado, sobressai a fina filigrana de milhares de quilómetros de estradas e caminhos, na qual durante séculos se apoiou a construção, facilitada pela existência de uma infinidade de micro-proprietários (ainda que esta se tenha densificado muito na última metade do século XX); e, por outro, a malha larga das vias de alta velocidade e o seus nós, ora próximos ora afastados dos velhos núcleos tradicionais, que produziram novas aglomerações funcionais, onde o tempo se impõe ao espaço (Domingues, 2008). Assim, apesar de a paisagem continuar a ser

um elemento local, os fatores responsáveis pela sua construção deixaram de o ser (Domingues e Martins, 2015).

I – 5.2.3. Realidade Urbana Atual

A paisagem enquanto produto social acumula traços de variegada origem (Domingues, 2011b), que se desdobram em escalas, morfologias e diversidades funcionais muito distintas (Sá *et al.*, 2009). A este respeito, Portas (2012a) alerta que a pesquisa urbanística obriga a olhar para trás, enfatizando que 50 anos representam muito pouco na vida de um território. Efetivamente, a breve resenha histórica efetuada anteriormente patenteia bem a antiguidade da dispersão populacional no Minho – cujas raízes precedem claramente a Revolução Industrial do século XIX, como dão a entender Marques e Domingues (1987), ou mesmo Portas *et al.* (2007). Além disto, demonstra que as transformações do território decorrem e/ou acompanham as grandes revoluções operadas na sociedade, fruto de evoluções técnicas, científicas ou tecnológicas (DGT, 2015) – corroborando e reforçando que compreender um território equivale a conhecer as condições que o determinaram.

Desde logo, Ribeiro (1999) identifica duas situações cruciais para o desenvolvimento do modelo territorial do Minho: (i) a mais antiga, decorrente da revolução no povoamento e dos progressos gerais da agricultura na Época Romana; e, (ii) a segunda, milénio e meio depois, com a introdução do milho. Não obstante, podem-se ainda somar outras três circunstâncias: (i) a industrialização difusa, cujo Vale do Ave constitui o caso mais paradigmático; (ii) o advento e proliferação do automóvel privado, e consequente incremento da rede rodoviária; e, (iii) mais recentemente os processos de urbanização de iniciativa privada (*i.e.*, os loteamentos), que viabilizaram novas e velhas frentes de urbanas. Estas dinâmicas territoriais resultaram da conjugação e sobreposição de fatores económicos, sociais e políticos, quadros legais e institucionais, bem como de grandes interesses e de pequenos poderes (Domingues e Travasso, 2015), cuja importância relativa varia significativamente no tempo e no espaço. Com efeito, corrobora-se a asserção de Ribeiro (2013) que "o território difuso não é obra do acaso, é uma soma de pequenas transformações, ao longo do tempo, maioritariamente promovidas pelo Homem" (p.4).

Em verdade, o território assemelha-se a um palimpsesto, que vai sendo escrito e reescrito vezes e vezes sem conta, à medida que as várias *layers* de dispersão – como se de camadas de um Sistema de Informação Geográfica se tratassem – se vão sobrepondo. Em epítome, para descrever o modelo territorial atual do Minho recorre-se às palavras de Domingues (2007):

> "o Minho é tudo isto. Dos antigos castros, às vilas, às cidades históricas, à urbanização extensiva do território, aos nós metropolitanos por onde se tece a malha da globalização, existe um Minho urbano desdobrado numa nebulosa de construções e de lugares onde o novo e o (muito)velho se mistura com facilidade. Muda a sociedade e vai mudando com ela a fisionomia do território, mas nunca nada se apaga completamente. Basta encontrar um ponto de observação adequado e deixar de pensar que as paisagens se congelam nas memórias ou nas representações que delas se fizeram" (p.17).

Deste modo, ainda que vulgarmente se afirme que o povoamento do Noroeste de Portugal é disperso, fragmentado, descontínuo e de baixa densidade, Ribeiro e Ferrão (2014) alertam que uma análise mais atenta evidencia uma estrutura polimorfa, indiciando uma realidade mais complexa, visto que alternam locais com povoamento compacto com outros com o povoamento mais rarefeito. A extensa mancha urbano-industrial do Noroeste é estruturada por um conjunto de nós e de núcleos urbanos com diferentes morfologias e características funcionais, que não configuram uma hierarquia rígida (Ribeiro e Ferrão, 2014; Marques, 2015), mas sim uma estrutura urbana policêntrica difusa (Marques e Fernandes, 2008; Marques, 2015). Sem embargo ao destaque que a aglomeração metropolitana do Porto e mais a Norte a cidade de Braga alcançam, no restante território desenvolve-se uma ampla constelação de cidades como Viana do Castelo, Guimarães, Famalicão/Santo Tirso/Trofa, Vila do Conde/Póvoa do Varzim, Paredes/Penafiel e Santa Maria da Feira/São João da Madeira/Oliveira de Azeméis – que em uníssono formam uma 'cidade de cidades' (Marques, 2015). Coalescente a esta coroa urbana, o espaço construído proliferou pelo meio dos campos, seguindo ritmos, localizações e desenhos muito diversificados e fragmentados. A cidade espraiou-se no território, dando origem a uma 'outra cidade', comumente descrita (*e.g.,* Marques, 2015) como predadora de solo, pouco atenta aos espaços públicos e deficitária no que se refere a infraestruturas, equipamentos e serviços.

Finalizando, a lenta e continuada sedimentação "entre as condições naturais e as marcas sucessivas da sociedade, da sua historicidade, cultura e evolução tecnológica" (Domingues, 2017, p.50) traduziram-se no Minho numa paisagem fortemente humanizada, que permanece até aos dias de hoje híbrida: entre as formas pretéritas e as novas dinâmicas de uso – num quadro urbano

que dificilmente se dá pelo nome de cidade. Em concreto, a realidade urbana encontra-se fortemente polarizada entre a cidade reconhecível pela sua história (*i.e.*, a cidade com modelo) e as urbanizações sem história e sem modelo – *i.e.*, a 'outra' cidade. Ainda assim, o discurso político e técnico das últimas décadas tem girado sobretudo em torno da primeira, relegando para segundo plano a intervenção neste território extensivo, onde vive a maioria da população (Marques, 2015), dado que se idolatram os centros históricos, ao passo que tudo o resto é condenado ao 'caos', à banalidade e à anomia (Domingues e Travasso, 2015a). Este absentismo foi potenciado pela complexidade inerente a este modelo territorial, pois como referem Portas *et al.* (2007),

> "as descontinuidades dos contornos e também dos próprios fluxos e espaços públicos (que tradicionalmente mantinham a coesão física das sucessivas adições), bem como a diversidade das centralidades, densidades e morfologias, não têm paralelo no quase meio milénio de história urbana moderna que termina com o próprio modelo metropolitano (...)" (p.68).

Face ao exposto, a descrição e compreensão deste modelo territorial obriga à adoção de um novo léxico, marcado por palavras como hibridismo, transgénico ou exótico, como tem feito Domingues (*e.g.*, 2008, 2009, 2017), bem como à (re)formulação dos paradigmas urbanos (velhos e novos), pelo que mais adiante este assunto será retomado.

I – 5.3. Braga e Guimarães: Da(s) Cidade(s) ao Território

Da apertada rede urbana do Minho fazem parte velhas cidades eclesiásticas, de que Braga é exemplo maior, e a vetusta corte dos Condes de Portugal, a cidade de Guimarães (Ribeiro, 1995). Estas cidades constituem a sede dos municípios em estudo nesta investigação, pelo que o seu modelo territorial será alvo de uma análise mais detalhada. Antes de mais, salientar que no âmbito da presente investigação, o território de estudo nunca se poderia cingir apenas às cidades de Braga e de Guimarães – considerando a imprecisão da sua delimitação – optando-se por analisar a totalidade dos municípios. Assim, aos fatores já mencionados que sustentam esta opção, soma-se o facto de o concelho constituir uma unidade de relativa coesão e fixidez – nem tão pequeno como a freguesia, nem tão arbitrário como o distrito. De fundação antiquíssima, a sua circunscrição foi sendo respeitada ao longo das sucessivas reformas administrativa (salvo ligeiras

modificações), pelo que esta delimitação assente nas condições naturais do território, tem justificação local e continuidade histórica (Ribeiro, 1989b).

Os municípios de Braga e de Guimarães enquadram-se no contexto territorial do Baixo Minho (*vide* Figura I-46), descrito por Bandeira (2015) como:

> "um salpicado de edificado em policromado de tonalidades de verde. O povoado difuso, aqui e ali polvilhado por algumas coberturas mais antigas, e também mais novas, de unidades fabris a sobressaírem pela escala; o minifúndio dos campos de cultivo; as edificações mistas produtivas/residenciais, alternando com bouças densas de árvores. Do impressionismo pré-industrial da paisagem ao território da contemporaneidade, o quadro define-se com o expressionismo abstrato do fundo, sulcado pela estrutura cortante das novas vias rodoviárias" (p.21).

Ainda que os limites da cidade (ou vila) não sejam conhecidos (*i.e.,* passíveis de uma cartografia rígida), esta constitui – ainda nos dias de hoje – o elemento identificador e agregador do município, pois cada 'cidade' é uma entidade única, com biografia própria que traz a carga genética das civilizações que lhe deram origem (Ribeiro, 1994). Verdade seja dita, a "cidade é sempre um produto da História, quer resulte de uma evolução insensível e de certo modo espontânea, quer de um ato de vontade humana" (Ribeiro, 1994, p.71), pelo que que nenhuma poderá ser plenamente entendida sem o conhecimento da sua biografia. Em vista disso, procede-se de seguida à análise dos principais marcos cronológicos e processos estruturais que marcam a trajetória temporal de Braga e de Guimarães – comuns na terra, mas separadas pela História –, de modo a identificar as semelhanças, mas sobretudo para entender as diferenças na configuração urbana hodierna, não obstante o contexto territorial comum, descrito anteriormente.

I – 5.3.1. O Município de Braga

A maior parte das cidades (e vilas de carácter mais urbano) ascendem a um passado longínquo e conservam na escolha do sítio, estrutura ou aspeto marcas das diversas civilizações que presenciaram a sua existência (Ribeiro, 1994). Braga é um dos melhores exemplos desta asserção (Saraiva, 1987), pois a sua classificação como cidade encontra-se perdida no tempo, uma vez que não se conhece nenhum documento que o assinale (Salgueiro, 1992), sabendo-se apenas que nas Inquirições de 1527 já ostentava tal designação. A cidade apresenta uma "urbanidade

bimilenária praticamente contínua, que testemunha todos os capítulos da história urbana europeia" (Bandeira, 2015, p.11), sintetizados, em grande medida, na Sé Catedral, que foi sendo feita e refeita ao longo dos séculos. De referir, a título de curiosidade, que a ancestralidade deste núcleo urbano é comprovada pelo ditado popular – 'Mais velho do que a Sé de Braga' –, utilizado para indicar algo muito antigo.

Localizada no fundo de uma depressão amplamente aberta no vale do rio Cávado, foi capital do povo calaico – os Brácaros (Ribeiro, 1995) – e, mais tarde, romanizada sob o nome de *Bracara Augusta.* Efetivamnete, neste período romanização era sinónimo de urbanização (Bandeira, 2014). Para os Romanos, que preferiam o interior às orlas marítimas, Braga ocupava uma posição privilegiada na encruzilhada entre Lisboa, Porto e Tui, e com Astorga, pelo que foi escolhida para sede de um dos três *conventi* pelos quais se repartia o atual território português (Domingues, 2007). Objeto de uma planificação ortogonal, *Bracara Augusta* apresentava uma forma retangular, desenvolvendo-se em torno de dois eixos: um maior (650,30m) com orientação E/NE—W/SW, e um menor (461,76m) com orientação N/NW—S/SE (Martins e Ribeiro, 2014).

As invasões Bárbaras, e o processo de ruralização que se seguiu, ditaram a retração da exuberância de *Bracara Augusta*. Não obstante, esta cidade, herdeira das tradições administrativas romanas, constituiu a capital do efémero reino dos Suevos, e paralelamente continuou a ser sede de bispado (Salgueiro, 1992). Durante o domínio dos Suevos celebraram-se em Braga dois Concílios, um em 561 e outro em 572. Em 675 realizou-se um outro Concílio, mas já com a cidade sob o domínio dos Visigodos. O hiato temporal entre a invasão Árabe e a Reconquista Cristã foi bastante conturbado, no entanto, Braga terá permanecido um importante centro urbano, apesar de algumas fontes referirem que esta teria sido violentamente destruída aquando da invasão dos 'Mouros' (Ribeiro, 1995). Este território seria incorporado definitivamente no domínio dos cristãos no ano de 868, recuperando em grande medida a organização administrativa e religiosa (*i.e.*, paróquias rurais e dioceses) dos Suevos. Na Idade Média, Braga disputou com Santiago de Compostela o centro de maior peregrinação, sendo que entre os séculos XII e XIV (ou mesmo XV) a sua influência se estendia aos bispados do Porto, Coimbra e Viseu, além dos espanhóis de Astorga, Tuy, Lugo, Orense e Mondonhedo (Salgueiro, 1992) – dado que desde o século XIII detém o título de bispado Primaz das Espanhas.

Ainda durante a Baixa Idade Média Braga perde claramente o traçado romanos das ruas. Neste período, a cidade, inicialmente limitada pelas muralhas, expande-se para o espaço marginal às

ruas que permitiam o acesso às localidades vizinhas, e progressivamente espaços intersticiais vão sendo colmatados (Fontes e Fontes, 2002; Fontes *et al.,* 2005). No início do século XVI verifica-se uma importante ação urbanística, marcada pelo derrube da muralha medieval e pela abertura de novos 'campos' (*e.g.*, da Vinha, Carvalheiras, Hortas, Remédios, Santana), ainda hoje parte integrante da estrutura urbana (Martins e Ribeiro, 2014). Em paralelo a estas obras, empreendidas pelo arcebispo D. Diogo de Sousa, verifica-se o embelezamento das praças preexistentes, nomeadamente com fontes, que marcam o 'renascimento' de Braga (Salgueiro, 1992).

Como descrito, Braga foi desde sempre um importante centro religioso, comercial, administrativo e industrial, porém com uma população rural muito densa (Ribeiro, 1998), dado que a indústria apresentava uma forte tradição artesanal de produção de calçado, chapéus e móveis. Considerada a terceira maior cidade do país no início do século XIX (Salgueiro, 1992), foi escolhida em 1835 para sede de distrito, dos municípios de Esposende, Barcelos, Vila Nova de Famalicão, Guimarães, Vizela (à data incorporado em Guimarães), Fafe, Celorico de Basto, Cabeceiras de Basto, Vieira do Minho, Póvoa de Lanhoso, Terras de Bouro, Amares e Vila Verde. Ainda assim, e à semelhança de outras capitais de distrito, à data Braga apresentava uma função regional bastante fraca e, por vezes, disputada com outras cidades com similar relevância, nomeadamente Guimarães. Todavia, a sua importância regional foi sendo constantemente reforçada pela sua escolha para a localização de novas funções, como quartéis, tribunais, escolas ou universidades, que fomentaram a dependência funcional dos municípios sob a sua jurisdição. O crescimento regular das sedes de município, das quais Braga é bom exemplo, confirma a importância da atribuição de funções administrativas na evolução dos centros urbanos (Mattoso *et al.*, 1997).

Na segunda metade do século XIX o panorama urbano de Braga fica marcado pela chegada do caminho-de-ferro. Já no início do século XX, mais precisamente em 1911, Braga tinha 6091 locais de habitação com menos de 100 habitantes e 5920 casas isoladas, ao passo que Bragança tinha 151 e 238, respetivamente (Ribeiro, 1995). Contudo, no decorrer do século XX profundas transformações económicas, sociais e políticas promoveram a inversão do modelo de ocupação dispersa do território típica do Minho. No final dos anos 20, do século XX, "o governo deu azo a uma política de obras públicas que teve no urbanismo um dos seus principais modos de exteriorização política, particularmente no domínio legal, administrativo, e na inovação do desenho e da morfologia das cidades" (Bandeira, 2015, p.15), salientando-se em Braga a abertura da Avenida da Liberdade.

Em 1942, o Plano de Alargamento, Extensão e Embelezamento da Cidade de Braga (também conhecido como *Plan d´Aménegement et d'Extension de Braga – Avant Project*) surge como resposta à imposição em 1934 da figura do Plano Geral de Urbanização, que pretendia controlar o crescimento urbanístico. Este plano, desenvolvido por Étienne De Gröer (um dos principais urbanistas do Estado Novo), não chegou a ser aplicado na prática, pois quando terminado já não tinha alcance legal (Câmara Municipal de Braga, 2014). Subordinado ao modelo da cidade-jardim, o plano salientava as virtudes do zonamento social e funcional do solo urbano, cumprindo as medidas higienistas e de salubridade impostas às novas localizações. Seguindo a descrição de Bandeira (2015, p.17), "este plano propunha-se implementar uma via circular à cidade que, simultaneamente, conteria a expansão urbana, relegando para a periferia a fixação de núcleos satélites rurais". Vale ressalvar que, desde cedo o município de Braga adotou uma política de aquisição prévia do terreno necessário à expansão urbana, cedendo aos habitantes os direitos de superfície (Bandeira, 2015). Deste modo, o município promove diretamente o desenvolvimento urbano, encarado não raras as vezes como sinónimo da melhoria das condições económicas e habitacionais, por via da transformação do espaço físico (Salgueiro, 1992; Carvalho, 2016).

No início da segunda metade do século XX, a cidade de Braga expande-se para Sul, particularmente ao longo da Avenida da Liberdade, chegando à ponte sobre o rio Este. Esta rodovia integrou alguns princípios do urbanismo moderno patentes na Carta de Atenas, tendo-se aqui instalado uma nova área industrial, bem como moradias de classes mais abastadas e bairros de habitação social promovidos pelo Estado. Neste período, a abertura da rodovia de Braga constituiu elemento estruturante da urbanização, permanecendo até 1999 (ano de conclusão da circular urbana) a única via rápida de atravessamento Este-Oeste da cidade (Bandeira, 2015).

O Plano Parcial de Urbanização Sul de Braga de 1958, do engenheiro Miguel Resende, assumido como revisão do Anteplano (Bandeira, 2015, p.18), regeu o surto de crescimento urbano que se verificou nos anos 60, fruto do desmantelamento das quintas rurais que deram lugar a novos bairros residenciais. Entre os novos projetos destacam-se a Urbanização da Quinta da Capela (1961) e o Loteamento do Sol Posto (1966), à saída da estrada para Barcelos (Bandeira, 2015). A partir deste momento a cidade de Braga deixa de estar circunscrita às sete freguesias tradicionais do centro – Cividade, Maximinos, São João do Souto, São José de São Lázaro, São Vicente, São Vítor e Sé (Figura I-48) –, estendendo-se para as freguesias limítrofes (Bandeira, 2015), o que obrigou à revisão e alargamento do perímetro urbano. Na prática, este alargamento apenas ocorreria em 1974. Ainda neste período, mas no setor Leste da cidade a abertura da nova

estrada para o Bom Jesus, reaviva o surto expansionista que já se fazia sentir desde o último quartel do século XIX (Bandeira, 2015).

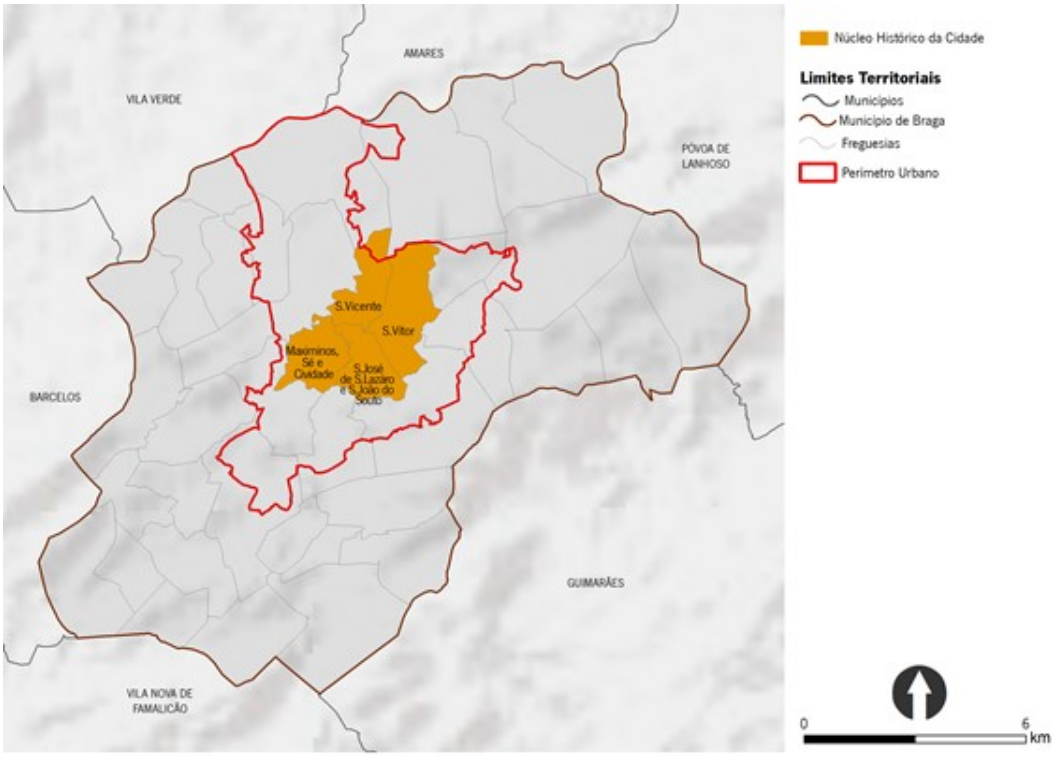


Figura I-48 – Centro histórico da cidade Braga e atual perímetro urbano

Com a Democracia, possibilitada pela 'Revolução dos Cravos' a 25 de abril de 1974, as câmaras municipais adquirem novas competências, decorrentes da criação do poder autárquico autónomo, e principalmente da Lei das Finanças Locais em 1979. Deste modo, ainda na década de 70 Braga regista uma taxa de crescimento de 25%, e pela primeira vez a cidade passa a ter mais habitantes do que o resto do município (Bandeira, 2015). Tal como acontecera na década anterior, o crescimento da cidade é feito à custa das áreas agrícolas circundantes, designadamente a Quinta Sotto Mayor, Fujacal, Carandá e Parretas; e, verifica-se ainda a criação de novos bairros de habitação social, nomeadamente o das Enguardas e o de Ponte dos Facões. Neste seguimento, cinturão de áreas agrícolas, que efetuava a transição entre a cidade de Braga e o rio Este, foi desaparecendo por via da ocupação sucessiva dos terrenos pelas estruturas urbanas, desde habitação, indústria, armazém até equipamentos públicos (Bandeira, 2015), até restar somente o leito do rio. Por sua vez, no centro histórico verificou-se um aumento da compacidade, por via da construção no interior dos logradouros e do aumento da volumetria.

A instalação da Universidade do Minho em 1973 desencadeou nas décadas seguintes uma transformação radical da dimensão física da cidade, assim como da sua estrutura funcional (Fontes *et al.,* 2005). O Plano de Reestruturação do Território Municipal de 1982, decorrente de um protocolo da Câmara Municipal com a Cooperativa de Estudos de Arquitetura, Planeamento e Engenharia (CEAPE), procurou com base numa abordagem dinâmica – do tipo 'solicitação–resposta' – adequar os objetivos do plano à realidade territorial e imprimir coerência a várias intervenções (Câmara Municipal de Braga, 2014). Este plano promovia o desenvolvimento da cidade ao longo de dois grandes eixos: NE-SW e N-S. Neste sentido, enquanto o limite Norte e Noroeste era estabelecido naturalmente pelas características do território, a Sul constatava-se uma maior dificuldade na preservação das áreas agrícolas do Vale do Rio Este. Com efeito, por forma a controlar o crescimento urbano, a cidade de Braga era definida concetualmente: (i) pela área central do município (que na essência correspondia à *urbe* de D. Diogo de Sousa, complementada com as intervenções do barroco tardio); (ii) pela estrutura linear decorrente da (atual) Rodovia que liga Maximinos a Gualtar; e, (iii) por uma área de colmatação urbana a Norte (Câmara Municipal de Braga, 2014).

No exterior da cidade (delimitada pelo perímetro urbano), a autarquia previa: (i) em Lamaçães, Nogueiró e Tenões a estagnação do crescimento, dado que estas áreas se dividiam entre os terrenos de uso agrícola e as vertentes com inclinação superior a 15%, de modo a salvaguardar a zona de proteção ambiental e paisagística do Bom Jesus e Sameiro; (ii) em Ferreiros, Gualtar, Lomar e Nogueira a expansão urbana, uma vez que estas freguesias eram atravessadas pelas principais vias de ligação da cidade aos municípios envolventes; (iii) em Dume e Gondizalves, que (à data ainda) estavam separadas do tecido urbano por manchas de terrenos de fortes pendentes ou de capacidade agrícola, o reforço do crescimento junto da estrada para Barcelos (encarada como expansão própria da cidade); (iv) em Semelhe, face à diminuta população, um perímetro de expansão muito limitado; (v) em Fraião e Real, um crescimento contínuo em direção à cidade; e, (vi) em Celeirós e Palmeira, devido à localização em relação a eixos regionais da rede principal e posição no contexto do território municipal, o desenvolvimento de núcleos de 2ª ordem à escala concelhia. Paralelamente, foram implementadas medidas com vista à descentralização de equipamentos e indústria (Câmara Municipal de Braga, 2014).

No sentido de concretizar a estratégia de desenvolvimento da cidade preconizada no Plano de Reestruturação do Território Municipal de 1982 e garantir a qualidade habitacional e das infraestruturas, a Câmara Municipal de Braga (diferentemente do verificado na generalidade dos

municípios portugueses) adquiriu uma significativa quantidade de terrenos, recorrendo a acordos e expropriações. Deste modo, iniciativa privada era conduzida pela estratégia de desenvolvimento concelhio, na medida em que a Câmara disponibilizava terrenos infraestruturados e com os projetos de urbanização semiaprovados – o que permitiu o controlo da especulação imobiliária (Câmara Municipal de Braga, 2014).

No final do século XX, o crescimento do núcleo central de Braga subordina-se a duas fases: (i) na década de 1980, segue a estrutura axial estabelecida, pela veiga do rio Este, entre Maximinos e Santa Tecla, e pelo eixo meridiano Enguardas/Nogueira; e, (ii) na década de 1990, embora prosseguindo a consolidação das áreas anteriores, estende-se também a Leste, no eixo constituído pelas avenidas Júlio Fragata/Frei Bartolomeu dos Mártires (ponto de concentração das grandes superfícies comerciais) e pela Rua António Macedo, num processo sobretudo aberto ao quadrante Norte, que se acentuou até ao virar do século (Bandeira, 2015).

Em 1994 é aprovado o primeiro Plano Direto Municipal (PDM), cuja homologação com a Resolução do Conselho de Ministros n.º 35/94, de 20 de maio constituiu a primeira do distrito. Na prática, o PDM decorreu da adaptação à legislação vigente do Plano de Reestruturação do Território de 1982. Este plano estabeleceu o regime de uso do solo, por via do zonamento e de índices quantitativos, para todo o território concelhio. Além disto, procurava a correção das assimetrias territoriais, a partir da diversificação funcional nas freguesias limítrofes (Câmara Municipal de Braga, 2014). Todavia, esta versão do PDM pressupunha uma oferta excessiva de solo urbanizável – transversal à quase totalidade do PDM elaborados à data (Pinho, 1995) –, pelo que a entrada no novo milénio fica marcada por taxas de crescimento elevadas, fruto da proliferação de loteamentos por todo o município. Consumando-se em "1/3 do concelho considerado urbano, 164 000 habitantes, um crescimento de 30% nas últimas três décadas, e 2/3 do edificado com menos de 30 anos" (Bandeira, 2015, p. 19). Uma vez mais, o desenvolvimento urbano ocorreu à custa do loteamento de antigas quintas agrícolas, embora em alguns casos os vestígios da sua existência já se encontrassem quase apagados, como acontecia na Quinta da Reguenga urbanizada em 2002. Ainda assim, esse passado agrícola foi utilizado como elemento de propaganda imobiliária (Figura I-49), que procurava enfatizar o velho bucolismo do campo enquanto paraíso e lugar de evasão do quotidiano, para os urbanos (Domingues, 2011a).



Fonte: Carvalho (2016)

Figura I-49 – *Outdoor* anunciando a venda de lotes decorrentes do desmantelamento da Quinta da Reguenga em 2002

O crescimento urbano acelerado que se verificou nas décadas de 80 e 90, do século XX, potenciou o desenvolvimento do setor da construção (Carvalho, 2016), que só foi resfriado pela crise económica do final da primeira década do século XXI (Bandeira, 2018). Durante estas décadas, Braga foi diversas vezes agraciada pelo seu desenvolvimento ímpar, nomeadamente ao nível da inclusão social, dado que a massificação da construção possibilitou a diminuição do preço da habitação. Neste caso, o número de construções foi utilizado como indicador de progresso local, ainda que muito deste desenvolvimento não tenha sido acompanhado das necessárias infraestruturas públicas, como parques, jardins, entre outras instalações de lazer e culturais (Carvalho, 2016).

Em Braga os espaços verdes permaneceram limitados a rotundas e a pequenas porções de terreno sobrante entre as vias e o edificado e a principal área verde de fruição visual a partir da cidade – *i.e.*, a encosta do Bom Jesus – foi sendo, também ela, sucessivamente urbanizada. Este surto de edificação foi acompanhado da construção de inúmeras vias rodoviárias, também estas encaradas como sinónimo de desenvolvimento (Figura I-50).



Fonte: Carvalho (2016)

Figura I-50 – *Outdoor* colocado na cidade de Braga em 2001

A primeira revisão do PDM, aprovada em 2001 (Resolução do Conselho de Ministros n.º 9/2001, de 30 de janeiro), tinha sido deliberada já em 1996, no sentido de dar resposta a deficiências do plano entretanto encontradas, nomeadamente (Câmara Municipal de Braga, 2014): (i) as que decorriam da inexistência e/ou desatualização de bases cartográficas e de indicadores estatísticos fidedignos; (ii) a necessidade de revisão das Cartas da Reserva Ecológica Nacional (REN) e da Reserva Agrícola Nacional (RAN), decorrentes de erros e omissões na sua delimitação; e, (iii) a redefinição das Unidade Operativas de Planeamento e Gestão, sujeitas à elaboração de um Plano de Pormenor.

Em 2008 a autarquia inicia novamente o processo de revisão do PDM, por modo a dar respostas às mudanças legais e físicas do território. A versão atual do PDM, aprovada em 2015 (Aviso n.º 11741/2015, de 14 de outubro), marca uma alteração do paradigma urbano, pois em vez do crescimento urbano quantitativo passa a valorizar critérios qualitativos de desenvolvimento económico, a regeneração urbana, assim como a reabilitação do património cultural e natural (Bandeira, 2015). Nesta versão do PDM, o modelo estratégico de desenvolvimento territorial passa pelo reforço do caráter centrípeto do município, com base em ações de colmatação urbana em áreas expectantes e de requalificação em áreas degradadas. Neste contexto, encontram-se

definidas quatro áreas de reabilitação urbana (ARU), uma relativa ao centro histórico e as restantes destinadas ao tecido urbano consolidado, denominadas ARU – Braga Sul, ARU – Braga Nascente e ARU –Braga Norte (Município de Braga, 2019). A estratégia de contenção do perímetro urbano, transversal a grande maioria dos PDM de 2ª Geração entretanto aprovados, decorre das dinâmicas regressivas do crescimento populacional, do excesso de oferta de habitação e dos elevados custos de infraestruturação (e de manutenção) do território que as políticas das décadas anteriores implicaram (Câmara Municipal de Braga, 2014).

Atualmente, fora do contexto das áreas metropolitanas, Braga afigura-se como a principal cidade de média dimensão em Portugal, ainda assim, para Fontes e Fontes (2002) permanece uma cidade monocêntrica, pois à parte do centro histórico, tudo é periferia. Recapitulando, o crescimento de Braga, embora espontâneo, foi-se alicerçando num sistema de anéis e de radiais, pelo que o anel que se localizava junto às muralhas, foi avançando paulatinamente, fixando-se numa primeira fase na rodovia e depois na circular urbana – porém, reproduzindo sistematicamente um padrão de crescimento em estrela (Fontes e Fontes, 2002). Por outras palavras, partindo do centro, a estrela agarra-se às vias, ocupando gradativamente o espaço entre elas, numa intensidade que decresce à medida que a distância ao centro da cidade e ao eixo da via aumenta. Deste modo, as inúmeras igrejas, solares e largos existentes no centro histórico, de traçado maioritariamente gótico, foram totalmente envolvidas pelos prédios modernos. A nova expansão urbana, dividida entre a construção de habitações, autoestradas e zonas industriais, estende-se até Vila Verde, Barcelos e Amares (Domingues, 2007).

A expansão urbana nas encostas meridionais do município de Braga, particularmente do Bom Jesus e do Sameiro, foi maioritariamente empreendida pela classe com rendimentos mais elevados, devido à vista sobre a cidade (Bandeira, 2015). Surgiram assim moradias unifamiliares de elevada qualidade, com piscina e até campo de ténis, evidenciando fortes contrastes entre moradores antigos e novos. As novas conexões rodoviárias reforçam a posição estratégica de Braga, já aproveitada pelos Romanos, cuja área de influência interfere com a do Porto, alargando-se pelo Centro e Norte do Minho. Efetivamente, os nós rodoviários constituem as principais portas de entrada da cidade – sendo que "a cidade de Braga é hoje um emaranhado de vias" (Fontes e Fontes, 2002, p.30), que apenas pode ser claramente percecionado quando visto do céu.

Os parques industriais encontram-se distribuídos por todo o concelho, embora alinhados sobretudo ao longo de um eixo em crescente – W/NW/N/NE. Estes parques resultam da política de ordenamento iniciada em 1970, "assente no pressuposto de que as autarquias deveriam criar condições favoráveis à fixação das indústrias" (Bandeira, 2015, p.88). Presentemente, existem mais de três dezenas destes parques empresariais, no entanto, estes reproduzem claramente o desenho geométrico dos lotes em que estão instalados, não superando a estrutura empresarial minifundiária. Além do que, proliferam os lotes vazios que, para Bandeira (2015), urge colmatar e reabilitar. As escarpas da pedreira do Monte Calvelo provocam profundas incisões na paisagem no setor Norte de Braga, destacando-se igualmente o novo centro comercial e os seus acessos rodoviários (Bandeira, 2015).

Em Braga, com o afastar do núcleo histórico, dilui-se a compacidade e incrementa-se a complexidade das estruturas urbanas, fruto da interpenetração entre o urbano e o rural típica da urbanização difusa, que nas franjas do concelho, mais agrícola a Norte e florestal a Sul, ainda vai tendo lugar. Nas margens do rio Cávado, que estabelece o limite Norte do município, é visível a vegetação frondosa, bem como fecundas veigas agrícolas, intensamente lavradas, no entanto, também esta paisagem vai sendo intervalada por empreendimentos turísticos, residências unifamiliares e praias fluviais (Bandeira, 2015). De facto, as características outrora marcadamente rurais destes trechos de territórios vão desvanecendo ano após ano, e somente nos locais de maior altitude vai resistindo um cinturão verde. A este respeito, destacar os três Sacromontes – Bom Jesus, Sameiro, Santa Maria Madalena/Santa Marta na Falperra – cuja designação advém do conjunto de templos religiosos aí construídos.

I – 5.3.2. O Município de Guimarães

Guimarães apresenta raízes menos antigas quando comparada com Braga, dado que as suas origens remontam apenas ao século X, quando a condessa Mumadona Dias mandou construir um mosteiro e um castelo para defesa da população local (Domingues, 2007). Sem embargo, quando se considera uma envolvente mais ampla, de notar que já no período Castrejo o território que compreende o atual município de Guimarães já se encontrava povoado, como comprova a existência da Citânia de Briteiros (considerada uma cidade à época) e o Castro de Sabroso.

No século XII a cidade Guimarães assume claro destaque no panorama nacional ao ser escolhida pelos Condes de Portugal para a instalação da sua Corte (Ribeiro, 1994). Esta opção repercute-se de modo inequívoco na trajetória temporal deste burgo, pois Guimarães ficará para sempre na história como o berço da nacionalidade portuguesa. A par disto, Guimarães foi desde sempre um importante pólo industrial, particularmente associado: (i) ao linho, com antiga tradição artesanal; (ii) aos curtumes, com produção localizada; e, (iii) à cutelaria e fabrico de pentes, com uma localização mais ocasional (Ribeiro, 1995). Mais recentemente, a indústria têxtil (fiação, tecelagem e confeção) assumiu o domínio da produção industrial. Efetivamente, o setor produtivo sempre deteve (e continua a deter) uma importância significativa na economia do concelho, alterando-se apenas a matéria-prima que passou no linho no período medieval para o algodão e as fibras sintéticas no período histórico mais recente.

Para Portas (2012c) "Guimarães é, por um lado, cidade canónica de matriz medieval e, por outro, parte maior de uma região urbanizada de base industrial, também já secular" (p.13). Por conseguinte, este município constitui um dos melhores exemplos da tensão entre a aglomeração (na cidade canónica) e a dispersão (no restante território), uma vez que o crescimento urbano em Guimarães desde sempre assentou neste dualismo de processos e formas urbanísticas, aparentemente opostos: a 'cidade extraordinária' (ou com modelo) e a 'urbanização ordinária' (ou sem modelo). Todavia, importa ler e interpretar como complementares na história profunda de dez séculos, com particular destaque para os últimos dois (Figura I-51).



Fonte: Baseado em Portas (2007, 2012c).

Figura I-51 – Dualidade da urbanização no município de Guimarães

A malha urbana vimaranense decorre da acumulação de traçados e sinais dos tempos, numa justaposição e sobreposição muito diversa, resultante da incontinência do seu crescimento (Jorge, 2012). Neste quadro, o fator tempo representa um elemento fundamental para a compreensão das formas que o suportam (Ribeiro, 2013), nomeadamente a coexistência de assentamentos urbanos e rurbanos (Portas, 2012c).

Cidade Canónica

Por contraponto à indefinição das áreas com urbanização difusa da conurbação urbana onde se insere, a 'extraordinária' cidade de Guimarães emerge na paisagem, destacando-se pela sua aglomeração e definição do núcleo (Portas *et al.,* 2007; Domingues, 2007; Portas, 2012c). As origens da cidade encontram-se entre o Mosteiro mandando erigir por Mumadona Dias (hoje a Colegiada da Nossa Senhora da Oliveira) e o castelo, em volta dos quais se desenvolve, numa primeira fase, dois núcleos urbanos: a Vila Alta, junto ao castelo, e a Vila Baixa, na envolvente do Mosteiro (Ribeiro e Melo, 2014). Estes dois núcleos séculos mais tarde acabam por se fundir, formando apenas um burgo.

No século XIII, no interior do perímetro muralhado do burgo de Guimarães individualizam-se três núcleos: (i) no ponto mais elevado, da extremidade Norte, o senhorial e militar; (ii) na área central, o religioso e cívico, onde além da Colegiada e de outros institutos religiosos, se localizava a Câmara Municipal; e, (iii) a Oeste e Sul, o núcleo burguês junto às duas portas mais importantes do ponto de vista funcional. Nos terrenos adjacentes às muralhas, mas já extramuros, situava-se a Sul e a Sueste dois amplos rossios, um dedicado a juntar os gados, o Toural, e outro destinado ao mercado, o Campo da Feira (Gaspar, 1996), que ainda nos dias de hoje constituem espaços abertos (*i.e.,* não edificados). De igual modo, indústria de curtumes – devido à sua insalubridade – desde cedo, forçou o crescimento urbano extrínseco a esta delimitação (Domingues, 2007; Neves, 2012), como anteriormente mencionado. Esta situação comprova que na Idade Média Guimarães constitui uma urbe florescente (diferentemente do que sucede com Braga), dada a economia diversificada e robusta, alicerçada tanto na indústria de curtumes, linho, cutelaria, pentes, como na agricultura (Gaspar, 1996).

No início do século XVII o Largo Toural, atualmente considerada a praça central da cidade, ainda se localizava extramuros, atestando bem o crescimento contíguo que se verificou no núcleo urbano central desde essa data. Sem embargo, no final desse século a Rainha D. Maria I autoriza a construção a todo o correr da muralha (*i.e.*, o lado nascente do Toural), seguindo a edificação o estilo pombalino (Fernandes, 2002, 2004). A expansão da cidade de Guimarães seguiu preferencialmente as saídas para Santo Tirso e Famalicão (Fernandes, 2002), aproveitando os antigos caminhos rurais, que as sucessivas vagas de infraestruturação foram transformando em estradas, numa primeira fase, e em ruas, mais recentemente. Deste modo, o crescimento urbano assume uma forma próxima da estrelar (como sucede em Braga), deixando, no entanto, grandes espaços vazios entre os braços da estrela (Salgueiro, 1992).

No século XIX, fruto do processo de industrialização, a cidade de Guimarães adquire maior notoriedade no panorama nacional (Salgueiro, 1992) – alcançando mesmo o estatuto de cidade a 22 de junho de 1853. Para este reconhecimento foi de igual modo determinante a realização da Exposição Industrial em 1885 e a abertura de uma das primeiras escolas industriais do país – a Escola Francisco de Holanda. Ainda neste período, destaca-se a elaboração do Plano de Melhoramentos (1867) da autoria do engenheiro Manuel de Almeida Ribeiro. Segundo Fernandes (2004) este plano, focado na melhoria das condições de circulação e de higiene urbana – por via de alterações nas ruas, em termos de traçado (mais retilíneo) e de largura (mais amplas), ou da demolição de edifícios – procurava igualmente o aformoseamento da cidade.

Cronologicamente, segue-se o Plano de Alargamento (1923-1925), sob alçada do Capitão vimaranense Luís de Pina, destinado a orientar o crescimento de Norte para Sul a partir da Praça da Mumadona, segundo um traçado radioconcêntrico, com a qual se articulava um prolongamento para Norte em quarteirões retangulares (Gaspar, 1996). Ainda no decorrer do século XX a Vila Alta (que se desenvolvia nas imediações do Castelo) foi sendo sucessivamente eliminada, e como enfatiza Saraiva (1987) o "que já foi vila agora é jardim" (p.78), denominado Colina Sagrada. Esta situação comprova que a morfologia e estrutura urbana dos núcleos históricos, desenvolvida sob os auspícios de outros contextos e funções, muitas das vezes deixam de fazer sentido na conjuntura social e económica vigente. Além disto, coloca em evidência que a evolução espaciotemporal das áreas urbanas, apesar de maioritariamente determinada pelo crescimento urbano, pode em alguns contextos decorrer precisamente do processo inverso.

Somente após a Segunda Guerra Mundial é que o território vimaranense é alvo de nova planificação, nomeadamente no âmbito do Plano de Crescimento (1949), dos arquitetos Moreira da Silva e Arménio Losa. Este plano enquadrou algumas obras do Estado Novo, nomeadamente as encetadas no quadro das políticas de habitação do regime para os diferentes grupos sociais (Gaspar, 1996). De frisar que, os planos territoriais elaborados até esta data se confinavam ao núcleo urbano central de Guimarães, ignorando o restante território concelhio. Somente em 1982 com o Plano de Geral de Urbanização, da responsabilidade do arquiteto Fernando Távora, é que a intervenção planeada no território se estende para além âmbito perímetro urbano *stricto sensu*, chegando a abranger a vila industrial de Pevidém (Gaspar, 1996). A universalização do território alvo de planeamento apenas se começa a ponderar com a elaboração das Normas Provisórias (1983-1986), orientadas pelos arquitetos Nuno Portas e Manuel Fernandes de Sá, consubstanciadas na prática com a aprovação do primeiro PDM em 1994.

Nas últimas décadas, a expansão da cidade da Guimarães assentou na construção de grandes conjuntos de blocos multifamiliares situados entre o núcleo histórico da cidade e a circular urbana, que acentuaram ainda mais a dicotomia entre a cidade consolidada e o restante território urbanizado (Portas *et al.*, 2007). Concomitantemente (e, quase paradoxalmente), as atenções do executivo municipal voltaram-se para o centro histórico, onde a partir de intervenções no espaço público e no edificado, se procurou a revitalização funcional e económica do espaço central da cidade. Desde então, a reabilitação urbana tem sido encarada como parte integrante do processo de construção da cidade, e não uma consequência das circunstâncias físicas, económicas e culturais de um determinado momento. Tanto mais que, estas ações, inicialmente confinadas ao

núcleo histórico intramuralhas, se estenderam nos anos mais recentes à denominada Zona de Couros, 'resgatando' uma parte da cidade abandonada e marginalizada (PEDU, 2015). De acordo com a fonte anterior, no futuro a estratégia passa por alargar igualmente este processo às Vilas, por via operacionalização das Áreas de Reabilitação Urbana (ARU) – nove no total, uma no centro urbano e as restantes oito nas Vilas do município, abrangendo uma área total de 61ha.

Graças à reabilitação urbana Guimarães foi merecedora do galardão da UNESCO – que reconheceu o centro histórico como Património Mundial da Humanidade em 2001. Esta classificação ampliou a notoriedade internacional de Guimarães (Portas, 2012a), tendo sido determinante na escolha da cidade para o acolhimento da Capital Europeia da Cultura em 2012. Deste modo, a reduzida importância que Guimarães assume no panorama nacional no final do século XX – note-se que em 1981 não figurava entre os 25 centros urbanos mais importantes do país, enquanto Braga se posicionava em sexto lugar (Salgueiro, 1992), o que segundo Gaspar (1996) se devia em parte ao facto de "estar 'entalada' entre a primazia religiosa e simbólica de Braga e a força burguesa do Porto" (p.1) – começa paulatinamente a ser suplantada. De facto, tanto Gaspar (2005), como Soares (2005) apontam Guimarães como um bom exemplo no que se refere ao ambiente urbano e à qualidade de vida, por proporcionar uma vivência equilibrada. Ademais, Soares (2005) salienta que Guimarães se encontra próxima do modelo ideal, pelo que constituirá no futuro um importante polo de atração de recursos.

Como refere Jorge (2012), a cidade de Guimarães absorveu a paisagem, tal como a paisagem acolheu a cidade, pois esta rodeada por montes e colinas verdejantes, integra bosques, matas, jardins e espaços verdes, que por todo o lado se abrem à fruição pessoas, humanizando a vivência urbana. Em síntese, a imagem contemporânea da cidade de Guimarães (por falta de melhor terminologia) reflete idades e morfologias muito distintas, evidenciadas tanto por ruturas e como por contínuas harmonias. Em virtude disso, Fernandes (2004) salienta que "sem sair de Guimarães, é possível ilustrar quase todo o urbanismo português" (p.1).

Urbanização Ordinária

À parte do núcleo urbano central (a dita cidade), o município de Guimarães apresenta uma vasta mancha urbanizada de base industrial, cuja extensão e complexidade levam a que seja considerado o caso mais paradigmático da dispersão (Portas, 1986, 2005). Desta forma, o modelo

singular como a industrialização se processou em Guimarães (à semelhança do restante Vale do Ave), determinou de forma inequívoca a atual estrutura urbana, dado que o povoamento rural de matriz dispersa, já secular, foi sendo sucessivamente reforçado. Assim, a promiscuidade da agricultura (adjetivo utilizado para qualificar a mescla da agricultura tradicional minhota) estendeu-se a todo o território e intensificou-se, numa paisagem onde tudo se mistura numa variedade de usos e de edifícios, na qual não se tem a noção clara do onde e quando se entra ou sai da cidade (Domingues, 2007), como referido anteriormente.

A representação mais comum da Revolução Industrial encontra-se associada ao aumento da urbanização na periferia das cidades – resultado da construção quer de grandes edifícios para a instalação das fábricas, quer de bairros para acolher os operários –, e ao consequente abandono das áreas rurais e da agricultura. Note-se, porém, que nem tudo aconteceu como na Inglaterra (Domingues, 2011b; Domingues e Screpanti, 2015), constituindo o Vale do Ave um dos exemplos de maior exceção. Lembrando que já no século XVI, decorrente da elevada densidade populacional e das boas vias de comunicação, Guimarães constituía um importante polo regional de produção industrial, ligado ao cultivo e fiação do linho, como sublinha a seguinte descrição de Alberto Sampaio (1884),

> "é preciso percorrer todo o concelho, é preciso atravessar os vales e subir pelas vertentes das montanhas, para ver que é rara a cabana em que não se houve o som seco e alternado do tear, ou o som constante monótono da roda na dobagem do algodão ou enchimento de canelas" (p.238).

A habitação era, simultaneamente, o posto de trabalho, comprovando a antiguidade da dispersão do trabalho ao domicílio, que fomentou não só o desenvolvimento da pequena indústria, como também o trabalho precário (Silva, 2012). Para Alves (1999), é nesta 'indústria-doméstica', mais do que nas teorias de segmentação, que reside a explicação para as fórmulas de subcontratação de microempresas de natureza precária no qual assenta o setor têxtil do Ave.

No final do século XIX, a tradicional indústria do linho começa, gradualmente, a dar lugar ao algodão, porém as características das estruturas predecessoras mantêm-se. Na prática, apenas se opera uma reconversão dos teares de linho para o algodão, pelo que esta primeira fase de industrialização no Vale do Ave se caracteriza, essencialmente, pela passagem da manufatura para a maquinofatura (Domingues, 2015b). O incremento da indústria algodoeira, e consequente retração do linho, libertou os campos agrícolas para o cultivo de cereais, mais lucrativo e menos

trabalhoso (Silva, 2012). Neste período, as maquinofaturas passam a trabalhar paredes meias com os teares caseiros, numa convivência permanente (até aos dias de hoje) de fábricas, casas, campos, hortas, estradas e caminhos-de-ferro (Domingues, 2011b) – constituindo a compatibilização dos edifícios fabris com as estruturas minifundiárias da região uma das características mais marcantes do processo industrial do Vale do Ave. Esta proximidade permitiu às famílias camponesas aceder ao salário industrial por parte de alguns dos seus membros, sem terem de abandonar os trabalhos agrícolas, que continuavam a garantir neste período boa parte da subsistência da família (Alves, 1999).

A chegada do caminho-de-ferro a Guimarães em 1882 foi uma peça fundamental para a viabilização da industrialização difusa, pois permitia abastecer as fábricas com a matéria-prima, bem como escoar o produto final. No Vale do Ave assiste-se, então, a uma improvável inversão, contrária a toda a lógica, pois é a indústria que vai ao encontro da mão-de-obra e não o inverso, como seria de esperar (Silva, 2012). Além de que, como os operários do Vale do Ave residiam no mundo rural (e, como tal, mais distante das fontes de informação intrínsecas às áreas urbanas), rapidamente ganharam fama de serem conformistas e não reivindicativos, situação aproveitada pelos empresários do Porto, particularmente no seguimento das greves de que ocorreram no início do século XX (Silva, 2012). De facto, tal como salienta Barreto (2013), a liberdade nasce na cidade e não no campo. A deslocalização das empresas do setor têxtil do Grande Porto para o Vale do Ave veio acentuar ainda mais a industrialização do campo, bem como a densificação da rede viária e do povoamento de origem rural – minimizando a saída de população para os grandes centros urbanos próximos, como é o caso do Porto. Desde sempre, a industrialização funcionou como um motor da economia, pela criação de emprego, e de urbanização, pois fixa (e atrai, ainda que em menor número) população.

Além disto, a disseminação da indústria pelos campos permitiu aos operários fabris manter a residência na velha casa rural dos pais, pouco a pouca alargada e melhorada, bem como a manutenção de uma certa atividade agrícola (horta, vinha, pequena criação), que apesar de não ser mais a atividade dominante, continua a representar um importante complemento aos baixos salários e uma segurança face a possíveis períodos de desemprego" (Daveau, 1999c). De notar que, a segurança do emprego nos finais do século XIX, início do século XX, era muito precária, pois o mercado interno era reduzido, assim como o peso das exportações, salvo em situações de conflito como sucedeu no período Primeira Guerra Mundial (1914/1918), da Guerra Civil Espanhola (1936/1939) e da Segunda Guerra Mundial (1939/1944). Além disto, em 1931 foi

instituído o regime de condicionamento industrial (incluindo o têxtil), que somado ao facto de a indústria poder utilizar somente o algodão que provinha das colónias – manifestamente insuficiente – obrigava muitas das vezes as fábricas a trabalhar abaixo da sua capacidade (Pinheiro *et al.*, 2010).

Em Guimarães (como no restante Vale do Ave) desenvolve-se um modelo territorial assente no poliedro casa-trabalho-horta num raio curto (Figura I-52), que permite a compatibilização da ocupação doméstica e industrial da mulher, que constituiu desde sempre a força do trabalho do setor têxtil (Marques e Domingues, 1987). Para este poliedro contribuiu ainda o facto de muitas das unidades de produção surgirem em espaços contíguos à habitação, seja no piso do rés-do-chão, nas garagens ou em anexos (Silva, 2012) – seguindo uma lógica tipicamente minhota da plurifuncionalidade (seja, dos campos, das habitações ou mesmo das estradas, como adiante se evidencia). De acordo com Silva (2012), a resistência e fixação social no espaço agrícola, a imobilidade geográfica, a fraca rede de transportes públicos e os parcos serviços criados em volta dos edifícios fabris, tornaram a fábrica um elemento central da vida social do Vale do Ave durante muitas décadas.

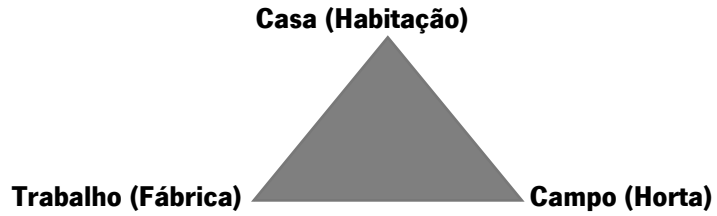


Figura I-52 – Poliedro em que assenta o modelo territorial da urbanização difusa

Não obstante a predominância nas freguesias no Sudoeste do concelho, junto dos limites com Santo Tirso, Vila das Aves (Domingues e Marques, 1987), a industrialização em Guimarães desenvolveu-se de modo disseminado por todo o município, tendo como elemento estruturante as linhas de água (*i.e.,* o rio Ave e Vizela, entre outros de menor dimensão), de que a indústria têxtil dependia, tal como no passado tinham dependido as indústrias do linho e dos curtumes. Sem embargo a esta dispersão, no setor Norte e Este do município perdurou até meados dos anos 80 do século XX a paisagem convencional do Minho – *i.e.,* predominância da pequena exploração agrícola de policultura (contrariamente ao verificado quadrante oposto do município) e povoamentos dispersos ou em pequenos aglomerados, apenas pontualmente salpicados com as novas construções de emigrantes (Marques e Domingues, 1987).

Na década de 60, do século XX, a adesão de Portugal à Associação Europeia de Comércio Livre (em inglês: *European Free Trade Association;* EFTA) permitiu a abertura do mercado português ao exterior, que então estava limitado às colónias do ultramar. Esta questão, conjuntamente com a introdução das fibras sintéticas, viabiliza o incremento da produção industrial, durante as décadas de 60 e 70. A adesão de Portugal à então Comunidade Económica Europeia (CEE) em 1986 possibilita uma modernização do setor, por via dos apoios concedidos de modo específico para o setor do têxtil e do vestuário em Portugal (Pinheiro *et al.*, 2010).

As sucessivas vagas de industrialização de que o Vale do Ave (e Guimarães, no caso específico) foi palco (*i.e.*, linho – algodão – fibras sintéticas) (re)produziram sistematicamente o mesmo padrão de industrialização e de urbanização difusa, caracterizado pela ausência de cidades industriais e, como tal, sem uma fratura evidente entre a cidade e o campo (Domingues, 2007), como anteriormente referido. Comprovadamente, este processo de industrialização que em tudo se distancia do verificado em Inglaterra, assemelha-se ao verificado na Terceira Itália, com a criação dos seus distritos industriais (Domingues, 2015a). A industrialização em meio rural é um dos processos que melhor explica a metamorfose dos campos *in situ* e a falência da dicotomia campo/cidade (Domingues, 2011b). Neste cômputo, Silva (2012) recorre ao conceito de fabrilização para descrever, o que se entende constituir já a segunda fase de industrialização do Vale do Ave. De acordo com este autor, enquanto a industrialização (em sentido lato) se caracterizou por uma completa rutura com o espaço social, a empresa fabril foi provocando mutações e transformações na comunidade rural de modo paulatino.

A singularidade do processo de industrialização repercute-se de modo direto no dualismo claro de processos e formas urbanísticas atrás descrito (*vide* Figura I-51). Assim, aquando da elaboração das Normas Provisórias, entre 1983 e 1986, o padrão de uso do solo no exterior da cidade consolidada não só era deveras complexo *per si*, como se afastava de todos os cânones que regem a 'boa forma urbana', e nos quais o modelo de ordenamento do território assentava, pelo que dificilmente as soluções urbanísticas clássicas (*e.g.*, zonamento) se adaptariam (Portas e Sá, 1984; Portas, 1986). Sendo nesta situação (transversal a muitos territórios) que reside a explicação para a delimitação de perímetros urbanos muito extensos aquando da elaboração da primeira geração dos PDM (Portas *et al.*, 2007).

Nuno Portas, que trabalhou como consultor para a Câmara Municipal de Guimarães, procurou conjuntamente com Manuel Fernandes de Sá outros caminhos para 'arrumar' a dispersão,

desdramatizando a histórica tensão entre cidade e campo. Portas e Sá (1984) defendiam que a habitação se deveria localizar o mais perto possível da estrada (precisamente a rua do futuro), preservando o solo posterior para cultivo – por forma a minimizar as distâncias entre os vértices casa/fábrica/horta (Figura I-52). Em concreto, foram definidas zonas de expansão em cada freguesia, com vista à colmatação de espaços já comprometidos, nomeadamente ao longo dos caminhos existentes. De igual modo, na primeira versão do PDM, aprovado em 1994 com a Resolução do Conselho de Ministro n.º 101/94, de 13 de outubro), Guimarães (também por influência de Portas) procurou compatibilizar os dois modelos urbanísticos em que se desenvolve o município (*vide* Figura I-51). O intuito era permitir: por lado, operações de reabilitação urbana no núcleo histórico; e, por outro, a salvaguarda ambiental de linhas de água, manchas florestais e bolsas de solo agrícola na restante mancha urbanizada, por meio da Reserva Ecológica Nacional (REN) e da Reserva Agrícola Nacional (RAN). Além disto, o PDM previa a densificação da urbanização, por via da colmatação de espaços intersticiais juntos aos principais aglomerados urbanos – na cidade, vilas ou sedes de freguesia –, evitando novas frentes de construção, aproveitando a infraestruturação existente, e viabilizando a diversificação funcional dos aglomerados.

As opções de política urbana adotadas no PDM foram reforçadas com o Plano Estratégico para o Sistema Urbano do Vale do Ave, desenvolvido em 1994, no âmbito do Programa de Consolidação do Sistema Urbano Nacional e de Apoio à Execução dos Planos Diretores Municipais (PROSIURB). Esta concertação intermunicipal, precedida da Operação Integrada de Desenvolvimento do Vale do Ave, ainda nos anos 80, constituiu um marco de referência na clarificação da política intermunicipal de ordenamento do modelo territorial difuso. De entre as medidas concertadas destaca-se a construção da Via Intermunicipal, que conecta os principais núcleos urbanos secundários (*e.g.*, Vila das Aves, Riba d'Ave, Joane e Vizela, à data integrante do município de Guimarães), intercetando os eixos viários rodoviários mais importantes, como as estradas nacionais e a Autoestrada A7.

As sucessivas vagas de infraestruturação (*i.e.*, iluminação, passeios, estacionamento, arborização), particularmente evidentes junto aos principais aglomerados, permitiram transformar muitas das estradas em ruas. Relativamente à indústria, Portas (2012c) salienta que era impensável, por meio de políticas municipais, remover as pequenas e grandes fábricas que se localizavam ao longo dos rios (primeira vaga de industrialização) e das estradas principais (a segunda). Ainda assim, em consonância com as lógicas de ordenamento industrial, foram criadas

zonas industriais e de logística, com melhor dotação infraestrutural, com o intuito de favorecer o investimento e o emprego, assegurando ao mesmo tempo as vantagens da proximidade casa-trabalho-horta (Figura I-51) e da acessibilidade aos nós viários. Contudo, esta oferta, apesar de atrativa, não contrariou a dispersão da indústria pelo território, nem anulou a tradição da pluriatividade. Tanto mais que, este setor continuou (como no passado) a ser marcado pelos baixos salários e pela insegurança contratual, em grande medida determinada pelo fim das barreiras alfandegárias e a emergência de novos países produtores de têxteis, como a China ou a Índia, que passaram a fazer concorrência direta com os têxteis nacionais (Pinheiro *et al.*, 2010). E, mais recentemente pela crise económica nacional, precedida da crise bancária internacional.

Lembrando que já nos anos 80 do século XX, aquando da elaboração das primeiras diretrizes de planeamento, Nuno Portas tinha consciência de que o modelo territorial difuso não só se tinha consolidado nas últimas duas décadas (*i.e.*, anos 60 e 70 do século XX), como se iria reforçar ainda mais nos tempos que estavam por vir. Portas (1986) suportava o seu prognóstico na seguinte conjugação de fatores: (i) crescente segmentação do ciclo produtivo da indústria têxtil e de vestuário e da indústria de calçado; (ii) subdivisão da propriedade agrícola; (iii) pulverização de parte do setor terciário, que se localiza junto das próprias instalações fabris; (iv) propensão da construção de residência de iniciativa individual, quer através de autoconstrução, quer de construção faseada, em locais escolhidos pelos próprios por razões afetivas ou de proximidade com campos ou outros locais de trabalho. Volvidas mais de três décadas, a realidade urbana corrobora claramente a asserção de Portas (1986), como bem patenteia a comparação da descrição deste território efetuada por Teresa Sá Marques e Álvaro Domingues, ainda nos anos 80 do século XX (Marques e Domingues, 1987), com a do próprio Nuno Portas de 2012 (Portas, 2012c), que se transcrevem em seguida.

Para Marques e Domingues (1987),

> "a primeira impressão do viajante que percorrem estas áreas é de um território aparentemente anárquico que, mais ou menos abaixo dos 300m de altitude, apresenta um mosaico difuso de localização mesclada de diferentes atividades – a agricultura, a indústria, os serviços, o comércio retalhista - ligados por uma configuração viária capilar não nitidamente hierarquizada que vai estruturando o desenvolvimento de manchas de povoamento e unidades produtivas. Com esta malha linear de urbanização do território (sucessivamente colmatada nos seus espaços intersticiais onde novas localizações produtivas industriais e/ou habitação e pequeno comércio vão surgindo) coexiste a nuvem do povoamento difuso percorrida por caminhos rurais e uma rede densa de aglomerados urbanos que ora correspondem a antigos assentamentos populacionais (as sedes de concelho, sobretudo), ora correspondem ao desenvolvimento mais ou menos recente de núcleos industriais que se foram posicionando em locais privilegiados que a redefinição das acessibilidades foi catalisando (Pevidém, Caldas das Taipas)" (p.268).

Segundo Portas (2012c),

> "abstraindo as massas de relevo com altitude superior a 300m, a construção de casas, fábricas, estradas e caminhos (algumas de história antiga) distribui-se no território, misturando usos e densidades apoiados numa infraestruturação frágil de estradas nacionais, municipais e caminhos rurais. As manchas de solo no fundo do vale e meia encosta foram sempre muito disputadas quer pela atividade agrícola, quer pelas casas e fábricas, quer ainda pelo traçado de estradas e ferrovias, tendo-se chegado a situações críticas de poluição de linhas de água e de toalhas freáticas. Mesmo nas formas vernaculares do rural, a construção da habitação sempre esteve na própria parcela agrícola e no povoamento da rede capilar viária muito densa, compartimentada em fragmentos e lugares, quintas, casais e habitações isoladas" (p.15).

Sintetizando, ambas as descrições: (i) aludem à relação da urbanização com a geografia do território, nomeadamente a altitude, posicionando a edificação na cota abaixo dos 300m, coincidindo com a 'velha' ribeira do Entre-Douro-E-Minho; (ii) enfatizam a mescla/mistura das diferentes atividades no território; e, (iii) sublinham o papel da rede viária – mais ou menos hierarquizada, enquanto elemento de suporte e de conexão deste modelo territorial. Deste modo, comprova que as marcas identitárias da paisagem de Guimarães pouco se alteraram neste quarto de século (e boa parte sob domínio do PDM), e que que são as permanências no tempo que caracterizam os traços identificadores da paisagem (Domingues e Travasso, 2015a).

A proposta de revisão do PDM de Guimarães iniciada em 2003, ainda que necessariamente diferente por força dos novos enquadramentos legais e administrativos, afirma que não pretende reescrever a história, nem romper com a tradição ou o passado, pelo contrário assume a história e identidade do território como marca indelével e de suporte ao trabalho, "na certeza que o amanhã está necessariamente 'amarrado' à história construída sobre o território, mas também suficientemente diferente para justificar uma revisitação crítica ao plano" (Câmara Municipal de Guimarães, 2012, p.85). De acordo com a mesma fonte, as medidas propostas agrupam-se em cinco domínio estruturantes (embora sem preocupação hierárquica):

- Consolidar e desenvolver a cidade, possibilitando a sua constante qualificação e polarização;
- Valorização e reforço do sistema policêntrico do concelho, nomeadamente através da visibilização das vilas como estruturas intermédias e de suporte de aproximação das freguesias à cidade;
- Qualificação das atividades difusas, favorecendo a nuclearização dos aglomerados e rentabilização de infraestruturas e acessibilidades;
- Ordenação das atividades económicas, criando condições de reconversão funcional ou instalação de novas atividades;
- Relevância aos elementos naturais e ecológicos, preservando corredores e sistemas ecológicos fundamentais, privilegiando a legibilidade da estrutura ecológica municipal e promovendo a compatibilização com os recursos patrimoniais que o concelho apresenta.

A versão do PDM aprovada em 2015 com o Aviso n.º 6936/2015, de 22 de junho, após um longo processo de revisão e discussão pública, reitera uma vez mais nos objetivos do plano (nº2, do artigo 2 do Regulamento do PDM de 2015) a postura de intervenção no território delineada aquando da elaboração das Normas Provisórias de 1983-1986. De facto, ainda que nos últimos anos a terciarização tenha aumentado o grau de polarização do núcleo central de Guimarães, este teve efeitos residenciais limitados, verificando-se na realidade um sistema de povoamento policêntrico alicerçado em boa parte nas vilas (Figura I-53), que tal como reconhecido no PDM sempre constituíram importantes núcleos de condensação humana. A histórica dualidade entre a cidade terceirizada (do comércio à Universidade) e a urbanização extensiva (cujo motor é a indústria transformadora e/ou logística) continua a perpetuar-se, sendo que apenas um terço dos habitantes vive na cidade e arredores (Portas, 2012c).

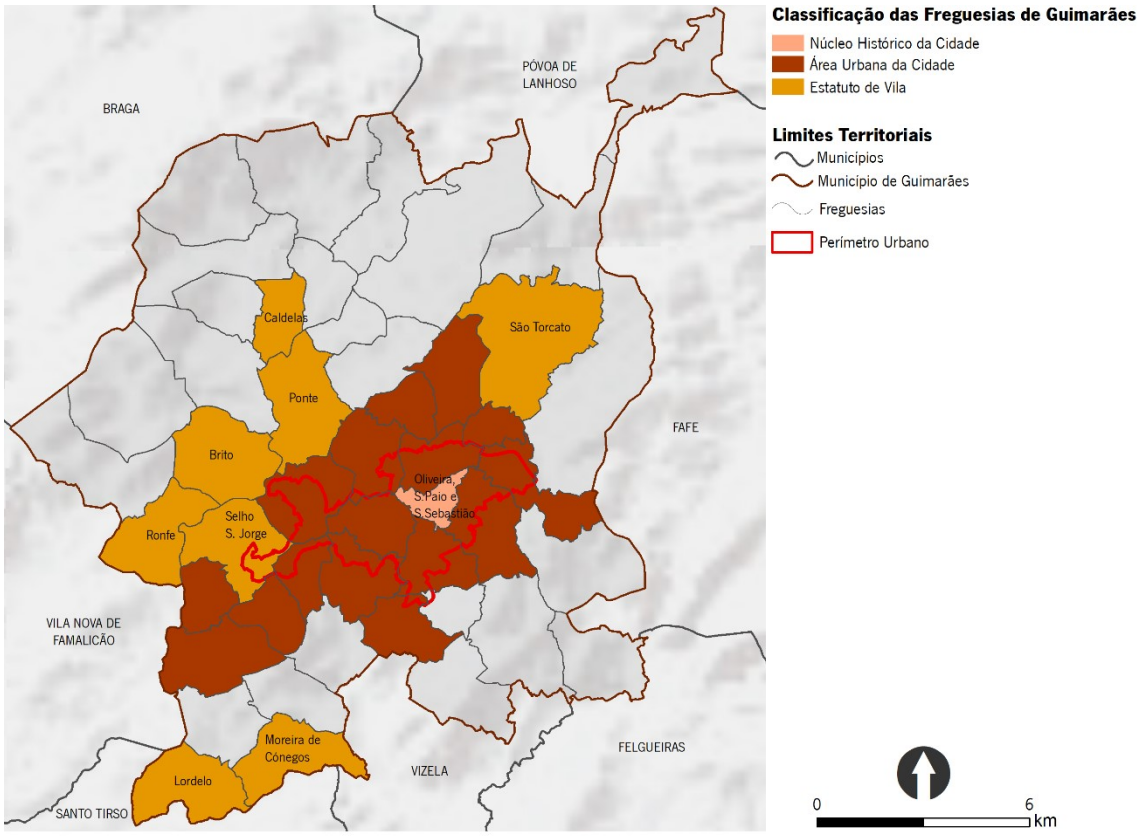


Figura I-53 – Classificação das freguesias do município de Guimarães em função de diferentes tipologias de 'urbano'

A Norte da *urbe* de Guimarães, junto ao Parque da Cidade, a mancha urbana vai perdendo densidade, cedendo lugar às áreas agrícolas e florestais – destacando-se claramente a montanha da Penha, ainda que a frondosa vegetação decorra da política de arborização do início do século XX (Figura I-54). Este acidente geográfico continua a constituir uma barreira à urbanização (Portas *et al.*, 2007), apesar da sua capacidade de contenção ser cada vez menor (como comprova a sistemática subida em altitude das habitações). A veiga de Creixomil, também contígua à cidade, vai (embora nem sempre com facilidade) resistindo à pressão construtiva (Neves, 2012a). Esta área, além da excecional aptidão agrícola dada a sua posição topográfica, constitui uma importante área de infiltração das águas de escorrência. O rio Ave, principal linha de água que atravessa Guimarães, percorre o concelho desde Arosa até Serzedelo, aumentando o seu caudal com o contributo de vários regatos e ribeiros (Neves, 2012c), entre os quais se destaca o Selho. A água utilizada durante vários séculos como força motriz dos moinhos (entre outros engenhos), a partir do século XIX passa a integrar o processo têxtil, o que acarretou graves problemas de poluição, ainda hoje não totalmente controlados.



Fonte: Neves (2013).

Figura I-54 – Vista para a Penha, antes da política de arborização

À rede viária capilar preexistente soma-se a construção de novas vias de comunicação de alta velocidade – *i.e.*, autoestradas e vias rápidas –, que comprimiram significativamente a distância-tempo. A complexidade inerente à confluência destes elementos urbanos é tal, que "vistos do céu, os nós viários surgem como ilustrações de geometria complexas traçadas no chão, por vezes com uma configuração quase vegetalista" (Neves, 2012b, p.77). Estes elementos, a que se juntam as linhas de energia de alta tensão ou de telecomunicações, suportaram a mais recente metamorfose da indústria (cada vez mais tecnológica e internacional), evitando não só o colapso deste modelo territorial, como possibilitam a sua viabilização no futuro. Não obstante, sobressaem na paisagem diversos edifícios fabris abandonados e em decadência, enquanto outros se adaptaram a novas funções (*e.g.,* Fábrica da Asa), como é apanágio deste território. Neste contexto compreende-se o desabo de Lobo (2012),

> "a cidade de Guimarães é por um lado, a cidade que faliu e se encontra em processo de se transformar em ruínas ou num testemunho físico e imutável de uma época áurea e de forte desenvolvimento industrial, e, por outro, a cidade que ainda persiste e onde as chamadas pequenas e médias empresas teimam em resistir, alimentando toda uma economia local (*e.g.*, cafés, restaurantes, stands de automóveis). Porém, a estas duas cidades soma-se, ainda, uma outra, por vezes menos conhecida, que é a cidade do campo, das hortas e quintais sobre os viadutos, onda ainda se cultiva uma agricultura de subsistência" (p.30).

Em suma, o município de Guimarães (e de um modo mais amplo todo o território envolvente), "parece uma imensa superfície urbanizada, sem confins definidos" (Domingues, 2007, p.34), onde os restos do mundo rural se dissolveram entre fábricas, campos, numa paisagem quase 'esquizofrénica', remata o referido autor. De facto, neste território a dispersão, com origens históricas mais ou menos remotas, constitui um fenómeno persistente no tempo, por via da resistência às ruturas técnico-económicas e da reciclagem de instalações. Assim, a urbanização e a industrialização difusas, enquanto fenómeno estrutural, não sendo reversíveis (Portas, 2012c), terão obrigatoriamente de ser geridas.

I – 5.3.3. Similaridades e Diferenças de Braga e Guimarães

É indiscutível que a urbanização difusa do Noroeste de Portugal possui raízes históricas ancestrais. Sem embargo a este contexto comum, bem como as similaridades dos fatores naturais (*e.g.*, localização geográfica, posição topográfica, declives, clima), Braga e Guimarães apresentam hoje modelos territoriais muito díspares. Antes de mais notar que, a origem dos respetivos topónimos é distinta, pois se Braga provém da designação Romana '*Bracara Augusta*', Guimarães, mais recente, ascende à presença Visigótica nestas terras, tendo o nome origem no gentílico Germânico *Vimaranis*.

Cronologicamente, não se pode deixar de destacar – no período da formação da nacionalidade – a escolha de Guimarães para residência da corte e de Braga para sede de bispado (seguindo a tradição já implantada). Em menos de 20km de distância surgem duas capitais, uma política e outra religiosa (Saraiva, 1987). Com efeito, Braga constituía uma cidade feudal sob ordens do Bispo, permanecendo como tal até à publicação da Lei 19 de julho de 1790, da Rainha D. Maria I. Por sua vez, Guimarães era uma vila burguesa, pelo que constituía a escolha de muitos mercadores, artesãos e de homens livres para negociar e residir (Saraiva, 1987). Em consequência, Guimarães rapidamente excede as dimensões de Braga, como comprovam as inquirições de 1527, escrutinadas anteriormente. Realçar que a fundação da Colegiada da Oliveira, permitiu que a organização da vida eclesiástica em Guimarães não se subordinasse a Braga, constituindo assim 'uma espécie de sé sem bispo', como refere o autor supramencionado. Em sentido oposto, aquando das mudanças na divisão administrativa promovidas pela Revolução Liberal, mormente a criação dos distritos, Braga – então cidade arquiepiscopal – foi a escolhida para a capital do distrito a que dá nome. Esta decisão desencadeou a implantação de muitos

serviços, repartições públicas e centros decisão cidade. E, deste modo, como refere Saraiva (1987) "a resistência secular da colegiada contra a catedral deixou de funcionar, porque ambas foram suprimidas como forças políticas; mas a catedral teve a função substitutiva do governo civil e a colegiada não encontrou sucessor" (p.87).

A escolha de Braga para sede de distrito potenciou não só o crescimento urbano, e consequentemente maior destaque no panorama nacional nestes dois últimos séculos, como também se traduziu em características urbanas e socioeconómicas muito distintas do contexto territorial envolvente (Salgueiro, 1992). Os resultados do estudo efetuado por Teresa Barata Salgueiro e Jorge Malheiros, a partir da análise fatorial dos Censos de 1981 (Salgueiro, 1992), corroboram estas diferenças, uma vez que os municípios de Braga e de Guimarães, ainda que adstritos, surgem em Grupos distintos: Braga integrada no Grupo 3 (agrupada embora a um nível elevado com Vila do Conde), caracteriza-se pela importância do comércio a retalho, do setor da construção e dos serviços; e, Guimarães inserida no Grupo 4 (juntamente com a Covilhã, Póvoa do Varzim e Barcelos) constitui um importante centro industrial, polarizado em torno do setor têxtil, no qual o comércio a retalho detém alguma importância, diferentemente do que sucede com os serviços. Assim sendo, sobressai a importância que as dinâmicas económicas – enquanto promotoras de emprego e fixadoras de população – detêm na construção social do território, decorrente da evolução e transformação da condição urbana.

O atual mosaico de diversidade e contrastes entre Braga e Guimarães decorre do distinto processo de metamorfose que os dois municípios experienciaram nos últimos dois séculos, por via das opções políticas (de caráter mais nacional) e económicas (determinadas pelo contexto local) – cujos efeitos do primeiro se destacam em Braga e do segundo em Guimarães. Recuperando uma vez mais o contexto comum do Minho, Braga é a única cidade (e município) onde a densificação urbana não decorre do processo de industrialização rural difusa do século XIX, de que o Vale do Ave, e muito particularmente Guimarães, constitui o caso mais paradigmático (Portas *et al.*, 2007). Efetivamente, em Guimarães a maioria do emprego, bem como da habitação, localiza-se no espaço que fica para além da cidade, encontrando-se ancorada na rede de estradas nacionais, municipais ou, mesmo, caminhos rurais, ainda que pontualmente se aglomere nas sedes de freguesia, particularmente nas que detêm o estatuto de vila (*vide* Figura I-53).

Por seu turno, em Braga é a instalação de serviços públicos de influência supralocal, após a nomeação como capital de distrito, que desencadeia e suporta, em grande medida, o

desenvolvimento urbano. Este assentou na criação de grandes lotes urbanos para a habitação unifamiliar ou plurifamiliar, por via do retalhamento das quintas rurais, dando resposta à ambição da casa própria, numa região tradicionalmente dominada por micro-proprietários (Bandeira, 2015). Nesta aceção, Braga face ao reduzido peso do setor secundário (com exceção da construção civil) distancia-se do paradigma urbano-industrial, característico de Guimarães e do restante território envolvente, e aproxima-se do conceito de cidade média em processo de 'explosão urbana'.

Para Portas *et al.* (2007) o efeito de aglomeração em Braga é notório, pois 66,7% da população residente encontra-se no interior do perímetro urbano da cidade[6], que corresponde a um dos valores mais elevados no Noroeste Português em 2001. No outro extremo encontra-se Guimarães (ainda que conjuntamente com Vila Nova de Famalicão ou Santo Tirso), dado que apenas 32,7% da população residente se concentra na cidade. Quando comparado o crescimento populacional entre 1991 e 2001 no território que fica 'entrecidades' com o que ocorre na cidade, verifica-se que em Braga a cidade (com um crescimento de 23,3%) assume maior destaque do que o seu exterior (onde este é de apenas 16,1%), enquanto em Guimarães os valores são similares entre si, nomeadamente 10,4% fora da cidade e 9,5% na cidade.

Adotando a mesma lógica para os dados dos Censos de 2011 (INE, 2011), constata-se que a cidade de Guimarães, contrariamente ao hiato anterior, perde importância enquanto elemento de aglomeração da população, uma vez que passa a abarcar apenas 30,11% do total dos residentes. Por outro lado, a polarização da cidade de Braga sai reforçada, alcançando mais de três quartos do total da população bracarense (75,14%). Além disto, lembrar que entre 2001 e 2011 o município de Braga ganha população, sendo este aumento particularmente evidente na cidade (*i.e.*, taxa de variação 11% e 25%, respetivamente). Por oposição, o município de Guimarães perde população em relação a 2001 (*i.e.*, taxa de variação de -1%), sendo a diminuição na cidade claramente mais acentuada (*i.e.*, -9%), pelo que a que a 'cidade' constitui cada vez mais uma parte cada vez mais minoritária do território urbanizado (Domingues, 2010).

Por último, notar que a evolução da distribuição da população desde 1991 coloca em evidência que as abordagens adotadas nos PDM de Braga e de Guimarães em vigor de 1994 – no primeiro

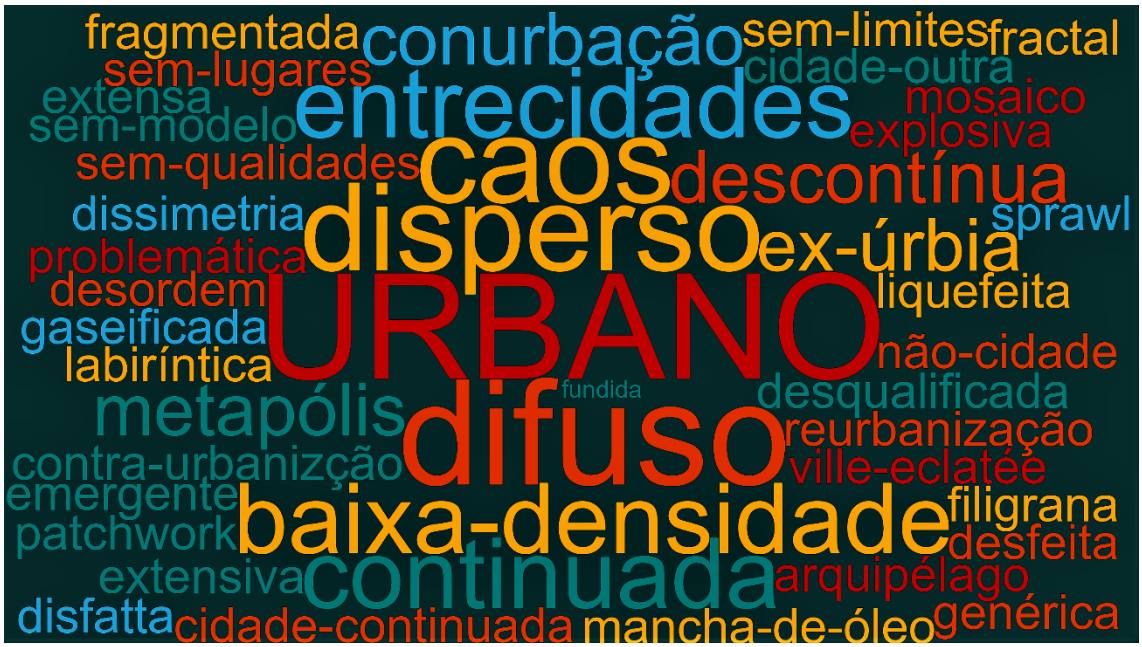
[6] Considera-se o conceito de cidade estatística definido pelo INE (2011), que corresponde a um "aglomerado populacional contínuo, com um número de eleitores superior a 8000, possuindo pelo menos, metade dos seguintes equipamentos coletivos: instalações hospitalares com serviço de permanência; farmácias; corporação de bombeiros; casa de espetáculos e centro cultural; museu e biblioteca; instalações de hotelaria; estabelecimentos de ensino preparatório e secundário; estabelecimentos de ensino pré-primário e infantários; transportes públicos, urbanos e suburbanos; parques ou jardins públicos".

caso de carácter centrípeto e no segundo de índole policêntrica – se repercutiram de modo direto no reforço da estrutura territorial já implantada em cada um dos municípios. Por sua vez, a versão mais recente destes planos parece caminhar no mesmo sentido, nomeadamente: a diminuição da destinada à nova construção e a aposta na regeneração urbana.

I – 5.4. Urbanização Difusa: da Encruzilhada Teórica às Políticas Urbanas

Nas últimas décadas a urbanização de baixa densidade (em termos latos designada *urban sprawl,* como referido anteriormente) tornou-se um tema central em todas as disciplinas que se dedicam ao estudo da cidade, do urbano, e por extensão do território (Domingues, 1999; Labastida, 2013), considerando as mutações que explosão urbanística do último meio século impôs à cidade. Efetivamente, a realidade urbana atual – pela sua extensão, fragmentação, e consequente complexidade – dificilmente se dá pelo nome cidade (ainda que a semântica persista).

A urbanidade existente à parte da cidade densa e compacta tem sido adjetivada das mais variadas formas (com ou sem aspas, ora valorativas ora depreciativas), e descrita com recurso a um vasto cardápio de metáforas (Bandeira, 2014) – ainda que faltem paradigmas claros (Domingues, 2008). Neste cômputo, uma breve análise dos léxicos recorrentemente utilizados na literatura internacional e nacional para descrever este tipo de urbanização, demonstra que vocábulos diferentes são empregues para descrever a mesma realidade, ao mesmo tempo que qualificativos iguais são aplicados em realidade distintas. Na prática, o desconfinamento do tecido urbano foi acompanhado do desconfinamento concetual (Figura I-55). Esta dupla dispersão levou Pavia (2002) a comparar as novas formas do urbano ao mito bíblico da Torre de Babel – que remete precisamente para a desordem, a confusão e a dispersão.



Fonte: Compilação elaborada a partir da diversa bibliografia consultada.

Figura I-55 – Multiplicidade de vocábulos e de metáforas utilizados para rotular as lógicas do urbano não compacto

Desde logo, e considerando a língua inglesa, destaca-se o conceito de *urban sprawl*, que já foi alvo de uma análise detalhada anteriormente, no entanto, juntam-se outros como *patchwork*, *edge city*. Do italiano surge a *città disfatta*, do francês *ville eclatée,* só para exemplificar. Em português, e mais especificamente no contexto urbano de Portugal, a polissemia deste sujeito-objeto não é menor, ainda que os conceitos mais correntes sejam o de urbanização dispersa, difusa ou extensiva. Sem embargo, o conceito mais antigo para descrever esta estrutura de povoamento parece ser o de cidade-continuada, utilizado por João Batista de Castro em 1762, no seu 'Mapa Antigo e Moderno de Portugal', para descrever a Província do Minho. Domingues (2011a) considera que esta metáfora, mais complexa do que a vulgar 'mancha de óleo', é cada vez mais a imagem da conurbação do Noroeste.

As descontinuidades e fragmentações que decorrem dos novos territórios urbanos tomam formas e sentidos muito distintos, quanto às suas dimensões e processos de formação, que importa analisar. Efetivamente, Portas (1986, 2005, 2012a) alerta que a tarefa de caracterização do modelo territorial é tanto mais imprescindível quanto mais o território em causa se distinga dos paradigmas que geralmente servem de referencial teórico às políticas urbanas, isto é, ideias feitas, em muitos casos desajustadas do referente de origem, por falta de confrontação com a realidade, pelo que podem tornar-se desastrosas.

Entre a difusão, a dispersão e o *urban sprawl*

Para Portas (2012a) hoje fala-se (e discute-se) dispersão e difusão – ou mesmo de explosão – porque expressões como centro e periferia deixaram de fazer sentido. Neste computo, dispersão e difusão são qualificativos que só podem ser definidos por oposição à compacidade, característica que se atribui à tradição (europeia) da cidade pré-industrial e burguesa. Todavia, é fundamental a clarificação destes conceitos, pois entre o disperso e o difuso as questões pertinentes não são exatamente as mesmas, embora algumas possam ser comuns (Portas, 2012a). Assim considerando a posição do referido autor – desenvolvida em consonância com a visão de Indovina (2005) acerca do setor Nordeste Italiano –, "correntemente, atribui-se o termo 'dispersão' ao crescimento aleatório por novas urbanizações ou condensação de núcleos e o termo 'difusão' ao espalhar da vida e construção urbanas com base no cadastro de infraestruturas rurais ou aproveitando a proximidade a instalações de trabalho" (Portas, 2012a, p.231). Deste modo, a dispersão não coincide necessariamente com a difusão, uma vez que a segunda tem uma raiz histórica enquanto a primeira corresponde maioritariamente às novas áreas de crescimento urbano.

Ainda neste contexto enfatizar que, a urbanização difusa constitui uma ordem do urbano distinta das lógicas do suburbano e do *sprawl*, dado que é regulada por dinâmicas de expansão próprias (Labastida, 2013), que se consumam numa paleta de formas de povoamento entre a aglomeração e a dispersão, com núcleos, manchas e eixos de extensão variável (Portas, 2012c). Neste quadro, Domingues (2010) recorre ao conceito de urbanização extensiva, que:

> "denomina duas questões simultâneas: é extenso (e descontínuo) o território da urbanização; e é extensiva a urbanização porque pode ocorrer algures em continuidade ou não com os aglomerados existentes, seja de forma rarefeita, seja em neo-aglomerações junto de nós de autoestradas" (p.61).

Um dos aspetos que contribui para a diferenciação do *urban sprawl* da urbanização difusa é precisamente a génese de formação, dado que *sprawl* (tipicamente americano) corresponde a territórios que sofreram um processo de expansão recente e acelerado, que se consumou em urbanizações monofuncionais, geralmente residenciais. Por sua vez, os territórios do difuso apresentam uma urbanização mais lenta, que foi sendo feita a partir de uma matriz rural, verificando-se uma multiplicidade de situações, sobreposições e justaposições, resultado da acentuada mescla de atividades, espaços e tipologias (Labastida, 2013; Pinheiro *et al.,* 2018).

Relembrando que na urbanização difusa a dispersão da habitação – que caracteriza o *urban sprawl* americano – foi desde sempre acompanhada pela mistura das atividades económicas ao nível mais capilar que se considere. Assim sendo, este território assemelha-se a um campo construído, pois não obstante o secular processo de urbanização, a matriz rural, caracterizada pela agricultura de autoconsumo, é ainda nos dias de hoje expressiva.

Se numa primeira impressão o território difuso parece ter uma geografia caótica, pois a realidade (coisa aparentemente simples) não coincide com os modelos de referência, em verdade esta apenas necessita de ser descodificada. Seguindo a explanação de Portas (2005), as faixas ou cordões urbanos – onde se localizam as indústrias, os equipamentos e as habitações – serpenteiam o território, procurando o contato máximo com os campos, apoiando-se na teia cerrada de estrada, como no passado se tinha apoiado nas linhas de água. Estes cordões por norma não cortam as veigas, onde se localizam os solos com maior produtividade, pelo contrário desenvolvem-se a meia encosta, constituindo uma espécie de cerca aos melhores terrenos. Este modelo desenvolve-se ao longo de continuidades geográficas ou infraestruturais em parte definida por elementos biofísicos ou culturais (Portas *et al.*, 2007), nomeadamente: (i) os alinhamentos dos vales, encostas e linhas de cumeada; (ii) a rede viária e ferroviária; (iii) as marcas da paisagem e padrões de povoamento rurais (*e.g.*, desenho das parcelas agrícolas, vinhas e pomares, muros); (iv) sistemas de vista e pontos de referência (*e.g.*, miradouros e capelas); e, (v) recorrência de elementos singulares (*i.e.*, núcleos históricos, largos, adros e terreiros de igrejas paroquiais, casas senhoriais).

Sintetizando, no modelo difuso tradicional o crescimento urbano decorre do aproveitamento gradual de 'quarteirões' irregulares, que foram sendo irregularmente ocupados, em sintonia com a orografia e a divisão da propriedade, num modelo em que as estradas se foram transformando em ruas, e que permitia a penetração, entre elas, de hortas e quintas até à coroa mais central da cidade. Não obstante, os processos de urbanização mais recentes, distinguem-se claramente, dado que a lenta e continuada sedimentação histórica do território foi substituída por Planos de Pormenor e Loteamentos, que não só ignoram muitas das lógicas instaladas, como também aceleram claramente a transformação do território (Ribeiro, 2013). Para o referido autor os loteamentos em tudo são antagónicos aos processos que estiveram na génese da construção do difuso, pois não só ignoram a estrutura existente, como também pouco têm contribuído para a qualificação dos lugares. Além disto, nos anos mais recentes verificaram-se profundas mudanças na matriz rural do território, nomeadamente: (i) o emparcelamento dos seculares minifúndios, com

vista à criação de parcelas amplas, que viabilizaram a mecanização; (ii) a proliferação de culturas exóticas, como mirtilos, framboesas, kiwis; (iii) a substituição da vinha de enforcado por campos geometrizados, direcionados para o mercado, nacional e internacional; e (iv) o aparecimento de inúmeras estufas agrícolas, que permitem a produção hortícolas durante todo o ano.

Posto que a urbanização extensiva constitui um poliedro de muitas fácies, que vai mudando conforme se vai girando, e que o discurso sobre este(s) modelo(s) constitui um amplo caleidoscópio, que por certo não se consegue abarcar por todo neste estudo, procura-se então efetuar um apanhado das ideias, conceitos e questões mais prementes do modelo territorial da urbanização do difusa – ainda que algumas temáticas sejam transversais ao emaranhado de urbanidades que perfazem a realidade atual.

I – 5.4.1. Produção Teórica

O modelo territorial da urbanização difusa obriga a uma reflexão própria, necessária não só pela especificidade da sua génese, pelas particularidades das suas formas e processos, como também pelas contradições que impõe ao tradicional pensamento epistemológico no seio Geografia Urbana e às implicações que têm na definição de políticas territoriais e urbanas. Em Portugal os estudos acerca da urbanização difusa do Vale do Ave (e áreas adjacentes), apesar de existentes, não se podem classificar como abundantes (Domingues e Travasso, 2015). De entre os autores que abordam esta temática, salienta-se o arquiteto Nuno Portas (*e.g.*, 1986, 2005, 2012a, 2012b, 2012c; Portas *et al.*, 2007; Portas *et al.,* 2011), o também arquiteto Manuel Fernandes de Sá (*e.g.*, Portas e Sá, 1984), bem como os geógrafos Álvaro Domingues (*e.g.*, Domingues e Marques, 1987; Domingues, 1999, 2008, 2009, 2011, 2015 e 2017; Domingues e Travasso, 2015a) e Teresa Sá Marques (e.g., Marques e Domingues, 1987; Marques e Fernandes, 2008; Marques, 2015). Como refere Ferrão (2012), a obra destes autores permitiu:

> "consolidar uma crítica robusta às visões reducionistas que limitam o urbano à cidade canónica e, como consequência, desenvolver novas perspetivas centradas na cidade emergente, na cidade extensiva, no território –, valorizando o lado oculto, esquecido, menosprezado e até 'errado' das cidades sem confins" (p.83).

Nuno Portas é sem dúvida um dos autores de referência no que se refere ao estudo da urbanização difusa no Noroeste de Portugal, sendo que este arquiteto se dedicou não só ao estudo teórico

deste modelo territorial, como também lidou com ele na prática, por meio dos PDM, figura legal que ajudou a criar. De facto, a colaboração de Portas na elaboração do PDM Guimarães entre 1983 e 1994, sendo que entre 1983 e 1986 os esforços foram dirigidos no sentido da criação de normas provisórias, permitiu-lhe um contato direto com a realidade territorial do Vale do Ave, consubstanciado na coexistência da cidade histórica (*i.e.*, a cidade 'com modelo') e da cidade difusa e periférica (*i.e.*, a cidade 'sem modelo'), esta segunda claramente em choque com a ideia de cidade historicamente socializada. Esta dicotomia de formas urbanas – compacta e dispersa – que Guimarães encerra sempre constituíram, nas palavras de Portas (2012c), um excelente caso de estudo, quer do ponto de vista da formulação teórica, quer da definição e implementação de políticas públicas.

Para compreender o território difuso, Portas procurou comparação na produção teórica desenvolvida para a Terceira Itália, uma vez que o processo de industrialização nesta região também se caracteriza pela forte dispersão territorial das unidades de produção, que se organizam sob a forma de 'distritos ou sistemas industriais' (Portas *et al.,* 2007). Paralelamente, baseou-se noutros autores internacionais de referência, como: (i) Françoise Choay, cuja metáfora da passagem da 'cidade para o urbano', oferecia uma saída explicativa para o labirinto pós-metropolitano e pós-industrial no qual se vai transformando todo o Noroeste português; (ii) André Corboz (2009), do qual o conceito de hipertexto, permite representar as várias camadas (l*ayers*) das quais as áreas urbanas são compostas; e, (iii) François Acher, cujo conceito de metapólis, sintetiza esta nova rede de relações urbanas, materiais e imateriais, dado que surge em oposição à megapolis e à metropolis, que apresentavam um centro claramente definido, enquanto metapole é constituída por vários núcleos que se estruturam em rede (Grande, 2012). Não obstante, Portas desenvolveu um pensamento próprio sobre as cidades contemporâneas (Sampaio, 2012; Ferrão, 2012), muito particularmente sobre a realidade urbana do Vale do Ave (que em termos mais latos se estende a todo o Noroeste português), onde a cidade morfologicamente muito diversificada, não tem os limites nem as fronteiras de outrora. Como salienta Grande (2012), para Portas uma 'cidade é feita de cidades", pois nela se incluem os centros urbanos canónicos (áreas consolidadas, históricas e patrimoniais), mas também muitas 'outras' urbanidades. É neste sentido que Portas atribui grande importância ao fator tempo – enquanto elemento fundamental da construção do urbano. Em relação à cidade extensiva procurou sempre a desdramatizar a ancestral relação, e atual tensão mútua, entre a cidade/campo, urbano/rural ou aglomeração/dispersão (Figura I-51).

A despeito da multiplicação dos estudos acerca da temática (*e.g.*, Portas, 1986; Marques e Domingues, 1987; Domingues, 1999; Portas *et al;* 2007; Labastida, 2013; Pinheiro *et al.*, 2018) uma enunciação do difuso permanece por clarificar. Em concordância com o referido por Calix (2015), não se crê na sua fixação, mas antes numa aprendizagem progressiva, assente na construção de sucessivos retratos ou imagens, numa lógica ora de continuação, ora de antagonismo.

I – 5.4.2. Questões Levantadas

Tradicionalmente falar de "cidade' é falar de centro e concentração de pessoas e edifícios, de algo que tem um perímetro definido, limitado por cinturões verdes ou negros, no entanto, já a Atenas – a 'pólis' por excelência –, não era assim, pelo contrário era bem dispersa (Portas, 1986). Nas últimas décadas passou-se de um modelo histórico de cidade compacta e contínua para um território descontínuo, decorrente da falta de coesão física das sucessivas adições, e com morfologias muito distintas, onde os conceitos de urbano, de rural, de periférico ou suburbano, se confundem (Portas, 2005). Sem embargo, este novo modelo territorial, sem paralelo no quase meio milhão de história urbana moderna (que termina com o próprio modelo metropolitano e, com ele, o dualismo centro-periferias) assemelha-se em grande medida aquele que há séculos se desenvolve no Minho – onde "os últimos núcleos de população aglomerada se despovoaram e arruinaram na Época Lusitano-Romana, quando as *villas* e os casais nas terras baixas sucederam aos Castros alcandorados nas colinas" (Ribeiro, 1999, p.864). A esta situação soma-se o facto de a industrialização não ter criado grandes cidades industriais, por via da migração massiva de contingentes das áreas rurais, que por regra acentuava a dissociação geográfica entre o campo e a cidade; antes pelo contrário, a indústria dispersou-se e misturou-se com a habitação, e, embora mais recentemente, promoveu também a desconcentração dos serviços.

O quadro territorial da urbanização difusa típico do Minho, visível em Braga, mas que tem em Guimarães o seu expoente máximo, apresenta permanentes discrepâncias e contrariedades relativamente aos valores reconhecidos e consensualizados como descritores da 'boa forma urbana' (Calix, 2015). Esta sobreposição de camadas – dos processos arcaicos aos pós-modernos – tão complexa e de geografia tão variável obriga a repensar conceitos, metáforas e teorias, enfim impõe uma mudança de paradigma no modo como este modelo territorial é encarado, não só em termos científicos (*i.e.*, o domínio da produção teórica na academia), como também em termos

de políticas territoriais e urbanas (*i.e.*, a aplicação prática e num território concreto). No âmbito da reflexão apresentada, as múltiplas questões que a urbanização difusa levanta podem ser sintetizadas em três pontos intimamente conectados. Primeiro, obriga à superação da análise/intervenção no território com base numa visão discreta (que as diversas dicotomias sempre impuseram), situação que impele à consideração do território como um todo, numa lógica de sistema cidade-território, constituindo a transformação das estradas em ruas, uma das saídas mais evidente para tal.

Da(s) Dicotomia(s) ao *Continuum*

Nas Ciências Sociais, entre as quais se posiciona a Geografia, existe uma larga tradição (tanto na sua versão teórica como aplicada) de considerar o urbano – a cidade – como algo oposto ao rural – o campo – (Estébanez, 1992). Para Orlando Ribeiro (1989, p.150), "por muito fortes que sejam as relações entre a cidade e o campo, são nítidas as oposições entre ambos, como formas de ocupação da terra (e como estilo de vida)". Assim, enquanto a cidade é caracterizada pela concentração da população, o campo marca pela extensão da área que ocupa. Porém, de notar que também Orlando Ribeiro reconhece que, se em algumas cidades a referida oposição com o campo é nítida (*e.g.*, Madrid), noutras, como ocorre no Noroeste de Portugal, se verifica uma "transição insensível de cambiantes, predominando ora o aspeto urbano ora o rural" (Ribeiro, 1994, p.22).

A urbanização difusa sempre encerrou esta possibilidade totalmente contrária à imagem convencional de cidade, como algo confinado, com uma forma, um centro e limites e mapificáveis, que só era possível por força das muralhas que no período medieval delimitavam as cidades europeias (Domingues, 2011b). Por isso, obriga ao abandono de alguns critérios pré-estabelecidos na interpretação dos modelos territoriais, entre os quais se destaca notoriamente a clássica dicotomia entre a cidade e o campo, que continuam a ser encaradas como formas mutuamente exclusivas e segundo uma sequência irreversível: a cidade cresce sobre o território ex-agrícola, absorvendo a população saída do êxodo rural. Esta população, por sua vez, alimenta o subúrbio e as periferias urbanas (Domingues, 2011b).

À histórica cisão cidade/campo, urbano/rural, artificia/natural sobrepõem-se outras mais ou menos complexas, como urbano/suburbano ou centro/periferia, ainda que reflitam *lato sensu* a

mesma dualidade. Todavia, estas categorias já não são oponíveis: nem sociologicamente, como reconhece Ribeiro (1989), pois as diferenças no estilo de vida/valores há muito que desapareceram, com a generalização do estilo de vida citadino (Ferrão, 2007); nem geograficamente, decorrente da diluição das formas de ocupação do território, uma vez que a industrialização, assim como a terciarização, se estenderam muito para além do tradicional *central business district* (CBD), e concomitante no campo se assistiu a um recuo da agricultura em termos de área de cultivo e de importância económica, resumindo-se a hortas e pomares para autoconsumo de uma população assalariada que vive de outras fontes de rendimento localizadas nas proximidade (*e.g.*, indústria, como será maioritariamente o caso de Guimarães, ou nos serviços, no caso mais específico de Braga).

O conceito de rural – entendido como a conjugação da agricultura como fonte de emprego e rendimento, com a estrutura social e cultural da sociedade camponesa, na qual a tradição, os laços de vizinhança e família e a religiosidade são marcas determinantes no estilo de vida e visão do mundo –, há muito que deixou de ser operativo neste território, como evidenciado anteriormente. De mais a mais, se atentarmos ao elemento mínimo do (micro)minifúndio observa-se que a mesma parcela de terreno, quando ocupada por uma casa, transforma-se simultaneamente numa horta, jardim, e num pomar, combinado aquilo que as taxonomias convencionais separam: o rústico e o urbano (Domingues, 2010). Posto isto, constata-se que qualquer que seja escala territorial considerada, repetem-se os traços estruturais, onde a descontinuidade e a fragmentação dominam sobre a continuidade.

A complexidade urbana torna cada vez mais difícil a delimitação do objeto cidade (Cavaco, 2015), seja do ponto de vista concetual (o que é uma cidade?), geográfico (onde começa e termina a cidade?) ou das políticas públicas (o que são políticas urbanas?), tal como salienta Ferrão (2007). Mesmo assim, a visão dicotómica do território, hegemónica durante o século XX, continua presente, não só no imaginário, como também nos sistemas políticos/legislativos de muitos países (Weeks, 2010). Efetivamente, o urbanismo confrontado com a presença ubíqua da urbanização foi alargando o âmbito territorial da cidade, procurando encontrar uma nova escala e novos limites, porém sem nunca prescindir da coerência da 'cidade-corpo' (Domingues, 2015b). Um bom exemplo disto é o conceito de área metropolitana que procurava impor um limite geográfico a esta cidade estilhaçada, porém funcionalmente integrada, sobretudo por gravitar em torno da velha cidade central. Este neologismo (à data) reproduzia a uma escala territorial muito mais ampla o

velho conceito de cidade, assente na trilogia: um território, uma população e uma circunscrição administrativa (Ferrão, 2007).

Em Portugal a visão dicotómica do território, consubstanciada na prática por via do ordenamento do território ou das estatísticas territoriais (a cargo do INE), traduziram-se numa multiplicidade de concetualizações e de classificações, que vão desde a área metropolitana, à freguesia (nomeadamente a TIPAU), passando pela cidade estatística (como apresentado anteriormente neste trabalho). Esta insistência em encontrar um limite para a cidade – nem que seja 'estatístico', porém sem extravasar a fronteira do município (INE, 2002) – patenteia bem que ordenamento do território (assim como o urbanismo) continuam a 'lamentar' o desconfinamento da cidade (Domingues, 2015b). A este respeito Weeks (2010) salienta que é preferível a adoção do conceito de *continuum* urbano-rural.

Em acordo com Domingues (2011b), continuar a insistir na dualidade urbano-rural, como dicotomias discretas e definitivas, é olhar para a sociedade e para o território com lentes desfocadas – que enviesam qualquer tentativa de compreensão da urbanidade atual. Para Ferrão (2007), dado que a cidade de hoje é morfológica e politicamente invisível, o caminho futuro passa por encarar a cidade a partir de uma visão estratégica, de modo a olhar seletivamente, embora sem amputar elementos que lhe conferem distinção. Para o exemplificar esta visão, o autor alude à substituição do conceito de área metropolitana pelo de região metropolitana, por modo a abarcar esta nova realidade, cujo contornos são altamente voláteis. Por sua vez, Cavaco (2015) refere que "mais do que os limites impostos por uma jurisdição político-administrativa, a cidade contemporânea caracteriza-se a partir de um conjunto de relações funcionais" (p.18), que podem ocorrer a diversas escalas (CEU, 2003; Cavaco, 2015) : (i) intraurbana, entre os diversos conjunto de edificado de um mesmo município; (ii) da cidade-região, definida pela área de influência da cidade; e, (iii) e interurbana, decorrente das redes, mais ou menos formais, estabelecidas.

Para rematar, e como salienta Choay (2005)," *pensar lo urbano es hoy una necesidad*" (p.71), pois é preciso encontrar novas narrativas capazes de conferir sentido à multiplicidade de elementos e espaços que a compõem (Travasso, 2015), que por sua vez irão sustentar as mudanças operacionais, por via do ordenamento do território.

Da Cidade ao Território

A cidade canónica e modélica – enquanto forma contida e densa, com centro e limite bem definidos – perdeu o monopólio da urbanização e cedeu lugar ao urbano – um 'exterior', uma nebulosa, que tudo mistura (urbano, rural, industrial, agrário) em densidade e diversidade formal e funcional (Pavia, 2002; Domingues, 2009). Esta metamorfose da cidade, que de 'centrípeta passou a centrífuga' e de 'coesa e contínua passou a difusa e fragmentada' (Domingues, 2010), foi descrita por Françoise Choay (2006) como a 'passagem da cidade para o urbano' (Tabela I-32). De notar, que a mutação da cidade para urbano não decorre da simples ampliação da cidade em direção ao campo (anulando-o) – processo denominado de suburbanização ou periferização –, nem da perda de importância do setor agroflorestal e/ou das culturas tradicionais camponeses – nas Ciências Sociais entendido como desruralização (Domingues, 2010).

Tabela I-32 – Principais questões decorrentes da metamorfose da cidade para urbano

Cidade	Urbano
Abordagem morfológica	Abordagem relacional Espaço relacional; Espaço de fluxos; Redes Relações e formas
Densidade morfológica	Densidade relacional Intensidade relacional
Aglomeração física Contiguidade edificada *Interior* Confinado Limites claros	Aglomeração; neo-aglomerações; Dispersão Contiguidade e fragmentação *Exterior* Desconfinado Limites imprecisos
Intensivo Estrutura simples Estrutura centrada	Extensivo Estruturas múltiplas Sem um único centro Descentralizado e múltiplo
Centrípeto Taxonomia em árvore Lógica binária Dicotomias Categorias mutuamente exclusivas	Centrifugo e centrípeto Taxonomia reticular Conexões múltiplas Sobreposições Categorias com pertenças múltiplas
Estrutura hierárquica Organização segundo lógicas holísticas, universalizantes e unitárias Crescimento em mancha de óleo	Estrutura rizomática Organização segundo várias lógicas, atendendo aos contextos sociais e territoriais Expansão por contiguidade e descontiguidade Expansão dendrítica: por capilaridade Colonização de infraestruturas
Texto	Hipertexto

Fonte: Domingues (2011a).

O urbano aqui referido trata de outra ordem espacial e social, caracterizada pela centrifugação e descontinuidades, na qual o campo não desaparece, ainda que as mudanças sejam avassaladoras (*e.g.*, proliferação de construções urbanas, como casas, armazéns agrícolas ou industriais, vias rodoviárias; especialização da agricultura, cada vez mais dependente de tecnologia de ponta e boas acessibilidades para escoar os produtos). Em verdade verifica-se uma dupla metamorfose, pois a metamorfose da cidade é acompanhada pela metamorfose do campo. Para Domingues (2008) é simplificador atribuir a esta dupla transformação do território o conceito híbrido de rurbanização, pois não se trata de cruzar duas entidades 'puras' e sempre idênticas, da qual resulta uma terceira. Optando o autor pelo conceito de transgénico, originário da Biologia, para classificar a complexidade deste território, que mistura genes com codificações muito distintas, pelo que o "resultado pode ser tão perturbador, quanto a mesma questão tem para um biólogo no seu campo de investigação, e a perplexidade ética, moral ou estética não será menor, também" (Domingues, 2008, p.12).

A metáfora de Choay (2006) impele à mudança de abordagem do micro-espaço cidade (ponto) para o macro-espaço do urbano (superfície), e, concomitantemente, ao abandono do modelo 'uma cidade um centro'. Esta alteração de escala – ainda que profundamente consumada no território – parece um salto para o abismo (Domingues, 2015a), pois faltam diagnósticos realistas acerca da extensão e características do fenómeno urbano que fica para além da 'cidade' histórica (Portas *et al.*, 2007). Note-se que até mesmo os perímetros urbanos, delimitados pelas autarquias no Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT), já não coincidem com a 'cidade geográfica' (definida por uma certa continuidade do tecido construído e das estruturas e infraestruturas necessárias ao seu funcionamento), e que nas últimas décadas as principais mudanças urbanas ocorreram precisamente fora desta circunscrição administrativa (Pinheiro *et al.*, 2016a). Ainda assim, persiste a visão nostálgica da cidade europeia, que considera que todo o urbano deve ser denso e contínuo (Ascher, 2010), como reafirma Dias (2005) que defende uma cidade mais densificada – "em que haja uma fronteira clara entre a cidade e a não-cidade. E não esta loucura de não saber onde acaba" (p.124). Em sentido oposto, a realidade evidencia de modo claro que "o urbano existe para além de qualquer limite que se pretenda fixar" (Salgueiro, 1992, p.27), pelo que neste momento o que se impõe como protagonista não é a cidade, mas o urbano. E o urbano já não mora na cidade, mas fora dela (Portas, 2000; Ferrão, 2007).

Atualmente é o território que fica 'entrecidades' que assume destaque, tanto do ponto de vista de localização da população, como das atividades económicas (Portas e Domingues, 1998) – pelo

que este tipo de urbanização constitui um dos grandes desafios do planeamento (e do próprio urbanismo), se não mesmo o maior. Paradoxalmente, o discurso político e técnico tem relegado para segundo plano (ou mesmo ignorado) a intervenção no território extensivo por diversas razões sociopolíticas e ideológicas (Ascher, 2010). Desde logo, por se tratar de formações urbanas menos estudadas e menos consensuais (Portas *et al.*, 2007; Portas, 2011). A isto, soma-se o facto desta 'outra cidade', complexa *per si*, entrar em choque com a ideia de cidade historicamente idealizada (como já escrutinado), e durante décadas vertida nos planos de ordenamento do território. Neste contexto, a insistência 'disciplinarmente correta' de que a urbanização difusa é um antagonismo perverso da 'boa forma urbana' (consumado na cidade histórica) – que nega radicalmente as suas qualidades, e remete a sua aceitação como algo descontrolado, elegível e inestético – construiu uma profunda barreira epistemológica à sua própria compreensão (Portas *et al.,* 2007).

Decorrente da estigmatização ambientalista e culturalista, a urbanização difusa tem sido renegada por muitos como intrinsecamente predadora de solo, ineficiente do ponto de vista energético, das infraestruturas e da mobilidade, dissipadora de economias de escala e aglomeração. Todavia, o conhecimento científico associado a este território (por comparação ao modelo compacto) não é suficiente para corroborar tais asserções, pois não existem *a priori* densidades boas ou más (Portas *et al.,* 2007). Os referidos autores alertam que a estrutura compósita da mancha urbana contemporânea compele à gestão de ambas as 'cidades' (*i.e.*, com ou sem História/modelo), como se de vasos comunicantes se tratasse (Figura I-51) – sendo que tal só é possível com base num pensamento global e sistémico (Marques, 2015).

Considerando que não existe um paradigma de substituição para cidade histórica, Portas (2002) aponta que o futuro deve passar pela construção de um modelo alternativo assente nas experiências que se vão fazendo – nomeadamente por via da operacionalização de conceitos como cidade-total ou cidade-território, que procuram compatibilizar o dualismo urbanístico já instalado no território. Neste contexto, é fundamental a efetivação do nível supramunicipal enquanto elemento coordenador do planeamento urbanístico. Ao mesmo tempo, ainda que em sentido inverso, também as freguesias – enquanto centro primário dos assentamentos – deveriam ganhar um papel de maior destaque no contexto do planeamento urbano. Esta inter-relação de escalas é imperativa na interpretação das diversas inclinações do modelo difuso, nomeadamente as tensões entre aglomeração e dispersão, cujos radicalismos continuam a encarar como paradigmas opostos, mutuamente exclusivos, e não como realidades complementares e interdependentes.

Da Estrada à Rua

A rede viária sempre foi fulcral para o desenvolvimento da urbanização difusa, importância que apenas poderia ser equiparada, em certa medida e num período temporal muito específico, às linhas de água. No território da urbanização difusa é notória a secular desmultiplicação dos caminhos – quase em filigrana – decorrente da necessidade de ligar as habitações aos campos agrícolas, para o transporte das colheitas e do estrume produzido pelos animais criados em estábulo. No período Pós-Segunda Guerra Mundial, a multiplicação do edificado ocorre, uma vez mais, ao longo das estradas, que procurava tirar o máximo proveito das parcas infraestruturas que nelas havia (*e.g.*, eletricidade, telefone). Efetivamente, a infraestrutura desde sempre foi promotora de urbanidade, e até então tinha sido um privilégio apenas da cidade, principalmente num país que permanece profundamente deficitário até aos anos 90 do século XX (Domingues, 2010, 2011a). Deste modo, ao longo das estradas, onde se encontravam as infraestruturas, surgem não só as habitações, como também edifícios fabris de grandes dimensões a par de microempresas, armazéns, pequeno e grande comércio e a restauração, entre muitos outros serviços. Não raras as vezes, os edifícios unifamiliares assumem uma multifuncionalidade – *i.e.*, habitação e posto de emprego –, uma vez que o rés-do-chão do edifício é explorado para a restauração, comércio ou mesmo para uma pequena indústria. Nesta paisagem linear proliferam ainda os edifícios-montra que servem, simultaneamente, para a exposição e venda de todo o tipo de produtos, desde automóveis, mobiliário, decoração (Daveau, 1999a, Portas *et al.*, 2007; Domingues, 2009, 2010). Decorrente desta diversidade tipológica e funcional, a rua assemelha-se a um centro em linha – 'uma corda onde tudo se pendura', segundo Domingues (2010, 2011a) –, pelo que deixa de ser um mero local de passagem, transformando-se num mercado contínuo, bem como lugar de encontro e de lazer (Domingues, 1999).

A visão de Portas (*e.g.*, 1986), e mais recentemente de Domingues (*e.g.*, 2009, 2010), para o difuso desenvolve-se no sentido de transformação das estradas nacionais e dos caminhos rurais em ruas e, dos nós em cruzamentos. Neste sentido, aquando da implementação dos PDM os grandes esforços foram no sentido da infraestruturação do território do difuso, nomeadamente em termos de eletricidade, telecomunicações e de saneamento (doméstico e industrial), que à data constituía o principal problema ambiental do território (Portas *et al.*, 2007). A rede viária, enquanto ossatura deste modelo territorial, foi alvo de particular destaque, com a instalação de iluminação pública, criação de passeios e de zonas de estacionamento, colocação de paragens para os transportes públicos, e mais recentemente a arborização ou pequenos canteiros ajardinados. Por

via desta sucessão de empreitadas na fímbria de espaço que vai do asfalto aos edifícios, as estradas nacionais, primeiramente, e depois os caminhos locais, foram-se transformando em ruas, como comprova a toponímia recente do território – *e.g.*, Rua da Estrada Nacional 105, na freguesia de Nespereira (Figura I-56) ou Rua da Estrada Nacional 206 na União de Freguesias de Atães e Rendufe. Efetivamente como denota Domingues (2009, p.156), a "Rua da Estrada é a toponímia que melhor resume a situação"; encontrando-se esta apologia da 'Rua' bem patente noutra mudança recente da toponímia, na qual os seculares 'lugares' (possivelmente com origem nos casais Romanos) foram preteridos pela designação de rua – *e.g.*, Lugar de Real, para Rua de Real – numa clara de homogeneização toponímica entre a cidade e o território extrínseco.



Figura I-56 – Rua da Estrada Nacional 105 (Nespereira, Guimarães)

Atualmente, se a estrada é ao mesmo tempo rua, esta pode – no entanto – não ser uma coisa nem outra, dado que as artérias densamente edificadas tanto são utilizadas como local de passagem para deslocações locais (*e.g.*, casa-trabalho), como para outras de maior distância (*e.g.*, viagens de lazer). Deste modo, na estrada-rua não há apenas trânsito (típico da estrada), nem somente movimento locais de peões e veículos (como sucede na rua). Desta sobreposição ressaltam os conflitos permanentes entre peões e veículos motorizados, pois é "rápida de mais

para quem lá vive, lenta e congestionada para quem passa" (Domingues, 2010, p.62). Tanto mais que, o parco espaço que fica entre o asfalto (de domínio público) e os muros das habitações de (de foro privado) nem sempre constitui um passeio, não raras as vezes resume-se a uma vala estrita, onde tudo conflui – peões, escorrência das águas, sinalética, infraestruturas. Noutros caso, a dicotomia público-privado não é nítida, uma vez que a transição se encontra diluída, num *continuum* que não se sabe onde começa um e o outro acaba. Para Domingues (2010), "a rua da estrada não é rural, nem urbana, cidade ou campo. É um terceiro estado, um transgénico mais do que um híbrido" (p.65), que em tudo se distância das situações históricas verificadas nos centros urbanos, bem como dos zonamentos previstos nos PDM, de origem mais recente. Com efeito, do ponto de vista da política urbanística abre-se assim um novo campo de experimentação (Portas *et al.*, 2007).

I – 5.4.3. Algumas Soluções Apontadas

Historicamente, o processo de crescimento urbano e de localização das atividades encontrava-se livre da responsabilidade pública, pelo que este processo ocorria de modo descontrolado e irregular (Clark, 1991). De igual modo, também o território do difuso cresceu à margem de qualquer plano, ocorrendo o desenvolvimento urbano parcela a parcela, em estreita ligação com às necessidades e dinâmicas de quem o habitava, numa lógica concertada ao longo de gerações. Efetivamente, o reconhecimento das necessidades de planeamento surge nos fins do século XIX e inícios do século XX no Reino Unido e na América do Norte, como resposta aos problemas percebidos na cidade industrial, uma vez que as condições de vida na cidade eram consideravelmente piores do que as existentes no campo (Clark, 1991). Assim, muito países viram-se obrigados a organizar planos de urbanização que, partindo do conhecimento da personalidade das cidades e da análise das suas funções, procuravam prever e orientar o seu crescimento, organizando os respetivos serviços de modo a que obtivessem uma maior eficácia e sobretudo melhores condições de habitação.

O planeamento decorre da extensão e desenvolvimento do urbanismo, atuando como a sua *praxis,* constituindo o urbanismo a disciplina científica que se ocupa da conceção da cidade. Assim, o planeamento, enquanto domínio profissional, procura guiar, coordenar e regular a ação do Homem sobre o território a diversas escalas (Sliuzas *et al.,* 2010). Este domínio evoluiu consideravelmente através do tempo, e no espaço, em estreita ligação com as mudanças de natureza dos problemas

territoriais. O planeamento urbano, tal como a designação indica, centra a sua atenção no processo de desenvolvimento urbano, podendo atuar ao nível estratégico ou formal. Neste campo assistiu-se nas últimas décadas a uma mudança da sua natureza primária enquanto elemento regulador (*i.e.*, design físico, particularmente por via do zonamento), para incluir todos os mecanismos e processos que determinam a forma urbana, nomeadamente estratégias relacionadas com o emprego ou transportes (Clark, 1991).

Alguns autores defendem que a existência de entidades, regulamentos e políticas não implica necessariamente uma utilização mais eficiente dos recursos nos espaços urbanos. Estes alegando que tal se encontra mais dependente do contexto espácio-temporal, podendo variar significativamente entre as regiões de um país, e mais ainda entre os países (Encarnação *et al.*, 2013). Assim, não sendo possível avaliar os efeitos que o planeamento tem no território, por comparação com o crescimento espontâneo (Clark, 1991), resta apenas a avaliação dos padrões urbanos atuais (*e.g.*, Carlson e Arthur, 2000; Wilson *et al.*, 2003), no quadro das respetivas opções políticas. Ainda que Encarnação *et al.* (2013) enfatize que não se podem desconsiderar os constrangimentos que os fatores político, sociais, culturais e físicos impõem na direção dos processos urbanos, mesmo em locais que partilham um quadro comum de regulação urbana.

Em Portugal – e, por conseguinte, em Braga e Guimarães – a entrada de Portugal na Comunidade Europeia em 1986 constitui um ponto de referência fundamental no que concerne ao planeamento urbano, decorrente da obrigação de elaboração dos PDM, como exigência para receber apoios europeus (Clark, 1991). Sem embargo de notar que em Portugal, assim como nos municípios em estudo, já existiam planos de ordenamento do território (e das áreas urbanas em particular), ainda que a sua elaboração fosse esporádica e assistemática, quer do ponto de vista espacial, quer temporal. A este respeito de salientar que em Guimarães, o primeiro plano foi elaborado em 1867, da autoria do engenheiro Manuel de Almeida Ribeiro, sob a designação Plano de Melhoramentos, ao qual se seguiu o Plano de Alargamento (1923-25), da autoria do Capitão Luís de Pina, o Plano de Crescimento (1949), elaborado pelos arquitetos Moreira da Silva e Arménio Losa, e, já na década de 80 o Plano de Geral de Urbanização (1982), da responsabilidade do arquiteto Fernando Távora e as Normas Provisórias (1983-1986) que antecederam o PDM. Em Braga, destaca-se ainda na primeira metade do século XX a elaboração do Plano de Alargamento, Extensão e Embelezamento da Cidade de Braga (1942) da autoria de Étienne De Gröer, seguido do Plano Parcial de Urbanização Sul de Braga em 1958, elaborado pelo engenheiro Miguel Resende, e do

Plano de Reestruturação do Território Municipal em 1982, decorrente de um protocolo com o protocolo com a CEAPE, que estabeleceu as bases para a elaboração do PDM.

A primeira geração dos PDM portugueses fica marcada por diversas falhas, particularmente ao nível da ausência de critérios gerais e de métodos consensuais. A inexistência de diretivas de ordenamento a nível nacional ou regional à data, repercutiu-se em planos desprovidos de qualquer carácter estratégico, resumindo-se não raras as vezes ao zonamento do território municipal (Pinho, 1995). A Reserva Agrícola Nacional (RAN) e a Reserva Ecológica Nacional (REN) delimitadas em alguns municípios de modo quase casuístico (Pinho, 1995), não formam um todo homogéneo (*i.e.*, um sistema ecológico). E, por conseguinte, não cumpriam a sua principal finalidade – o do *continuum naturale*. Para tal, continua a ser necessário dar um passo importante na legislação nacional, ao nível da obrigatoriedade da concertação intermunicipal na delineação destas estruturas, que não se compadecem com as divisões administrativas.

Ainda que na segunda geração dos PDM (entretanto aprovada na maioria dos municípios nacionais) se denote uma importante evolução, o sistema de ordenamento do território contínua a enfrentar profundos desafios, não só porque ainda é mal-aceite pela consciência coletiva, como também apresenta diversas lacunas. Efetivamente, no âmbito específico do modelo territorial do difuso, diversas soluções defendidas durante anos como universais, apresentam-se do ponto de vista prático inviáveis neste território. Entre estas, Portas (2005) salienta: (i) o emparcelamento dos terrenos, que defendido como um meio para promover a rentabilidade da agricultura, encontrou desde sempre uma forte resistência no Minho, fruto não só da histórica divisão e subdivisão dos terrenos, mas também da pluriatividade, na qual a agricultura de subsistência constitui um importante complemento económico; (ii) a hierarquização dos serviços, no entanto não se pode esquecer que no difuso a população e o emprego se dispersam por todo o território; e, (iii) isolar a rede viária, a habitação e a indústria, contradizendo o modelo histórico de ocupação do território, e quebrando as bases na qual assenta a relação de proximidade casa-trabalho, ou melhor no poliedro casa-trabalho-horta (Figura I-52), que compensam os baixos salários na qual a indústria do Vale do Ave sempre assentou. Assim, se estes elementos de racionalidade vistos *per si* seriam pertinentes, uma vez mais coloca-se em evidência que a singularidade da urbanização difusa não coaduna com metodologias de intervenção demasiado formatadas – enfatizando que as políticas territoriais não podem ser desenquadradas da estrutura física, económica e social do território. De notar que, Braga e Guimarães foram dos poucos municípios do Norte de Portugal em que a elaboração do primeiro PDM teve a cargo dos técnicos da autarquia (Pinho, 1995).

Para estabelecer soluções adequadas à gestão da urbanização e industrialização difusa – que, enquanto fenómeno estrutural é irreversível, tem tendência para se acentuar –, e evitar desvios casuísticos no planeamento, é fundamental o real conhecimento e aceitação da estrutura urbana do território (especificidades e contradições), bem como a identificação sistemática das incongruências na legislação. Neste sentido, para Portas (2005) o modelo espontâneo do território não deve ser contrariado, particularmente quando tal é efetuado tendo por base um contra modelo – entenda-se os loteamentos. Estes apresentam inconvenientes ainda maiores, pois: (i) assentam na abertura de novos arruamentos, não raras as vezes sem conexão com a envolvente (*i.e.*, as ruas 'sem saída'); (ii) ocupam por vezes os terrenos mais férteis no fundo de vale, ou os topos arborizados; e (iii) levam à criação de áreas monofuncionais, de carácter residencial ou industrial, rompendo com a tradicional mescla de atividades.

No âmbito específico dos PDM existem alguns conceitos que necessitam de ser reformulados (Portas, 2005), nomeadamente: (i) a preocupação tradicional com os Perímetros Urbanos, apesar das leis insistirem em fazê-lo; (ii) o zonamento (monofuncional e segregador), dado que o território é caracterizado por uma mistura de atividades; e, (iii) o controlo da densidade por índices, uma vez que a densidade média global é muito baixa. Para tal, é necessário a adoção de um planeamento menos rígido (Sampaio, 2005; Portas, 2005), pois, paradoxalmente, os países mediterrâneos com menos tradição de planeamento constituem os últimos bastiões da rigidez no urbanismo, enquanto as formas mais abertas alastram nos países do Norte da Europa. Contudo, esta flexibilidade não pode ser permissiva (Ferreira, 2005). Assim, ainda que não se imponha um 'urbanismo ditador' (Soares, 2005), é imprescindível que as orientações/medidas estabelecidas sejam efetivamente cumpridas, por via do carácter vinculativo dos PDM aos particulares e da necessária fiscalização.

Para Portas (1986, 2012a) no território difuso os esforços devem ser dirigidos no sentido do reforço do modelo instalado e da correção persistente e participada dos seus desvios e perversões. De mais a mais, posto que as lógicas de aglomeração e de dispersão coexistem, na prática o território pode carecer de soluções de densificação ou de desdensificação, de compactação ou descompactação, de continuidade ou descontinuidades, conforme as diferentes partes ou estruturas. Efetivamente, não é viável tornar de baixa densidade a cidade compacta, nem conferir uma elevada densidade ao território que nasceu disperso (Portas, 2005; Bhatta, 2010; Marques, 2015), pois se continuidade espacial e a densidade têm vantagens (*e.g.*, ponto de vista ecológico,

menor fragmentação do habitat), a verdade é que mesmo as cidades mais tradicionais são igualmente feitas de espaços mais rarefeitos.

Adicionalmente, a aposta deve ser dirigida no reforço do policentrismo, de modo a 'coser' várias aglomerações (Sampaio, 2005), consolidando subsistemas urbanos com vínculos funcionais, culturais e paisagísticos (Marques, 2015), e criando movimentos em sentidos diversos, que tirem partido da intersecção e complementaridade das distintas centralidades implementadas (ou a potenciar) no território (Domingues, 2011a). De notar que o policentrismo deve ser construído a diversas escalas geográficas (Marques, 2015), por via da estruturação de diferentes níveis de núcleos urbanos, quer ao nível municipal (*e.g.*, núcleo central da freguesia, núcleo das Vilas, nós de eixos rodoviários, centro do município), quer supramunicipal, com a criação de cidades multimunicipais (embora tal situação, entre em conflito direto com a delimitação de cidade imposta pelo INE), organizadas em rede (ou redes) de modo desenvolver estratégias concertadas e a assegurar a massa crítica necessária ao desenvolvimento (Marques, 2015).

Com o reforço do policentrismo o próprio conceito de disperso vai-se esvaziando de sentido, pelo que para Portas (2011) a consolidação da malha urbanística, eixos e nós existentes, a completar ou a criar – numa espécie de cerzimento urbanístico – é bem mais necessário do que as unidades de execução, a delimitação de perímetros urbanos (tantas vezes arbitrários, que por isso mesmo continuam expectantes) ou a definição de índices abstratos. Esta densificação, maioritariamente linear, por se desenvolver ao longo da malha viária em consonância com as lógicas instituídas da estrada-rua e estrada-mercado, pode constituir uma importante solução para a rentabilização do transporte coletivo (posto que, a mobilidade é condição *sine qua non* para a viabilidade de qualquer modelo territorial). Nesta lógica da estrada-rua é de igual modo necessário que aposta seja efetuada no sentido da desclassificação das estradas, com o desvio do trânsito para vias coletoras, o alargamento dos passeios, gestão do estacionamento, bem como na promoção da arborização e criação biovaletas, com vista a promoção de um território mais resiliente e sustentável.

A cidade extensiva não é só o conjunto das suas áreas construídas e impermeabilizadas, que em termos de superfície ocupada até são minoritárias, dado que os jardins, hortas, talhões agrícolas, vinhas e povoamentos florestais continuam a marcar a paisagem, ainda que significam muito pouco em termos de emprego e rendimento. De acordo com Portas (2012b), a resiliência da urbanização difusa depende da qualidade e utilidade dos 'espaçamentos' que ora ligam ora separam o tecido construído, pelo que é fundamental repensar estes territórios nas suas múltiplas

dimensões – ecológica, paisagística social e, mesmo, económica – que ainda são encaradas na legislação e na gíria do planeamento como rural. De mencionar que, a mais recente Lei dos Solos, em vez de rural, opta pela denominação de Solo Rústico (em consonância com os termos económicos e de finanças) para designar "aquele que, pela sua reconhecida aptidão, se destine, nomeadamente, ao aproveitamento agrícola, pecuário, florestal, à conservação, valorização e exploração de recursos naturais, de recursos geológicos ou de recursos energéticos, assim como o que se destina a espaços naturais, culturais, de turismo, recreio e lazer ou à proteção de riscos, ainda que seja ocupado por infraestruturas, e aquele que não seja classificado como urbano" (alínea a, do artigo n.º 10 da Lei n.º 31/2014, de 30 de maio). Ao mesmo tempo, verifica-se a extinção do conceito de 'Solo Urbanizável', que pressupunha necessariamente que as cidades iam continuar a expandir-se, mudando o foco do ordenamento do território para a requalificação e regeneração do tecido urbano existente (Cavaco, 2015).

Ribeiro Telles (2005) reconhce que tanto os terrenos que ainda não foram impermeabilizados, como o edificado, são urbanos, pois a cidade necessita dos dois. A delimitação das Reservas Nacionais (Agrícola e Ecológica), legalmente estabelecidas desde a primeira geração dos PDM, revelaram-se manifestamente insuficientes na salvaguarda destes espaços permeáveis – que ficam entrecidades e entre edifícios –, uma vez que se verificam densidades excessivas de alguns lotes, enquanto noutros se criam espaços verdes tão artificiais, como as próprias construções (Ribeiro Telles, 2005). Neste sentido, a recente obrigatoriedade de delimitação da estrutura ecológica, a nível regional (nos Planos Regionais Ordenamento do Território) e municipal (nos PDM), que poderia constituir uma importante saída para o complexo sistema do ordenamento dos territórios humanizados, parece também ela não conseguir dar resposta à complexidade ecológica deste território, ou pelo menos não moldes em que tem sido aplicada.

Para o futuro, Portas (2012c) alerta que as mutações económicas, sociais e políticas verificadas recentemente (*e.g.*, desindustrialização, turistificação, gentrificação) introduziram outras realidades urbanas que não correspondem ao modelo da cidade canónica, nem ao contra modelo da difusão, pelo que impelem uma vez mais à delineação de novas visões sobre a forma como gerir este território – pois não podendo ser eliminadas, terão obrigatoriamente que fazer parte da solução global (Portas *et al.*, 2007). Neste sentido, é fundamental a coordenação simultânea de diversas escalas e dimensões do ordenamento do território, dado que nenhuma escala ou dimensão é mais importante e estratégica que outra (Marques, 2015).

Em suma, no que se refere à urbanização extensiva – seja esta difusa, como ocorre no território de estudo, ou decorrente de um outro espectro de situações (*e.g.*, *urban sprawl*) – as teorias urbanas, tradicionais ou emergente, descritivas ou normativas, entram em conflito entre si acerca de quase tudo, desde a sua conceção e racionalidade, até às recomendações, medidas e políticas de ordenamento do território (Besussi *et al.*, 2010). Assim sendo, a solução passará – inevitavelmente – por um processo de planeamento local, "sucessivamente feito e refeito, acabado para logo se questionar de novo" (Salgueiro, 1992, p.403), pois fracassarão todas as soluções simplistas, que não deixem margem à diversidade dos lugares e ao peso do tempo" (Ribeiro, 1989a).



II

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

“Todas as ciências progridem tanto pela aquisição de factos novos como pela exploração de novos rumos de pesquisa; estes devem-se quer ao desenvolvimento de conceitos originais, quer à descoberta ou invenção de instrumentos de análise mais poderosos”

| Orlando Ribeiro, 1989a, p.101 |

Parte II – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

"O método é o caminho a seguir, mediante uma série de operações e regras prefixadas de antemão, aptas a alcançar o objeto a que nos propomos. (...). Do método depende, na verdade, a eficiência da pesquisa".
|Amorim, 1993, p.50|

CONTEXTUALIZAÇÃO

A complexidade das áreas urbanas requere a utilização integrada de um conjunto diversificado de métodos e de técnicas (Murayama, 2012), cuja seleção deve atender as duas condições básicas: a natureza do objeto a que vai ser aplicado e o fim que se tem em vista (Amorim, 1993). Neste sentido, os dados de Deteção Remota são processados e combinados com dados auxiliares (*e.g.*, a topografia, limites administrativos), num Sistema de Informação Geográfica (SIG) – que permite a introdução, gestão, manipulação e apresentação da informação espacial (Rocha e Sousa, 2007; Souza, 2007). A ligação entre a imagem de satélite e o SIG é efetuada a partir do pixel (*i.e.*, a porção do território à qual se refere a informação armazenada), que constitui a unidade mínima de análise. O processamento das imagens de satélite possibilita a extração de informação qualitativa e quantitativa (Lira *et al.*, 2016) útil para o utilizador (Bruin e Molenaar, 2002). Para tal, recorre-se a um conjunto de métodos já desenvolvidos e testados, que possibilitam dirigir o foco temporal e temático da investigação para os seus *outputs*. Note-se que, nos últimos anos a Deteção Remota evoluiu de uma disciplina qualitativa, alicerçada na interpretação visual da imagem de cores naturais, para uma disciplina quantitativa, assente no processamento computacional da informação multiespectral (Atkinson, 2002). Na prática, obtém-se um conjunto de *layers* temáticas, que podem ser cruzadas com informação socioeconómica, ou analisadas *per si*, particularmente quando traduzida em mapas. De referir que a cartografia temática elaborada no decorrer do trabalho apresenta como base (de contextualização) o mapa topográfico, por este representar a completude física da superfície, constituindo uma plataforma neutra que enfatiza os temas representados (Fonseca, 2016). Como salienta Orlando Ribeiro (2012), o mapa é o modo de expressão mais adequado à ciência geográfica e, como tal, um companheiro indispensável do geógrafo. Para a Geografia "o mapa é, ao mesmo tempo, uma das suas bases de trabalho e um dos seus recursos de expressão" (Ribeiro, 1897, p. 39) – pois um facto expresso cartograficamente toma logo maior valor geográfico (Ribeiro, 2012).

II – 1. DADOS

"Sometimes available data determine research designs and space-time scales".
|Meentemeyer, 1989, p.169|

As imagens obtidas por Deteção Remota apresentam resoluções espaciais, radiométricas, espectrais e temporais distintas, dependendo do satélite (ou mais especificamente do sensor) de onde provêm. Assim, a compreensão das suas potencialidades e debilidades é fundamental para selecionar a fonte de informação mais se adequada aos objetivos do trabalho – pois, como salientam Mayaux *et al.* (2008), estas características determinam o que é possível, ou não, mapear.

A seleção das imagens de satélite deve advir das necessidades do utilizador, nomeadamente a escala do estudo e as características da área em análise, a disponibilidade de imagens (*e.g.*, resolução temporal do satélite), e os constrangimentos temporais e financeiros. Neste sentido, para a análise das mudanças nas componentes biofísicas, no tecido urbano e na temperatura de superfície (Ts) na Área Urbana de Braga e de Guimarães (AUBG) nas últimas décadas recorre-se à longevidade temporal do arquivo Landsat, por constituir a mais longa e contínua série de aquisição de imagens por Deteção Remota; ao passo que a elevada resolução temporal do MODIS é utilizada para estudar as variações diárias de Ts e o seu comportamento no decorrer de uma onda de calor. Do ponto de vista específico do espetro temporal, no primeiro caso encontram-se em escrutínio as mudanças verificadas no longo-prazo (*i.e.,* anos), enquanto no segundo a indagação prende-se com a evolução do ambiente térmico a curto-prazo (*i.e.*, dias e horas).

II – 1.1. Evolução Histórica – Arquivo Landsat

Para determinar as tendências de mudança nas componentes biofísicas – *i.e.*, vegetação superfície impermeável, solo nu e água Ridd (1995) –, ocorridas na AUBG e, por conseguinte, avaliar o efeito da urbanização difusa sobre o ambiente térmico, recorre-se ao arquivo Landsat, fornecido gratuitamente pelo *United State Geological Survey* (USGS) – *Earth Resource Observation Systems Data Center*, em http://earthexplorer.usgs.gov/. De facto, a resolução espectral do Landsat – que vai do visível ao infravermelho térmico – permite uma comparação *pixel-to-pixel* da cobertura terrestre com os respetivos valores de Ts (Wentz *et al., 2012*).

No nível 1 (L1T), as imagens são disponibilizadas no formato *GeoTIFF* e encontram-se projetadas no sistema de coordenadas do *World Geodetic System* 1984 (WGS 84 – UTM Zone 29N). Estas imagens apresentam uma elevada precisão geométrica, que é obtida com base no uso de pontos de controle, modelos digitais do terreno e outras informações existentes no arquivo de calibração (Coll *et al.*, 2010; García *et al.*, 2012; Zhou *et al.*, 2014). Antes de serem fornecidas todas as bandas foram reamostradas pelo USGS para uma resolução espacial de 30m, com exceção da banda pancromática do Landsat 8 OLI que é fornecida com uma resolução de 15m. Notar que os municípios de Braga e de Guimarães se encontram cobertos pela mesma imagem Landsat, o que minimiza as incertezas na extração da informação – tanto ao nível dos indicadores biofísicos (traduzidos pelos índices espectrais), como de Ts (Zhang e Wang, 2008).

II – 1.1.1. Seleção das Imagens

Chuvieco (1992) alerta que a seleção das imagens deve ser cuidadosamente ponderada em função do tipo do fenómeno em estudo. Neste sentido, procedeu-se à triagem do arquivo Landsat, partindo dos pressupostos que as imagens fossem da mesma estação do ano, nomeadamente do verão (Coppin *et al.*, 2004), e adquiridas perante condições anticiclónicas (Roth *et al.*, 1989), de modo a minimizar as diferenças: (i) nas condições atmosféricas, como a cobertura de nuvens; (ii) na elevação e azimute do Sol (Amiri *et al.*, 2009); e, (iii) no estado fenológico da vegetação (Weng, 2001; Coppin *et al.*, 2004; Lu *et al.*, 2004; Chen *et al.*, 2006; Kiel, 2008; Lu *et al.*, 2011*;* Martin *et al.*, 2015). O verão constitui o período de menor nebulosidade e precipitação o que minimiza a existência de imagens inutilizáveis. De acordo com Coppin *et al.* (2004), durante a estação seca verifica-se uma maior separabilidade espectral – logo, menor a similaridade/confusão entre diferentes coberturas/usos do solo. Do ponto de vista climático, a opção pelo verão prende-se com facto de esta constituir a estação do ano mais quente (à latitude da área de estudo), pelo que as diferenças diurnas de Ts entre as áreas urbanas e rurais (e intraurbanas) são mais significativas (Roth *et al.*, 1989). Por conseguinte, verifica-se um maior desenvolvimento e intensidade da ilha de calor de superfície (García-Cueto *et al.*, 2007).

Respeitando todos os pressupostos descritos foram selecionadas 6 imagens do arquivo Landsat (Figura II-1), distribuídas por três sensores: (i) *Thematic Mapper* (TM) – 1984, 2003, 2007 e 2010; (ii) *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) – 1999; e, (iii) *Operational Land Imager* (OLI) – 2016. Em detalhe, a série histórica situa-se entre os anos de 1984 e de 2016, abrangendo quatro

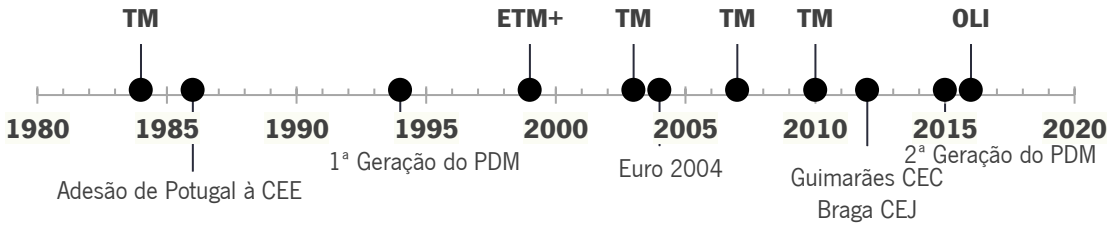
décadas distintas – nomeadamente as duas últimas do século XX e as duas primeiras do século XXI. Na prática, os 32 anos abarcados são analisados a partir de cinco intervalos temporais – *i.e.*, 1984-1999; 1999-2003, 2003-2007, 2007-2010 e 2010-2016.

Tabela II-1 – Características das imagens Landsat e anomalias da temperatura do ar (ºC) e da precipitação (mm) em relação à Normal Climatológica de 1971-2000

Imagem Landsat					**Anomalias em relação aos valores de julho da Normal de 1971-2000***	
Sensor	**Data**	**Hora**	**Cobertura de nuvens (%)**	**Elevação do Sol**	**Temperatura média do ar (ºC)**	**Precipitação total (mm)**
TM	22/07/1984	10:42	0	57,4	-0,4	-7,0
ETM+	08/07/1999	11:06	0,40	63,0	+1,1	-6,0
TM	11/07/2003	10:50	10	60,2	-0,6	-2,0
TM	06/07/2007	11:07	0	63,3	-0,5	-1,0
TM	30/07/2010	11:04	0	59,2	+2,0	-12,5
OLI	14/07/2016	11:13	0,02	63,2	+2,2	-13,8

*Fonte: IPMA (2016)

De acordo com Ribeiro e Ferrão (2014), é a partir de 1980 que o processo de urbanização nos municípios de Braga e de Guimarães – à semelhança do restante Noroeste português – entra em franca mutação, verificando-se mudanças mais rápidas e intensas do que em qualquer outro período da História recente (Kivell, 1993). Para tal, em muito contribui a adesão de Portugal à então Comunidade Económica Europeia (CEE), atualmente sob a designação de União Europeia, que impôs a realização (obrigatória) do Plano Diretor Municipal (PDM) – apenas aprovados nos municípios em estudo no ano de 1994 (Figura II-1). Mais recentemente, de destacar os grandes eventos internacionais – *e.g.*, Campeonato Europeu de Futebol em 2004 – pela importância que desempenharam na vida urbana dos dois municípios (Figura II-1).



Imagens Landsat: TM - Landsat 5; ETM+ - Landsat 7; OLI – Landsat 8. CEE – Comunidade Económica Europeia; PDM – Plano Diretor Municipal; Euro 2004 – Campeonato Europeu de Futebol; Guimarães CEC – Capital Europeia da Cultura; CEJ – Capital Europeia da Juventude.

Figura II-1 – Linha cronológica das imagens Landsat selecionadas e principais marcos históricos entre 1984 e 2016

A captura das imagens selecionadas ocorre sempre no mês de julho, porém distribui-se ao longo deste, variando entre o dia 6 e 30 (Tabela II-1). De acordo com Lautensach (1999b), em Portugal Continental o mês de julho (bem como o de agosto) caracteriza-se por uma absoluta estabilidade dos tipos de tempos, em contraste com a variabilidade dos outros meses do ano, fruto da permanência do anticiclone dos Açores, sob o arquipélago que lhe confere o nome. Durante este mês a humidade relativa é, geralmente, fraca por causa da presença subsistente da Nortada, cujas raízes se encontram nos Ventos Alíseos. Efetivamente, é durante este mês (conjuntamente com agosto) que as médias climáticas – máximas, no caso da temperatura, e mínimas, no caso da precipitação – atingem os valores extremos.

II – 1.1.2. Limitações da Série Histórica

A série longitudinal selecionada encontra-se limitada a seis imagens, desde logo pelo facto do arquivo Landsat não dispor de imagens para a AUBG entre o final da década de 80 e a 90, do século XX. Em consequência, verifica-se uma lacuna de dados de 15 anos, entre 1984 e 1999, ultrapassando o intervalo dos 10 anos que vários autores consideram ser o mais adequado para a análise do processo de crescimento urbano (*e.g.*, Bhatta, 2010), pois as mudanças drásticas raramente ocorrem em períodos curtos (Mayaux *et al.,* 2008). Todavia, Bhatta (2010) salienta que um hiato até 15 anos é aceitável, em virtude da ausência de informação. De facto, Coppin *et al.* (2004) refere que "*for most documented studies, the periodicity of the data acquisition seems to have been determined according to the availability of satellite sensor data of acceptable quality*" (p.1568). Assim sendo, considerou-se preferível assumir o hiato de 15 anos, do que a utilização

de uma data intercalar cujos resultados não fossem passíveis de uma comparação direta com as restantes imagens (*e.g.*, diferente inclinação do solo ou fenologia da vegetação).

Outra debilidade do programa Landsat é à hora de captura da imagem, uma vez que a meio da manhã (cerca das 10h/11h) as superfícies ainda se encontram a aquecer (Tabela II-2), pelo que esta informação não traduz o valor máximo diário de Ts (Bonan, 2000). Ademais, não permite analisar os fenómenos típicos da tarde, quando a temperatura do ar atinge o valor máximo, nem da noite, período em que se verificam as maiores diferenças de temperatura do ar entre as áreas urbanas e as rurais (Martin *et al.,* 2015).

Tabela II-2 – Temperatura (°C) de diversas superfícies captadas por termómetro de infravermelho em Madrid*

Hora (local)	Asfalto	Pavimento	Relvado	Água
09h45	23°C	21°C	17°C	14°C
12h45	40°C	27°C	24°C	22°C
14h30	47°C	39°C	24°C	26°C
16h30	51°C	43°C	24°C	22°C

*Temperaturas captadas em Madrid, no dia 20/04/1992, perante condições anticiclónicas.
Fonte: García (1996).

Alguns autores salientam que o horário de captura do Landsat não resulta na perda de informação significativa no que se refere à análise do efeito da ilha de calor urbano superficial (Carlson *et al.*, 1995), pois fornece o contraste suficiente para diferenciar as áreas rurais das urbanas (Yuan e Bauer, 2007), assim como as diferentes superfícies intraurbanas (Wilson *et al.*, 2003b; Martin *et al.*, 2015). Por sua vez, o facto de o satélite cumprir sempre o mesmo horário torna possível a comparação multitemporal das imagens.

II – 1.2. Ciclo Diário – Arquivo MODIS

As imagens MODIS utilizadas no estudo das variações diárias de Ts correspondem às mesmas datas selecionadas para a análise histórica, apresentadas anteriormente (*vide* Tabela II-1). Deste modo, torna-se possível comparar a informação dos dois arquivos, e, por conseguinte, explorar as vantagens e debilidades intrínsecas. Note-se, porém, que o arquivo MODIS não dispõe de imagens para as duas primeiras datas da série histórica – *i.e.*, 1984 e 1999 –, pelo que a análise da variação diária da temperatura se resume ao período 2003-2016.

Neste trabalho recorre-se à combinação da informação proveniente dos dois satélites que transportam o sensor MODIS – o Terra e o Aqua –, e especificamente aos produtos MOD11A1 (MODIS-Terra) e MYD11A1 (MODIS-Aqua), que fornecem diariamente a temperatura da superfície terrestre e a emissividade (com uma resolução espacial de aproximadamente 1km). Esta informação é disponibilizada gratuitamente para todo o globo pelo *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LPDAAC), da NASA. Não obstante, de mencionar que o download das imagens não foi efetuado diretamente a partir do LPDAAC, mas sim por via da plataforma *Google Earth Engine Explorar* (disponível em https://explorer.earthengine.google.com/). Esta plataforma agiliza o *download* das imagens (versão 6), além de que permite a sua extração no sistema de coordenadas WGS 84 (em vez da projeção Sinusoidal original) e no formato GeoTIFF (e não em HDF). Conjuntamente com os valores da temperatura de superfície é disponibilizada uma avaliação de cada pixel produzido, bem como os valores de emissividade das bandas 31 e 32, o tempo de observação e os ângulos de visão do satélite.

A combinação dos produtos MODIS Terra e Aqua permite reconstruir a evolução diária de Ts, tendo por base o padrão observado em quatro momentos: 01:30 (imagem noturna do MODIS-Aqua); 10:30 (imagem diurna do MODIS-Terra); 13:30 (imagem diurna do MODIS-Aqua); e, 22:30 (imagem noturna do MODIS-Terra). Ressalvar que, o horário da captura das imagens MODIS corresponde à hora local e que esta pode sofrer ligeiras oscilações entre as sucessivas passagens do satélite. Ademais, efetuou-se igualmente o *download* da imagem MODIS-Aqua referente ao dia seguinte da captura Landsat, de modo a completar o ciclo de 24 horas da variação da temperatura. Todavia, as imagens referentes ao ano de 2003 e 2016 apresentavam diversos pixéis com nebulosidade, que impossibilitam a sua utilização.

Sublinhar desde já que o MODIS apresenta importantes limitações: (i) do ponto de vista espacial, o pixel com cerca de 1km não capta as especificidades do território, potenciada pelo contexto de urbanização difusa da AUBG; e, (ii) em termos temporais, não capta o valor máximo, nem o mínimo, de temperatura das superfícies.

II – 1.3. Comportamento Durante uma Onda de Calor – Arquivo MODIS

Para estudar o comportamento do ambiente térmico da AUBG no decorrer de uma onda de calor selecionou-se o episódio de julho de 2010, por este entroncar diretamente com a série histórica de imagens Landsat selecionadas para a análise do efeito climático da urbanização difusa, e, consequentemente com a série diária de imagens MODIS utilizadas para compreender o ciclo diário de Ts. De acordo com o IPMA (2010), no caso específico da Estação Climatológica de Braga a onda de calor ocorreu entre os dias 23 e 30 de julho.

Para traçar a evolução da onda de calor recorre-se igualmente ao arquivo MODIS (Terra e Aqua), tendo por base os pressupostos e procedimentos descritos anteriormente aquando da seleção das imagens para análise das variações diárias de Ts. No total foram selecionadas 32 imagens, que não apresentam nebulosidade, nem a ausência de valores decorrentes de outras situações técnicas –excetuando-se apenas a imagem do MODIS-Aqua do dia 25 de julho referente ao horário da 01:30, que apresenta alguns pixéis sem dados. Para os oito dias da onda de calor efetuou-se também o *download* do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) referente aos satélite Terra e Aqua –que totalizam 16 imagens – seguindo os procedimentos e parâmetros já descritos.

II – 1.4. Caracterização Meteorológica das Datas Selecionadas

As condições meteorológicas impõem diferenças significativas nas imagens de satélite, podendo estas advir de fenómenos climáticos mais ou menos prolongados no tempo. Deste modo, mesmo em datas de aniversário é possível verificarem-se disparidades no estado fenológico da vegetação, decorrente de variações na precipitação e na temperatura (Coppin *et al.*, 2004). As condições do estado do tempo nos dias que antecedem a passagem do satélite condicionam o padrão espacial de radiância ascendente detetado pelo sensor – ou seja, traduzem o efeito cumulativo das condições atmosféricas (Martin *et al.,* 2015). Efetivamente, Martin *et al.* (2015) demonstraram o efeito da nebulosidade sobre a potencial redução do calor absorvido e acumulado pelas superfícies nos dois dias anteriores às imagens Landsat que analisaram e, por consequência, sobre os valores de Ts registados. De acordo com os referidos autores, a ocorrência de dois dias sem nebulosidade promove o aquecimento das superfícies e o desenvolvimento da ilha de calor urbano de superfície

com maior magnitude, bem como uma maior heterogeneidade dos valores de Ts. Arthur-Hartranft *et al.* (2003) também constaram que as condições meteorológicas existentes aquando da aquisição da imagem determinam a forma do diagrama de dispersão Ts e NDVI.

A despeito da falta de dados sobre as condições meteorológicas nas datas em análise, recorre-se à combinação de três fontes de informação: primeiramente, com base nos dados do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), procura-se perceber no que concerne à temperatura do ar e à precipitação os desvios do mês de julho dos anos em análise em relação à Normal Climatológica de 1971-2000; de seguida, a partir das cartas sinóticas referentes à temperatura e à precipitação, disponibilizadas pelo *site* MetCheck.com, examina-se a situação sinótica aquando da passagem do satélite (bem como dos dois dias que antecederam a captura da imagem); e, por fim, analisa-se de modo mais abrangente o período antecedente à captura das imagens de satélite, tendo por base a informação disponibilizada no portal do ClimateEngine[7], em específico aos dados resultantes da reanálise climática[8] efetuada pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), denominada *Climate Forecast System Reanalysis* (CFS), que fornece dados climáticos diários desde 1979 até ao dia corrente, numa grelha de 19,2km (ClimateEngine, 2019),

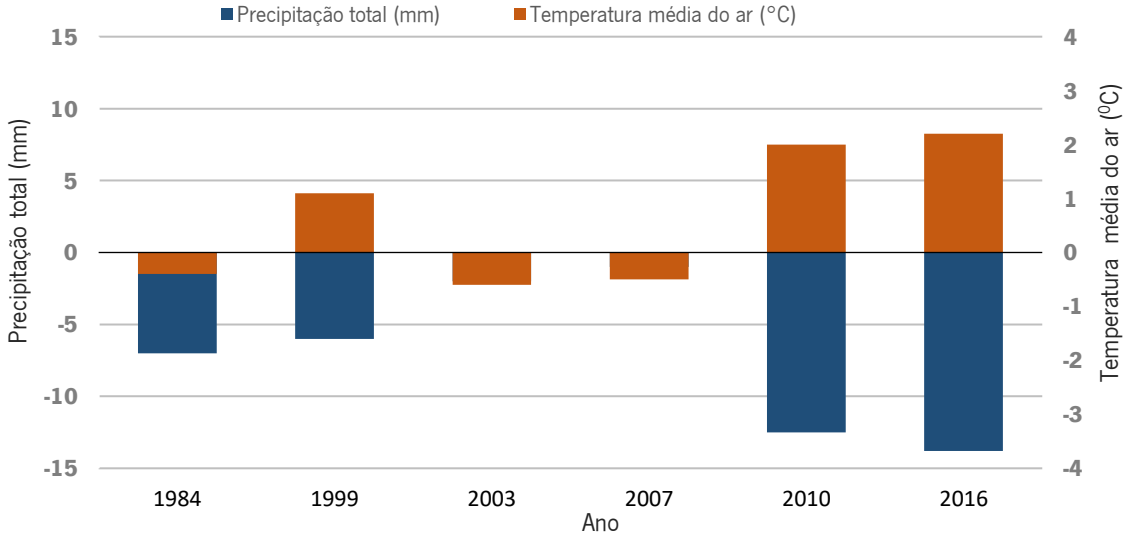
II – 1.4.1. Desvios em Relação à Normal Climatológica 1971-2000

A análise dos desvios da temperatura média do ar (ºC) e da quantidade de precipitação (mm) em relação à Normal Climatológica de 1971-2000 permite enquadrar as datas selecionadas no comportamento médio do território (Tabela II-1 e Figura II-2). No que se refere à temperatura do ar no mês de julho constata-se que os anos de 1984 (-0,4ºC), 2003 (-0,6ºC) e 2007 (-0,5 ºC) apresentam anomalias negativas, o que indica que no conjunto do mês as temperaturas médias do ar foram inferiores às verificadas nos 30 anos de referência. Por sua vez, 1999 (-0,6 ºC), 2010 (+2,2ºC) e 2016 (+2,3ºC) exibem anomalias positivas, registando-se nos dois últimos desvios acentuados em relação à média de 1971-2000 (Figura II-2). Relativamente à precipitação, em nenhum dos anos se verifica uma anomalia positiva, ainda que julho de 2003 (-2mm) e de 2007 (-1mm) se aproximem dos valores da Normal Climatológica de referência. Por sua vez, julho de

[7] O ClimateEngine encontra-se disponível em http://climateengine.org. Este portal online recorre às capacidades de processamento do Google Earth Engine constituindo uma ferramenta sem precedentes no acesso, visualização e interação da informação climática, pois possibilita a definição de intervalos temporais e espaciais customizados, bem como o *download* da informação em diversos formatos.

[8] A reanálise climática consiste na assimilação e reanálise de dados observados em todo o planeta, com intuito de criar séries mais amplas em termos temporais e espaciais.

1999 (-6mm), de 2010 (-12,5mm) e de 2016 (-13,8mm) somam às anomalias negativas de temperatura do ar, quantitativos de precipitação muito reduzidos, indicando que estes foram meses muito quentes e secos. Face a isto, julho de 1984 individualiza-se, uma vez que anomalia negativa de precipitação (-7mm) é transversal à temperatura – constituindo estes um mês fresco (em comparação com a média) mas seco (Figura II-2).



Fonte: IPMA (2016).

Figura II-2 – Anomalias da temperatura média do ar (°C) e da quantidade de precipitação (mm) em relação à Normal Climatológica de 1971-2000 de julho dos anos selecionados

Não obstante a anomalia térmica negativa verificada em julho de 2003, nos últimos 2/3 dias do mês – ou seja, já depois da data selecionada – verificaram-se temperaturas excecionalmente elevadas, que se mantiveram até meados de agosto. Os dias compreendidos entre 29 de julho e 14 de agosto excecionalmente quentes e com humidade relativa muito baixa foram classificados pelo IPMA (2003) como onda de calor[9] em todo o país. De acordo com Fisher *et al.* (2007), este constituiu – à data – o verão mais quente de sempre na Europa (pelo menos desde que existem medições), sendo que as temperaturas médias entre junho e agosto ultrapassaram a Normal Climatológica 1961-1991 entre 3 a 5°C. No caso específico de Portugal foi classificado pelo IPMA como o segundo verão mais quente desde 1931, registando-se consequências nefastas na saúde pública, por causa do *stress* térmico, e desastrosas na floresta, devido aos inúmeros incêndios florestais (IPMA, 2003). De igual modo, também o mês de julho de 2007 apresenta valores de

[9] De acordo com a definição do índice de duração de onda de calor (*i.e., Heat Wave Duration Index – HWDI*) da Organização Mundial de Meteorologia considera-se que ocorre uma onda de calor quando, num intervalo de pelo menos seis dias consecutivos, as temperaturas máximas são 5°C superiores à média das temperaturas máximas no período de referência de 30 anos (IPMA, 2010).

temperatura inferiores aos da normal (-0,5°C), particularmente no Norte e no Centro do país (IPMA, 2007). Por oposição, julho de 2010 foi um mês extremamente quente e seco, ultrapassando o valor da temperatura máxima até então registado (desde o início das medições em 1931). Para esta anomalia contribuíram duas ondas de calor: (i) uma no início do mês, que afetou as estações da Guarda (6 dias), de Mirandela (6 dias) e de Miranda do Douro (9 dias); e, (ii) outra na última semana de julho, que afetou uma vasta região, desde o Alto Alentejo até ao Minho (IPMA, 2010). O mês de julho de 2016 foi igualmente muito quente e seco, constituindo o mês com as temperaturas máximas mais elevadas desde 1931 e o segundo mais quente no que se refere às temperaturas médias. Para tal, contribuiu em grande parte as duas ondas de calor que se verificaram: (i) uma entre 14 e 19 de julho, que afetou o vale do Tejo; e, (ii) outra entre 23 e 30, que afetou o interior Norte e Centro, Vale do Tejo e Alto Alentejo (IPMA, 2016). Esta última onda de calor afetou a Estação Meteorológica de Braga apenas entre os dias 23 e 29.

É ainda nota de apontamento que no decorrer do processo de seleção das imagens Landsat se optou por não incluir de julho de 2014 – apesar de inicialmente considerada – por este ter sido um mês muito chuvoso – exibindo uma anomalia positiva de +10mm. Segundo Lautensach (1999b) a ocorrência de precipitação no Norte de Portugal durante o mês julho (e de agosto) deve-se à influência acidental das depressões atlânticas, que por via dos ventos de Sul e Oeste transportam as nuvens que podem desencadear episódios de chuva, embora estes só excecionalmente atinjam valores elevados.

A importância das condições meteorológicas no comportamento do território mencionada por diversos autores (*e.g.*, Arthur-Hartranft *et al.*, 2003; Coppin *et al.*, 2004; Martin *et al.*, 2015) fica bem patente nos resultados obtidos num estudo preliminar ao presente trabalho de investigação centrado na variação espaciotemporal de Ts e na sua relação com a urbanização em Braga entre 1984 e 2014 (*vide* Pinheiro *et al.,* 2016b). Neste estudo sobressai a redução drástica de Ts nas áreas agrícolas em 2014, por comparação a 1984, decorrente da maior humidade do solo. Estes resultados alertam para a importância de diferenciar as modificações no ambiente térmico que resultam das mudanças na cobertura/uso do solo daquelas que decorrem da variação interanual das condições climáticas.

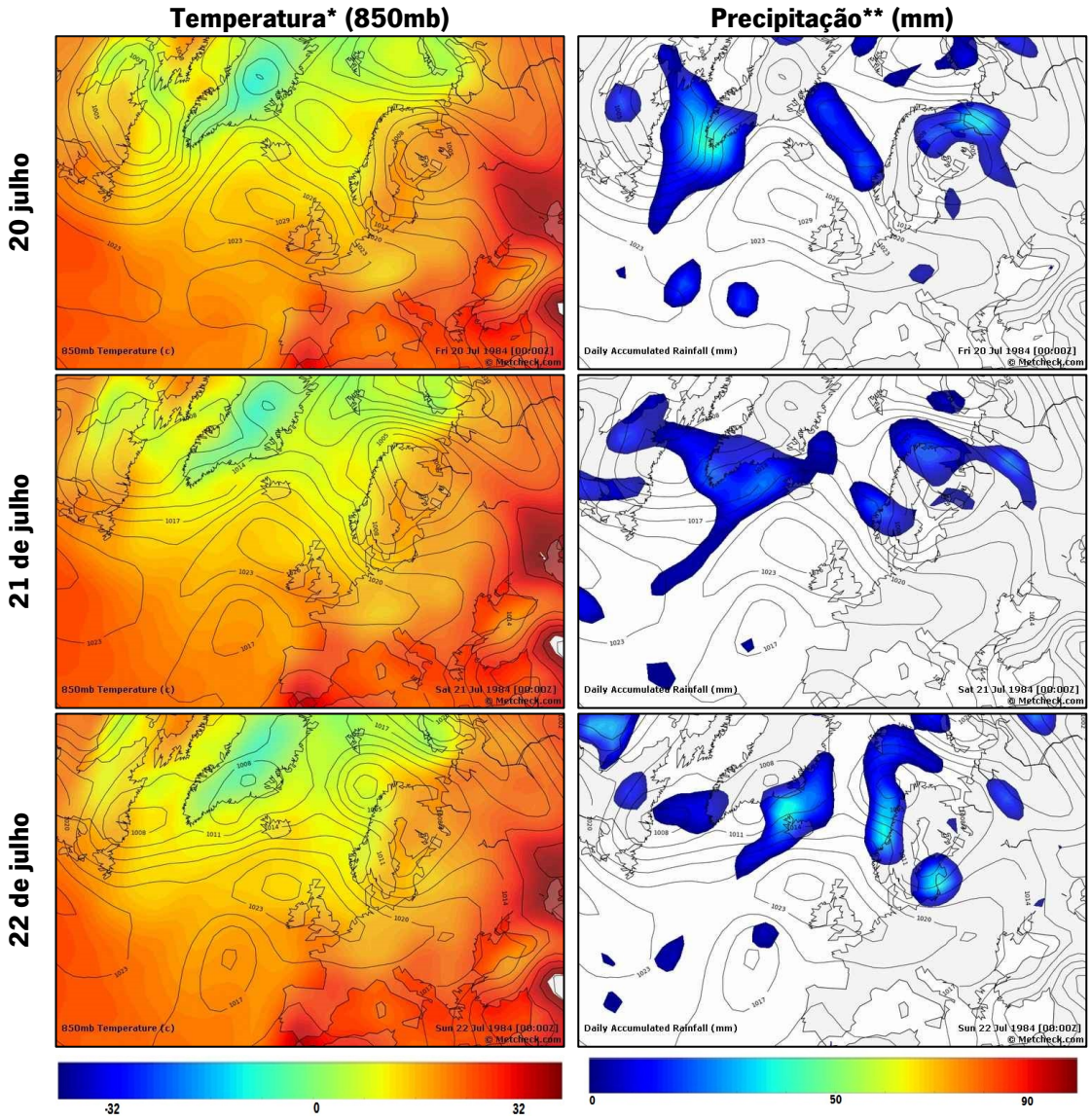
Em suma, dado que o principal objetivo da presente investigação consiste em determinar o efeito climático da urbanização difusa procura-se – dentro do possível – minimizar as diferenças no ambiente térmico superficial desencadeadas pelas variações nas condições meteorológicas.

II – 1.4.2. Situação Sinótica

A análise da situação sinótica verificada aquando das imagens Landsat selecionadas (Tabela II-1) é efetuada com base em 36 cartas sinóticas, repartidas entre a temperatura do ar e a precipitação. De salientar que, a temperatura corresponde aquela verificada a 850mb e a precipitação ao total acumulado durante um dia (24 horas). Uma análise preliminar evidencia que as situações sinóticas são muito similares (Figura II-3, Figura II-4, Figura II-5, Figura II-6, Figura II-7 e Figura II-8), essencialmente marcadas pela calma atmosférica, decorrente da subida em latitude do anticiclone dos Açores – entendendo-se a ausência de nebulosidade nas imagens selecionadas.

Julho de 1984

Relativamente ao mês de julho de 1984 não se dispõe de uma descrição pormenorizada do estado do tempo por parte do IPMA, uma vez que os boletins climatológicos apenas começaram a ser elaborados e/ou disponibilizados a partir de 2003. Neste sentido, referir apenas que nos dias que antecederam a passagem do Landsat se verifica um agravamento das condições de calor e a ausência de precipitação (Figura II-3).



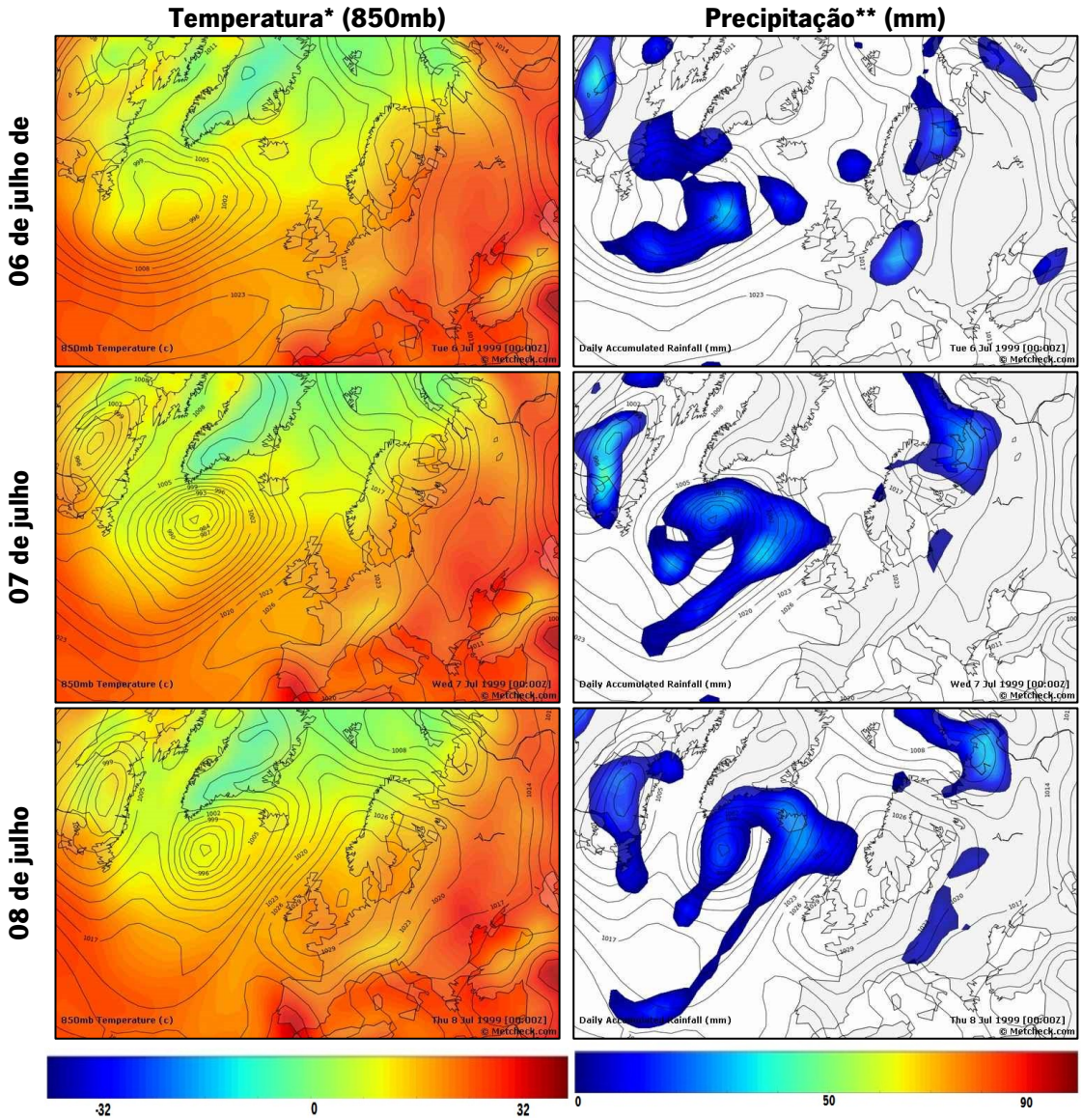
* Temperatura (850mb) – a temperatura a 850mb permite detetar a temperatura do ar numa região;
** Precipitação (mm) – precipitação acumulada durante um dia (24horas).

Fonte: MetCheck.com (2016).

Figura II-3 – Situação sinótica dos dias que antecederam a captura da imagem de 1984

Julho de 1999

O referido para 1984, aplica-se igualmente a julho de 1999 (Figura II-4).



* Temperatura (850mb) – a temperatura a 850mb permite detetar a temperatura do ar numa região;
** Precipitação (mm) – precipitação acumulada durante um dia (24horas).

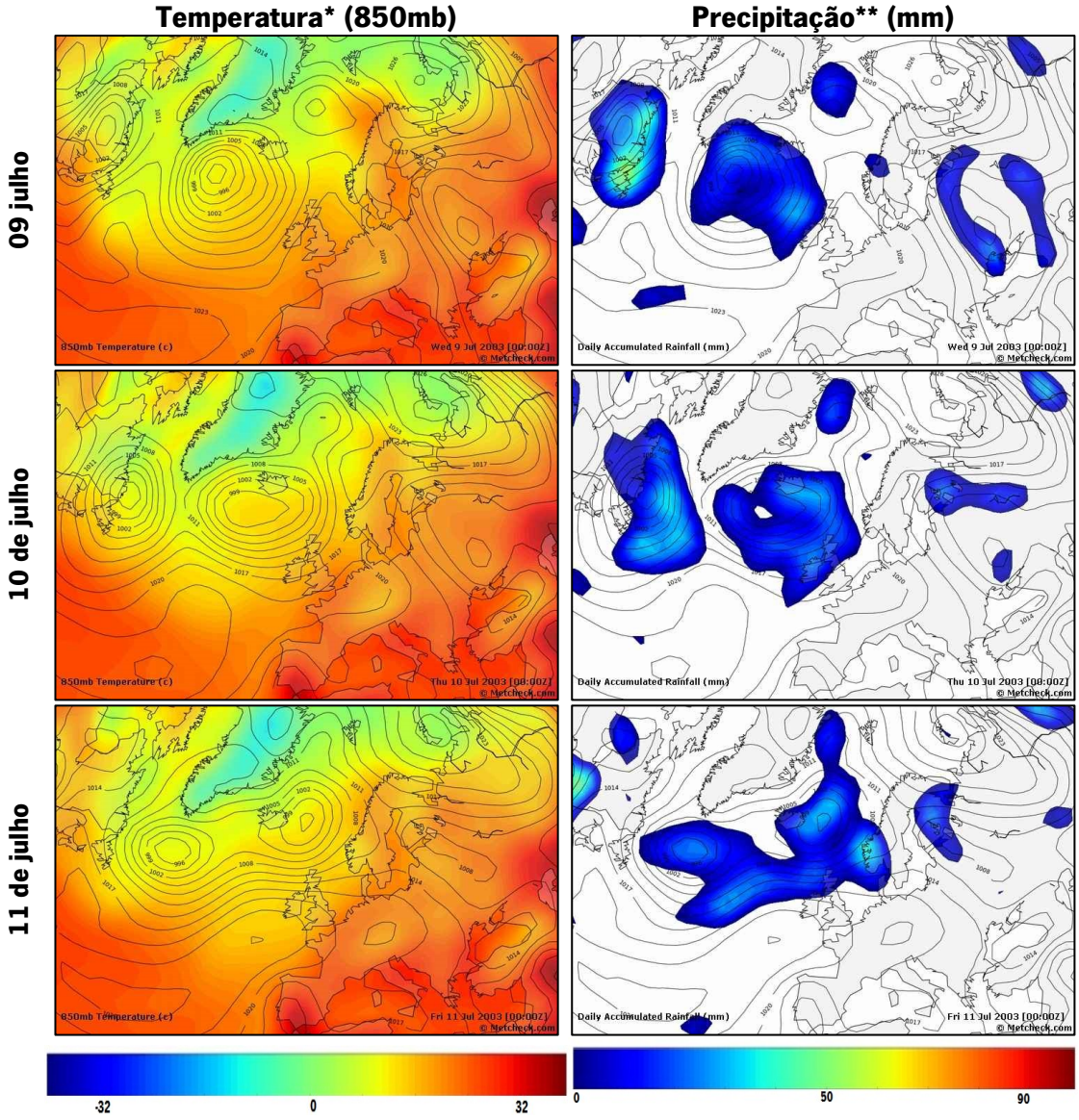
Fonte: MetCheck.com (2016).

Figura II-4 – Situação sinótica dos dias que antecederam a captura da imagem de 1999

Julho de 2003

Para o ano de 2003 o IPMA dispõe de um boletim climatológico, ainda que este seja transversal à totalidade do ano (enquanto nas datas subsequentes esta informação é disponibilizada numa base mensal), pelo que fornece poucos detalhes acerca da situação sinótica. Ademais, as explicações dadas incidem sobretudo com o período classificado como onda de calor (como já referido) que é posterior à data selecionada. Não obstante, constata-se uma vez mais que as

condições de calor nos dias que antecederam a passagem do satélite se agravaram, não se registando a ocorrência de precipitação em nenhum dos dias (Figura II-5).



* Temperatura (850mb) – a temperatura a 850mb permite detetar a temperatura do ar numa região;
** Precipitação (mm) – precipitação acumulada durante um dia (24horas).

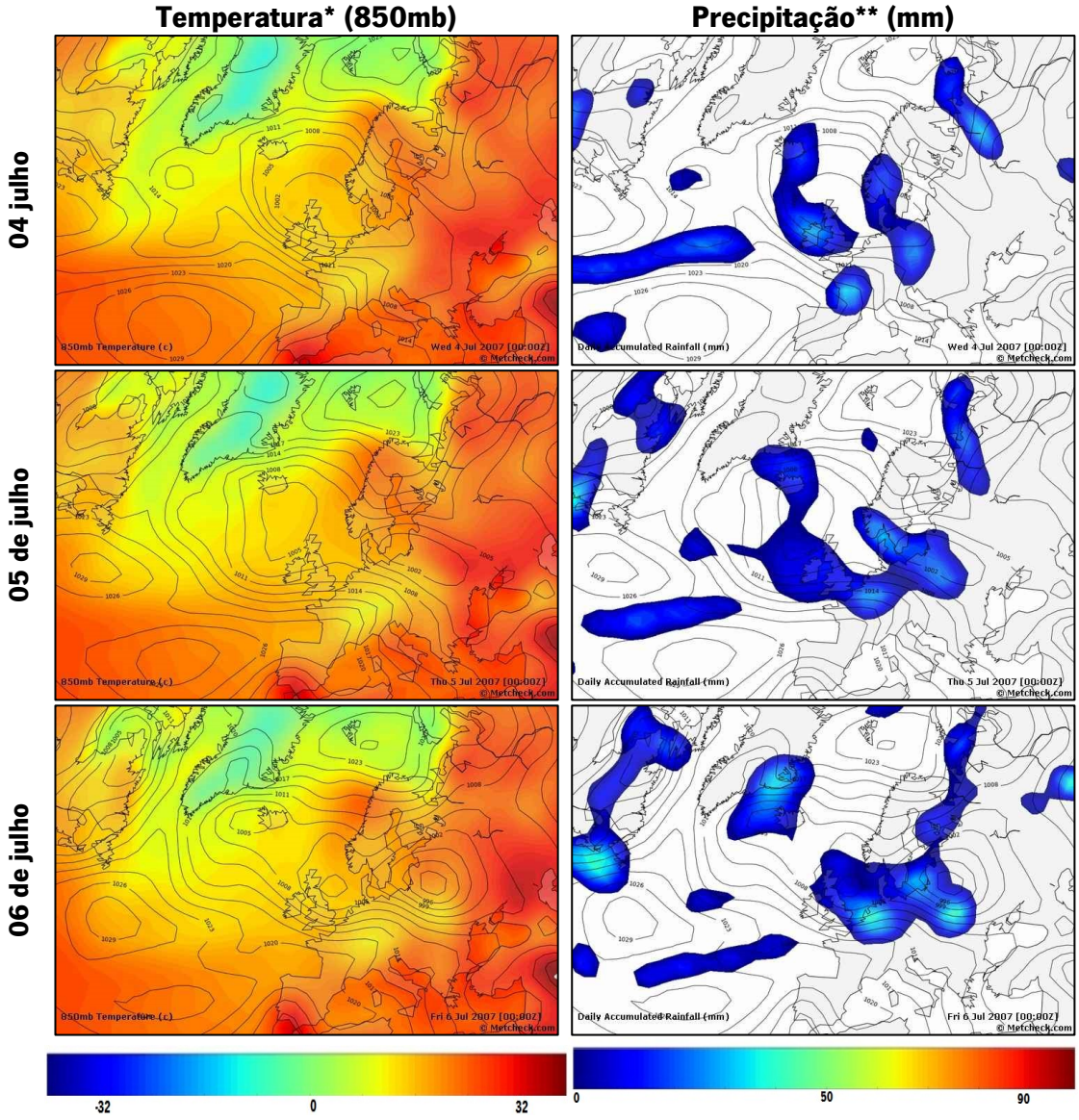
Fonte: MetCheck.com (2016).

Figura II-5 – Situação sinótica dos dias que antecederam a captura da imagem de 2003

Julho de 2007

De acordo com o IPMA (2007), durante o mês de julho de 2007 o estado de tempo foi influenciado por um anticiclone localizado nas proximidades dos Açores, pelo que o céu se apresentou em geral limpo a pouco nublado (Figura II-6). Assim, apesar de este mês apresentar uma anomalia negativa no que se refere à temperatura, nos dias que antecederam a passagem do satélite (*i.e.*,

3/4 a 8) verificou-se uma subida da temperatura do ar no Norte do país (IPMA, 2007), que poderá contribuir para o aumento da temperatura das superfícies.



* Temperatura (850mb) – a temperatura a 850mb permite detetar a temperatura do ar numa região;
** Precipitação (mm) – precipitação acumulada durante um dia (24horas).

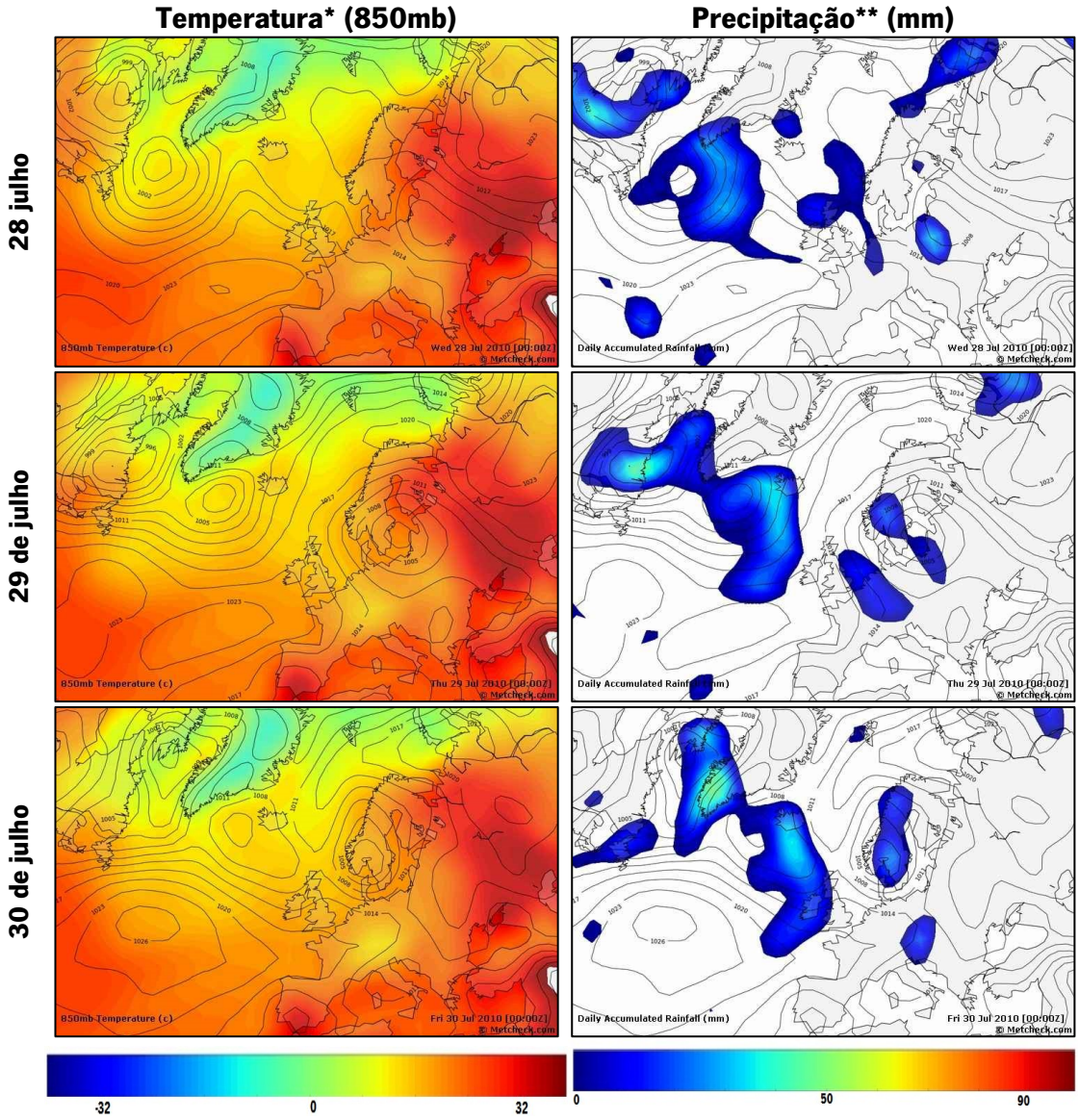
Fonte: MetCheck.com (2016).

Figura II-6 – Situação sinótica dos dias que antecederam a captura da imagem de 2007

Julho de 2010

Segundo o IPMA (2010) nos dias que antecederam a passagem do satélite em julho de 2010 o território português encontrava-se sobre a influência de uma massa de ar quente e seca, resultado de uma depressão de origem térmica centrada na Península Ibérica. A existência de valores de temperatura do ar (máxima e mínima) muito elevados levaram o IPMA (2010) a classificar os dias

entre 23 e 30 julho como onda de calor. Assim sendo, o dia de captura da imagem em análise – *i.e.*, o dia 30 – constitui o último dia da onda de calor, evidenciando já uma descida da temperatura face aos dois dias anteriores (Figura II-7).



* Temperatura (850mb) – a temperatura a 850mb permite detetar a temperatura do ar numa região;
** Precipitação (mm) – precipitação acumulada durante um dia (24horas).

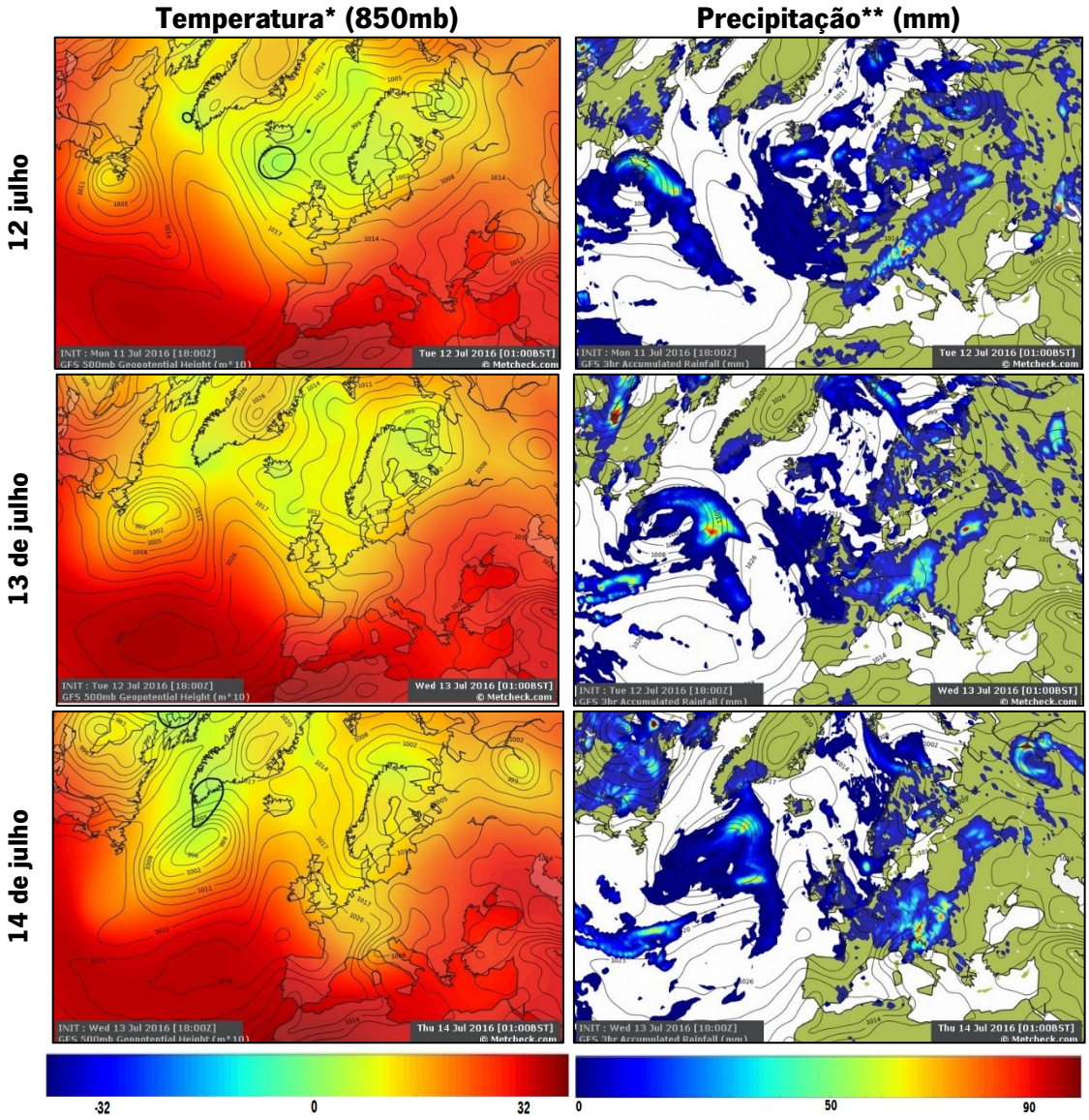
Fonte: MetCheck.com (2016).

Figura II-7 – Situação sinótica dos dias que antecederam a captura da imagem de 2010

Julho de 2016

Em conformidade com o IPMA (2016), os dias que antecederam a passagem do satélite em julho de 2016 – *i.e.*, de 8 a 13 de julho – caracterizaram-se pela circulação conjunta de um anticiclone localizado nas proximidades dos Açores e de uma depressão térmica no interior da Península

Ibérica. Esta situação originou céu pouco nublado ou limpo, embora com ocorrência de períodos muitos nublados, particularmente durante a noite e a manhã (Figura II-8). Com efeito, compreende-se a presença de nebulosidade nas imagens MODIS captadas nesta data.



* Temperatura (850mb) – temperatura a 850mb permite detetar a temperatura do ar numa região;
** Precipitação (mm) – precipitação acumulada durante um dia (24horas).

Fonte: MetCheck.com (2016).

Figura II-8 – Situação sinótica dos dias que antecederam a captura da imagem de 2016

No dia em que ocorreu a passagem do satélite – *i.e.*, dia 14 – verificava-se a presença conjunta de um anticiclone no Canal da Mancha e/ou na região dos Açores e de uma depressão de origem térmica centrada na Península Ibérica ou no Norte de Africa associada a um vale térmico proveniente desta última região, originado deste modo uma situação de Tempo Quente, que se

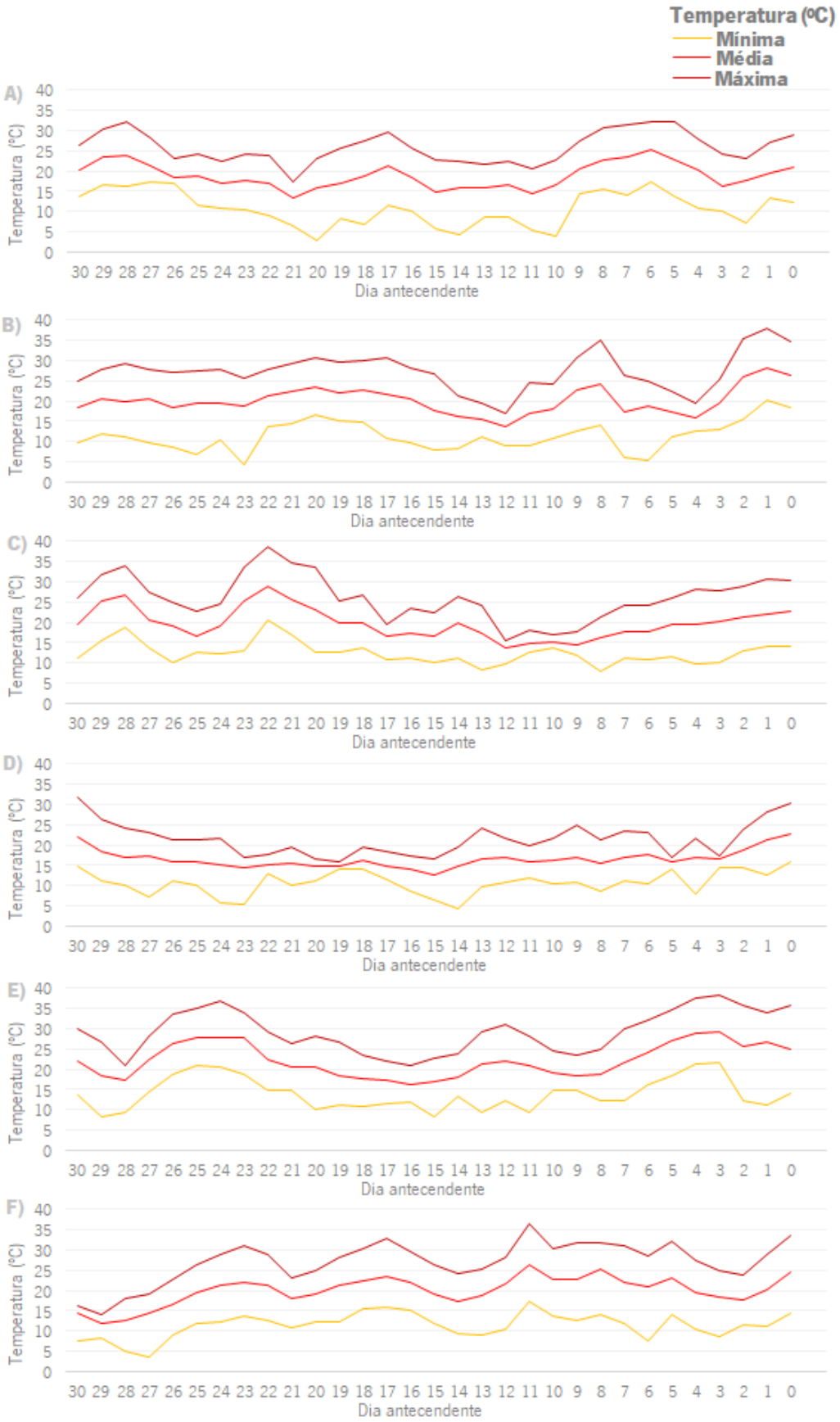
repercutiu numa subida generalizada da temperatura do ar, como fica patente pela análise das cartas sinóticas (Figura II-8).

II – 1.4.3. Período Antecedente

Considerando que as datas selecionadas apresentam condições sinóticas muito semelhantes, e que o comportamento do mês de julho no contexto na Normal Climatológica 1971-2000 também é similar, para entender/justificar possíveis diferenças nos padrões térmicos do território e nas componentes biofísicas ao longo das seis datas em análise efetua-se uma caracterização mais ampla do período que antecedeu a captura das imagens de satélites, no que concerne à temperatura do ar (mínima, média e máxima), precipitação e humidade do solo (a 5cm e a 25cm).

Temperatura do ar nos30 dias que antecederam a passagem do satélite

A temperatura do ar mínima, média e máxima foi analisada relativamente aos 30 dias que antecedem a captura da imagem Landsat e MODIS, sendo que em todas as datas se verifica um acentuar do calor nos dias precedentes (Figura II-9), em consonância com o explicitado anteriormente na análise da situação sinótica. Sem embargo uma análise mais detalhada evidencia que o pico da temperatura do ar apresenta uma localização temporal diferenciada ao longo das seis datas: (i) em 2007 e em 2016 coincide com o dia de captura da imagem (ainda que em 2016 os valores sejam similares aos verificados no 11º dia); (ii) em 1999 ocorre precisamente no dia anterior; (ii) em 2010 situa-se 3 dias antes; (iv) em 1984 tinha ocorrido seis dias atrás; e, (v) em 2003, distância-se ainda mais no tempo, pois corresponde ao 22º dia (Figura II-9).



Datas selecionadas: A) 1984; B) 1999; C) 2003; D) 2007; E) 2010; F) 2016.
Fonte: ClimateEngine (2019).

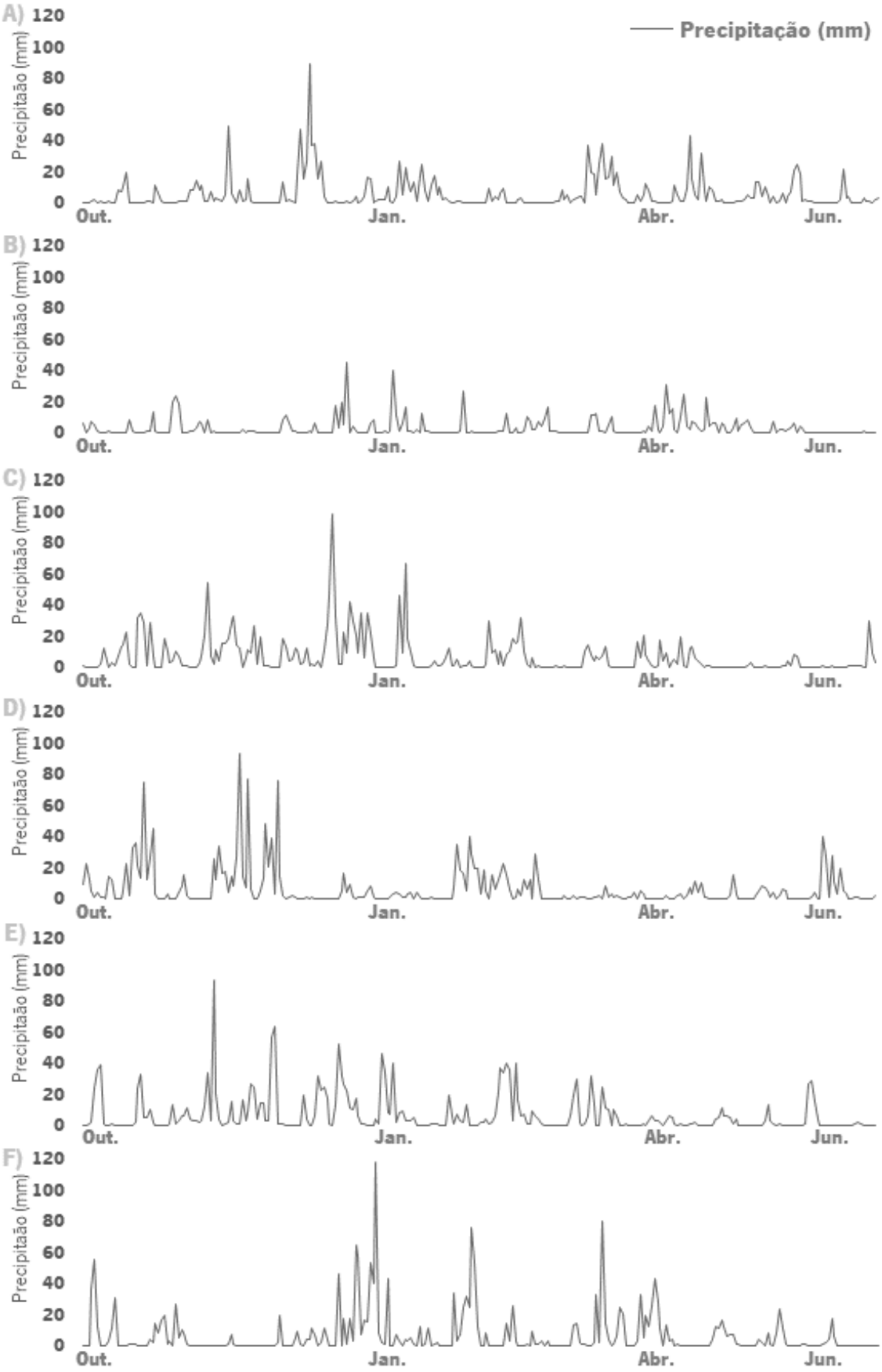
Figura II-9 – Temperatura do ar (°C) nos 30 dias que antecederam a passagem do satélite

Ocorrência de precipitação e humidade do solo

Na precipitação e humidade do solo optou-se por considerar um período de análise mais longo do que o da temperatura, tendo como referência o início do ano hidrológico a 1 de outubro, e, finalizando-se a recolha de dados a 30 de junho, que fornece uma base comum a todas as datas (Figura II-10). Considerando o total de precipitação denota-se que 1999 foi ano mais seco, apenas com 2769,69mm (ClimateEngine, 2019), contribuindo para tal a ausência de um período chuvosos entre outubro e janeiro, bem marcado nas restantes datas, com particular destaque para 2003, 2007 e 2010. Prolongando-se esta situação para os meses de janeiro a abril, que em 2016 foi particularmente chuvosa, mais até do que o período anterior. Com o início de junho, a situação agrava-se, sendo a precipitação nula/residual, muito diferentemente do que sucede nas outras datas (Figura II-10).

Em 1984, verifica-se o segundo valor mais baixo de precipitação (*i.e.*, 3441,46mm), que apesar de distribuída ao longo de todo o ano, apresenta particular importância entre abril e junho. Os anos de 2003 e 2007 apesentam quantitativos de precipitação similares – *i.e.*, 3780,29mm e 3720,59mm, respetivamente –, sendo em 2007 o mês de junho consideravelmente mais chuvoso, ainda que em 2003 se verifique um episódio importante de precipitação no final do mês. Os anos 2010 e 2016, apesar exibirem as maiores anomalias de precipitação no mês de julho em relação à Normal Climatológica 1971-2001, acumulam os maiores quantitativos de precipitação, com 3805,37mm e 3829,58mm, respetivamente (Figura II-10).

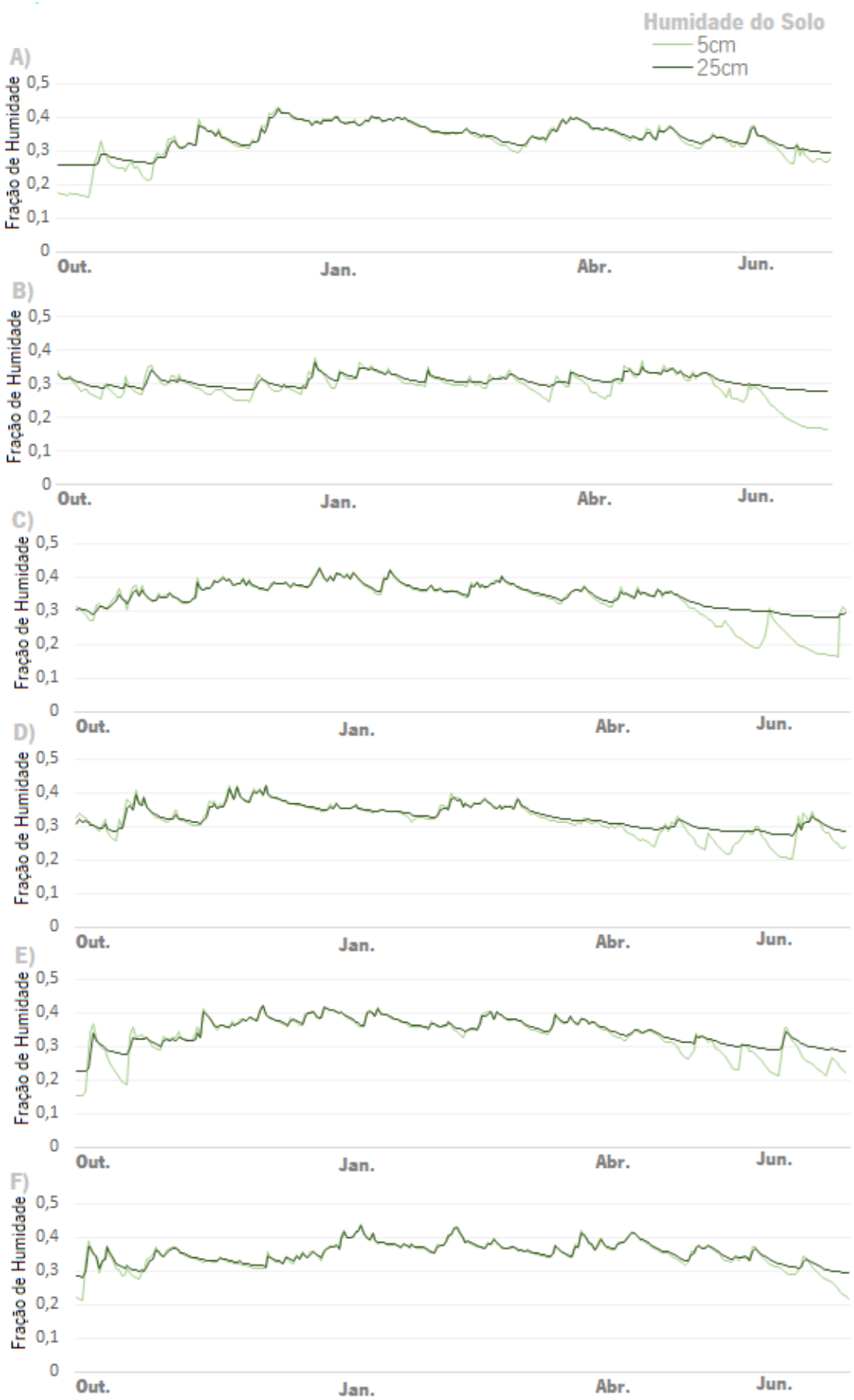
A fração de humidade do solo foi analisada para as profundidades de 5cm e 25cm. Note-se que esta variável, dependente da precipitação, influência por sua vez o balanço energético superficial, pois altera o albedo e a condutividade térmica, e determina o rácio de calor sensível/latente desenvolvido por Bowen (Massey *et al.*, 2014). Ademais, estes fatores repercutem-se de modo nítido no crescimento da vegetação. As seis datas em consideração exibem um comportamento similar nos 25cm de profundidade, situando entre os 0,3 e os 0,4 – aumentando de outubro a janeiro, daí até abril estabiliza, mês a partir do qual vai decrescendo (Figura II-11). Nos 5cm de profundidade denotam-se maiores oscilações da humidade, pois ainda que na maior parte do ano o comportamento seja similar ao dos 25cm, nos períodos de maior secura – *i.e.* o início e o fim do ano hidrológico – esta decresce significativamente, como se denota em junho de 1999, de 2003, de 2007 e de 2010.



Datas selecionadas: A) 1984; B) 1999; C) 2003; D) 2007; E) 2010; F) 2016.

Fonte: ClimateEngine (2019).

Figura II-10 – Precipitação desde o início do ano hidrológico até junho nas datas selecionadas



Datas selecionadas: A) 1984; B) 1999; C) 2003; D) 2007; E) 2010; F) 2016.

Fonte: ClimateEngine (2019).

Figura II-11 – Fração de humidade do solo desde o início do ano hidrológico até junho nas datas selecionadas

II – 1.5. Informação Geográfica Complementar

Para complementar a informação fornecida pelas imagens Landsat e MODIS recorre-se a um vasto conjunto de dados auxiliares, como as bases de dados digitais disponibilizadas por várias entidades, nomeadamente: (i) as Câmara Municipais de Braga e de Guimarães; (ii) a Direção Geral do Território (DGT), a partir do Portal iGEO (disponível em http://www.igeo.pt/); ou (iii) a União Europeia, particularmente o projeto através do projeto *Land Monitoring Service* desenvolvido no âmbito do Programa *Copernicus*. Importa desde já esclarecer que, na elaboração da cartografia se adotou o sistema de coordenadas em que são disponibilizadas as imagens do satélite Landsat (e também do MODIS, como referido) nomeadamente o *World Geodetic System* 1984, denominado de WGS 84 – UTM Zone 29N. Em vista disso, todos os dados geográficos que não se encontravam neste sistema de coordenadas foram reprojetados, recorrendo-se para tal ao software Quantum GIS, versão 2.18.

II – 1.5.1. Informação Auxiliar

A fotografia área disponibilizada pela ESRI, enquanto mapa base no software ArcGIS (ArcMap), permite o cruzamento da informação obtida com as imagens de satélite com o que poderá designar por realidade ('*ground truth*').

O Atlas Urbano é um projeto desenvolvido no âmbito do programa *Copernicus* da União Europeia (http://land.copernicus.eu/), que teve o ano de 2006 como referência, porém os dados foram atualizados em 2012 (European Comission, 2016). No presente trabalho apenas são utilizados os dados do Atlas Urbano referentes ao ano de 2012, uma vez que os dados de 2006 não estão disponíveis para o município de Guimarães. Esta cartografia, disponibilizada em formato digital (*i.e.*, *shapefile*), constitui uma importante fonte de informação, pois apresenta uma nomenclatura comum para ambos os municípios em estudo, o que confere a homogeneização necessária em termos de qualidade e de aspeto, que é muito difícil de obter com a cartografia elaborada a nível municipal (*e.g.*, PDM). A classificação do uso do solo presente no Atlas Urbano de 2012 encontra-se dividida em 27 classes (Tabela II-3), das quais 24 se encontram presentes na AUBG. A classificação da cobertura/uso do solo apresentada neste Atlas constitui uma importante base para a avaliação da precisão da classificação das componentes biofísicas efetuada a partir das imagens do satélite Landsat.

Tabela II-3 – Categorias de cobertura/uso do solo do Atlas Urbano de 2012

Nível I	Nível II	Nível III	Nível IV
Superfícies Artificiais	Tecido urbano	Tecido urbano contínuo (grau de impermeabilização superior a 80%)	
		Tecido urbano descontínuo	Tecido urbano descontínuo denso (grau de impermeabilização entre 50 a 80%)
			Tecido urbano descontínuo de média densidade (grau de impermeabilização entre 30 a 50%)
			Tecido urbano descontínuo de baixa densidade (grau de impermeabilização entre 10 e 30%)
			Tecido urbano descontínuo de muito baixa densidade (grau de impermeabilização inferior a 10%)
	Unidades industriais, comerciais, publicas, militares, privadas e de transportes	Estruturas isoladas	
		Unidades industriais, comerciais, publicas, militares e privadas	
		Estradas, linhas de caminho-de-ferro e terrenos associados	Vias de trânsito rápido e terrenos associados
			Outras estradas e terrenos associados
			Linhas de caminhos-de-ferro e terenos associados
			Portos
			Aeroportos
	Minas, locais de aterro e de construção	Locais de extração mineral e de aterro	
		Locais de construção	
		Terrenos sem utilização	
	Áreas artificiais, com vegetação, sem agricultura	Espaços verdes urbanos	
		Instalações Desportivas e de Lazer	
Áreas Agrícolas	Terras aráveis (culturas anuais)		
	Culturas permanentes		
	Pastagens		
	Padrões complexos e mesclados de cultivo		
	Pomares		
Áreas Naturais e Seminaturais	Floresta		
	Vegetação herbácea		
	Espaços abertos com pouca vegetação		
Áreas Húmidas			
Água			
Sem Dados			

Fonte: European Comission (2016)

Adicionalmente, utilizaram-se ainda outros dados auxiliares, cujas características se encontram sintetizadas na Tabela II-4.

Tabela II-4 – Dados geográficos auxiliares

Designação	Entidade Responsável	Descrição	Formato
Limites Administrativos	Direção Geral do Território	Carta Administrativa Oficial Portuguesa (versão de 2017).	Shp
Base Geográfica de Referenciação da Informação (BGRI)	Instituto Nacional de Estatística	Delimitação das secções e subsecções estatísticas utilizadas no Censos de 2011.	Shp
Rede Rodoviária	OpenStreetMap	Rede rodoviária categorizada.	Shp
Linhas de Água	Agência Europeia do Ambiente	Rede hidrográfica hierarquizada, segundo a classificação de Strahler.	
Curvas de Nível	Câmara Municipal de Guimarães	Curvas de nível, com equidistância de 1m.	Shp
Curvas de Nível	Câmara Municipal de Braga	Curvas de nível, com equidistância de 1m.	Shp

II – 1.5.2. Composição Colorida das Imagens Landsat

A composição colorida corresponde à combinação das bandas do vermelho (*Red*), verde (*Green*) e azul (*Blue*), daí comummente ser designada por composição RGB. Nestas imagens a intensidade registada em cada banda é representada pela respetiva cor (*e.g.*, na banda do vermelho, os diferentes tons de cinzento são substituídos por diferentes tons de vermelho). Com efeito, quando as três componentes primárias são apresentadas em simultâneo gera-se uma imagem colorida, na qual as cores são muito próximas das que a visão humana reconhece, daí a sua designação de composição de cores naturais. Neste trabalho procedeu-se à derivação imagens de cores naturais para todas as datas selecionadas, com recurso à ferramenta *Composite Bands,* localizada no módulo *Data Management Tools*, do *software* ArcGIS 10.5 da ESRI. No caso do Landsat 5 e do Landsat 7 a composição de cores naturais resulta da combinação das bandas 3-2-1, enquanto no Landsat 8 a combinação de bandas é 4-3-2.

A fusão de bandas permite integrar imagens com diferentes resoluções espaciais, com o objetivo de criar uma imagem com a maior resolução espacial, mantendo as características espectrais da imagem de menor resolução (Lira *et al.*, 2016). No caso do Landsat 8, a existência de uma banda pancromática (B8) com uma resolução espacial de 15m permite através da operação de denominada de *Pan Sharpen* aumentar o detalhe espacial das bandas multiespectrais.

II – 2. PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITE

"Techniques based on multi-temporal, multi-spectral, satellite-sensor-acquired data have demonstrated potential as a mean to detect, identify, map and monitor ecosystem change".
|Coppin *et al.*, 2004, p.1565|

A interação da radiação solar com a superfície terrestre permite estabelecer uma relação entre o sinal detetado pelo sensor e o tipo e estado dos objetos (Fonseca e Fernandes, 2004), dado que o sensor capta e grava a informação de forma segmentada, conforme os comprimentos de onda da sua resolução espectral (Kiel, 2008). Esta informação é armazenada sobre a forma de números digitais, pelo que é necessário a aplicação de um conjunto de procedimentos técnicos com vista à sua transformação em informação compreensível ao utilizador – processo designado por extração da informação (Khoi e Munthali, 2012). Sem embargo, previamente a este processo é necessário a realização de um conjunto de operações vulgarmente designadas por pré-processamento, que permitem minimizar as diferenças entre as imagens, e como tal minorar os erros particularmente aquando da aplicação de técnicas de deteção de mudança. De entre estes procedimentos destaca-se a correção radiométrica, atmosférica e a geométrica.

A correção radiométrica permite minimizar os efeitos da variação da irradiância resultante das distintas épocas do ano em que as imagens são adquiridas – *i.e.*, diferentes distâncias e inclinações do Sol em relação à Terra (Mróz e Sobieraj, 2004; Sinha *et al.*, 2016). Além disto, a normalização radiométrica permite minimizar as diferenças originadas pelas variações e mudanças dos sensores, particularmente como sucede no caso do Landsat (Yang, 2011b).

A radiação eletromagnética antes de ser captada pelo sensor interage com a atmosfera, tanto no caminho que efetua da fonte até à superfície terrestre, como de volta até ao sensor, pelo que o valor da radiação que o satélite capta corresponde à radiância total – ou seja, o brilho da superfície, mais os ganhos e menos a atenuações causadas pela presença dos gases da atmosfera, da água e dos aerossóis, bem como o efeito de adjacência. Neste sentido, a correção atmosférica das imagens, tal como o nome indica, permite minimizar as diferenças nas condições da atmosfera verificadas aquando da aquisição das imagens (Hee *et al.*, 2015), particularmente no que se refere ao vapor de água e aos aerossóis (Kiel, 2008). Não obstante, nos estudos em que a área de análise tem uma dimensão reduzida as correções atmosféricas são comumente negligenciadas (Ma *et al.*, 2009), particularmente quando as imagens adquiridas não têm cobertura de nuvens

(Deng e Wu, 2012; Weng *et al.*, 2015). Nesta lógica, assume-se que os efeitos atmosféricos (*e.g.*, vapor de água) são espacialmente uniformes (Chen *et al.*, 2006).

A correção geométrica permite corrigir os erros que resultam: (i) dos movimentos de rotação da Terra; (ii) das distorções causadas pela curvatura da Terra e do terreno; e, (ii) dos movimentos da plataforma do satélite. Estes erros levam a que um determinado ponto na imagem de satélite se localize na posição errada relativamente a outros pontos na imagem (Skidmore, 2002). Esta correção é igualmente importante para minimizar os erros aquando da aplicação de técnicas de deteção de mudança (Yang, 2011b).

II – 2.1. Imagens Landsat

Considerando a importância do pré-processamento das imagens de satélites em estudos multitemporais, previamente à derivação dos índices espectrais utilizados na identificação e extração das componentes biofísicas na AUBG, procede-se às correções radiométricas, atmosféricas e geométricas para todas as imagens Landsat selecionadas. Como referido, estes procedimentos têm por objetivo minimizar as diferenças presentes nas imagens aquando da análise das mudanças verificadas na AUBG ao longo do intervalo temporal em estudo.

II – 2.1.1. Correção Radiométrica

O primeiro passo no pré-processamento das imagens Landsat consiste na calibração radiométrica das imagens, ou seja, a conversão dos números digitais em radiância, atendendo a que para se efetuar a correção atmosférica das imagens é necessário que esta esteja na seguinte unidade: W/(cm2*nm*sr). Este procedimento foi efetuado no software *Exelis Visual Information Solutions* (ENVI), com recurso à ferramenta *Radiometric Calibration, disponível no* módulo *Radiometric Correction.* Concomitantemente, aplicou-se uma máscara às imagens, de modo a processar apenas a área correspondente à AUBG e sua envolvente próxima (definida por um raio de 5km).

Os procedimentos de correção radiométrica, bem como os que se seguiram de correção atmosférica, foram aplicados apenas às bandas do visível e do infravermelho próximo, mais precisamente as bandas 1 (azul), 2 (verde), 3 (vermelho), 4 (infravermelho próximo), 5 (infravermelho médio 1) e 7 (infravermelho médio 2) do Landsat 5 TM e do Landsat 7 ETM+, e as

bandas 1 (costeira/aerossóis), 2 (azul), 3 (verde), 4 (vermelho), 5 (infravermelho próximo), 6 (infravermelho médio 1) e 7 (infravermelho médio 2) do Landsat 8 OLI.

II – 2.1.2. Correção Atmosférica

A despeito de alguns autores negligenciarem as correções atmosféricas quando se trata de áreas de estudo com reduzida dimensão (*e.g.*, Ma *et al.*, 2009) ou quando as imagens adquiridas não são afetadas pela nebulosidade (*e.g.*, Deng e Wu, 2012; Weng *et al.*, 2015), neste estudo optou-se por efetuar esta correção para a série Landsat selecionada (Tabela II-1). A correção atmosférica, tal como anteriormente a radiométrica, foi efetuada no software ENVI, com recurso ao módulo *Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Hypercubes* (FLAASH), que utiliza os algoritmos mais avançados do MODTRAN4+. Este módulo efetua a correção atmosférica a partir de modelos empíricos, utilizando apenas os dados contidos na cena, não necessitando de informação auxiliar. As correções efetuadas incluem o nível do vapor de água, oxigénio, dióxido de carbono, metano, ozono, bem como a dispersão provocada por aerossóis e os efeitos de adjacência (ENVI, 2015a).

Na prática é necessário introduzir um conjunto de parâmetros relativos à cena em análise e ao sensor que capturou a imagem, entre estas informações incluem-se a coordenada central da cena (*i.e.*, latitude e longitude), a elevação média do território em estudo, o tipo de sensor, a altitude do sensor e a data e hora de captura da imagem, que permitem determinar a posição solar e a sua incidência na superfície terrestre (ENVI, 2015a). Os valores dos referidos parâmetros utilizados na correção das imagens Landsat encontram-se sintetizados na Tabela II-5.

Tabela II-5 – Parâmetros introduzidos no modelo FLAASH

Parâmetros	
Coordenada Central da imagem	41°29'22.76''N
Tipo de Sensor	***
Altitude do Sensor	705.000
Elevação Média da Superfície	300m
Tamanho do Pixel	30m
Data de Captura da Imagem	***
Hora de Captura da Imagem	***
Modelo Atmosférico	Verão de Latitude Média (*Mid-Latitude Summer*)
Modelo de Aerossóis	Troposférico (*Tropospheric*)
Recuperação de aerossóis	2-Band (K-T)
Visibilidade Inicial	40km

*** Definido em função de cada imagem (*vide* Tabela II-1).

O MODTRAN dispõe de um conjunto de modelos atmosféricos padrão, devendo ser selecionado aquele que mais se adeque às características da região em análise e ao período de aquisição das imagens, em função do conteúdo de vapor de água ou da temperatura do ar (Tabela II-6).

Tabela II-6 – Modelos atmosféricos fornecidos pelo MODTRAN

Modelo Atmosférico	**Vapor de Água**		**Temperatura do Ar**
	std atm-cm	**g/cm²**	
Inverno Subártico (*Sub-Arctic Winter* – SAW)	518	0,42	-16° C (3° F)
Inverno de Média Latitude (*Mid-Latitude Winter* – MLW)	1060	0,85	-1° C (30° F)
Padrão para os Estados Unidos (U.S. *Standard* – USS)	1762	1,42	15° C (59° F)
Verão Subártico (*Sub-Arctic Summer* – SAS)	2589	2,08	14° C (57° F)
Verão de Latitude Média *(Mid-Latitude Summer* – MLS)	3636	2,92	21° C (70° F)
Tropical (*Tropical* – T)	5119	4,11	27° C (80° F)

Fonte: Adaptado de ENVI (2015a).

Quando não se dispõe de informação acerca do conteúdo de vapor de água, nem da temperatura do ar, deve-se selecionar o modelo atmosférico em função da latitude e da estação do ano (Tabela II-7). Neste sentido, adotou-se como modelo atmosférico o Verão de Latitude Média (MLS) por ser o que melhor se adequa à AUBG, dado que a coordenada central se situa nos 41°29'22.76''N, e

a data de aquisição das imagens se centra no mês de julho. Apesar de o FLAASH incluir um método que efetua uma estimativa da presença de água em cada pixel, este não pode ser aplicado a grande parte dos sensores multiespectrais (entre os quais se inclui o Landsat), uma vez que não possuem bandas apropriadas para o executar (ENVI, 2015a). Neste caso, o FLAASH adota um valor constante de vapor de água que é definido em função do modelo atmosférico selecionado.

Tabela II-7 – Variação sazonal e latitudinal da temperatura para a definição do modelo atmosférico no MODTRAN

Latitude	Janeiro	Março	Maio	Julho	Setembro	Novembro
80°	SAW	SAW	SAW	MLW	MLW	SAW
70°	SAW	SAW	MLW	MLW	MLW	SAW
60°	MLW	MLW	MLW	SAS	SAS	MLW
50°	MLW	MLW	SAS	SAS	SAS	SAS
40°	SAS	SAS	SAS	MLS	MLS	SAS
30°	MLS	MLS	MLS	T	T	MLS
20°	T	T	T	T	T	T
10°	T	T	T	T	T	T
0°	T	T	T	T	T	T
-10°	T	T	T	T	T	T
-20°	T	T	T	MLS	MLS	T
-30°	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS
-40°	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS
-50°	SAS	SAS	SAS	MLW	MLW	SAS
-60°	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-70°	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-80°	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW

Fonte: Adaptado de ENVI (2015a).

No que concerne aos aerossóis o MODTRAN dispõe de modelos padronizados para a sua identificação (Tabela II-8). Assim, para a correção atmosférica das imagens Landsat para a AUBG optou-se pelo modelo troposférico, uma vez que as imagens foram adquiridas perante condições anticiclónicas, logo com uma cobertura de nuvens muito reduzida (*vide* Tabela II-1).

Tabela II-8 – Modelos de aerossóis disponibilizados pelo MODTRAN

Modelo	Descrição
Rural	Representa os aerossóis encontrados em áreas distantes das áreas urbanas ou pólos industriais. As partículas presentes correspondem a uma mistura de duas distribuições: uma grande e uma pequena.
Urbano	Corresponde a uma mistura de 80% de aerossóis rurais com 20% de aerossóis típicos de fuligem, sendo apropriado para regiões com de alta densidade urbana e áreas industriais.
Marítimo	Adequa-se aos oceanos ou às áreas litorais que recebem diretamente os ventos marítimos. Este é composto por duas componentes, uma referente às partículas do ar do mar e outra aos aerossóis rurais oriundos do continente, sendo que as grandes partículas são omitidas.
Troposférico	Aplica-se perante condições de calma atmosférica (visibilidade superior a 40km), e consiste em pequenas partículas que compõem o modelo rural.

Fonte: Adaptado de ENVI (2015a).

O FLAASH inclui também um método para determinar a quantidade de aerossóis, bem como a visibilidade média da cena, com base na razão da refletância entre pixéis escuros, sendo para tal necessário a presença de uma banda cujo comprimento de onda de situe entre 660nm e os 2100nm. No presente estudo selecionou-se o método 2-Band (K-T), para que caso não sejam encontrados pixéis escuros adequados, se utilize o valor inserido no campo inicial de visão. Este valor é definido em função das condições atmosféricas (Tabela II-9), sendo que para as imagens em análise se definiu o valor de 40km.

Tabela II-9 – Relação das condições atmosférica com a visibilidade da cena

Condições Atmosféricas	Visibilidade da Cena
Sem Nevoeiro	40 a 100 km
Nevoeiro Moderado	20 a 30 km
Nevoeiro Intenso	15 km ou menos

Fonte: Adaptado de ENVI (2015a).

Por fim, para a aplicação do módulo FLAASH às imagens do sensor multiespectral Landsat é ainda fundamental definir as bandas que irão ser utilizadas na determinação do vapor de água e dos aerossóis. Deste modo, no menu *Kaufman-Tanre Aerosol Retrieval*, definiu-se o canal de refletância máxima superior e os valores da razão de refletância, designadamente a banda que se localiza entre os 660nm e os 2100nm (ENVI, 2015a).

II – 2.1.3. Correção Geométrica

As imagens Landsat foram mantidas no sistema de coordenadas original – *i.e.*, o WGS 84 – UTM Zone 29N –, mesmo assim as imagens resultantes do processo de correção atmosférica foram co-registadas tomando como referência a imagem de 1999, visto que esta data medeia a série histórica em análise (em consonância com o efetuado por Shi *et al.*, 2015). Este procedimento permite alinhar os pixéis correspondentes ao mesmo objeto, com base na localização e correspondência de uma série de pontos de controlo (denominados *tie points*) na imagem de base e na imagem que irá ser registada. Estes pontos são então utilizados para calcular os parâmetros de transformação geométrica entre as duas imagens (ENVI, 2015b). Este processo foi efetuado no ENVI, com recurso à ferramenta *Registration Workflow'*, que define os *tie points* automaticamente. Posteriormente, estes pontos foram editados manualmente, obtendo-se um erro médio quadrático inferior a 0,5 do pixel original. Neste processo, adotou-se o método de deformação polinomial de primeira ordem e o método de Förnster, enquanto operador de interesse na identificação dos pontos de correspondência. O método de Förnster analisa a escala de cinzentos entre um pixel e os que lhe são adjacentes, obtendo, regra geral, melhores resultados do que o operador de Moravec na correspondência das imagens (ENVI, 2015c). Numa fase posterior, recorreu-se a este mesmo procedimento para registar a banda térmica de cada imagem da série histórica.

II – 2.1.4. Produção de Imagens de 8 Bits

Após a correção atmosférica os valores de refletância na imagem variam entre 0 e 1. Para salvar espaço no disco, o USGS (2006) recomenda que estes valores sejam convertidos em informação em 8-*bits* (que varia entre 0-255), sendo os valores refletância superior a 0,6375 definidos como igual a 0,6375. Este procedimento não provoca a degradação da qualidade dos dados, particularmente no que se refere à cobertura/uso do solo, atendendo a que as áreas densamente vegetadas têm refletâncias inferiores a 0,6375 (USGS, 2006).

Seguindo as recomendações do USGS (2006), procedeu-se no ENVI à multiplicação por 400 dos valores de refletância das bandas do visível e do infravermelho próximo, enunciadas anteriormente – e, como resultado os valores de refletância passaram a variar entre 1 e 400. De seguida, já no

software ArcGIS, com recurso à ferramenta *Raster Calculate* truncaram–se os valores em 255 (*i.e.*, 0,6375*400), com base na aplicação da seguinte expressão:

$$Con("b >= 255,255,"b1")$$

[Eq. 11]

Para entender o efeito das diversas correções efetuadas durante o pré-processamento das imagens Landsat nos valores dos índices espectrais (que irão ser utilizados na extração das componentes biofísicas), derivou-se o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), por ser o índice mais amplamente utilizado, e compararam-se os valores obtidos. Como ilustrado anteriormente (*vide* Tabela I-13), o NDVI foi calculado com base na seguinte fórmula:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

[Eq. 12]

em que,
NIR = infravermelho próximo = banda 4 no Landsat 5 TM e banda 5 no Landsat 8 OLI;
RED = vermelho = banda 3 no Landsat 5 TM e banda 4 no Landsat 8 OLI.

Em específico, derivou-se o NDVI a partir de três séries de dados: (i) os números digitais (DN) fornecidos diretamente pelo USGS; (ii) os valores de refletância resultantes da correção atmosférica (*i.e.*, que variam entre 0 e 1); e, (iii) os valores de refletância truncados, para obter dados no formato de 8-bits (*i.e.,* variam entre 0 e 255). Estas operações foram efetuadas tendo por referência uma imagem do Landsat TM (a de 1984) e outra do OLI (a de 2016). Em seguida criou-se uma amostra de 5000 pontos distribuídos pela AUBG de forma aleatória (Figura II.9) – quer isto dizer, todos os pontos têm a mesma probabilidade de serem selecionados e são independentes uns dos outros (Gruijter, 1999). Todavia, optou-se por remover manualmente os pontos que coincidiam com corpos de água (*i.e.*, o rio Cávado, localizado no limite norte da área de estudo), uma vez que poderiam causar deturpações nos resultados, assim como outros dois pontos devido a erros intrínsecos à imagem (Figura II-12). Deste modo, a amostra ficou com um total de 4989 pontos, para os quais se extraiu os valores das três séries de NDVI derivadas. Todos os procedimentos descritos foram realizados no ArcGIS 10.5.

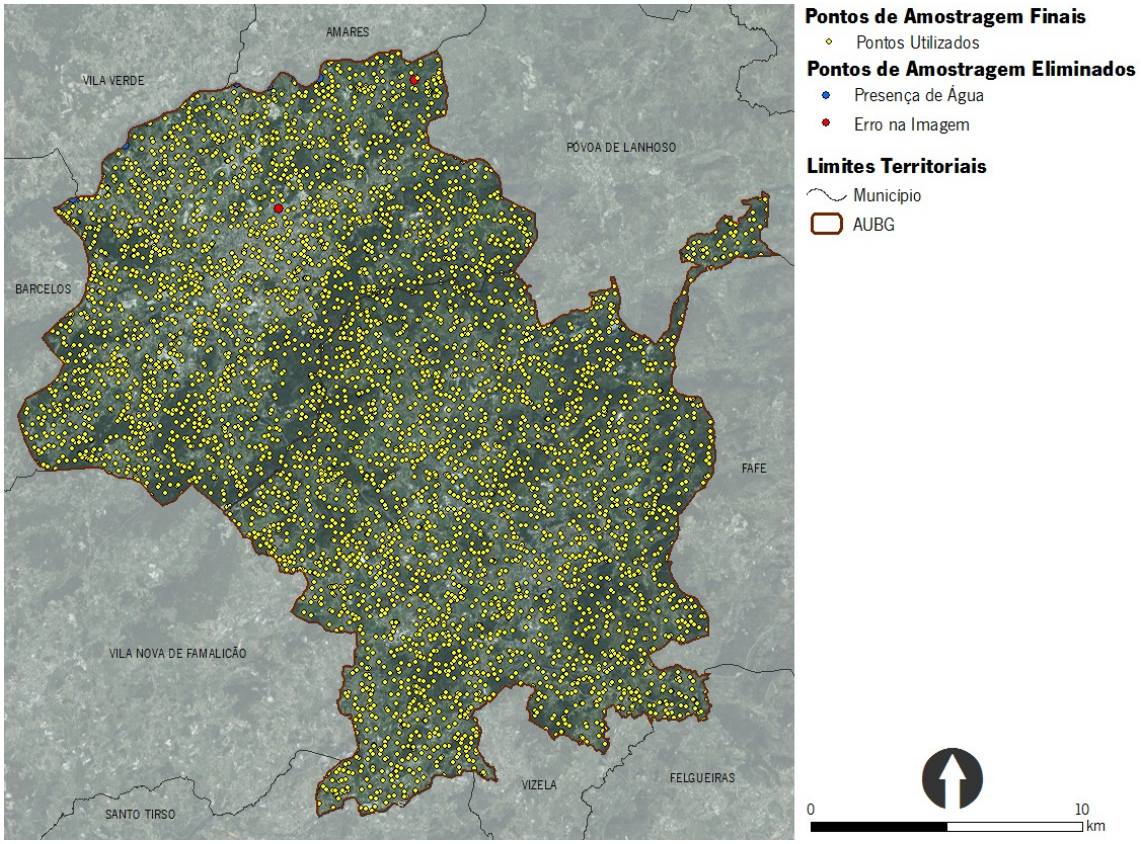


Figura II-12 – Distribuição dos 5 000 pontos de amostragem na AUBG

Os valores de NDVI extraídos foram comparados com base nas diferenças registadas entre os valores de cada série. Explicando de um modo mais detalhado, procedeu-se ao cálculo da diferença: (i) entre os valores de NDVI derivados a partir dos valores de refletância não truncados e os que tinham sido truncados (*i.e.*, 'Não Truncados – Truncados'); (ii) entre os números digitais originais e os valores de refletância não truncados (*i.e.*, 'DN Originais – Não Truncados'); e, (iii) entre os números digitais originais e os valores de refletância truncados (*i.e.*, 'DN Originais – Truncados'). Seguidamente, procedeu-se ao cálculo da média, do desvio-padrão e da variância para os dados que resultaram destas operações (Tabela II-10).

Tabela II-10 – Estatísticas descritivas das diferenças entre as séries de NDVI estudadas

Estatísticas	**Landsat 5 TM 22 de julho de 1984**			**Landsat 8 OLI 14 de julho de 2016**		
	Não Truncados vs. Truncados	DN Originais vs. Não Truncados	DN Originais vs. Truncados	Não Truncados vs. Truncados	DN Originais vs. Não Truncados	DN Originais vs. Truncados
Média	0,0000	-0,2114	-0,2114	0,0000	-0,2513	-0,2513
Desvio-padrão	0,0000	0,0439	0,0439	0,0000	0,0736	0,0736
Variância	0,0000	0,0019	0,0019	0,0000	0,0127	0,0127

A análise efetuada com os dados provenientes do Landsat TM apresentam um comportamento idêntico aos do Landsat OLI (Tabela II-10). Além disto, os valores de NDVI derivados a partir dos valores de refletância que resultam da correção atmosférica e os valores truncados são iguais (*i.e.,* média, desvio-padrão e variância igual a 0), pelo que não existem perdas de informação com o truncamento dos valores, tal como indicado pelo USGS (2006). Por sua vez, quando comparados os valores de NDVI derivados a partir dos números digitais originais, com os que resultam quer das refletâncias provenientes da correção atmosférica (com ou sem os valores truncados em 8-bits), verificam-se diferenças significativas, como comprova a média de -0,2513, o desvio-padrão de 0,0736, e a variância de 0,0127 (Tabela II-10). Ademais, esta comparação evidencia que os valores de NDVI resultantes dos DN originais são sistematicamente mais baixos do que aqueles que resultam das séries corrigidas atmosfericamente (truncadas ou não). Assim sendo, o cálculo do NDVI a partir dos números digitais originais apresenta uma subestimação dos valores quando comparados com os valores de refletância corrigidos atmosfericamente.

II – 2.2. Imagens MODIS

Os produtos MODIS referentes aos valores diários da temperatura de superfície (Ts) e emissividade captados pelos satélites Terra (MOD11A1) e Aqua (MYD11A1) são disponibilizados numa resolução de cerca de 1km, após terem sido processados com base no algoritmo *split-window* em grelhas de 6km pela NASA. Neste algoritmo a emissividade das bandas 31 e 32 é estimada a partir da cobertura do solo, do conteúdo de vapor de água da coluna atmosférica, que são separados em subintervalos tratáveis para recuperação ideal (NASA, 2019). Após o *download* das imagens é necessário aplicar um fator de conversão aos produtos MODIS, que no caso específico de Ts (na versão 6 dos dados) corresponde à multiplicação dos valores disponibilizados por 0,02. Os valores de Ts resultantes encontram-se em kelvin, pelo que em seguida foram convertidos em graus celsius (*i.e.,* aplicou-se a subtração de 273,15). Após a análise da imagem os *pixéis* sem valor (-9999, por defeito) foram transformados em *No Data,* de modo a não interferirem com os cálculos estatísticos subsequentes.

Em seguida, as imagens foram convertidas de WGS 84 – sistema coordenadas selecionado aquando do *download* dos ficheiros na plataforma *Google Earth Engine Explorar* – para

WGS_1984_UTM_ZONE_29N, compatibilizando deste modo com os restantes dados geográficos utilizados no trabalho, nomeadamente a informação proveniente do satélite Landsat. Importa mencionar que este procedimento foi igualmente aplicado às imagens do NDVI retiradas para a análise da onda de calor de julho de 2010.

Por fim, efetuou-se uma máscara das imagens MODIS, de modo a reter apenas o território correspondente aos municípios de Braga e de Guimarães (a denominada AUBG), sendo que se optou por deixar uma margem na área de análise de 0,5km para além da demarcação da AUBG, de modo a evitar a perda de informação nos pixéis limítrofes. A opção por uma área de recorte mais ampla, apesar de inicialmente considerada, foi declinada, uma vez que a existência de valores extremos extrínsecos ao território da AUBG enviesava a normalização dos valores da temperatura (em função do máximo e do mínimo), e consequentemente deturpava a sua representação espacial. Note-se que, estes procedimentos são transversais às duas séries de imagens MODIS – *i.e.*, a do ciclo diário e a do comportamento durante a onda de calor.

II – 3. COMPONENTES BIOFÍSICAS

"Reliable baseline data on the state of many urban area's ecosystems and biodiversity is lacking, and our progress in obtaining these data is moving slower than our ability to alter the environment".
|Stefanov e Netzband, 2010, p.220|

Neste trabalho parte-se do pressuposto teórico e metodológico que as componentes biofísicas que compõem o ecossistema urbano – *i.e.,* vegetação, solo nu e superfícies impermeáveis antrópica (Ridd, 1995) – exibem uma resposta singular numa determinada região do espectro eletromagnético. Deste modo, combinações apropriadas entre as bandas das imagens de satélite – os denominados de índices espectrais – permitem discriminar de modo automático as componentes. Na derivação dos índices espectrais alguns autores (Chen *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2009) salientam que podem ser utilizados os dados em bruto provenientes do satélite (*i.e.*, os números digitais) enquanto outros (Lo e Quattrochi, 2003; Li *et al.*, 2014; Estoque e Murayama, 2015) enfatizam a necessidade do pré-processamento da informação, como a calibração radiométrica e a correção atmosférica. Neste estudo, como descrito anteriormente, optou-se por efetuar estas correções, tendo em vista a minoração das diferenças (radiométricas, atmosféricas) entre as seis imagens analisadas.

A seleção dos índices espectrais mais adequados à identificação das componentes biofísicas não é tarefa fácil, pois como salientam Rondeaux *et al.* (1996) depende de vários fatores, entre os quais se destacam os objetivos do mapeamento e as características do território. No contexto deste trabalho, a questão do território assume particular acuidade, uma vez que a AUBG apresenta uma estrutura de povoamento marcadamente difusa (Ribeiro, 1995; Portas, 2012; Ribeiro e Ferrão, 2014; Bandeira, 2015), que se traduz numa grande miscelânea de coberturas/usos do solo (Pinheiro e Laranjeira, 2013a), e, por consequência, numa distribuição muito mesclada das componentes biofísicas, que potencia ainda mais a complexidade inerente à sua identificação e extração. Posto que, a escolha dos índices espectrais tem implicações diretas na identificação das componentes biofísicas, designadamente na área que ocupam e na sua trajetória temporal (Estoque e Murayama, 2015), o levantamento efetuado anteriormente (*vide* Tabela I-13, Tabela I-14, Tabela I-15 e Tabela I-16) foi contraposto à assinatura espectral de cada componente biofísica do modelo V-I-S, bem como às especificidades decorrentes da urbanização difusa. Os resultados

deste cruzamento suportam as opções metodológicas em que se baseia grande parte do trabalho empírico realizado.

II – 3.1. Estudo da Assinatura Espectral

Cada componente biofísica descreve uma curva de refletância espectral própria – designada assinatura espectral. O conhecimento desta assinatura permite a seleção das bandas do espectro eletromagnético nas quais o elemento de interesse (*e.g.*, vegetação, solo nu) oferece maior contraste em relação a outros (Chen *et al.*, 2006; Xu, 2007; As-syakur *et al.*,2012; Uddin *et al.*, 2012; Zhou *et al.*, 2014; Estoque e Murayama, 2015; Piyoosh e Ghosh, 2017).

II – 3.1.1. O Modelo V-I-S

Para a extração das componentes biofísicas do modelo V-I-S na AUBG começa-se por estudar a assinatura espectral das superfícies impermeáveis, da vegetação, do solo nu e da água, tendo por base a delimitação das coberturas/usos do solo efetuada no Atlas Urbano de 2012. Deste modo, pretende-se não só entender o comportamento espectral de cada componente biofísica, como também destrinçar possíveis diferenças entre as três gerações do satélite Landsat utilizadas (*i.e.*, TM, ETM+ e OLI).

O perfil espectral das superfícies impermeáveis, da vegetação, do solo nu e da água tem por base a amostra aleatória de 5000 pontos criada anteriormente (Figura II-12), e por referência a imagem Landsat 5 TM de 30 de julho de 2010 e a imagem Landsat 8 OLI de 14 de julho de 2016 – optando-se por estas datas pela sua proximidade à cartografia do Atlas Urbano de 2012. Os números digitais das bandas do visível e do infravermelho próximo (*i.e.*, COASTAL, GREEN, RED, NIR, SWIR1, SWIR2) extraídos correspondem aos valores de refletância com os efeitos atmosféricos corrigidos e escalados novamente para o formato de 8-*bits* (*i.e.*, variam entre 0 e 255). Por sua vez, o infravermelho térmico (TIR) corresponde à temperatura de superfície, após a correção dos efeitos atmosféricos e da sua conversão para o formato de 8-*bits*. Em relação ao Landsat 8 OLI importa ainda salientar dois aspetos: primeiro, não se efetuou esta análise para a banda pancromática (banda 8), nem para a banda das nuvens (banda 9); e, segundo, em relação

ao infravermelho térmico apenas se utiliza os dados referentes à banda 10 (que é aquela para a qual a NASA disponibiliza os parâmetros necessários à correção atmosférica). De ressalvar que, não se efetua esta análise para o Landsat 7 ETM+, visto que o intervalo do espectro das bandas é semelhante ao Landsat 5 TM, assumindo-se que as conclusões obtidas com o sensor TM são transponíveis para o ETM+.

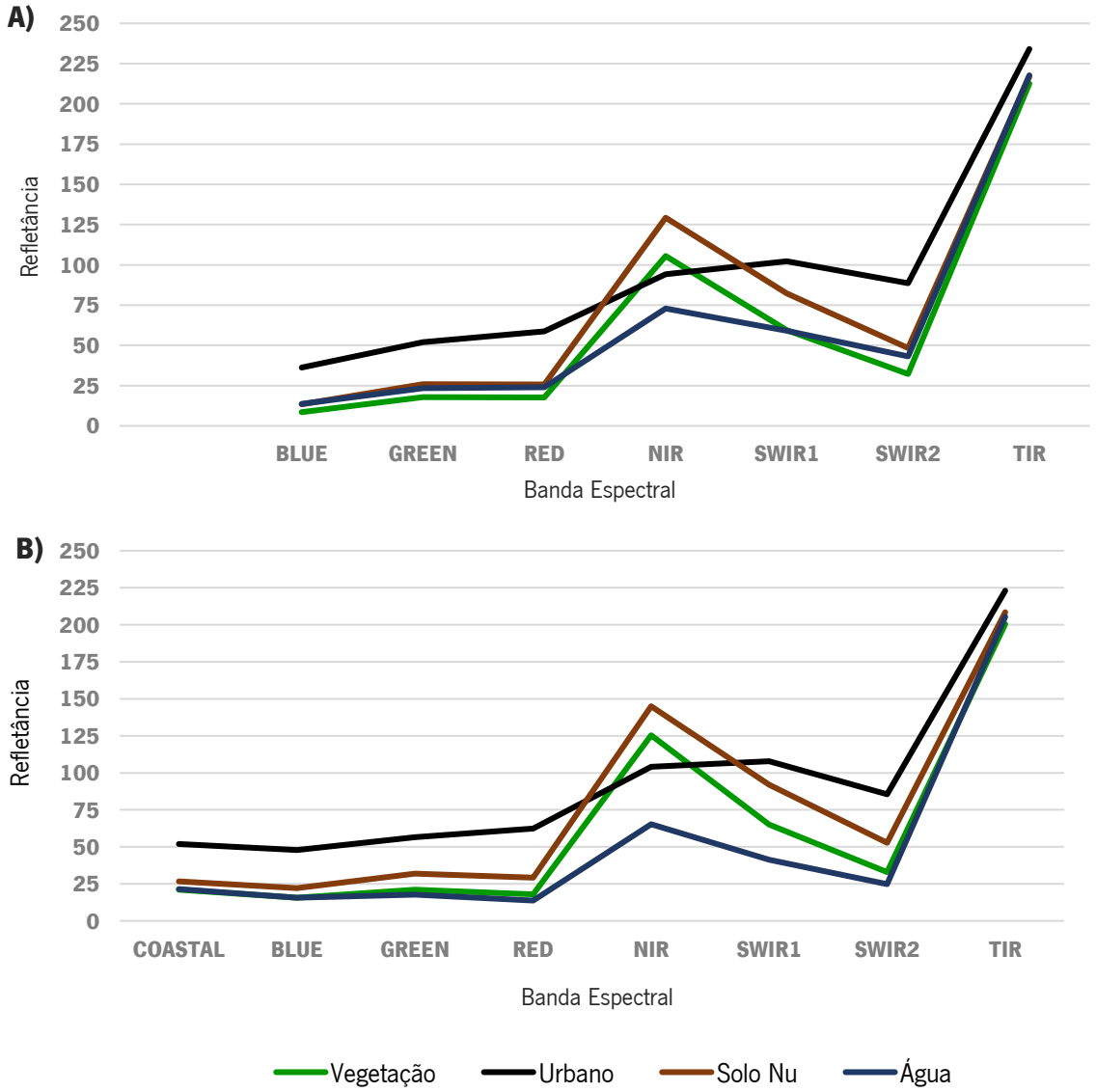
Concomitantemente à extração dos valores de refletância, extraiu-se a classificação da cobertura/uso do solo efetuada no Atlas Urbano de 2012 (European Comission, 2016; Tabela II-3) – que torna possível a seleção dos pontos cuja classificação da cobertura/uso do solo corresponda de modo direto ao modelo V-I-S (Tabela II-11), designadamente: (i) o tecido urbano contínuo (com um grau de impermeabilização superior a 80%), (ii) a floresta, (iii) as terras aráveis e (iv) a água. Como resultado, dos 5000 pontos de amostragem extraídos foram analisados somente 2188 (Tabela II-11). Por fim, o perfil espectral de cada cobertura/uso do solo é determinado pelo valor médio da refletância de cada banda (tendo-se recorrido ao *software* SPSS IBM Statistics para efetuar esse cálculo).

Tabela II-11 – Correspondência entre a classificação do Atlas Urbano de 2012 e o modelo V-IS

Cobertura/Uso do Solo no Atlas Urbano	**Componentes Biofísica do Modelo V-I-S**	**Número de Pontos de Amostragem**
Tecido urbano contínuo (impermeabilização superior a 80%)	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	103
Floresta	Vegetação	1446
Terras Aráveis	Solo Nu	629
Água	Água	10
Total de Pontos de Amostragem		**2188**

A análise do perfil espectral coloca em evidência que, apesar das diferenças no intervalo do comprimento de onda das bandas do sensores TM e OLI do satélite Landsat (*vide* Tabela I-7), as componentes biofísicas do modelo V-I-S apresentam um padrão de refletância espectral semelhante nas duas imagens (Figura II-13). Esta constatação encontra-se em consonância com os resultados obtidos noutros estudos (*e.g.*, Estoque e Murayama, 2015), e indica que se poderão aplicar os mesmos índices espectrais aos diferentes sensores do satélite Landsat, sem que daí decorra grande prejuízo na extração da informação. Sem embargo, a água é a componente biofísica que apresenta maiores diferenças no perfil espectral quando se compara a imagem do Landsat 5 TM com a do Landsat 8 OLI (Figura II-13). Porém, esta componente que fica à margem

do modelo V-I-S, assume uma reduzida relevância na AUBG, em função da exígua dimensão espacial que ocupa.



A – Landsat 5 TM (30 de julho de 2010); B – Landsat 8 OLI (14 de julho de 2016)

Figura II-13 – Perfil espectral das componentes biofísicas do modelo V-I-S

II – 3.1.2. A Singularidade da Urbanização Difusa

Na AUBG verifica-se uma enorme heterogeneidade ambiental, resultante da sempre presente interpenetração entre o urbano e o rural, emergindo assim na paisagem como um "salpicado de edificado em fundo policromado de tonalidades de verde" (Bandeira, 2015, p.21) Com efeito, a confusão espectral entre as superfícies impermeáveis antrópicas, o solo nu e a vegetação rasteira ou esparsa, assume particular relevância no contexto de urbanização difusa, que se caracteriza:

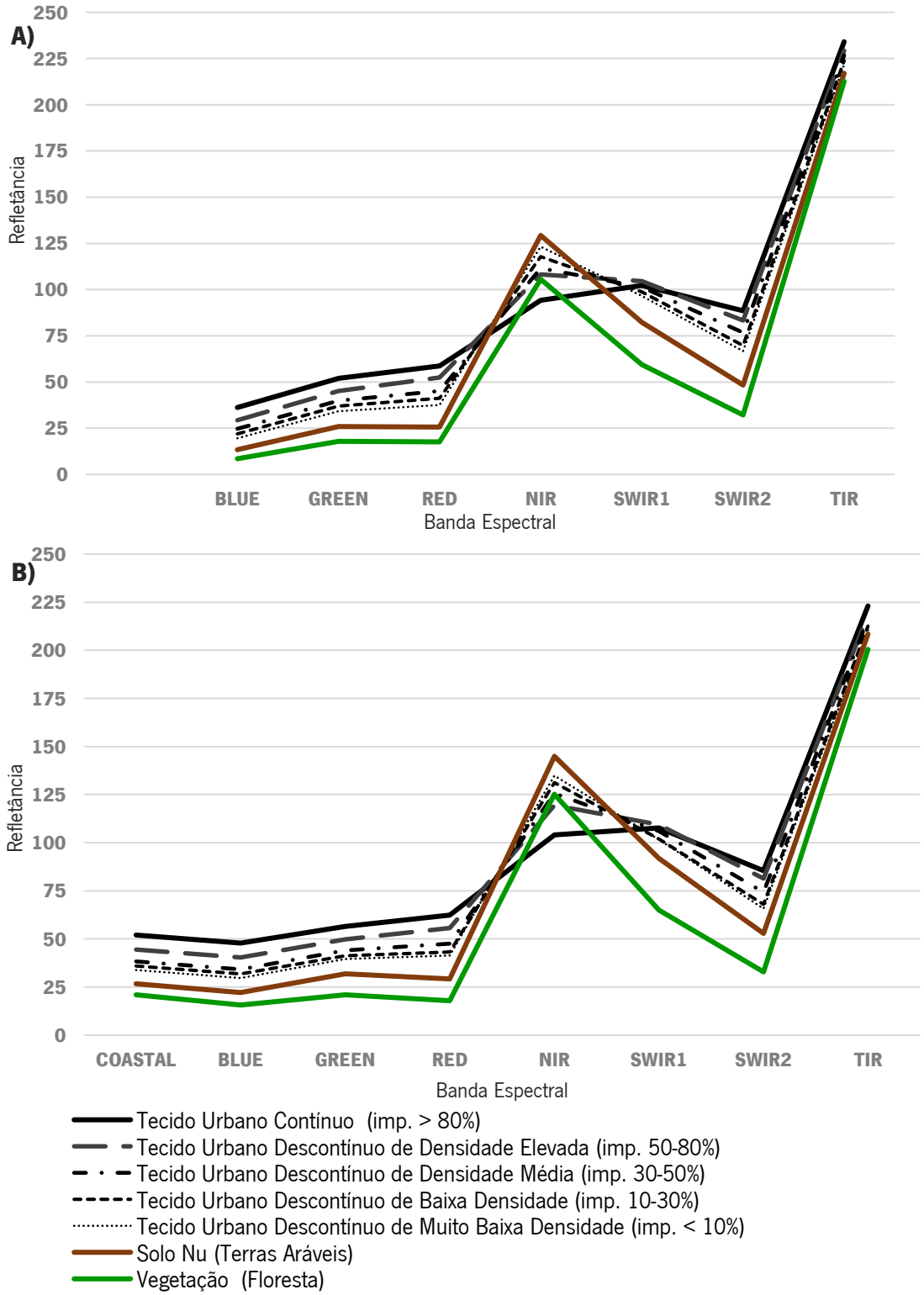
(i) pelos diferentes graus de densidade de construção, que oscilam entre o tecido urbano contínuo e o tecido urbano descontínuo com muito baixa densidade (European Comission, 2016); e, (ii) pela acentuada mescla das componentes biofísicas. Neste sentido, procede-se a um estudo mais detalhado da assinatura espectral da urbanização difusa, para determinar quais os índices espectrais mais adequados à extração das componentes biofísicas neste território.

Para a elaboração dos perfis espectrais que traduzem a singularidade da urbanização difusa recorre-se à mesma amostra aleatória de 5000 pontos, assim como aos procedimentos metodológicos explanados anteriormente. Todavia, selecionaram-se todas as classes de tecido urbano presentes na classificação da cobertura/uso do solo presente no Atlas Urbano de 2012 (Tabela II-3), nomeadamente: (i) tecido urbano contínuo (impermeabilização superior a 80%); (ii) tecido urbano descontínuo de densidade elevada (impermeabilização entre 50 e 80%); (iii) tecido urbano descontínuo de densidade média (impermeabilização entre 30 e 50%); (iv) tecido urbano descontínuo de baixa densidade (impermeabilização entre 10 e 30%), e, (v) tecido urbano descontínuo de muito baixa densidade (impermeabilização inferior a 10%). Adicionaram-se ainda as duas classes já analisadas anteriormente, nomeadamente a da floresta, que representa as áreas com vegetação, e a das terras aráveis, que oferece à partida a melhor correspondência com o solo nu. Assim, dos 5000 pontos extraídos inicialmente são analisados 2899 pontos (Tabela II-12), que representa um acréscimo de 711 pontos em relação aos 2188 utilizados no perfil espectral do modelo V-I-S

Tabela II-12 – Coberturas/usos do solo do Atlas Urbano de 2012 que traduzem as especificidades da urbanização difusa

Cobertura/Uso do Solo no Atlas Urbano	**Número de Pontos de Amostragem**
Tecido urbano contínuo (grau de impermeabilização superior a 80%)	103
Tecido Urbano Descontínuo de Densidade Elevada (grau de impermeabilização entre 50 e 80%)	295
Tecido Urbano Descontínuo de Densidade Média (grau de impermeabilização entre 30 e 50%)	236
Tecido Urbano Descontínuo de Baixa Densidade (grau de impermeabilização entre 10 e 30%)	129
Tecido Urbano Descontínuo de Muito Baixa Densidade (grau de impermeabilização inferior a 10%)	61
Terras Aráveis (solo nu)	629
Floresta (vegetação)	1446
Total de Pontos	**2899**

A maior discriminação das componentes biofísicas introduz – inequivocamente – maior complexidade ao perfil espectral (*c.f.*, Figura II-13 e Figura II-14) – porém, esta é fundamental no entendimento cabal do comportamento espectral da urbanização difusa.



A – Landsat 5 TM (30 de julho de 2010); B – Landsat 8 OLI (14 de julho de 2016)

Figura II-14 – Perfil espectral da urbanização difusa

O tecido urbano descontínuo apresenta um perfil espectral significativamente díspar do tecido urbano contínuo em todas as bandas espectrais, à exceção do infravermelho médio 1 (SWIR1). Efetivamente, no infravermelho médio 1 o tecido urbano apresenta uma resposta espectral relativamente uniforme, independentemente do grau de impermeabilização. Porém, à medida que a impermeabilização decresce, também os valores de refletância nas bandas costeira (*COASTAL*), azul (*BLUE)*, verde (*GREEN*), vermelho (*RED*), infravermelho médio 2 (*SWIR2*) e infravermelho térmico (*TIR)* diminuem, sendo esta relação em termos visuais claramente linear (Figura II.11)..

No infravermelho próximo (NIR), o tecido urbano contínuo apresenta uma resposta espectral claramente distinta da vegetação, no entanto, esta diferença vai-se diluindo com a diminuição do grau de impermeabilização. De facto, o tecido urbano descontínuo com um grau de impermeabilização entre 50 a 80% e entre 30 a 50% apresenta uma resposta espectral próxima da vegetação, enquanto o tecido urbano muito descontínuo (grau de impermeabilização entre 10 e 30% ou inferior a 10%) se assemelha mais da resposta espectral do solo nu (Figura II-14). Para esta similaridade na resposta espectral poderá contribuir o facto das habitações isoladas se encontrarem rodeadas por campos agrícolas, cujo solo no início do verão é lavrado para a sementeira de milho. Note-se, porém, que este processo se encontra sujeito a uma acentuada variação interanual, em função das condições atmosféricas, que determinam o ciclo das colheitas agrícolas. Assim sendo, em julho o solo poder-se-á encontrar lavrado ou já com o milho em diferentes fases de crescimento – alterando, em virtude disso, a natureza da cobertura do solo que o satélite capta.

A despeito do tecido urbano com um grau de impermeabilização entre 10 a 30% e o inferior a 10% apresentarem um perfil espectral similar, observa-se que quanto mais dispersa é a urbanização mais o perfil espectral se aproxima do solo nu (Figura II-14). Neste cômputo, a realização deste estudo prévio à seleção dos índices espectrais coloca em evidência que a distinção entre as áreas de urbanização difusa e o solo nu será uma tarefa ainda mais complexa do que a revisão teórica antevia. Ademais, patenteia de modo claro que o satélite não consegue distinguir usos do solo cuja cobertura apresente valores de refletância similares. Toda esta questão é potenciada pelo facto de o Landsat ter uma resolução de 30m, no entanto, como explanado, este é o satélite que apresenta o melhor compromisso potencialidades/debilidades no contexto dos objetivos de trabalho definidos.

II – 3.2. Seleção e Classificação dos Índices Espectrais

Primeiramente derivaram-se os 43 índices espectrais identificados aquando da revisão teórica (*vide* Tabela I-13, Tabela I-14, Tabela I-15 e Tabela I-16), tomando como referência a imagem de Landsat OLI de 14 de julho de 2016, por esta ser a data mais recente, e como tal mais próxima da realidade atual. De seguida, os resultados foram sobrepostos ao mapa de cores naturais e à fotografia aérea disponibilizada pela ESRI. O cruzamento desta análise – por inspeção visual –, com as potencialidade e debilidades de cada índice, e com o estudo da assinatura espectral das componentes biofísicas do modelo V-I-S, e particularmente com o da singularidade da urbanização difusa, permitiu concluir que, de entre os vários índices derivados, os que reúnem melhores condições para a extração das componentes biofísicas na AUBG são o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), o *Normalized Difference Bareness Index* (NDBaI), o *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), o *Soil and Vegetation Index* (SVI), *Urban Index* (UI), *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI).

Numa segunda fase, procurou-se perceber para cada um dos seis índices selecionados o intervalo de valores no qual cada componente biofísica se posicionava. Para tal, adotou-se o método hipotético-dedutivo, que é baseado em hipóteses, que foram sendo rejeitadas ou validadas (Aguiar, 2011), tendo por base a lógica tentativa → erro → repetição (Figura II-15). Deste modo, os limiares estabelecidos são o resultado de um processo de ajustamento gradativo, pelo que poderão não se adequar a outros territórios, visto que foram definidos em função das especificidades do território (*i.e.*, urbanização difusa), das datas (*i.e.*, imagens de verão) e dos dados (*i.e.*, imagens Landsat) em análise.



Figura II-15 – Método hipotético-dedutivo

Após a definição dos limiares para imagem do Landsat 8 OLI, transpôs-se os mesmos valores para uma imagem Landsat 5 TM (30 de julho de 2010), de modo a verificar se estes se adequavam a

esta imagem. Efetivamente, constatou-se que os limiares definidos para o Landsat 8 apenas necessitavam de ajustes mínimos, sendo que tais ajustes não resultam em perdas de informação na extração das componentes biofísicas nessas imagens. Assim, conclui-se que se podem utilizar os mesmos limiares nas três gerações do satélite Landsat.

As diversas tentativas de classificação dos índices espectrais permitem tecer as seguintes considerações: (i) uma mesma componente biofísica pode ser identificada a partir de vários índices, sem grande prejuízo de informação; e, (ii) que um índice desenvolvido com a finalidade de extrair uma determinada componente biofísica pode ser eficaz na extração de uma outra. Os resultados práticos obtidos permitem sustentar as opções metodológicas referentes à identificação e extração das componentes biofísicas apresentadas de seguida.

II – 3.2.1. Vegetação

No que concerne à vegetação diferenciaram-se as áreas em que a vegetação é arbórea e/ou densa daquelas é que é herbácea/arbustiva e/ou esparsa, dado que em termos climáticos apresentam uma resposta muito distinta, nomeadamente em termos de potencial de arrefecimento evaporativo (Acero *et al.*, 2013). A identificação da vetação arbórea e/ou densa foi efetuada a partir do NDVI (Rouse *et al.*, 1973), por este ser o índice mais amplamente aceite na extração desta componente biofísica e, como referido anteriormente, nenhum outro índice, independentemente da sua complexidade, introduziu melhorias significativas neste processo (Rondeaux *et al.*, 1996; Mróz e Sobieraj, 2004). Estas áreas – que detêm elevado potencial de arrefecimento evaporativo, segundo Acero *et al.* (2013) – exibem um valor de NDVI igual ou superior a 0,75.

Para a extração das áreas com vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa recorreu-se ao SAVI – que apresenta a mesma formulação que o NDVI, porém Huete *et al.* (1988) introduziram um fator de ajustamento do brilho do solo. Com efeito, este índice adequa-se melhor do que o NDVI à extração da vegetação em locais com reduzida cobertura vegetal, como é o caso das áreas urbanas ou com solo nu (Xu *et al.*, 2007; Meng *et al.,* 2014). Atendendo a que no SAVI, os valores mais baixos correspondem às superfícies impermeáveis antrópicas e os valores mais elevados à vegetação densa, como seria de esperar a vegetação herbácea/arbustiva ou esparsa situa-se nos valores intermédios, designadamente no intervalo entre 1,6 e 1,9.

II – 3.2.2. Superfícies Impermeáveis Antrópicas

Na extração das superfícies impermeáveis antrópicas, apesar do *Normalized Difference Built-Up Index* (NDBI) ser o índice espectral mais comumente utilizado (Zha *et al.*, 2003), este não foi opção, uma vez que detém uma fraca capacidade para distinguir as áreas construídas do solo nu, particularmente quando se utilizam imagens do Landsat 8 (Zhou *et al.*, 2014). Com efeito, optou-se pelo SVI (Villa, 2007), que combina as bandas do infravermelho médio 1 (SWIR1) e do azul (BLUE), nas quais as áreas contruídas apresentam um acentuado contraste (*i.e.*, refletância mais elevada no SWIR 1 do que no BLUE). Além disto, como evidenciado no perfil espectral da urbanização difusa, é no SWIR 1 que a resposta dos tecidos urbanos com diferentes graus de impermeabilização mais se aproxima (Figura II-14), e por consequência, mais se afasta de outras coberturas do solo, designadamente do solo nu, o facilita a sua diferenciação.

O SVI apresenta valores elevados quer para o solo nu quer para a vegetação, pelo que as áreas urbanas se situam no intervalo entre os -0,3 e os 0,55. Todavia, este índice não capta as coberturas de telha de cerâmica (cuja tonalidade oscila entre o laranja e o vermelho) – muito comum nos telhados dos edifícios mais antigos, particularmente os localizados no centro da cidade de Braga e de Guimarães (Figura II-16).



A) Centro histórico da cidade de Braga e B) Centro histórico da cidade de Guimarães.
Fonte: Google Earth (2018).

Figura II-16 – Cobertura de telha dos edifícios do centro histórico de Braga e de Guimarães

Face às limitações evidenciadas pelo SVI na extração das superfícies impermeáveis antrópicas, recorre-se ao UI (Kawamura *et al.*, 1996) para delimitar os edifícios com cobertura de telha (Figura

II-16) – que neste índice se situam no intervalo 0 a 0,25. Vale lembrar que. este intervalo não abarca apenas as superfícies impermeáveis antrópicas (pois capta também alguns terrenos com o solo nu), pelo que é necessário subtrair todas as áreas que tenham sido previamente classificadas como sendo outra componente biofísica.

Por último, acrescentar que, apesar de o SVI e o UI captarem entre as superfícies impermeáveis antrópicas os espaços industriais (caracterizados por coberturas com elevado albedo), se optou por individualizar estas áreas – uma vez que os valores elevados de Ts (Weng *et al.*, 2004; Pinheiro e Laranjeira, 2013a) conferem-lhe uma assinatura térmica distinta das restantes superfícies impermeáveis antrópicas. A individualização destas áreas foi efetuada com base MNDWI (Sharma *et al.*, 2013a), tendo como referência o intervalo -0,3 a 0,3. A despeito de ter sido proposto para cartografar os corpos de água, este índice recorre às mesmas bandas que o SVI – *i.e.*, SWIR1 e BLUE – invertendo apenas a sua ordem. A respeito desta delimitação importa ressalvar três aspetos fundamentais: primeiro, as áreas industriais captadas por este índice correspondem apenas aquelas cujas coberturas apresentam um albedo elevado, todas as outras encontram-se incluídas nas áreas urbanas; segundo, o limiar do MNDWI -0,3 a 0,3 também capta as estufas agrícolas e pedreiras; e, terceiro, as estruturas urbanas, como habitações ou vias rodoviárias, cujo o material de construção apresenta um elevado albedo também se encontram abrangidas por esta delimitação. Sem embargo, atendendo a que esta classe engloba maioritariamente espaços industriais e pedreiras, doravante assume a designação simplificada de industrial/pedreiras.

II – 3.2.3. Solo Nu

O solo nu foi extraído a partir do SAVI (Huete *et al.*, 1988), o mesmo índice que já tinha sido utilizado para a extração da vetação herbácea/arbustiva ou esparsa (localizada no intervalo entre 1,6 e 1,9). Neste índice o solo nu situa-se no intervalo entre 1,1 e 1,6. Contudo, o SAVI não capta áreas que ficaram com o solo exposto devido à ocorrência de incêndios recentes., recorrendo-se ao NDBaI – e em específico limiar -0,8 a -0,6 – para a sua identificação.

II – 3.2.4. Água

A extração dos corpos de água, não foi efetuada com base em nenhum dos índices desenvolvidos especificamente para esse efeito, mas sim com recurso ao NDBaI. Efetivamente, a água apresenta uma resposta espectral muito diferente das restantes componentes biofísicas, pelo que é possível diferenciar estas áreas com quase todos os índices derivados. No que concerne ao NDBaI os corpos de água assumem valores inferiores a -0,8.

II – 3.3. Extração das Componentes Biofísicas

O processo descrito anteriormente permitiu identificar e extrair as diferentes coberturas do solo na AUBG, nomeadamente vegetação arbórea e/ou densa, vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa, áreas urbanas (com e sem cobertura de telha de cerâmica), áreas industriais e pedreiras, terrenos com solo exposto, áreas ardidas e corpos de água (Tabela II-13). Todavia, estas encontravam-se em camadas separadas (*i.e.*, cada um dos limiares dos índices identificados correspondia a uma *layer*), em alguns casos verificava-se uma ligeira sobreposição das camadas.

Tabela II-13 – Sistema de classificação dos índices espectrais desenvolvido

Classificação Inicial	Limiares dos Índices	Ordem das Camadas	Valor na Reclassificação	Designação Final
Corpos de Água	NDBaI <-0,8	1	6	**Água**
Industrial/ Pedreiras/Estufas	-0,3 > MNDWI > 0,3	2	1	**Industrial/Pedreiras**
Vegetação Densa	NDVI>0,75	3	3	**Vegetação Arbórea e/ou Densa**
Áreas Ardidas	-0,8 >NDBaI>-0,6	4	5	**Solo Nu**
Estruturas Urbanas	-0,3 > SVI >0,55	5	2	**Superfícies Impermeáveis Antrópicas**
Solo Nu	1,1, > SAVI > 1,6	6	5	**Solo Nu**
Vegetação Rasteira	1,6 > SAVI> 1,9	7	4	**Vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa**
Coberturas de Telha	0 >UI>0,25	8	2	**Superfícies Impermeáveis Antrópicas**

Sabendo que para aferir a precisão da classificação é imprescindível eliminar as sobreposições das componentes biofísicas, encetaram-se um conjunto de procedimentos com vista à sua junção num único mapa (Tabela II-13). Primeiramente, transformou-se cada uma das *layers* num *raster* binário (*i.e.*, duas classes), sendo que neste processo de reclassificação: (i) a cada área de interesse foi atribuído um número, que variava entre 1 (no caso dos corpos de água – *i.e.*, NDBaI <-0,8) e 8 (no caso das coberturas de telha – *i.e.*, UI>0,7); e, (ii) a restante área definida como sem dados (*No Data*).

Em seguida, recorreu-se à ferramenta *Mosaic To New Raster,* disponível no ArcGIS através da extensão *Data Management Tools,* que permite fundir várias camadas num novo *raster.* Para a criação deste novo *raster,* que manteve o mesmo sistema de coordenadas das imagens de satélite, bem como a dimensão da célula (*i.e.*, 30m), adotou-se como método de mosaico para as áreas onde se verificava uma sobreposição de camadas, que o valor da célula no *raster* de saída deveria corresponder ao do primeiro *raster* adicionado (Tabela II-13). A ordem das camadas foi definida em função da capacidade de cada índice em discriminar as componentes biofísicas. Neste sentido, coloca-se em primeiro lugar os corpos de água, dado que não existe sobreposição desta *layer* com outras, em virtude da singularidade da resposta espectral da água. Em segundo, surgem as áreas industriais/pedreiras, de modo a que no *raster* de saída estas apareçam diferenciadas das restantes superfícies impermeáveis antrópicas. Em terceiro, aparece a vegetação densa ou arbórea, uma vez que também esta *layer* não apresenta sobreposição com outras. Em quarto, surgem as áreas ardidas, embora estas só sejam visíveis no *raster* de saída caso se tenham verificado incêndios na AUBG numa data próxima à captura da imagem de satélite. Em quinto, adiciona-se a *layer* correspondente à urbanização, de modo a permitir a diferenciação das áreas industriais no *raster* de saída. Em sexto, surge o solo nu, porém nestas áreas o motivo do solo estar exposto não decorre de incêndios florestais, mas sim da atividade agrícola. Em sétimo, aparece a vegetação herbácea/arbustiva ou esparsa. Em último lugar, surge a *layer* correspondente às áreas urbanas com cobertura de telha, uma vez que o UI não distingue as áreas construídas do solo nu, assim, tal como referido anteriormente, a colocação desta *layer* no final permite evitar esta confusão.

Do processo de mosaico resultou um *raster* dividido em 8 categorias (Tabela II-13). Todavia, para a prossecução dos objetivos delineados não interessava uma compartimentação do território tão elevada, nomeadamente a separação das áreas construídas com cobertura de telha das restantes superfícies impermeáveis antrópicas, ou das áreas ardidas do restante solo nu. Por conseguinte,

procede-se a uma nova reclassificação do *raster*, na qual se uniram as referidas *layers*, obtendo-se deste modo apenas 6 categorias (Tabela II-14 e Figura II-17).

Tabela II-14 – Componentes biofísicas definidas para a AUBG

Componente Biofísica	Descrição
Industrial/pedreiras	Engloba as áreas industriais e pedreiras, bem como, determinadas coberturas de edifícios urbanos que apresentam um elevado albedo. Importa esclarecer que se optou por incluir as pedreiras nesta classe, por duas situações: primeiro, pela sua similaridade espectral com as restantes áreas incluídas; e, segundo porque a exposição de rocha nua decorre de uma ação antrópica, em contrário, estas áreas estariam cobertas com vegetação. De notar que ao nível da *Corine Land Cover*, as pedreiras encontram-se igualmente incluídas nas superfícies edificadas. De igual modo, também no Atlas Urbano estão inseridas nas superfícies artificiais. Ademais, esta classe inclui ainda outras estruturas, como as estufas agrícolas, que também não permitem a infiltração direta da água da chuva.
Superfícies impermeáveis antrópicas	Abrange diversas superfícies antrópicas, como edifícios, estradas, passeios e parques de estacionamento pavimentados (*i.e.*, todas as estruturas urbanas não englobadas na classe do industrial/pedreiras), que não permitem a infiltração da água. Além disto, podem ainda estar incluídos solos altamente compactados – muitas das vezes predecessores de estruturas urbanas –, que também não permitem a infiltração da água.
Vegetação arbórea e/ou densa	Corresponde de modo mais direto às áreas florestais, embora possa também englobar espaços verdes urbanos ou áreas agrícolas com maior densidade de vegetação (como sucede com o milho numa fase avançada de crescimento, se irrigado).
Vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa	Encerra uma grande diversidade de usos do solo, constituindo uma classe intermédia entre a vegetação densa e o solo nu.
Solo nu	Abarca a maior parte das áreas agrícolas, cujos solos estão lavrados no período em análise ou em pousio. Capta também as áreas florestais ardidas ou nas quais se verificou um corte recente dos povoamentos, bem como caminhos florestais ou rurais em terra batida.
Água	Traduz as áreas cobertas por água, como rios ou pequenos lagos artificiais (e.g., os que se formam nas trincheiras abertas nas pedreiras).

No processo de classificação a cada pixel é atribuído uma classe, não existindo pixéis sem classe (Figura II-17); por sua vez uma classe inclui os pixéis da componente biofísica pretendida (*i.e.*, características comuns, particularmente do ponto de vista do comportamento térmico superficial) e exclui os restantes (Gorte, 2002). Todo o processo descrito culmina com a elaboração de um mapa temático (Figura II-17).

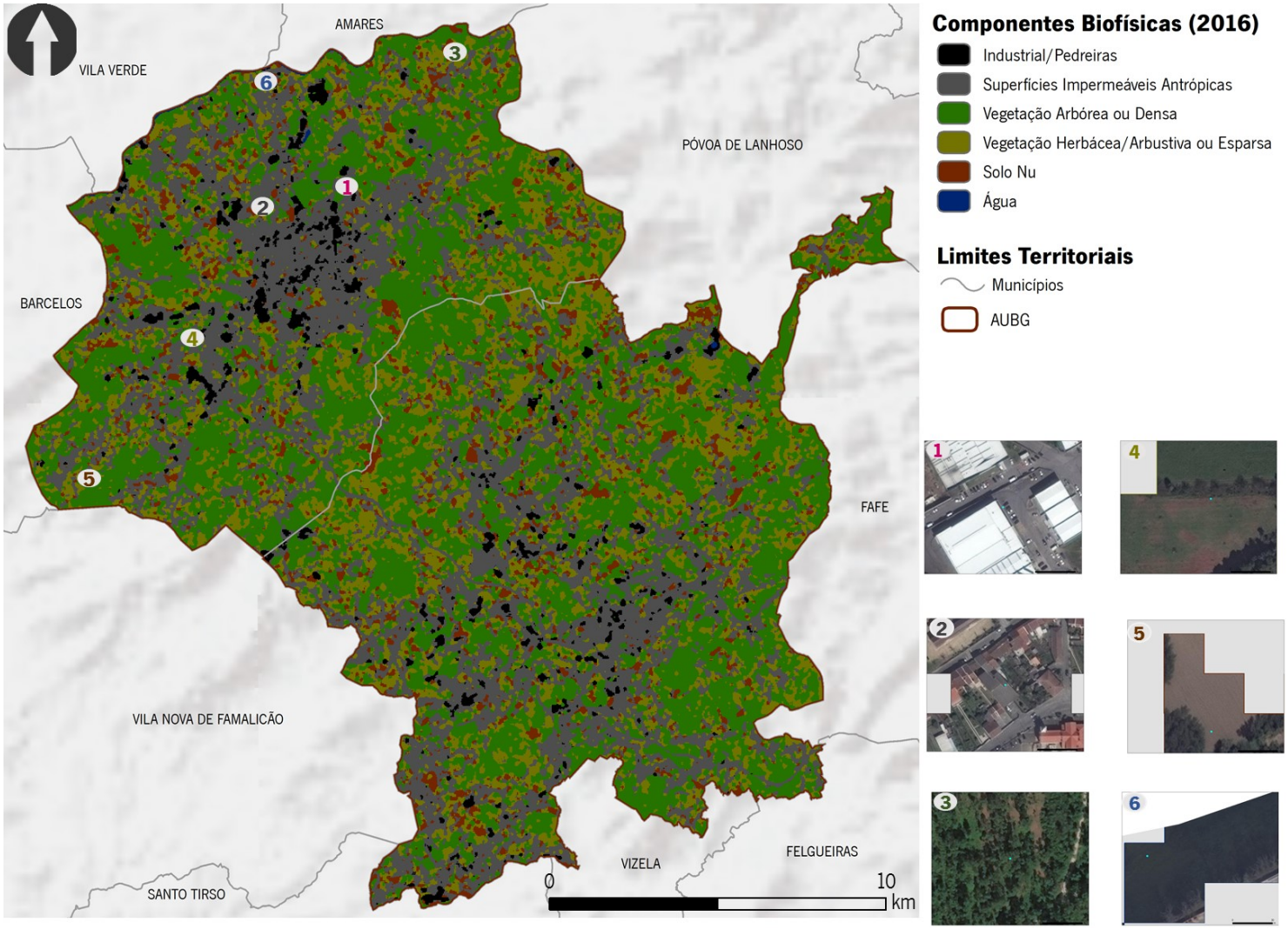


Figura II-17 – Exemplo de classificação das componentes biofísicas da AUBG

II – 3.4. Avaliação da Precisão da Classificação

Para aferir a precisão da classificação de uma imagem de satélite, Estoque e Murayama (2015) referem que é crucial tanto uma avaliação quantitativa como qualitativa, sendo que a combinação dos dois métodos permite a melhor compreensão dos resultados obtidos. Assim, para além da avaliação qualitativa que foi sendo realizada no decorrer do processo anterior, a partir de uma cuidadosa inspeção visual entre a imagem classificada e o mapa de referência (imagem de cores naturais e fotografia aérea), efetua-se também uma avaliação quantitativa da precisão da extração das componentes biofísicas da AUBG.

II – 3.4.1. Avaliação Quantitativa

O método quantitativo mais frequente na avaliação da exatidão da classificação de imagens de satélite é a elaboração de uma matriz de confusão (*e.g.*, Congalton, 1991; Skidmore, 1999; Meng *et al.*, 2014; Estoque e Murayama, 2015; Mei *et al.*, 2015). Esta matriz é também designada por tabela de contingência ou matriz de erro, uma vez que compara para cada componente biofísica o número de pontos e a sua localização na imagem de referência ('*ground truth*') com os pontos e localização correspondentes na imagem classificada. Nesta matriz as classes correspondentes à classificação encontram-se em linhas e as relativas à realidade em colunas. Os pontos classificados corretamente encontram-se representados ao longo da diagonal da matriz, pelo que todos os elementos situados fora da diagonal correspondem a erros.

Na classificação das imagens podem ocorrer dois tipos de erros (Skidmore, 1999): (i) os de comissão, que ocorrem quando se atribui a um pixel da imagem uma classe à qual ele não pertence (inclusão); e (ii) os de omissão, que decorre do facto de não atribuir a uma determinada classe um pixel que lhe pertence (exclusão). Na matriz, os erros de omissão correspondem aos elementos não diagonais de cada coluna e os erros de comissão aos elementos não diagonais de cada linha. A exatidão global da classificação é obtida dividindo o número total de pontos corretamente classificados (*i.e.*, a soma dos elementos posicionados ao longo da diagonal) pelo número total de pontos da imagem de referência. Da mesma forma, a exatidão de cada categoria pode ser obtida através do quociente entre os pontos corretamente classificados de uma categoria e o número total de pontos da linha ou coluna correspondente. Neste sentido, é possível calcular

outros dois indicadores (Skidmore, 1999): (i) a exatidão do produtor, relacionada com a exatidão do processo de atribuição; e (ii) a exatidão do utilizador, referente à qualidade do mapa produzido.

Adicionalmente, é também possível calcular o índice Kappa também designado de *Kappa Index Agreement* (KIA) que mede a concordância entre a classificação e a imagem de referência. Este índice varia entre 1 (concordância perfeita) e 0 (ausência total de concordância), sendo obtido a partir da seguinte fórmula:

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r} (x_{i+} * x_{i+})}{N^2 - \sum_{i=1}^{r} (x_i * x_{+i})}$$

[Eq. 13]

em que,
K = índice Kappa;
N = número total de observações;
r = número de linhas da matriz de confusão;
xii = número de observações da linha *i* e coluna *i* (*i.e.*, número de pixéis bem classificados);
Xi, X+i = totais marginais da linha *i*, coluna *i* (*i.e.*, número de pixéis mal classificados).

Em concreto para a aferição da precisão do sistema de classificação utilizado na extração das componentes biofísicas da AUBG recorre-se a uma amostra de 509 pontos, pois seria impraticável comparar toda a imagem. Esta amostra foi obtida de modo aleatório, porém foi estratificada em função da área que cada componente biofísica ocupa – considerado o método de amostragem mais adequado aos dados de Deteção Remota por Skidmore (1999). Para os 509 pontos extraiu-se a cobertura/uso do solo definida no Atlas Urbano de 2012 (European Comission, 2016), que constitui a imagem de referência. Contudo, foi necessário proceder à correção desta classificação, de modo a minimizar os equívocos resultantes das diferenças entre os dados de referência e a imagem classificada (Tabela II-15) – que poderiam levar a conclusões erróneas à cerca do esquema de classificação adotado (Stathakis *et al.*, 2012). Este processo foi efetuado de modo manual, com base na interpretação visual da respetiva imagem de cores naturais e da fotografia aérea (Zhou *et al.*, 2014).

Tabela II-15 – Correspondência entre o sistema de classificação das componentes biofísicas estabelecido e as coberturas/usos do solo do Atlas Urbano de 2012

Componente Biofísica	Cobertura/Uso do Solo do Atlas Urbano
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	- Tecido Urbano Contínuo (grau de impermeabilização superior a 80%); - Tecido Urbano Descontínuo Denso (grau de impermeabilização entre 50 e 80%); - Tecido Urbano Descontínuo de Média Densidade (grau de impermeabilização entre 30 e 50%); - Tecido Urbano Descontínuo de Baixa Densidade (grau de impermeabilização entre 10 e 30%); - Tecido Urbano Descontínuo de Muito Baixa Densidade (grau de impermeabilização entre inferior a 10%); - Estruturas Isoladas; - Vias de Trânsito Rápido e Terrenos Associados; - Outras Estradas e Terrenos Associados; - Aeroportos; - Caminhos de Ferro.
Industrial/Pedreiras	- Unidades Industriais, Comerciais, Públicas, Militares e Privadas; - Locais de Extração Mineral e de Aterro.
Solo Nu	- Terras Aráveis (culturas anuais); - Espaços Abertos com Pouca ou Nenhuma Vegetação (rocha nua, areais).
Vegetação Arbórea ou Densa	- Floresta.
Vegetação Herbácea/Arbustiva ou Esparsa	- Culturas Permanentes (vinhas, pomares, olivais); - Prados (pastagens); - Vegetação Herbácea (prados naturais).
Água	- Água.
Não Avaliados	- Locais de Construção*; - Terrenos Sem Utilização*; - Espaços Verdes Urbanos**; - Instalações Desportivas e de Lazer**; - Parcelas de Cultivo Misto***; - Áreas Húmidas***.

Classes de cobertura/uso do solo do Atlas Urbano (2012) removidas devido: *à transitoriedade da classificação; **às variações na classificação (*e.g.*, diferentes graus de impermeabilização ou de cobertura vegetal); *** reduzida área que ocupam.

Fonte: Atlas Urbano (2012).

As diferenças entre a classificação da cobertura/uso do solo do Atlas Urbano de 2012 e o sistema de classificação das componentes biofísicas implementado podem-se agrupar em duas temáticas: por um lado, as referentes às especificidades das imagens Landsat; e, por outro, as intrínsecas a cada cena analisada.

(**1**) Relativamente às especificidades do Landsat na captura de informação, foi necessário efetuar um ajustamento entre classificação da cobertura/uso do solo do Atlas Urbano (2012) e o sistema de classificação definido (Tabela II-15), uma vez que no primeiro se encontram discriminadas 27 categorias e no segundo apenas se consideraram 6. Além disto, o Atlas Urbano traduz não só a cobertura do solo (o que de facto o satélite capta) como também o uso das parcelas (*e.g.*, aeroportos ou instalações desportivas e de lazer). Por outro lado, espaços como cemitérios, considerados pelos Atlas Urbano como espaços verdes urbanos, são consideradas superfícies impermeáveis antrópicas, uma vez que são áreas com cobertura de vegetação muitíssimo reduzida. Um outro exemplo, são os rios que por vezes não aparecem delimitados, uma vez que as margens se encontram arborizadas, pelo que o satélite não capta a água, mas sim a vegetação. Esta situação pode ocorrer de igual modo com estradas, casas e campos agrícolas, pois a arborização acaba muitas vezes por 'esconder' a urbanização do satélite (Figura II-18).



Figura II-18 – Exemplos da ocultação do tecido urbano pela arborização

(**2**) As diferenças entre o sistema de classificação implementado e a do Atlas Urbano de 2012 decorrentes das características intrínsecas a cada cena ocorrem particularmente fora das áreas urbanas, nomeadamente nos campos agrícolas onde a presença de solo nu ou de vegetação oscila significativamente de imagem para imagem. Igual situação sucede nas áreas florestais, dado que a ocorrência de incêndios florestais ou o corte dos povoamentos existentes provoca grandes mudanças na cobertura do solo. Apesar de menor, nas áreas urbanas foi também necessária a edição dos pontos do Atlas Urbano de 2012, de modo a incluir na imagem de 2016 as superfícies construídas depois de 2012 e a excluir na imagem de 2010 aquelas que ainda não tinham sido edificadas. Além disto, foi necessário corrigir os pontos das áreas industriais, de modo a considerar apenas como pertencentes a esta categoria as unidades industriais cujos telhados apresentam elevado albedo.

Face ao exposto, compreende-se a necessidade de corrigir ponto a ponto a cobertura do solo – ou seja, aquela que efetivamente o satélite captou aquando da sua passagem. Esta correção demonstra que entre 2010 e 2016 aumentaram as áreas industriais/pedreiras, as superfícies impermeáveis antrópicas e a vegetação densa. Verificando-se o inverso na vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa e no solo nu – tal dever-se-á ao facto de imagem de 2010 coincidir com uma onda de calor, pelo que os campos se encontrariam sem vegetação e algumas áreas florestais ardidas. Assim, apesar das duas matrizes de erro serem elaboradas com base no mesmo número de pontos (*i.e.*, 509) e com a mesma localização, estes encontram-se diferentemente distribuídos pelas seis componentes biofísicas identificadas (Tabela II-16).

Tabela II-16 – Número de pontos da amostra em 2010 e 2016 por componente biofísica

	Componentes Biofísicas						
Ano	**Industrial/ Pedreiras**	**Superfícies Impermeáveis Antrópicas**	**Vegetação Arbórea e/ou Densa**	**Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa**	**Solo Nu**	**Água**	**Total**
2010	16	61	151	146	130	5	509
2016	19	123	220	88	54	5	509

Após a aquisição e correção dos pontos de referência ('*ground truth*'), extraiu-se a componente biofísica atribuída no sistema de classificação implementado, e calculou-se a respetiva matriz de erro (Tabela II-17 e Tabela II-18). Este procedimento foi efetuado com recurso à ferramenta *Compute Confusion Matrix*, disponível na extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS.

Tabela II-17 – Matriz de erro da classificação das componentes biofísicas na AUBG a partir da imagem de 2016 do Landsat 8 OLI

Componentes Biofísicas	Industrial	Urbano	Vegetação Densa	Vegetação Rasteira	Solo Nu	Água	Total	Precisão do Utilizador	Índice Kappa
Industrial	19	5	0	0	0	1	25	**0,76**	0
Urbano	0	89	4	7	7	0	107	**0,83**	0
Vegetação Densa	0	2	177	1	0	0	180	**0,98**	0
Vegetação Rasteira	0	11	2	113	0	0	126	**0,90**	0
Solo Nu	0	13	0	0	54	0	67	**0,81**	0
Água	0	0	0	0	0	4	4	**1**	0
Total	19	120	183	121	61	5	509	**0**	0
Precisão do Produtor	**1**	**0,74**	**0,97**	**0,93**	**0,89**	**0,8**	**0**	**0,90**	0
Índice Kappa	0	0	0	0	0	0	0	**0**	**0,86**

Tabela II-18 – Matriz de erro da classificação das componentes biofísicas na AUBG a partir da imagem de 2010 do Landsat 5 TM

Componentes Biofísicas	Industrial	Urbano	Vegetação Densa	Vegetação Rasteira	Solo Nu	Água	Total	Precisão do Utilizador	Índice Kappa
Industrial	**12**	1	0	0	0	0	13	**0,92**	0
Urbano	3	**49**	0	0	2	0	54	**0,91**	0
Vegetação Densa	0	0	**134**	3	0	0	137	**0,98**	0
Vegetação Rasteira	0	0	13	**137**	7	0	157	**0,87**	0
Solo Nu	1	11	4	6	**121**	0	143	**0,85**	0
Água	0	0	0	0	0	**5**	5	**1**	0
Total	16	61	151	146	130	5	509	0	0
Precisão do Produtor	**0,75**	**0,80**	**0,89**	**0,94**	**0,93**	**1**	0	**0,90**	0
Índice Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	**0,87**

O sistema de classificação implementado apresenta na imagem de 2016 e de 2010 uma precisão de 90%, que se traduz num índice Kappa de 0,86 e de 0,87, respetivamente (Tabela II-17 e Tabela II-18). Estes valores, em consonância com os obtidos noutros estudos (Shi *et al.*, 2012; Jiao *et al.*, 2015), cumprem os requisitos necessários para a avaliação das mudanças nas componentes biofísicas (Lucas *et al.*, 1994; Bhatta. 2010). Assim, considera-se os resultados obtidos muito satisfatórios, atendendo aos constrangimentos da resolução espacial do Landsat, particularmente quando consideradas as especificidades da urbanização difusa.

II – 3.4.2. Avaliação Qualitativa

A maior parte dos erros identificados no sistema de classificação implementado decorrem da resolução espacial do Landsat (30m x 30m) – ou seja, o valor atribuído a cada pixel corresponde à média de energia refletida pelas diferentes superfícies presentes na área de cobertura da célula (*i.e.*, os mixeis). Acresce, ainda, o facto de a matriz de erro ter sido elaborada com base nos valores extraídos a partir de pontos, pelo que dependendo da sua localização um ponto pode assumir diversas classificações na imagem de referência, mas por oposição no pixel assume sempre o mesmo valor.

O exame atento da matriz de erro (Tabela II-17 e Tabela II-18) permite esmiuçar a origem (*i.e.*, localização) e a natureza (*i.e.*, tipo de erro) dos erros de classificação inerentes ao sistema implementado. Deste exame ressaltam oito tipos de erro, cuja análise detalhada permite identificar não só as limitações do sistema de classificação, como também – numa perspetiva mais ampla – entender 'a visão que o Landsat tem da urbanização difusa', mormente a forma como capta/traduz a singularidade deste território (Figura II-19). Nesta perspetiva, dá-se maior relevância aos erros resultantes da classificação do urbano, uma vez que para a prossecução dos objetivos do trabalho é fundamental a distinção cabal das superfícies impermeáveis (urbano) das permeáveis (vegetação e solo nu).

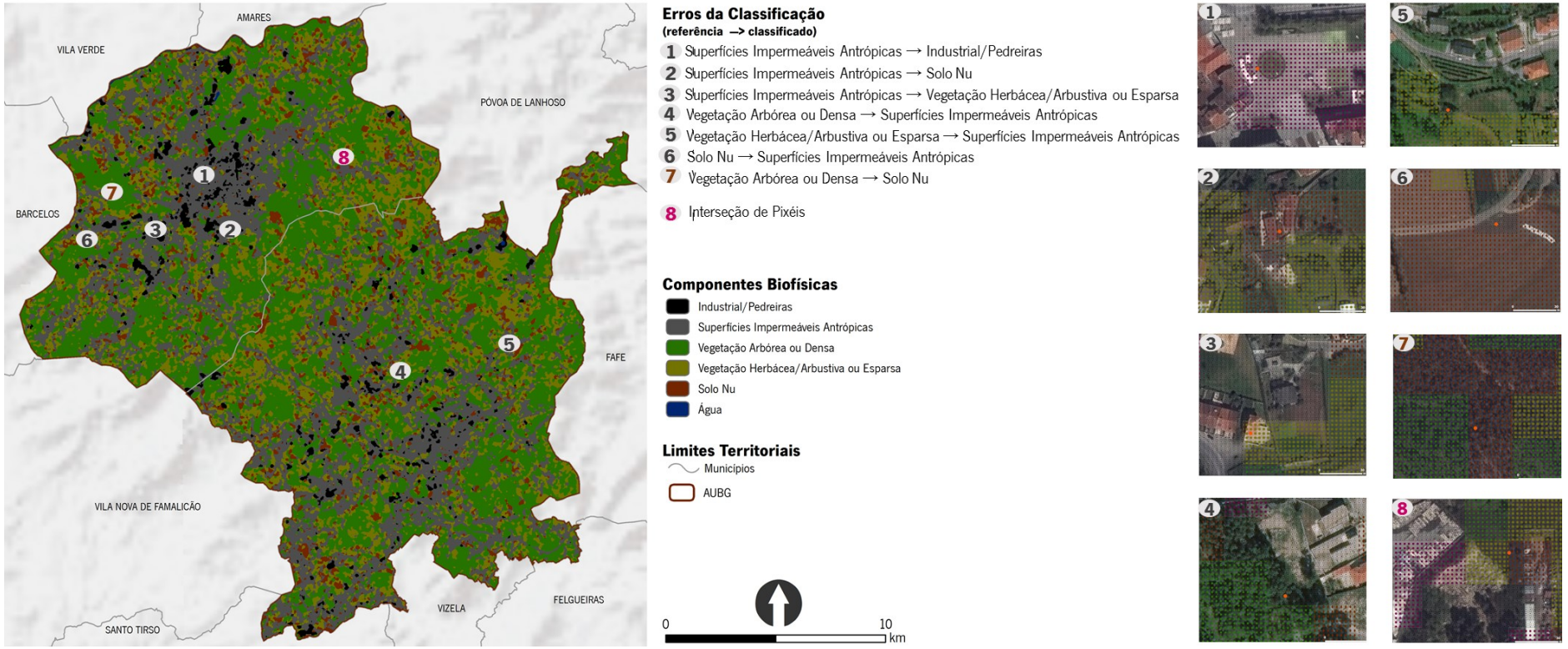


Figura II-19 – Erros do sistema de classificação das componentes biofísicas implementado

(**1**) Superfícies Impermeáveis Antrópicas → Industrial/Pedreiras

O erro das superfícies impermeáveis antrópicas que foram classificadas como industrial/pedreiras ocorre porque na realidade o que o satélite está a distinguir é o albedo, tal como salientado anteriormente. Assim, apesar das áreas industriais e das pedreiras serem, regra geral, as superfícies impermeáveis antrópicas que apresentam o albedo mais elevado, também nas cidades se verificam locais cujos materiais das coberturas partilham desta característica, como é caso do eixo entre a Arcada e a Avenida Central em Braga (Figura II-19).

(**2**) Superfícies Impermeáveis Antrópicas → Solo Nu

A confusão entre as superfícies impermeáveis antrópicas e o solo nu constitui o erro mais comum – aliás como o estudo da assinatura espectral das componentes biofísicas (*vide* Figura II-13 e Figura II-14) fazia antever. Esta situação é potenciada pelo facto de a construção mais dispersa se encontrar ladeada por campos agrícolas, com o solo exposto ou então com vegetação rasteira provavelmente seca (Figura II-19).

(**3**) Superfícies Impermeáveis Antrópicas → Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa

O equívoco na classificação do urbano como vegetação herbácea/arbustiva ou esparsa decorre dos mesmos motivos explicitados no solo nu. No exemplo selecionado verifica-se que o ponto coincide com a habitação – urbano – mas que a maior parte do pixel do Landsat é ocupado por vegetação rasteira (Figura II-19).

(**4**) Vegetação Arbórea e/ou Densa → Superfícies Impermeáveis Antrópicas

Os lapsos decorrentes da classificação da vegetação densa como superfícies impermeáveis são reduzidos, resultando essencialmente da resolução espacial do Landsat, como evidencia o exemplo em causa no qual o pixel se encontra na transição entre um espaço florestal arborizado e uma área urbanizada (Figura II-19).

(**5**) Vegetação Herbácea/Arbustiva ou Esparsa → Superfícies Impermeáveis Antrópicas

A confusão entre a vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa com as superfícies impermeáveis antrópicas, à semelhança do verificado no solo nu, decorre da similaridade da resposta espectral, que é claramente potenciada quando a vegetação detém reduzido conteúdo de humidade (Figura II-19).

(**6**) Solo Nu → Superfícies Impermeáveis Antrópicas

A confusão entre solo nu e as superfícies impermeáveis antrópicas é comum nos dois sentidos, dada a semelhança da assinatura espectral. Todavia, no exemplo selecionado o erro decorre acima de tudo da resolução espacial do Landsat, pois apesar do ponto da amostra se encontrar em solo nu, na realidade a maior parte do pixel corresponde a uma estrada – daí a sua classificação como superfícies impermeáveis antrópicas (Figura II-19).

(**7**) Vegetação Arbórea e/ou Densa → Solo Nu

Para além dos erros que envolvem as áreas urbanas, analisadas com base nos exemplos de 1 a 6, verificam-se outros que envolvem as restantes componentes biofísicas (*e.g.*, confusão entre vegetação densa ou arbórea e a vegetação herbácea/arbustiva ou esparsa ou entre o solo nu e a vegetação herbácea/arbustiva ou esparsa). No exemplo selecionado o erro resulta da classificação de uma área florestal como solo nu, este erro pode advir de vários fatores, como a abertura de caminho florestais (*e.g.*, caminhos de corta-fogo), a ocorrência de um incêndio florestal, ou o corte da vegetação (Figura II-19).

(**8**) Interseção de Pixéis

O último exemplo representa os erros que decorrem da interseção dos pixéis – ou seja, quando o ponto da amostra coincide com o limite de dois ou mais pixéis. Estes erros encontram-se diretamente relacionados com a resolução do Landsat que não permite uma grande precisão na definição dos contornos das superfícies.

De referir ainda que, a água é a componente biofísica que apresenta maior precisão na extração, como comprova o elevado grau de exatidão do produtor (0,80 em 2016 e 1 em 2010) e do utilizador (1 quer em 2016 quer em 2010). Conquanto, o Landsat não consegue identificar o rio Ave, nem outros rios e riachos de menor dimensão, até porque muitas vezes se encontram cobertos pela vegetação da galeria ripícola, mas capta os lagos artificiais criados nas trincheiras que ficam após a extração da pedra.

Da avaliação efetuada conclui-se que os erros resultantes da extração das componentes, apesar de existentes, são assumíveis, desde logo porque são claramente conhecidos e constantes ao longo das várias imagens. Nesta perspetiva, procedeu-se então à identificação das componentes biofísicas na AUBG para todas as restantes quatro datas em análise (Tabela II-1), tendo por base os índices e os respetivos limiares identificados (Tabela II-13), e seguindo todos os procedimentos metodológicos descritos anteriormente. Por fim, as componentes biofísicas de cada data foram traduzidas em mapas.

II – 3.5. Dinâmica das Componentes Biofísicas

A dinâmica das componentes biofísicas na AUBG entre 1984 e 2016 é determinada com base na quantificação da área ocupada por cada classe em cada data, bem como no número e dimensão das manchas que as compõem.

II – 3.5.1. Cálculo da Área

O cálculo da área ocupada por cada uma das seis componentes biofísicas em cada data foi efetuado a partir da ferramenta *Tabulate Area*, disponível na extensão *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS. Este processo foi repetido para as três escalas espaciais definidas, nomeadamente: a AUBG, que representa o conjunto do território em análise; os municípios de Braga e de Guimarães de modo individual; e, as freguesias bracarenses e vimaranenses. Para tornar possível a comparação entre diferentes escalas espaciais, converteram-se os valores de metros quadrados para percentagem. No caso específico das freguesias, primeiramente agrupou-se a área ocupada por cada uma das componentes biofísicas (com exceção da água) em classes (*i.e.*, 0-5%, 5-10%,

...) com o intuito de contar do número de freguesias presente em cada. Em seguida, elaborou-se um ranking com as cinco freguesias que em cada data apresentavam: (i) maior área urbana em termos absolutos (metros quadrados); (ii) menor área urbana em termos absolutos; (iii) maior área urbana em termos relativos (percentagem); e, (iv) menor área urbana em termos relativos. De ressalvar, que os valores da área urbana foram obtidos com base na soma da área ocupada pelas componentes biofísicas industrial/pedreiras e superfícies impermeáveis antrópicas. Concomitantemente, efetuou-se o mesmo processo para a vegetação arbórea e/ou densa, típica dos povoamentos florestais.

II – 3.5.2. Análise da Heterogeneidade

A heterogeneidade espacial do ecossistema urbano da AUBG foi analisada com base nos índices de estrutura espacial – que constituem indicadores numéricos, que quantificam o padrão espacial das manchas, das classes ou da paisagem de uma determinada área geográfica (Bhatta, 2010). Neste sentido, de modo a captar a estrutura global do território da AUBG em cada data, procedeu-se ao cálculo do número de manchas (*i.e.*, quantidade) e da sua dimensão média (*i.e.*, área). Esta análise foi realizada quer para a totalidade das manchas, quer considerando a sua divisão em função da classificação das componentes biofísicas. De seguida, analisou-se a diversidade da AUBG, através do *Shannon Diversity Index* (SDI), cujo valor é igual a zero quando o território é composto por apenas uma mancha, aumentando este com o incremento do número de manchas. Estes índices foram calculados com recurso à extensão *Patch Analyst* disponível para o ArcGIS.

II – 3.6. Ganhos e Perdas nas Componentes Biofísicas

A determinação dos ganhos e perdas nas componentes biofísicas, no que se refere à magnitude (Quanto?), natureza (De quê para quê?) e localização (Onde?), foi efetuada com base numa análise bitemporal, definida a partir de duas datas que se sucedem cronologicamente, designadamente: 1984-1999; 1999-2003; 2003-2007; 2007-2010 e 2010-2016.

II – 3.6.1. Magnitude

Para determinar a magnitude da variação nas componentes biofísicas na AUBG, de modo expedito, calculou-se a diferença na percentagem de área ocupada por cada componente entre duas datas.

II – 3.6.2. Natureza

A discriminação da natureza das mudanças é efetuada a partir de uma matriz de transição, que evidencia todas as direções de alteração possíveis ('de → para') dentro do sistema de classificação adotado, bem como a área (m^2 ou %) de cada modificação registada. Este constitui um dos métodos mais amplamente utilizados no entendimento das mudanças na paisagem, bem como causas e consequências que lhe estão subjacentes (Bhatta, 2010). No presente trabalho foram elaboradas no total 10 matrizes de transição – sendo cinco referentes ao município de Braga e outras tantas ao de Guimarães – com recurso à ferramenta *Tabulate Area,* disponível na extensão *Spatial Analyst Tools* no ArcGIS. De modo a tornar possível a comparação dos resultados obtidos nos dois municípios, e a facilitar a leitura da matriz, converteram-se os valores de metro quadrado para percentagem.

Considerando a complexidade da informação contida na matriz de transição, optou-se por decompor a sua análise (Figura II-20). Assim, efetua-se uma primeira divisão entre as áreas que mantém a classificação nas componentes biofísicas entre duas datas, considerados territórios estáveis, e aquelas onde se verifica uma alteração na classificação. No que concerne ao território não estável, a sua análise reparte-se por três itens: (i) um dedicado a situações pontuais, pelo que não se podem excluir possíveis erros de classificação (como ocorre com a água, considerando a sua exígua representatividade espacial); (ii) outro centrado nas componentes biofísicas 'urbanas', no qual se distingue as alterações decorrentes da substituição das coberturas dos edifícios (com consequentes alterações nas propriedades dos materiais, como o albedo ou a emissividade), dos consumos de solo para urbanização, decorrentes da conversão de componentes biofísicas permeáveis; e, (iii) um último, no qual são analisadas as componentes biofísicas 'não urbanas', designadamente as suas variações, que podem advir ou não da alteração do uso do solo.

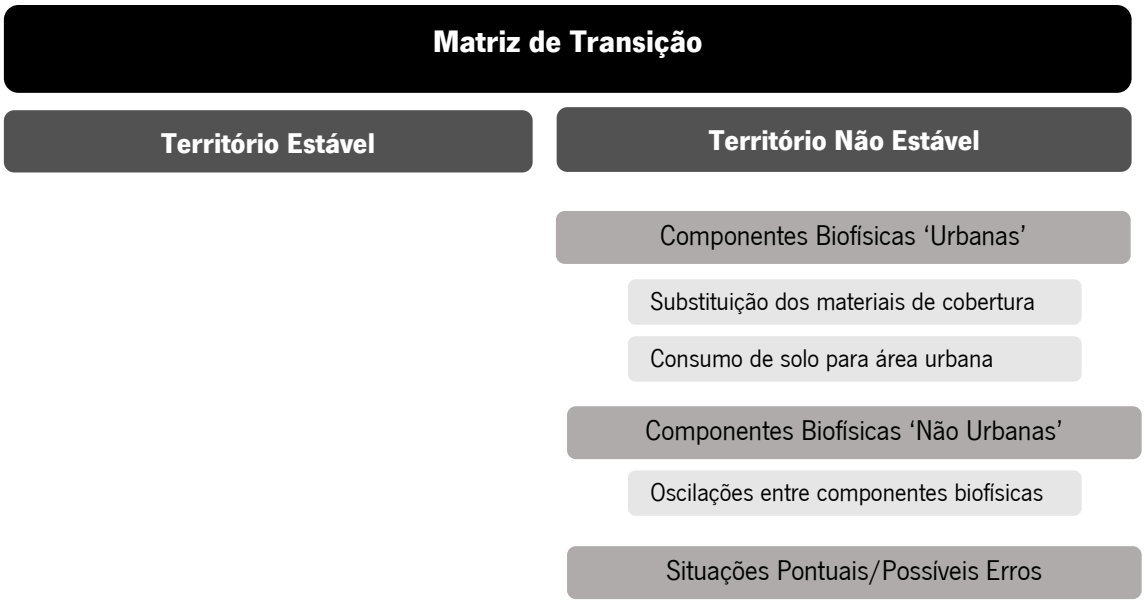


Figura II-20 – Esquema proposto para análise da matriz de transição

II – 3.6.3. Localização

Para o entendimento global do processo de mudança do território da AUBG, além da análise da magnitude e da natureza das modificações, é, ainda, fundamental assinalar a sua localização espacial. Para tal, recorre-se ao *Land Change Modeler* do *software* TerrSet, sendo que após a importação da classificação das componentes biofísicas de Braga e de Guimarães em cada uma das seis datas (efetuada anteriormente no ArcGIS) é necessário proceder à normalização das legendas em acordo com as exigências do *software.* O processamento desta informação, em função dos cinco intervalos temporais em estudo ilustram a localização: (i) das persistências na classificação das componentes biofísicas (*i.e.*, território estável); (ii) das trocas entre duas componentes biofísicas (*i.e.*, substituição de coberturas); (iii) dos ganhos e perdas de cada componente biofísica (*i.e.*, consumo de solo); e, (iv) das transições entre diversas componentes biofísicas (*i.e.,* oscilação).

II – 4. TECIDO URBANO

> *"Urban Remote Sensing has recently attracted unprecedented attention because knowledge about the extent and pattern of built-up lands is important for landscape and urban development planning, risk assessment and disaster management, and environmental resource management*".
> | Estoque e Murayama, 2015, p.205 |

Para a análise do processo de urbanização da AUBG procedeu-se à individualização das componentes biofísicas industrial/pedreiras e superfícies impermeáveis antrópicas – quer isto dizer, diferenciou-se as componentes biofísicas em função da permeabilidade do solo (*i.e.*, impermeável antrópico versus permeável). Para tal, recorreu-se à ferramenta *Split by Atributtes* (disponível na extensão *Analysis Tools* do ArcGIS) que separa automaticamente as diferentes componentes biofísicas. De seguida, efetuou-se em cada data a união das *layer* industrial/pedreiras com a das superfícies impermeáveis antrópicas – atribuindo-se a esta nova camada a designação mais simplificada de urbano. Do ponto de vista técnico, antes da fusão do tecido urbano das seis datas num único raster, foi necessário reclassificar as imagens, optando-se pela numeração de 1 a 6 em função da data de captura da imagem Landsat – sendo que, o '1' corresponde ao tecido urbano de 1984 e o '6' ao de 2016.

A fusão das seis camadas do tecido urbano num único ficheiro foi efetuada com a ferramenta *Mosaic To New Raster*, selecionando-se como método de mosaico *Mosaic Operator – First*, tal como efetuado anteriormente aquando da extração das componentes biofísicas. Com efeito, aplica-se o pressuposto metodológico que o crescimento urbano é resultado da transformação de superfícies permeáveis, com maior ou menor cobertura de vegetação, em superfícies impermeáveis antrópica (Wu e Yuan, 2011), constituindo este um processo cumulativo e irreversível (Dietzel *et al.*, 2005a; Seto *et al.*, 2011; Xue *et al.,* 2014; Song *et al.*, 2016), visto que os edifícios ou estradas depois de construídos raramente são convertidos novamente em solos permeáveis.

Após a conversão do ficheiro *raster* do tecido urbano extraído entre 1984 e 2016 em *shapefile*, e com recurso à ferramenta *Split by Atributtes* as manchas urbanas foram separadas por ano, pelo que em cada data apenas permaneceram as novas manchas urbanas, resultantes do crescimento urbano verificado a partir da data anterior.

II – 4.1. Área Ocupada

O cálculo da área que tecido urbano detém em cada data foi efetuado a partir da ferramenta *Tabulate Area*, da extensão *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS, considerando sempre de modo individual os municípios de Braga e de Guimarães. Concomitantemente, calculou-se o crescimento urbano verificado em cada intervalo temporal (*i.e.,* 1984-1999; 1999-2003; 2003-2007; 2007-2010 e 2010-2016) e determinou-se o contributo de cada interlúdio para o crescimento urbano verificado no conjunto dos 32 anos em estudo. Para tornar possível a comparação entre diferentes escalas espaciais e temporais, converteram-se os valores de metros quadrados em percentagem.

II – 4.1.1. Proporção do Crescimento Urbano

A proporção do crescimento urbano (PCU) verificado em cada intervalo temporal, relativamente ao tecido urbano já existente, foi calculada com base na formulação utilizada por Meneses *et al.* (2017) e Chen *et al.* (2018).

$$PCU = \frac{U_{fim} - U_{início}}{U_{início}} * 100$$

[Eq. 14]

em que,
PCU = proporção do crescimento urbano (%);
$U_{início}$ = área urbana (m^2) na primeira data;
U_{fim}= área urbana (m^2) na segunda data.

II – 4.1.2. Taxa Anual de Crescimento Urbano

De modo a neutralizar a diferença no número de anos abarcados em cada intervalo temporal procedeu-se ao cálculo da taxa de crescimento urbano (TCU) por ano, com base na seguinte equação (Caetano *et. al.*, 2017; Chen *et al.*, 2018):

$$TCU = \frac{U_{fim} - U_{início}}{n} * 100$$

[Eq. 15]

em que,
TCU = taxa de crescimento urbano (%/ano);
$U_{início}$ = área urbana (m^2) na primeira data;
U_{fim} = área urbana (m^2) na segunda data;
n = número de anos do intervalo temporal.

II – 4.1.3. Rácio do Vizinho Mais Próximo

A partir da ferramenta *Average Nearest Neighbor*, disponível no módulo *Analyzing Patterns,* da extensão *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS*,* calculou-se a distância média a que cada mancha urbana se encontra do seu vizinho mais próximo em cada data (de ressalvar que, por se tratar de polígonos, estes valores são calculados a partir do centroide). Neste procedimento considerou-se os municípios de Braga e de Guimarães como entidades distintas, pelo que a área de processamento foi definida em função da dimensão espacial de cada um (ESRI, 2017).

II – 4.2. Tendência Espacial de Mudança Urbana

Em paisagens dominadas pela presença humana, como sucede com a AUBG, os padrões de mudança são complexos, e, como tal, muito difíceis de decifrar. A ferramenta *Spatial Trend of Change*, disponível no *Land Change Modeler* do *software* TerrSet, fornece uma visão abstrata do padrão de mudança decorrente do processo de crescimento urbano, que paradoxalmente permite discernir de modo mais claro a tendência geral da evolução urbana. Para tal, importou-se para o TerrSet os mapas com uma classificação binária das componentes biofísicas – *i.e.*, urbano (impermeável antrópico) *versus* não urbano (permeável) –, sendo que a primeira classe resulta da união das componentes biofísicas industrial/pedreira com as superfícies impermeáveis antrópicas,

e, a segunda, do agrupamento das restantes componentes biofísicas (vegetação arbórea e/ou densa, vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa, solo nu e água).

A tendência espacial do processo de mudança foi calculada com base na 9ª ordem polinomial, para os cinco intervalos temporais em estudo, tendo como escala espacial de análise o município. Os valores numéricos resultantes não apresentam nenhum significado em particular, a superfície é criada a partir da codificação de áreas de mudança, correspondendo o '1' a área com mudanças e o '0' a áreas sem mudança.

Adicionalmente, de modo a contextualizar a informação anterior, procedeu-se ao cálculo do ponto central do tecido urbano existente, bem como das novas manchas urbanas. Esta operação foi realizada no *software* ArcGIS, com recurso à ferramenta *Mean Center*, disponível na extensão módulo *Spatial Statistics.* Esta ferramenta mede a repartição espacial do tecido urbano e identifica o centro geográfico da distribuição – que corresponde à coordenada x e y média de todas as manchas urbanas (uma vez mais, como os dados analisados são polígonos, o valor é calculado a partir do centroide da mancha). Deste modo, é possível comparar a distribuição do tecido urbano em diferentes datas e traçar as trajetórias de mudança. Esta ferramenta, ao contrário da *Median Center*, inclui todas as manchas urbanas, mesmo as mais excêntricas – *i.e.*, aquelas que tipificam o crescimento difuso do território de Braga e de Guimarães.

II – 4.3. Modo de Crescimento Urbano

Para uma determinada taxa de crescimento urbano, a urbanização pode assumir diferentes modos de crescimentos. A despeito dos vários padrões que o crescimento urbano pode assumir (*e.g.*, Wilson *et al.*, 2003a; Bhatta, 2010), no trabalho empírico opta-se pela formulação proposta Liu *et al.* (2010), segundo a qual o crescimento pode ocorrer por colmatação, contiguidade ou dispersão. Para diferenciar os modos de crescimento urbano os referidos autores desenvolveram um índice denominado *Landscape Expansion Index* (LEI), que possibilita estandardização dos estudos e, por efeito, a comparação de diferentes escalas geográficas e temporais, bem como de realidades territoriais distintas. Neste sentido, é possível comparar os resultados obtidos na AUBG nas diferentes datas, bem como a sua confrontação com outros estudos.

Na prática, o modo de crescimento urbano é definido em função do valor LEI atribuído a cada mancha urbana, tendo como referência a seguinte formulação:

$$LEI = \frac{A_0}{A_0 + A_v} * 100$$

[Eq. 16]

em que,
LEI = Landscape Expansion Index (%);
A_0 = área de interseção (m²) entre o buffer da nova mancha urbana e mancha urbana preexistente;
A_v = área de interseção (m²) entre o buffer da nova mancha e o espaço vacante.

O cálculo deste índice para a AUBG foi efetuado com recurso à ferramenta homónima, desenvolvida pelos mesmos autores para o ArcGIS (Figura II-21), que operacionaliza a fórmula anterior (Eq. 16).

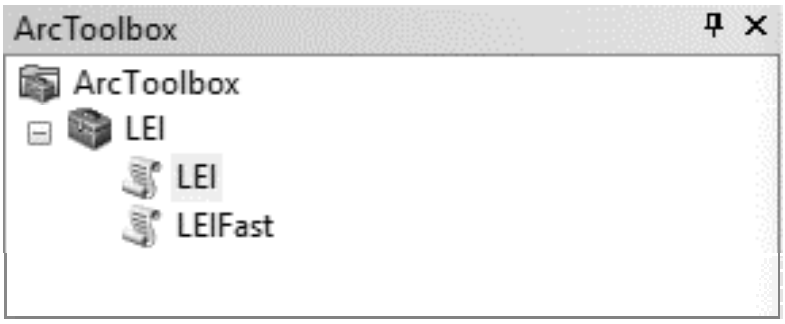


Figura II-21 – Ferramenta do ArcGIS para calcular o LEI

A computação do LEI requere a delimitação das manchas urbanas no formato vetorial (*i.e., shapefile*), mais especificamente a existência de duas *shapefiles*, uma com o tecido urbano preexistente (*i.e.*, *Origin FeatureClass*) e outra com as manchas urbanas quer surgiram num determinado intervalo temporal (*i.e.*, *New FeatureClass*). Assim, começa-se por colocar o tecido urbano existente no ano de referência (*i.e.*, 1984), sendo que a segunda shapefile corresponde às manchas urbanas que surgiram entre 1984 e 1999, que constitui o primeiro intervalo temporal do estudo (Figura II-22). No intervalo seguinte (*i.e.,* 1999-2003) para o cálculo do LEI foi necessário unir às manchas urbanas de 1984 as que surgiram entre 1984 e 1999 (tecido urbano de referência), sendo que a segunda *shapefile* corresponde às manchas urbanas que surgem entre 1999 e 2003. Este processo foi repetido para os restantes intervalos temporais em análise.

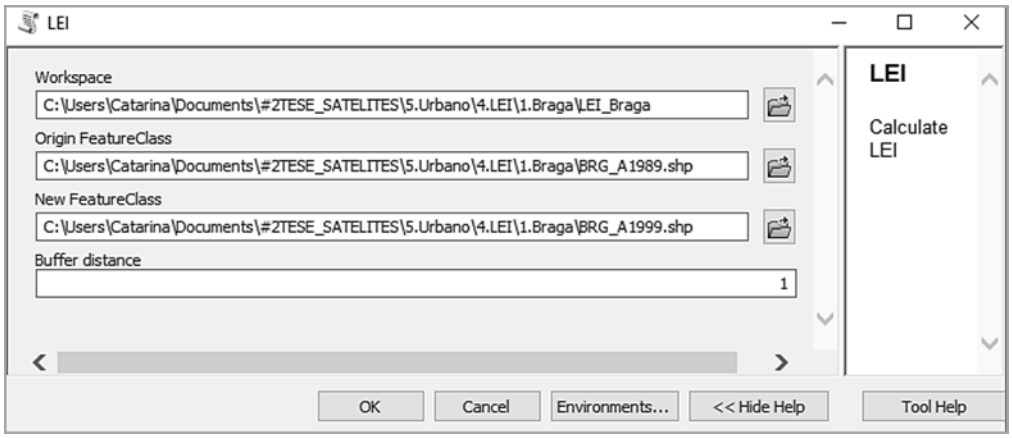


Figura II-22 – Cálculo do LEI no ArcGIS

Na computação do LEI é ainda necessário definir a distância do *buffer* – optando-se pelo valor de 1m (Figura II-22). A escolha deste valor deve-se essencialmente a dois motivos: primeiro, Liu *et al.* (2010) concluíram que quanto menor a distância do buffer mais estável se torna o valor do LEI; e, segundo, este valor já foi adotado por diversos estudos (Liu *et al.*, 2010; Shi *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2013), pelo que a sua adoção torna possível a comparação dos resultados. De salientar que o LEI foi calculado em separado para os municípios de Braga e de Guimarães.

O valor do LEI varia de 0 a 100, sendo que no presente trabalho foi dividido em três classes, correspondendo cada intervalo a um modo de crescimento (Tabela II-19). De notar, que se considerou crescimento disperso, não só as manchas com LEI igual 0, como sugerem de Liu *et al.* (2010), mas também todas aquelas que apresentam valores inferiores a 1. Esta ligeira modificação prende-se com facto daquele limite não captar todas as manchas de urbanização dispersa, uma vez que é clara a existência de manchas cuja área de *buffer* não interceciona nenhuma área construída e mesmo assim têm um valor superior a zero (mas inferior a 1).

Tabela II-19 – Classificação do LEI para a AUBG

Valor do LEI	Modo de Crescimento Urbano
LEI < 1	Disperso
$1 \leq$ LEI ≤ 50	Contiguidade
LEI > 50	Colmatação

O valor médio do LEI, descrito por Liu *et al.* (2010) como *Mean Expansion Index* (MEI), reflete as propriedades agregadas do mosaico de novas manchas urbanas. Os valores mais elevados de MEI revelam um crescimento promotor de compactação do território, enquanto os valores mais baixos

consubstanciam a tendência para a dispersão urbana. O MEI é definido com base na seguinte equação:

$$MEI = \sum_{i=1}^{N} \frac{LEI_i}{N}$$

[Eq. 17]

em que,
MEI = *Mean Expansion Index* (%);
LEI_i = *Landscape Expansion Index* (%) de uma mancha urbana nova;
N = número total de novas manchas urbanas.

O *Area-weighted Mean Expansion Index* (AWMEI) tem por base a mesma formulação do MEI, porém, os valores do LEI são ponderados em função da área de cada nova mancha. O AWMEI é calculado com base na seguinte fórmula:

$$AWMEI = \sum_{i=1}^{N} LEI_i * \left(\frac{a_i}{A}\right)$$

[Eq. 18]

em que,
AWMEI = *Area-weighted Mean Expansion Index* (%);
LEI_i = *Landscape Expansion Index* (%) de uma mancha urbana nova;
a_i = área (m^2) da nova mancha urbana;
A = área total (m^2) das novas manchas urbanas.

II – 4.3.1. Determinação da Área de Cada Modo de Crescimento

Após a aplicação do LEI, recorreu-se uma vez mais à *Tabulate Area* (do ArcGIS) para extrair a área ocupada por cada um dos modos de crescimento urbano (*i.e.*, colmatação, contiguidade ou dispersão), em cada intervalo temporal. Este processo foi aplicado à escala espacial dos municípios e das freguesias, sendo o comportamento da AUBG no seu conjunto inferido a partir da soma dos valores exibidos por Braga e Guimarães. De modo a tornar as diferentes escalas espaciais e temporais comparáveis transformarem-se uma vez mais os valores da área de metros quadrados para percentagem (*i.e.*, área relativa). A soma dos valores observados em cada intervalo traduz o panorama geral do modo como se processou o crescimento urbano de Braga e de Guimarães, bem como das respetivas freguesias, nos 32 anos em estudo.

II – 4.3.2. Relação entre os Três Modos de Crescimento

A relação estatística entre os três modos de crescimento urbanos (*i.e.,* dispersão, colmatação e contiguidade) foi avaliada a partir da correlação de Spearman (para um intervalo de confiança de 95%), calculada no *software* IBM SPSS Statistics, com base na representatividade, por freguesia, de cada modo de crescimento. Optou-se por este método de correlação não paramétrico por duas razões: primeira, devido à reduzida dimensão da série de dados; e, segunda, porque após aplicação do teste de normalidade Shapiro-Wilk (adequado a séries de dados com menos de 50 casos), se concluiu que as séries não seguem uma distribuição normal, com exceção do disperso em Braga (Tabela II-20 e Tabela II-21).

Tabela II-20 – Teste de normalidade Shapiro-Wilk (S-W) para Braga

Modo de Crescimento	Valor de S-W	*p*-valor*
Colmatação	0,779	0,000
Contiguidade	0,880	0,001
Disperso	0,954	0,126

*para um intervalo de confiança de 95%.

Tabela II-21 – Teste de normalidade Shapiro-Wilk (S-W) para Guimarães

Modo de Crescimento	Valor de S-W	*p*-valor*
Colmatação	0,883	0,000
Contiguidade	0,897	0,000
Disperso	0,947	0,032

*para um intervalo de confiança de 95%.

II – 4.3.3. Estrutura Espacial

Os índices de estrutura espacial, aplicados anteriormente às componentes biofísicas – *i.e.*, o número de manchas (que indica a frequência de cada modo) e a dimensão média (que traduz extensão ou 'pegada' de cada modo) – foram também utilizados para quantificar e analisar o modo como se processou o crescimento urbano na área de estudo. Estes índices foram igualmente calculados com recurso à extensão *Patch Analyst* disponível para o software ArcGIS.

II – 5. TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DERIVADA DO LANDSAT

"Characteristics of the Earth's land surface energy play a direct and significant role in the partitioning of solar energy into long wave radiation and turbulent fluxes of sensible and latent heat".
|Vargo *et al.*, 2013, p.243|

A temperatura de superfície (Ts) incorpora as propriedades radiativas e termodinâmicas das superfícies, entre as quais o conteúdo de humidade, a admitância térmica e emissividade, bem como a radiação proveniente do Sol e da atmosfera (Voogt e Oke, 2003). Neste sentido, constitui um excelente indicador do balanço energético da superfície terrestre (Orhan *et al.*, 2014), pelo que permite inferir as mudanças nas trocas de energia e de matéria entre a superfície e a camada inferior da atmosfera, designadamente as que decorrem do processo de urbanização (Arthur-Hartranft *et al.,* 2003).

Importa relembrar que a Ts apesenta não só acentuada variação espacial, como também temporal – que os atuais instrumentos de Deteção Remota, equipados com infravermelho térmico, não conseguem captar. Em verdade, é proeminente a relação inversa entre a resolução espacial e temporal que os satélites detêm. A título de exemplo, o Landsat apresenta uma grande longevidade e elevada resolução espacial (*i.e.*, 30m), porém tem uma reduzida resolução temporal (*i.e.*, 16 dias). Em sentido oposto, o MODIS, muito mais recente, apresenta baixa resolução espacial (*i.e.*, aproximadamente 1km), mas elevada resolução temporal (*i.e.*, quatro imagens por dia). Com efeito, para analisar a evolução de Ts da AUBG entre 1984 e 2016 recorre-se à mesma série de imagens Landsat selecionadas para a análise das componentes biofísicas, ressalvando contudo que esta análise fica limitada ao período do meio da manhã.

Antes de proceder à extração dos valores de Ts, importa esclarecer que a temperatura de brilho (*directional brightness temperature*) corresponde à temperatura derivada a partir da banda térmica de um determinado sensor, com base na inversão da Lei de Planck, na qual a superfície terrestre é retratada como um corpo negro. Deste modo, não se tem em consideração nenhum processo que influencie a radiação, desde a superfície até ao sensor, passando pela atmosfera (Voogt e Oke, 2003, 371). Na temperatura de superfície (Ts) – *land surface temperature* no idioma anglo-saxónico – os valores da temperatura de brilho são corrigidos em função da emissividade e dos efeitos da atmosfera (Voogt e Oke, 2003).

II – 5.1. Extração de Ts

Para a extração dos valores de Ts é necessário recalcular os valores de radiância espectral no sensor a partir do número digital (DN) dos pixéis da banda do infravermelho térmico – *i.e.,* banda 6 do Landsat 5, banda 6.1. do Landsat 7 e banda 10 do Landsat 8. Neste último caso não se optou pela banda 11 por esta se encontrar associada a maiores incertezas no que diz respeito à sua calibração (Guha *et al.*, 2018). Face aos vários métodos existentes para derivar a Ts (Mohamed *et al.*, 2017), no presente trabalho adotaram-se os procedimentos metodológicos descritos no *Landsat Project Science Office* (2001), no caso do Landsat 5 TM e Landsat 7 ETM+, e em USGS (2013), para o Landsat 8 OLI.

Procedimento 1 – Conversão do número digital para radiância

A radiância espectral para o Landsat 5 e para o Landsat 7 é dada pela equação:

$$L_\lambda = ((LMAX_\lambda - LMIN_\lambda)/(QCALMAX - QCALMIN)) * (QCAL - QCALMIN)$$

[Eq. 19]

em que,
L_λ = radiância espectral no sensor ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$);
QCAL = valor do pixel (DN);
$LMIN_\lambda$ = radiância espectral mínima (dimensionada para QCALMIN) =1,2378 para o Landsat 5 e 0,00 $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ para o Landsat 7;
$LMAX_\lambda$ = radiância espectral máxima (dimensionada para QCALMAX) =15,3032 para o Landsat 5 e 17,04 $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ para o Landsat 7;
QCALMIN = valor mínimo do pixel (DN) = 1;
QCALMAX = valor máximo do pixel (DN) = 255.

No caso do Landsat 8 a radiância espetral é obtida pela fórmula:

$$L_\lambda = MLQcal + AL$$

[Eq. 20]

em que,
L_λ = radiância espectral no sensor ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) ;
ML = fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3,3420E-04;
AL = fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0,10000;
Qcal = valor do pixel (DN).

Procedimento 2 – Cálculo da Emissividade da Superfície

A emissividade corresponde ao rácio de radiância emitida (ε_λ) num comprimento de onda (λ) e a emissão de um corpo negro $B_\lambda(T)$ num comprimento de onda (λ) e temperatura (T). Este rácio determina a capacidade de irradiação de uma superfície comparativamente a um corpo negro, uma vez que na realidade nenhuma superfície se comporta como tal (Ndossi e Avdan, 2016). Neste sentido, para derivar a Ts é necessário proceder à correção dos valores de emissividade da superfície, que pode variar entre 0 (não é emitida nenhuma da energia absorvida) e 1 (toda a energia absorvida é emitida), dependendo do comprimento de onda, do ângulo de incidência da radiação e da temperatura (Rocha e Sousa, 2007).

A respeito das correções de emissividade notar que, para Lo e Quattrochi (2003) a incorporação dos valores de emissividade em função da cobertura do solo não produz alterações significativas nos valores de Ts – como comprovam os valores exemplificativos que apresentam para o comprimento de onda 11,45μm. Assim, um corpo negro com Ts de 25°C, perante uma emissividade de 0,90 (*e.g.*, telhas) assume uma temperatura de 25,00569°C, se a emissividade for de 0,97 (*e.g.*, solo nu) este valor passa a 25,00165°C. Fang (2015) também constatou que embora a magnitude de Ts e da temperatura de brilho não seja igual, a correlação entre os dois parâmetros é elevada, pelo que a temperatura de um corpo negro (ou temperatura de brilho) se adequa ao estudo da temperatura das superfícies terrestres (Lo e Quattrochi, 2003; Fang, 2015).

No presente estudo optou-se por efetuar a correção dos valores de emissividade da superfície. Face aos diferentes métodos desenvolvidos para estimar a emissividade (Mohamed *et al.*, 2017), neste trabalho adota-se o baseado no NDVI. Este índice espectral permite extrair os valores de emissividade da superfície para o comprimento de onda do infravermelho térmico (10-12μm), pois apresenta uma forte correlação com os valores deste parâmetro (Lopes, 2003). A simplicidade concetual, somada aos resultados satisfatórios que produz, mesmo em superfícies heterógenas decorrentes da mescla de áreas com ou sem vegetação, contribuem para a sua crescente popularidade (Mohamed *et al.*, 2017). A emissividade adotada em cada pixel tem como referência empírica os valores definidos por Zhang *et al.* (2006) em função da segmentação do NDVI (Tabela II-22).

Tabela II-22 – Limites de emissividade definidos a partir dos intervalos de NDVI

NDVI	Emissividade da Superfície
NDVI < -0,185	0,995
-0.185 ≤ NDVI < 0,157	0,985
0.157 ≤NDVI ≤ 0,727	1,009 + 0,047 * ln(NDVI)
NDVI > 0,727	0,990

Fonte: Baseado em Zhang *et al.* (2006).

Na AUBG a emissividade da superfície varia entre o mínimo de 0,922 e máximo de 0,995, em todas as datas analisadas, verificando entre 1984 e 2016 uma ligeira diminuição do valor médio da emissividade – que, por consequência do aumento das superfícies impermeáveis antrópicas, passa de 0,986 em 1984 para 0,981 em 2016 (Figura II-23). De acordo com Roth *et al.* (1989), as áreas urbanas apresentam uma emissividade inferior de 2%, quando comparadas com o restante território, pelo que ao não se efetuar esta correção está-se a subestimar o efeito da ilha de calor.

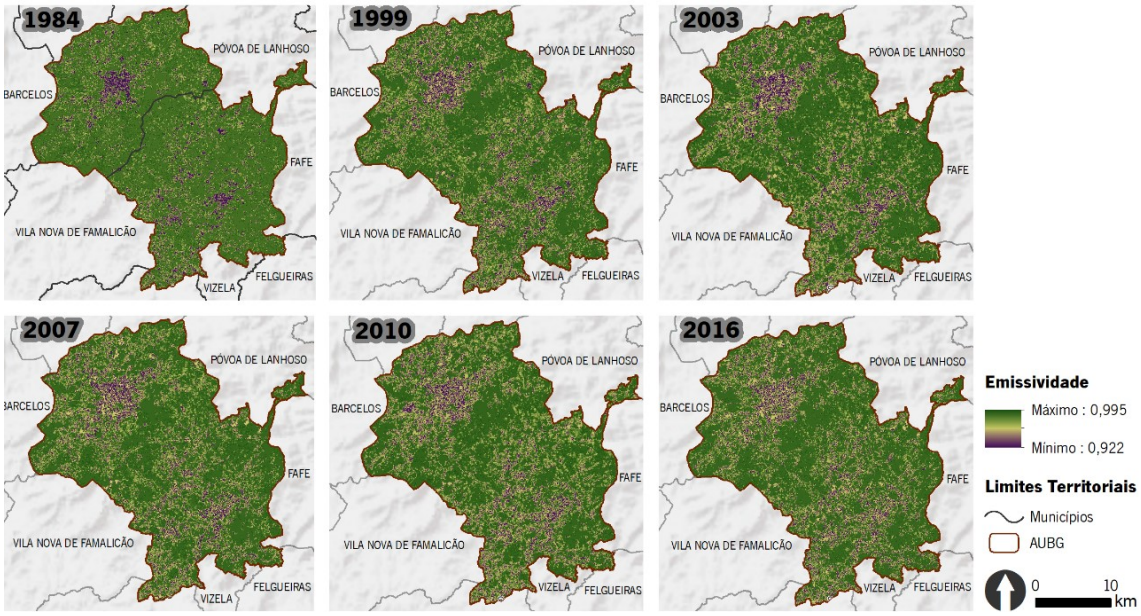


Figura II-23 – Emissividade da superfície na AUBG entre 1984 e 2016

Procedimento 3 – Correção Atmosférica da Banda Térmica

A correta determinação da temperatura de superfície necessita de correções tanto da emissividade da superfície, como da interação da radiação com a atmosfera (Roth *et al.*, 1989), que pode ocorrer sob a forma de absorção, reflexão, refração ou dispersão (Mohamed *et al.*, 2017). A correção atmosférica é efetuada a partir da inversão da equação de transferência radiativa,

seguindo-se para tal o modelo descrito em Coll *et al.* (2010). De notar, que o módulo FLAASH do *ENVI* 5, utilizado na correção das bandas do visível e do infravermelho próximo, não permite esta correção.

A metodologia proposta por Coll *et al.* (2010) tem por base os perfis atmosféricos do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP), disponibilizados pela NASA (em https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/). Os perfis são interpolados para uma localização e data em particular, fornecendo os valores para a radiância descendente (*downwelling radiance*), radiância ascendente (*upwelling radiance*) e a transmitância (*transmittance*). Porém, estes dados apenas estão disponíveis para datas posteriores a 2000, existindo, no entanto, por parte da NASA interesse para fornecer estes dados para toda a série de imagens Landsat. Assim, em virtude da falta de dados para as datas anteriores a 2000, não foi possível efetuar a correção atmosférica das imagens de 22 de julho de 1984 e a de 08 de julho de 1999. Além disto, a NASA apenas disponibiliza esta informação para a banda 10 do Landsat 8, sendo este mais um dos motivos pela sua opção em detrimento da banda 11.

Os parâmetros utilizados na correção atmosférica da banda térmica das imagens Landsat, foram definidos para a latitude de 42°79'12''N e longitude de 06°52'64''W, considerando os valores inteiros mais próximos obtidos para o perfil atmosférico superior do verão em latitude média (Tabela II-23).

Tabela II-23 – Parâmetros utilizados na correção atmosférica da temperatura de superfície

Data	**Radiância Descendente (L↓)** ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$)	**Radiância Ascendente (L↑)** ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$)	**Transmitância (τ)**
22/07/1984	***	***	***
31/07/1987	***	***	***
08/07/1999	***	***	***
11/07/2003	3,50	2,21	0,72
06/07/2007	3,36	2,11	0,72
30/07/2010	3,09	1,91	0,75
09/07/2014	1,46	0,87	0,88
12/07/2015	2,27	1,38	0,83
14/07/2016	1,71	1,02	0,86
30/07/2016	3,52	2,20	0,72

*** Informação não disponibilizada pela NASA.

Fonte: NASA (2017).

Incorporando os mapas de emissividade elaborados anteriormente, a correção atmosférica das imagens Landsat 5,7 e 8 foi efetuada com base na seguinte fórmula (Coll *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2015; Mohamed *et al.*, 2017):

$$L_{\lambda C} = \frac{L_\lambda - L\uparrow}{\varepsilon\tau} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} L\downarrow$$

[Eq. 21]

em que,
$L_{\lambda c}$ = radiância espectral corrigida atmosfericamente ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$);
L_λ = radiância espectral no sensor ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$);
$L\uparrow$ = radiância ascendente ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$);
$L\downarrow$ = radiância descendente ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$);
τ = transmitância;
ε =emissividade.

Procedimento 4 – Conversão de radiância para temperatura (graus Kelvin)

Com base na inversão da Lei de Planck, converteram-se os valores de radiância espectral para Ts (em kelvin), diferenciando-se a fórmula para esta conversão em função da existência ou não de parâmetros de a correção atmosférica. Em seguida, os valores de Ts foram convertidos de Kelvin para graus Celsius (*i.e.*, subtraiu-se o valor 273,15).

Imagens sem Correção Atmosférica

Nas imagens para as quais a NASA não disponibiliza os parâmetros necessários à correção atmosférica, adotou-se a seguinte fórmula:

$$Ts = \frac{K2}{ln\left(\frac{K1 * \varepsilon}{L_\lambda}\right) + 1}$$

[Eq. 22]

em que,
Ts = temperatura de superfície (K);
K2 = constante de calibração 2 = 1260,56K para o Landsat 5; 1282,71K para o Landsat 7; e, 1,321,08K para o Landsat 8;
K1 = constante de calibração 1 = 607,76 $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ para o Landsat 5; 666,09 $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ para o Landsat 7; e, 774,89 $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ para o Landsat 8;
ε =emissividade;
L_λ = radiância espectral no sensor $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$.

Imagens com correção atmosférica

Nas imagens para quais se procedeu à correção atmosférica da banda térmica, aplicou-se a seguinte equação:

$$\mathrm{Ts} = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda \mathrm{C}}}\right) + 1}$$

[Eq. 23]

em que,
Ts = temperatura de superfície (K);
K2 = constante de calibração 2 = 1260,56K para o Landsat 5; 1282,71K para o Landsat 7; e, 1.321,08K para o Landsat 8;
K1 = constante de calibração 1 = 607,76 $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ para o Landsat 5; 666,09 $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ para o Landsat 7; e, 774,89 $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ para o Landsat 8;
$L_{\lambda c}$ = radiância espectral no sensor $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ com correção atmosférica.

Posto isto, das quatro fases de correção que Weng *et al.* (2004) referem como necessárias à obtenção de estimativas de Ts com elevada qualidade, no presente trabalho apenas não se considera – por total ausência de dados – a rugosidade das superfícies.

Produção de Imagens da Banda Térmica em 8-bits

Para a derivação dos índices espectrais que necessitam dos valores de Ts (referidos anteriormente), os valores de Ts foram convertidos novamente numa numa escala de 0 a 255 (imagem em *8-bits*), de acordo com os procedimentos descritos pelo USGS (2006). Para tal, recorreu-se ao *software* ArcGIS 10.5, mais precisamente à ferramenta *Raster Calculate* para a aplicação da seguinte fórmula:

$$Ts(8bits) = (Ts - 240) * 3$$

[Eq. 24]

em que,
*T*s = temperatura de superfície.

De seguida, truncaram-se os valores de Ts(8bits) em 255, com base na expressão:

$$Con(\text{Ts(8bits)} >= 255{,}255{,}\text{"Ts(8bits)"} \quad \text{[Eq. 25]}$$

em que,
Ts = temperatura de superfície.

II – 5.2. Estatísticas Descritivas

Para traçar a evolução de Ts na AUBG entre 1984 e 2016 procedeu-se ao cálculo de um conjunto de estatísticas descritivas – que, tal como a designação indica, servem para descrever e sintetizar e conjunto de dados – considerando os valores absolutos de temperatura verificados em cada uma seis datas em análise (*i.e.,* 1984, 1999, 2003, 2007, 2010 e 2016).

II – 5.2.1. Estatísticas *Pixel-By-Pixel*

Primeiramente, recorreu-se às estatísticas *pixel-by-pixel,* derivadas a partir das ferramentas disponibilizadas pelo *software* ArcGIS, por estas abarcarem a totalidade dos valores (*i.e.*, pixéis) existentes na imagem. Assim, com recurso ao *Band Collection Statistics* calculou-se para o conjunto da AUBG as estatísticas descritivas de Ts, NDVI e NDWI (*i.e.*, mínimo, máximo, média e desvio-padrão), para as seis datas. Estas estatísticas servem acima de tudo, embora não de modo exclusivo, para aferir a representatividade da amostra de pontos selecionada.

Recorre-se ainda às estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* para obter o valor médio de Ts no interior e no exterior do perímetro urbano de cada um dos municípios, com o intuito de determinar a respetiva diferença em cada data.

II – 5.2.2. Estatísticas para uma Amostra

As ferramentas estatísticas disponibilizadas pelo *software* ArcGIS ainda possuem significativas limitações, pelo que se optou por extrair uma amostra destes dados, com vista a um tratamento estatísticos mais detalhado no *software* IBM SPSS Statistics. Para tal, efetuou-se uma amostra de

10 000 pontos, extraída de modo aleatório. A dimensão da amostra foi estabelecida para um intervalo de confiança de 95,5% e uma margem de erro de +/- 1%, com base nos pressupostos definidos por Arkin e Colton (1963).

A partir da amostra selecionada extraíram-se os valores correspondentes a cada um dos 10 000 pontos (*i.e.*, pixéis) nas seis datas, para as seguintes variáveis: (i) Ts; (ii) NDVI; (iii) NDWI; (iv) classificação das componentes biofísicas; (v) município em que se localiza; e (vi) posição face ao perímetro urbano (*i.e.,* interior ou exterior). Em seguida, calcularam-se as estatísticas descritivas (mínimo, máximo, 1° quartil, mediana, 3°quartil, média, variância, desvio-padrão e coeficiente de variação) para Ts, NDVI e NDWI. Este procedimento foi efetuado para a AUBG no seu conjunto, bem como para os municípios de Braga e de Guimarães de modo individual. Os valores destas estatísticas foram traduzidos graficamente numa caixa de bigodes (ou *box plot* em inglês).

Teste de Normalidade

A normalidade das distribuições foi aferida com recurso ao teste de Shapiro-Wilk (S-W). Os resultados indicam que nenhuma variável segue seguem uma distribuição normal (Tabela II-24), pelo que a análise estatística subsequente assenta em métodos não-paramétricos.

Tabela II-24 – Teste de normalidade Shapiro-Wilk (S-W) na AUBG

Variável	Valor de S-W	*p*-valor*
Ts_1984	0,957	< 0,0001
Ts_1999	0,974	< 0,0001
Ts_2003	0,980	< 0,0001
Ts_2007	0,983	< 0,0001
Ts_2010	0,986	< 0,0001
Ts_2016	0,991	< 0,0001
NDVI_1984	0,863	< 0,0001
NDVI_1999	0,931	< 0,0001
NDVI_2003	0,918	< 0,0001
NDVI_2007	0,936	< 0,0001
NDVI_2010	0,948	< 0,0001
NDVI_2016	0,923	< 0,0001
NDWI_1984	0,971	< 0,0001
NDWI_1999	0,988	< 0,0001
NDWI_2003	0,981	< 0,0001
NDWI_2007	0,986	< 0,0001
NDWI_2010	0,980	< 0,0001
NDWI_2016	0,969	< 0,0001

*para um intervalo de confiança de 95%.

Teste de Friedman

O teste de Friedman foi aplicado aos seis conjuntos de dados de Ts, NDVI e NDWI, com o objetivo de determinar se as distribuições são iguais nas seis datas, ou se pelo contrário existem diferenças entre as datas. Este teste não analisa os valores em *per si*, mas sim a sua ordem, cumprindo assim os pressupostos dos testes não-paramétricos.

II – 5.3. Relação entre Ts, NDVI e NDWI

Para um entendimento mais profundo da relação entre Ts, NDVI e NDWI, bem como destes indicadores com as componentes biofísicas, recorre-se a digramas de dispersão – que traduzem a sua associação, tendo por base os 10 000 pontos da amostra extraída. Primeiro, comparou-se separadamente a relação entre Ts/NDVI, Ts/NDWI e NDWI/NDVI, utilizando como base os dados referentes à imagem de 1984. De seguida, e após se constatar que o NDVI e o NDWI exibem uma relação linear positiva, procedeu-se à elaboração para todas as datas somente do diagrama de dispersão Ts/NDVI. Acrescentar que estes diagramas foram efetuados para duas escalas espaciais: primeiro, considerando a AUBG no seu conjunto; e, depois tendo por base a desagregação dos pontos em função da localização geográfica – mormente se estes se situam no interior ou no exterior do perímetro urbano, dos respetivos municípios.

Após a visão preliminar dos dados, determinou-se a relação estatística entre Ts, NDVI e NDWI em cada data, tendo por base a correlação bivariada, mais precisamente ao rô de Spearman. Este método constitui a alternativa não-paramétrica ao coeficiente de Pearson – lembrando que as variáveis não seguem uma distribuição normal (Tabela II-24). Adicionalmente, esta relação foi determinada, de modo isolado, para cada uma das seis componentes biofísicas identificadas.

II – 5.4. Caracterização Térmica das Componentes Biofísicas

A caracterização térmica das componentes biofísicas é definida pela respetiva assinatura térmica. Para um entendimento mais claro da variação de Ts ao longo das seis em estudo procedeu-se ao cálculo das amplitudes térmicas entre as componentes biofísicas urbanas (*i.e.*,

industrial/pedreiras e as superfícies impermeáveis antrópicas) e as não urbanas (*i.e.*, vegetação arbórea e/ou densa, vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa e o solo nu).

II – 5.4.1. Assinatura Térmica das Componentes Biofísicas

A assinatura térmica das componentes biofísicas foi determinada a partir do valor médio de Ts observado em cada classe (Weng, 2001; Chen *et al.*, 2006; Xiong *et al.*, 2012; Pinheiro e Laranjeira, 2013). Inicialmente, este valor foi extraído para o conjunto da AUBG numa análise *pixel-by-pixel,* com recurso à ferramenta *Zonal Statistics*, disponível no *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS. O gradiente das componentes biofísicas foi obtido através da ordenação do valor médio de Ts – *i.e.*, da componente biofísica mais quente para a mais fresca –, que sintetizada num gráfico de linhas coloca em evidência a sua evolução temporal.

De seguida, com recurso à amostra de 10 000pontos e ao *software* IBM SPSS Statistics procede-se a uma análise estatística mais detalhada da assinatura térmica das componentes biofísicas. Além disto, calcularam-se as estatísticas descritivas por componente biofísica para o NDVI e para o NDWI. Estes procedimentos estatísticos foram elaborados para três escalas geográficas distintas: a AUBG no seu conjunto, para os municípios de Braga e de Guimarães de modo individual, e, ainda, para cada um dos municípios em função da bipartição do território determinada pelo perímetro urbano.

II – 5.4.2. Amplitude Térmica entre as Componentes Biofísicas

A amplitude térmica é determinada pela diferença entre o valor temperatura mais alto e o mais baixo. No caso específico das componentes biofísicas, determinou-se a diferença de Ts entre as seguintes parelhas (Chen *et al.*, 2006; Xiong *et al.*, 2012): (i) industrial/pedreiras→vegetação arbórea e/ou densa; (ii) industrial/pedreiras→vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa; (iii) industrial/pedreiras→solo nu; (iv) superfícies impermeáveis antrópicas→vegetação arbórea e/ou densa; (v) superfícies impermeáveis antrópicas→vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa; (vi) superfícies impermeáveis antrópicas →solo nu. O valor médio de Ts corresponde ao obtido na assinatura térmica das componentes biofísicas, com base na amostra de 10000 pontos, sendo

que as amplitudes térmicas foram calculadas para as mesmas escalas geográficas definidas aquando dessa análise.

Para uma investigação ainda mais minuciosa da amplitude térmica das componentes biofísicas procedeu-se ao cálculo da amplitude máxima verificada em cada um dos municípios. Para tal, selecionou-se, de entre os valores da assinatura térmica obtidos para o interior e o exterior do perímetro urbano de cada um dos municípios, o valor de Ts média mais elevada das componentes biofísicas urbanas e o valor de Ts médio mais baixo das componentes biofísicas permeáveis,.

A despeito de se utilizarem os valores absolutos de Ts, é nota de apontamento que esta metodologia, baseada nos trabalhos de Chen *et al.* (2006) e de Xiong *et al.* (2012), assenta na análise da magnitude das diferenças verificadas em cada data, e não na comparação direta de temperaturas.

II – 5.5. Caracterização Térmica dos Modos de Crescimento Urbano

A determinação dos modos de crescimento urbano na AUBG entre 1984 e 2016 decorrem da informação reportada pelo LEI - *i.e.*, crescimento disperso, contíguo ou por colmatação. À semelhança do assumido para as componentes biofísicas, a assinatura térmica dos modos de crescimento urbano é determinada pelo valor médio de Ts exibido por cada um. Vale ressalvar que o LEI capta o processo de mudança entre duas datas – *e.g.*, o crescimento urbano entre 1984 e 1999 –, enquanto a Ts se refere a uma data específica (i.e., 1984 ou 1999). Assumindo como exemplo o crescimento urbano ocorrido entre 1984 e 1999 informa-se que os valores de Ts se referem à última data, no caso 1999. Em concreto, a assinatura térmica foi igualmente determinada com recurso à ferramenta *Zonal Statistics*, disponível na extensão *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS), que possibilita um quantificação *pixel-by-pixel* dos valores.

II – 6. AMBIENTE TÉRMICO SUPERFICIAL COM BASE NO LANDSAT

> *"Earth Observation have become an essential tool for the understanding the Earth, monitoring the world's natural resources and environments, managing exposures to natural and man-made risks and disasters, and helping the sustainability and productivity of natural and human ecosystems*".
> |Weng, 2016, p.14|

Encontra-se bem estabelecido que a comparação direta de valores de Ts entre diferentes datas (*e.g.*, meses, estações ou anos) não é correta (Xiong *et al.*, 2012; Meng *et al.*, 2014; Fang, 2015; Rasul *et al., 2017*), devido à sazonalidade e variação interanual das condições atmosféricas, nomeadamente o conteúdo de vapor de água (Chen *et al.*, 2006). Esta questão assume particular acuidade quando não são aplicados procedimentos de correção dos efeitos atmosféricos. Assim, considerando que apenas foram corrigidas as imagens Landsat pós-2000, como explanado anteriormente, para se efetuar a comparação multitemporal de Ts considera-se imprescindível proceder à normalização dos valores.

A temperatura de superfície normalizada (Ts*) varia entre 0 e 1, pelo que não corresponde a um valor absoluto, mas sim a uma medida generalizada do grau em que a temperatura se assemelha às áreas com vegetação densa ou com superfícies impermeáveis/solo nu (Carlson *et al.*, 2000) – pelo que tornas as imagens mais comparáveis (Fang, 2015).

II – 6.1. Normalização dos Valores de Ts

A normalização dos valores de Ts foi efetuada tendo por base os valores máximos e mínimos (*e.g.*, Carlson *et al.,* 2000; Arthur-Hartranft *et al.,* 2003; Amiri *et al.*, 2009; Meng *et al.*, 2014; Fang, 2015; Tran *et al.*, 2017) verificados em cada data na AUBG. Note-se que, os resultados do ambiente térmico se encontram dependentes da escala de análise – pelo que a opção pela totalidade do território da AUBG possibilita a comparação direta de Braga e de Guimarães, porém minimiza as diferenças intramunicipais.

Em termos prático, a normalização dos valores de Ts decorre da seguinte fórmula:

$$Ts^* = \frac{Tsi - T_{min}}{T_{max} - T_{min}}$$

[Eq. 26]

em que,
*Ts** = temperatura de superfície normalizada;
Tsi = valor da temperatura de superfície de um *pixel*;
T_{min} = valor mínimo da temperatura de superfície;
T_{max}= valor máximo da temperatura de superfície.

De seguida, a imagem de Ts normalizada (Ts*) foi dividida em função das cinco classes do ambiente térmico propostas por Xiong *et al.* (2012), nomeadamente : 0 a 0,2 – áreas de frescura acentuada; 0,2 a 0,4 – áreas de frescura moderada; 0,4 a 0,6 – áreas medianas; 0,6 a 0,8 – áreas de calor moderado; 0,8 a 1 – áreas de calor acentuado (Figura II-24).

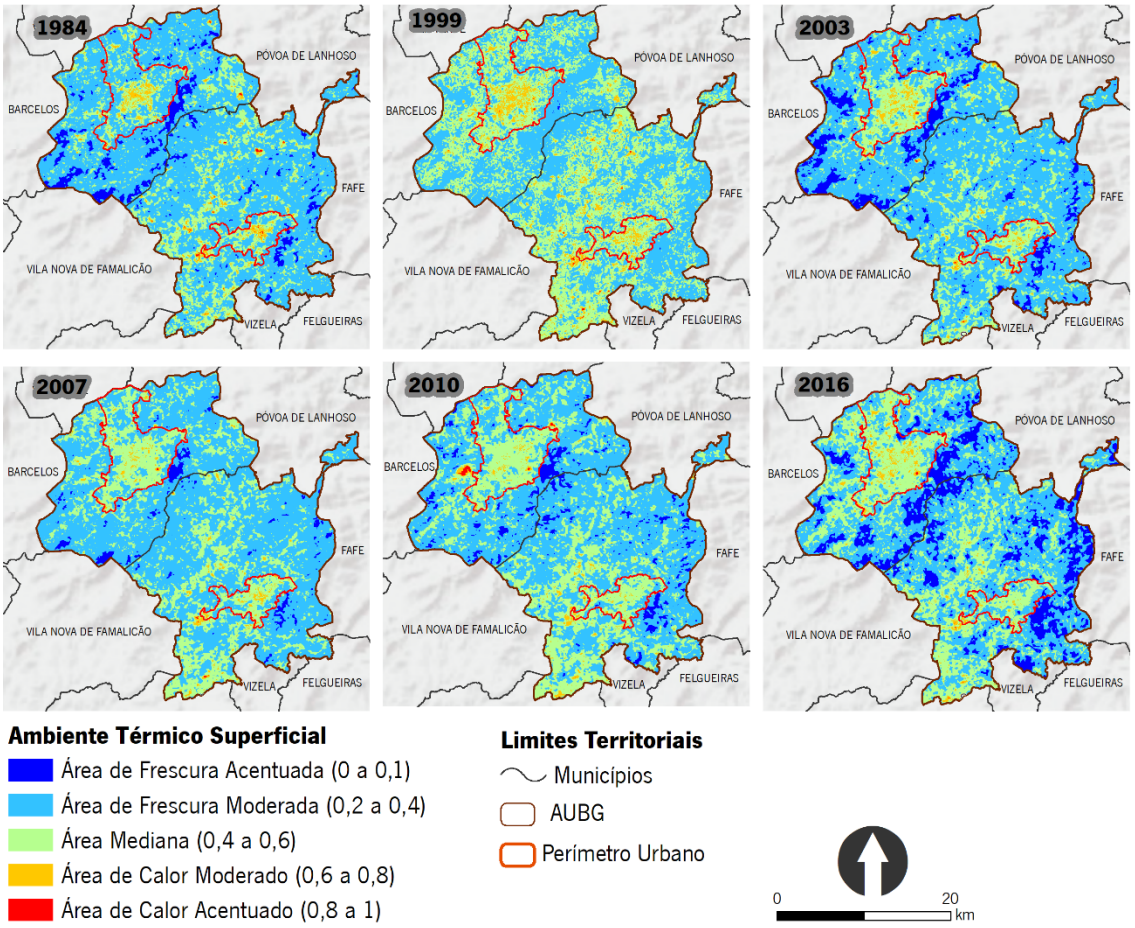


Figura II-24 – Evolução do ambiente térmico superficial na AUBG entre 1984 e 2016, em função da normalização de Ts pelos valores mínimo e máximos absolutos

Desde logo, a análise transversal dos mapas do ambiente térmico revela um cenário incongruente com o expectável, pois as duas classes de valores mais elevados (*i.e.*, 0,6–0,8 e 0,8–1) detêm uma representatividade espacial muito exígua ao longo das seis datas, destacando-se particularmente os anos de 2010 e 2016 (Figura II-24, Figura II-25). Tanto mais que, esta situação não se verifica nas duas classes que agrupam os valores mais baixos (*i.e.*, 0–0,2 e 0,2–0,4). A explicação para esta questão encontra-se na existência de valores muito discrepantes na série de dados, particularmente no que concerne às Ts máximas, que influenciam a distribuição dos valores quando estes são normalizados entre 0 e 1. A existência de alguns pixéis com Ts muitíssimo elevadas numa determinada data, leva a que áreas com Ts elevadas apareçam – por comparação – muito mais frescas, pelo que não são englobadas pelas classes de calor moderado ou acentuado, mas sim pela classe mediana. O melhor exemplo desta situação é o ano de 2010, data em que se verificam Ts muitas elevadas por causa da ocorrência de um incêndio florestal, junto ao limite Oeste do perímetro urbano de Braga. De facto, a área ardida é a única que é englobada na classe de calor acentuado (Figura II-24).

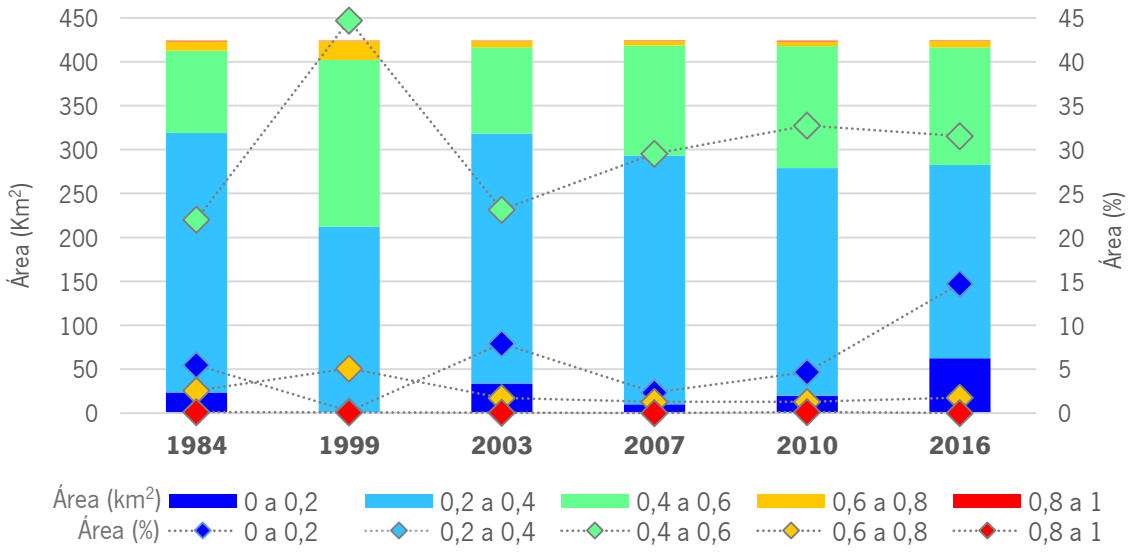


Figura II-25 – Representatividade espacial das classes do ambiente térmico na AUBG entre 1984 e 2016, em função da normalização de Ts pelos valores mínimo e máximos absolutos

Dadas as incongruências detetadas optou-se então por utilizar, não o menor/maior valor absoluto verificado em cada imagem, mas sim o menor/maior valor não discrepante do conjunto de dados (Tabela II-25), nomeadamente o limite inferior = x(i), sendo que {x(i)-[Q1-1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q1-1,5 (Q3-Q1) e o limite superior = x(i), sendo que {x(i)-[Q3+1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q3+1,5 (Q3-Q1), em que Q1 corresponde ao 1.º quartil e Q3 ao 3.ºquartil.

Tabela II-25 – Valores utilizados para a normalização de Ts

Ano	Mínimo		Máximo	
	Absoluto	Não Discrepante	Absoluto	Não Discrepante
1984	19,62	21,74	42,31	33,09
1999	20,93	26,27	56,06	45,12
2003	24,01	25,73	53,15	41,96
2007	22,53	26,81	59,95	45,08
2010	24,68	27,20	62,85	50,00
2016	25,11	26,27	59,91	50,14

A opção pelos valores não discrepantes (em detrimentos dos absolutos) na normalização de Ts obrigou à necessidade de truncar os valores, assim os valores de Ts*<0 = 0 e Ts>1=1 (tendo por referências as especificações técnicas anteriormente descritas). Sublinhar que todos os procedimentos subsequentes efetuados com a Ts* foram efetuados tendo como referência estas imagens.

De seguida, as imagens de Ts* foram divididas em função das mesmas classes do ambiente térmico descritas anteriormente (Xiong *et al.*, 2012). Concomitantemente, recorreu-se à ferramenta *Cell Statistics* (disponível na extensão *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS) para sintetizar o padrão do ambiente térmico, tendo por base a média e o desvio-padrão de Ts* verificada no conjunto das seis datas selecionadas no intervalo 1984-2016.

II – 6.2. Variações do Ambiente Térmico: Aumentos e Diminuições

As variações no ambiente térmico entre 1984 e 2016 na AUBG foram determinadas a partir dos aumentos e diminuições de temperatura verificadas entre dois pares datas que se sucedem cronologicamente – *i.e.*, 1984-1999, 1999-2003, 2003-2007, 2007-2010, 2010-2016. Em específico, aplica-se a tradicional técnica de diferenciação de imagens (Lu *et al.,* 2004), tendo por base a imagem de Ts* (Weng, 2001) em função dos valores não discrepantes, como sublinhado. Do ponto de vista técnico, recorre-se à ferramenta *Minus* do *Spatial Analyst Tool* do software ArcGIS, que também opera numa base *pixel-by-pixel.* Os valores da imagem resultante podem variar entre -1 e 1, sendo que os valores negativos correspondem a diminuições de Ts* e os positivos a aumentos.

II – 6.3. Mudanças no Ambiente Térmico

Para um entendimento mais profundo das mudanças verificadas no ambiente térmico da AUBG entre 1984 e 2016 aplicou-se a metodologia proposta por Chen *et al.* (2016), porém, em vez de se partir dos valores absolutos de Ts, tem-se por referência a imagem de Ts já normalizada (segundo os valores não discrepantes).

II – 6.3.1. Reclassificação da Imagem de Ts Normalizada

O primeiro passo para a aplicação da metodologia de Chen *et al.* (2016) prende-se com o cálculo do valor da média de Ts* e do desvio-padrão verificado em cada data (Tabela II-26).

Tabela II-26 – Média e desvio-padrão de Ts* na AUBG entre 1984 e 2016

Ano	Média	Desvio-padrão
1984	0,53	0,20
1999	0,49	0,18
2003	0,50	0,19
2007	0,50	0,19
2010	0,49	0,18
2016	0,45	0,18

A segmentação dos valores de Ts* em função dos limiares definidos por Chen *et al.* (2016), assentes nos valores da média e do desvio-padrão verificados em cada data na AUBG (Tabela II-26), possibilita a classificação de cada imagem nos em cinco níveis propostos (Tabela II-27), designadamente: muito baixo=1; baixo=2; mediano=3; elevado=4; e, muito elevado=5.

Tabela II-27 – Limiares utilizados na classificação de Ts*

Categoria	Limiar	Valores Utilizados					
		1984	**1999**	**2003**	**2007**	**2010**	**2016**
1. Muito Baixo	$Ts < \mu - 1\sigma$	<0,30	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,27
2. Baixo	$\mu - 1\sigma \leq Ts < \mu - 1\sigma/3$	0,30–0,43	0,31–0,43	0,31–0,44	0,31–0,44	0,31–0,43	0,27–0,39
3. Mediano	$\mu - 1\sigma/3 \leq Ts < \mu +$	0,43–0,57	0,43–0,55	0,44–0,56	0,44–0,56	0,43–0,55	0,39–0,51
4. Elevado	$\mu + 1\sigma/3 \leq Ts < \mu + 1\sigma$	0,57–0,70	0,55–0,67	0,56–0,69	0,56–0,69	0,55–0,67	0,51–0,63
5. Muito Elevado	$Ts \geq \mu + 1\sigma$	>0,70	>0,67	>0,69	>0,69	>0,67	>0,63

Após classificação de Ts*, esta foi imagem reclassificada (a partir da ferramenta *reclass* do disponível na extensão *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS) em função dos valores propostas por Chen *et al.* (2016). Deste modo, toda a análise subsequente é efetuada a tendo por referência esta reclassificação dos valores de Ts*.

II – 6.3.2. Caracterização das Mudanças

Para caracterizar a evolução do ambiente térmico no decorrer dos 32 anos em estudo, primeiramente, procedeu-se ao cálculo da área ocupada por cada categoria térmica em cada uma das seis datas em análise, como efetuando anteriormente para as componentes biofísicas ou para o tecido urbano. A direção das mudanças foi determinada, numa análise bitemporal – ou seja, por pares de datas consecutivas – com recurso à matriz de transição, seguindo para tal os mesmos procedimentos utilizados aquando da análise das componentes biofísicas. Efetivamente, esta técnica, amplamente utilizada no estudo das mudanças da cobertura/uso do solo, tem sido muito pouco explorada no que concerne ao ambiente térmico (Fang, 2015). A este nível salientar que permite determinar a direção não só das mudanças no ambiente térmico (de quê para quê?), com também as implicações em termos de ganhos e perda de carga térmica.

II – 6.3.3. Quantificação das Mudanças

Para determinar a magnitude das mudanças no ambiente térmico recorreu-se, uma vez mais, à técnica de diferenciação de imagens, que foi aplicada aos cinco intervalos temporais em análise neste estudo: 1984–1999, 1999–2003, 2003–2007, 2007–2010, e 2010–2016. Da aplicação deste procedimento às categorias térmicas delineadas no processo anterior são possíveis nove combinações de valores na imagem de mudança, especificamente: -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4. A título de exemplo, um pixel que mude da categoria muito baixa (*i.e.*, valor numérico igual a 1) para muito elevada (*i.e.*, pixel com valor 5), o valor de mudança será igual a 4 (5-1). Para quantificar a magnitude da mudança, os noves valores de mudança possíveis foram sintetizados em apenas três classes: (i) grande diminuição; (ii) pequena variação; e, (iii) grande aumento (Tabela II-28). Em sequência, procedeu-se ao cálculo da extensão ocupada por cada um destes intervalos.

Tabela II-28 – Classes de magnitude da mudança do ambiente térmico

Tipo de Mudança	Valor de Mudança	Magnitude
Muito Baixo → Muito Elevado.	4	**Grande Aumento**
Muito Baixo → Elevado; Baixo → Muito elevado.	3	
Muito Baixo → Médio; Baixo → Elevado; Médio → Muito Elevado.	2	
Muito Baixo → Baixo; Baixo → Médio; Médio → Elevado; Elevado → Muito Elevado.	1	**Pequena Variação**
Mesmo Nível (sem mudança).	0	
Baixo → Muito Baixo; Médio → Baixo; Elevado → Médio; Muito Elevado → Elevado	-1	
Médio → Muito Baixo; Elevado → Baixo; Muito Elevado → Médio.	-2	**Grande Diminuição**
Elevado → Muito Baixo; Muito Elevado → Baixo.	-3	
Muito Elevado → Muito baixo.	-4	

Fonte: Chen *et al.* (2016).

Para contextualizar a dispersão geográfica das mudanças no ambiente térmico (*i.e.*, dos grandes aumentos e diminuições) recorre-se ao movimento de centroides – que traduz uma visão holística destas alterações. Em termos técnicos, aplicou-se a ferramenta *Mean Center* (descrita anteriormente) às categorias grandes aumentos e grandes diminuições, sendo para tal, necessário transformar o ficheiro *raster* em vetorial (*i.e.*, *shapefile*.). Lembrando que, a aplicação desta técnica ao conjunto integrado da AUBG não apresenta resultados válidos, uma vez que o ambiente térmico, profundamente intricado com o processo de urbanização, decorre em consonância com este das lógicas concelhias. Com efeito, obriga ao processamento dos dados de modo individual para os municípios de Braga e de Guimarães, diferentemente das etapas anteriores efetuadas para o conjunto do território da AUBG.

II – 6.3.4. Associação Espacial das Mudanças

As ferramentas de análise espacial permitem analisar o padrão das mudanças do ambiente térmico da AUBG, tanto do ponto de vista holístico, sintetizado no ponto central da mudança, como à escala local, a partir dos métodos de associação espacial. Uma vez mais, em consonância com o proposto por Chen *et al.* (2016) aplicou-se o método de cluster *Hot Spot Analysis* (Getis-Ord Gi*), que cria um mapa de pontos quentes (*i.e.*, *hotspots*) e de pontos frescos (*i.e.*, *coldspots*), bem como de valores discrepantes (*i.e.*, *spatial outliers*), com base na estatística proposta por Anselin denominada *Local Indicator of Spatial Association* (LISA). Reforçando uma vez mais que, a associação espacial dos valores de mudança no ambiente térmico foi calculada tendo como referência a imagem resultante da técnica de diferenciação de imagens, na qual os valores de

mudanças variam entre -4 e 4 (ou seja, a imagem de mudança prévia ao agrupamento dos valores em classes).

Previamente à derivação dos clusters, aplicou-se o método do *Incremental Spatial Autocorrelation* (disponível no módulo *Analyzing Patterns*, da extensão *Spatial Statistics* do ArcGIS), que mede a autocorrelação espacial para uma série intervalos espaciais, indicando as distâncias a que os processo de clusterização espacial são mais pronunciados (ESRI, 2018). Contudo, para as imagens de mudança de Ts da AUBG não foi encontrada nenhuma distância a que estes processos fossem significativos. O valor devolvido neste procedimento foi de 264m, que corresponde à distância média dos 30 vizinhos mais próximos. Face a isto, optou-se por uma área de análise mais ampla – de 1 000m –, que permite captar os padrões de mudança de Ts à escala local, dado que até então a sua análise assentou acima de tudo numa escala mais micro (embora nunca considerada de modo isolado). A escala local reflete a influência integrada de um conjunto de efeitos, podendo a sua influência ser sentida de um a vários quilómetros (Oke, 1987). Assim, considerando a dimensão do território em estudo, optou-se pelo seu limite inferior, de modo a que ainda seja possível distinguir diferenças intraconcelhias.

A computação do método de clusterização LISA foi efetuada a partir da opção do ArcGIS denominada *Optimized Outlier Analysis* (integrada no *Spatial Statistics – Mapping Clusters*), que avalia as características do ficheiro de entrada, adotando os limiares e correções necessários, com vista à produção de resultados ótimos. Todavia, para normalizar o processo de cálculo dos clusters, e tornar possível a comparação multitemporal dos padrões obtidos, determinou-se como escala de análise a distância mencionada anteriormente. O LISA identifica quatro padrões de agregação, dois designados por clusters e outros dois por *outliers*, interpretados do seguinte modo: (i) Clusters *High-High*, áreas com aumento da carga térmica, rodeadas de áreas onde também se registou um incremento; (ii) Clusters *Low-Low*, áreas que registaram uma diminuição da carga térmica, rodeadas de áreas onde se verificou igualmente um decréscimo; (iii) Outliers *High-Low*, áreas com aumento da carga térmica, rodeadas de áreas onde se verificou um decréscimo; e, (iv) Outliers *Low-High*, áreas com diminuição de Ts, rodeadas de áreas onde se verificou um incremento. A estas, soma-se uma quinta denominada não significativa, que traduz as áreas sem correlação espacial ou então aquelas que apresentam valores próximos da média.

II – 6.4. Amplitudes Térmicas Locais

Para compreender a evolução dos contrastes térmicos de vizinhança (*i.e.*, num conjunto de pixéis adjacentes) recorre-se à ferramenta *Focal Statistics* (disponível no *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS), que computa para cada célula de um *raster* uma determinada estatística (*e.g.*, média, mínimo, máximo, amplitude), somente em função dos valores presentes na área análise estabelecida *à priori* pelo utilizador. No âmbito específico dos SIG estas unidades de análise denominam-se 'bairros', cujo vocábulo se adota na análise dos resultados. Esta técnica opera numa base *pixel-by-pixel* e de *moving window,* pelo que uma determinada célula pode ser incorporada em 'n' bairros. De entre os vários tipos de ´bairro´ possíveis, optou-se pela forma retangular, por ser mais próxima da geometria original dos dados. Neste estudo definiram-se três escalas de análise, definidas pelas seguintes configurações (Figura II-26): (i) 3x3, abarcando no total 9 pixéis; (ii) 7x7, que engloba 49 pixéis; e, (iii)11x11, que encerra 121 pixéis.

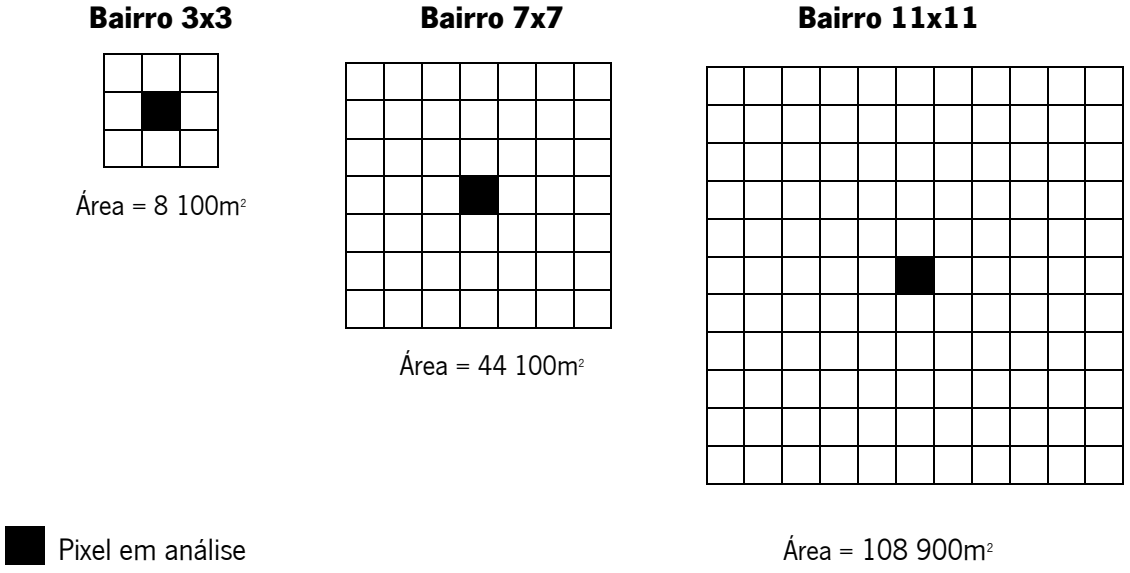


Figura II-26 – 'Bairros' definidos para a análise dos contrastes térmicos de vizinhança

Tomando cada 'bairro' como referência, efetuou-se o cálculo da amplitude dos valores de Ts* para cada pixel da imagem (*i.e.*, opção *range*) – ou seja, a diferença entre o valor máximo e mínimo presente na área de análise. Vale apena enfatizar que a imagem aqui utilizada corresponde aos valores de Ts normalizados em função do máximo e mínimo não discrepante. Em seguida, calculou-se o valor médio dos contrastes de Ts* em cada data, para cada escala de análise. Para uniformizar a informação entre as diferentes datas, classificaram-se os valores dos contrastes de

cada imagem em função dos mesmos limiares, e procedeu-se ao cálculo da área ocupada por cada classe em cada data, seguindo procedimentos já descritos.

Por fim, aplicou-se a ferramenta *Cell Statistics* do ArcGIS para sintetizar esta informação derivada anteriormente, e com efeito, identificar as áreas onde sistematicamente se verificaram as maiores/menores contrastes de Ts*. Em concreto, recorre-se, por um lado, ao valor da média dos contrastes e, por outro, à soma dos valores – que capta o modo como as várias camadas que compõem o modelo territorial da AUBG se foram sedimentando ao longo dos 32 anos em análise.

II – 7. DELIMITAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR E DE FRESCURA A PARTIR DO LANDSAT

"Urban environmental analyses can help understand the status, trends, and threats in urban areas so that appropriate management actions can be planed and implemented".
|Yang, 2011c, p.238|

Historicamente, a definição da ilha de calor baseia-se na diferença de temperatura (do ar) entre a área urbana (a dita cidade) e a sua envolvente rural (entendido como o campo). Contudo, dado que a ilha de calor de superfície decorre das diferenças de temperatura dos materiais, determinadas pelas propriedades térmicas (*e.g.*, capacidade calorífica, inércia térmica), afasta-se dos modelos tradicionais propostos. Ademais, no território em estudo decorrente do secular processo de urbanização difusa, esta cisão torna-se deveras complexa – pelo que se optou por métodos que não obriguem uma divisão prévia do território, tanto para a delimitação da ilha de calor de superfície, como da ilha de frescura.

II – 7.1. Ilha de Calor de Superfície

No presente estudo as áreas sob efeito da ilha de calor foram definidas com base no método proposto por Ma *et al.* (2009), que assenta na seguinte equação:

$$Ts > \mu_{Ts} + (0{,}5 * \sigma_{Ts})$$

[Eq. 27]

em que,
Ts = temperatura de superfície;
μ_{Ts} = média de Ts;
σ_{Ts} = desvio-padrão de Ts.

Os valores utlizados para o cálculo da equação anterior encontram-se na Tabela II-29. De notar que se optou por recuperar novamente os valores absolutos de Ts (em detrimento dos normalizados), uma vez que estes permitem traçar a evolução da intensidade da ilha de calor numa escala mais facilmente inteligível – *i.e.*, os graus celsius.

Tabela II-29 – Valores de Ts (ºC) utilizados no cálculo da ilha de calor de superfície

Ano	Média (ºC)	Desvio-Padrão (ºC)	Limite adotado(ºC)
1984	27,5	2,4	28,7
1999	35,6	3,5	37,4
2003	33,8	3,1	35,4
2007	36,0	3,6	37,8
2010	38,5	4,0	40,5
2016	37,0	4,4	39,2

II – 7.1.1. Intensidade

A intensidade da ilha de calor de superfície verificada na AUBG foi determinada com recurso a três formulações distintas, embora todas assentem na diferença entre a Ts mais elevada e a mais baixa, verificada em cada data. Assim, primeiramente, procedeu-se ao cálculo da diferença entre o valor máximo e mínimo de Ts considerados não discrepantes no conjunto da distribuição dos dados (*vide* Tabela II-25). Num segundo momento, analisou-se a diferença verificada entre a Ts média das áreas sob efeito da ilha de calor superfície e a das áreas sem efeito de ilha de calor. Por fim, calculou-se o índice regional da temperatura proposto por Xiong *et al.* (2012), determinado pela diferença entre o valor máximo e mínimo de temperatura verificado numa dada área geográfica, que neste caso corresponde à delimitação da ilha de calor de superfície.

II – 7.1.2. Extensão Espacial

A área ocupada pela ilha de calor de superfície em cada uma das seis datas foi determinada para o conjunto do território da AUBG, bem como para cada um dos municípios de modo individual. Adicionalmente, partindo da divisão binária do território em urbano e não urbano, os cálculos anteriores foram novamente efetuados. Por fim, com base na interseção da ilha de calor com o tecido urbano determinou-se a percentagem de área urbana sob o efeito da ilha de calor, para as distintas escalas espaciais referidas. Os mesmos cálculos foram efetuados para o território não urbano. Este processo de análise encontra-se sintetizado no esquema da Figura II.21.



Em que: ICS – ilha de calor de superfície.

Figura II-27 – Esquema desenvolvido para a análise da ilha de calor de superfície na AUBG

II – 7.2. Ilha de Frescura de Superfície

As áreas sob efeito da ilha de frescura de superfície na AUBG foram delimitadas a partir do mesmo método utilizado anteriormente na delimitação da ilha de calor, invertendo-se apenas os limiares de referência, como evidencia a formulação abaixo:

$$Ts > \mu_{Ts} - (0{,}5 * \sigma_{Ts})$$

[Eq. 28]

em que,
Ts = temperatura de superfície;
μ_{Ts} = média de Ts;
σ_{Ts} = desvio-padrão de Ts.

Os valores utlizados no cálculo da equação anterior encontram-se na Tabela II-30.

Tabela II-30 – Valores de Ts (ºC) utilizados no cálculo da ilha de frescura de superfície

Ano	Média (ºC)	Desvio-Padrão (ºC)	Limite adotado(ºC)
1984	27,5	2,4	26,3
1999	35,6	3,5	33,85
2003	33,8	3,1	32,26
2007	36,0	3,6	34,2
2010	38,5	4,0	36,5
2016	37,0	4,4	34,8

Sem embargo à aplicação desta metodologia em coerência com o definido relativamente às ilhas de calor, considerou-se igualmente pertinente a delimitação da ilha de frescura tendo como referência os valores de NDVI. Para tal, adotou-se o limiar de 0,75, que no âmbito do presente trabalho constituem as áreas com vegetação arbórea e/ou densa e que de acordo com Acero *et al.* (2013) apresentam um potencial de arrefecimento elevado.

Para caracterizar as ilhas de frescura de Ts e do NDVI recorre-se aos índices de estrutura espacial, calculados para o conjunto do território da AUBG ao nível da mancha, designadamente: (i) o número (NumP); (ii) a área ocupada (CA); (iii) a dimensão média (MPS); (iv) o perímetro total (TE); (v) o perímetro médio; e, (vi) a dimensão fractal média (MPFD). Estas métricas foram calculadas com recurso à extensão *Patch Analyst* disponível para o *software* ArcGIS, após se ter efetuado a conversão dos ficheiros de *raster* para vetorial.

Tendo como referência cada uma das datas em análise, as ilhas de frescura de superfície de Ts, foram sobrepostas com as ilhas de frescura do NDVI. Em termos técnicos, primeiramente foi necessário reclassificar os ficheiros raster, adotando-se a seguinte escala: 1 – áreas com ilha de frescura de Ts, 2 – áreas sem ilha de frescura de Ts; 10 – áreas sem ilha de frescura do NDVI; e, 20 – áreas com ilha de frescura do NDVI. De seguida, no *Raster Calculator,* disponível na extensão *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS, aplicou-se a seguinte equação:

$$IFS_{TS} + IFS_{NDVI} \qquad \text{[Eq. 29]}$$

em que,
IFS_{TS} = classificação da ilha de frescura decorrente da aplicação dos limiares de Ts;
IFS_{NDVI} = classificação da ilha de frescura decorrente da aplicação dos limiares de NDVI.

Da sobreposição das ilhas de frescura – considerando a formulação apresentada – obtém-se quatro resultados possíveis, nomeadamente: 11 – ilha de frescura de superfície de Ts, mas sem NDVI; 12 – área sem nenhuma ilha de frescura; 21 – conjugação da ilha de frescura de Ts e do NDVI; e, 22 – ilha de frescura do NDVI, mas sem Ts. Procedendo, em seguida, ao cálculo da área ocupada por cada classe ocupa em cada uma das seis datas. Por fim, este resultado foi cruzado com a respetiva imagem de cores naturais, sendo que a partir da inspeção visual se procurou deslindar os mecanismos subjacentes a cada situação.

II – 8. CAUSALIDADE(S) DAS MUDANÇAS NO AMBIENTE TÉRMICO

> *"Urbanization is a significant, and perhaps the most visible, anthropogenic force on earth – affecting its surface, atmosphere, and seas; its biodiversity and its people*".
> |Stefanov e Netzband, 2010, p.220|

As mudanças no ambiente térmico da AUBG são escrutinadas em função das modificações nas componentes biofísicas, numa primeira fase. Em seguida, a análise centra-se apenas no tecido urbano, para determinar a relação entre o modo como se processou o crescimento urbano (*i.e.,* colmatação, contiguidade ou dispersão) e as características do ambiente térmico. Todos os procedimentos doravante descritos são efetuados de modo independente para o município de Braga e de Guimarães, o que permite identificar as similaridades, mas sobretudo discernir as diferenças, decorrentes do processo de urbanização de que foram alvo entre 1984 e 2016.

II – 8.1. Relação com as Modificações nas Componentes Biofísicas

O cruzamento das imagens de mudanças de Ts* – que reflete os aumentos e diminuições de carga térmica – com os mapas de localização das modificações verificadas nas componentes biofísicas entre cada par de datas permite determinar o efeito das mudanças territoriais sobre o ambiente térmico. Este procedimento foi efetuado no ArcGIS, com recurso à ferramenta *Zonal Statistics as Table*, disponível no *Spatial Analyst Tools*, que permite sumariar os valores de um *raster* (no caso os aumentos e diminuições de Ts), em função das áreas definidas num outro (em específico, a localização das mudanças nas componentes biofísicas). Na prática, o resultado deste procedimento é uma tabela com o valor médio da variação de Ts* para cada tipo de mudança nas componentes biofísicas (*e.g.*, passagem de vegetação arbórea e/ou densa para industrial/pedreiras, solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas).

Para facilitar o entendimento da informação obtida, os aumentos e diminuições de Ts foram organizados em função da magnitude do valor e transpostos para um diagrama de dispersão, que relaciona diretamente a magnitude da variação de Ts com a área ocupada por cada tipo de mudança nas componentes biofísicas, dando-se particular enfâse a três aspetos: (i) consumos de solo pela urbanização, entendidos como as transformações da cobertura da superfície terrestre irreversíveis (*i.e.,* passagem de vegetação arbórea e/ou densa, de vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa ou de solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas ou para

industrial/pedreiras); (ii) substituição de coberturas, decorrente da mudança de superfícies impermeáveis antrópicas para industrial/pedreiras ou vice-versa; e (iii) a perda de vegetação (arbórea e arbustiva) para o solo nu.

II – 8.2. Relação com o Modo de Crescimento Urbano

Como referido, a identificação dos modos de crescimento urbano no presente estudo - *i.e.*, crescimento disperso, contíguo ou por colmatação – decorre da informação reportada pelo LEI. Para determinar as implicações que cada um destes modos detém no ambiente térmico, a informação obtida com o LEI foi cruzada com os mapas de mudança bitemporal de Ts*, adotando-se, para tal, os mesmos procedimentos descritos anteriormente.

II – 9. IMPLEMENTAÇÃO DO ESPAÇO TVX

"Scatterplots of surface temperature and vegetation fraction define the physical limits imposed by vegetation cover, soil water content, and different combinations of surface materials in each city".
| Kwarteng e Small, 2010, p.283 |

A construção do *Thermal Vegetation Index* (Espaço TVX) decorre da representação simultânea dos valores de Ts e de um índice de vegetação, pelo que este método combina no mesmo diagrama informação de diversas regiões do espetro eletromagnético (*i.e.*, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho térmico). No presente estudo optou-se pelo NDVI, posto que este constituiu o índice de vegetação mais amplamente utilizado para a aplicação deste método, como constado anteriormente. Ainda a respeito das variáveis utilizadas na construção do espaço TVX, alguns autores optam pela utilização dos valores absolutos de Ts e de NDVI (*e.g.*, Wilson *et al.*, 2003; Yuan e Bauer, 2007; Srivanit *et al.*, 2012; Deng e Wu, 2012; Majumdar e Biswas, 2016), outros preferem o NDVI normalizado (ou mesmo a fração de vegetação) com os valores absolutos de Ts (*e.g.*, Carlson *et al.*, 2000), e, existem ainda outros que efetuam a normalização tanto do NDVI como de Ts (*e.g.*, Carlson *et al.*, 2000; Amiri *et al.*, 2009).

Efetivamente, a comparação multitemporal de variáveis obtidas por Deteção Remota deve ser precedida da sua normalização, de modo a minimizar potenciais erros decorrentes da calibração dos valores e da correção atmosférica (Owen *et al.*, 1998; Dale e Quattrochi, 2003). Com efeito, a construção do espaço TVX multitemporal deve ser efetuada com base nas variáveis normalizadas, como efetuado por Carlson *et al.* (2000) ou por Amiri *et al.* (2009). Os referidos autores, apesar de utilizaram os valores absolutos para construir o espaço TVX (numa única data), recorrem aos valores normalizados para determinar a trajetória temporal dos pixéis (entre duas datas). Assim sendo, e considerando que o espaço TVX será utilizado para determinar a trajetória temporal de áreas de referência, procede-se à normalização do NDVI, bem como ao cálculo da Fração de Vegetação (Fr), tal como proposto por Carlson *et al.* (2000). De lembrar que os procedimentos referentes à normalização de Ts (Ts*) já foram descritos anteriormente.

A normalização do NDVI foi efetuada tendo por referência os valores máximos e mínimos de cada imagem (Weng, 2001; Dale e Quattrochi, 2003; Amiri *et al.*, 2009), com base na seguinte equação:

$$NDVI^* = \frac{NDVI_i - NDVI_O}{NDVI_s - NDVI_o}$$

[Eq. 30]

em que,
$NDVI^*$= NDVI normalizado;
$NDVI_i$ = valor de NDVI num dado pixel;
$NDVI_o$ = valor mínimo de NDVI, correspondente a solo nu;
$NDVI_s$ = valor máximo de NDVI, correspondente a vegetação densa.

De seguida, a fração de vegetação (Fr) foi calculada com base na formulação proposta em Carlson *et al.* (1995):

$$Fr = (NDVI^*)^2$$

[Eq. 31]

em que,
Fr = fração de vegetação;
$NDVI^*$= NDVI normalizado.

A fração de vegetação traduz a percentagem de vegetação ao nível do solo numa determinada área (como, por exemplo, um pixel), com base na sua projeção vertical (Liang *et al.*, 2008), deste modo: Fr=0% o pixel é composto apenas por solo nu e Fr=100% o pixel é ocupado na totalidade por vegetação densa.

II – 9.1. Trajetória Temporal

As mudanças nas condições biofísicas de cada pixel decorrente do processo de urbanização podem ser determinadas no espaço TVX multitemporal. Assim, para evidenciar as consequências térmicas dos consumos de solo na AUBG decorrentes do crescimento urbano, procede-se à análise da sua trajetória no seio do espaço Ts*/Fr 1984-2016, seguindo os procedimentos metodológicos descritos em Amiri *et al.* (2009).

Os mapas das mudanças das componentes biofísicas entre 1984 e 2016, derivados no *software* TerrSet, foram sobrepostos aos valores de Ts* e de Fr das respetivas datas, extraindo-se o valor médio que as áreas exauridas pela urbanização exibiam em cada momento. A projeção simultânea dos valores de Ts* e de Fr extraídos anteriormente num diagrama de dispersão permite determinar a magnitude da mudança associada a cada tipo de modificação das componentes biofísicas, com base no comprimento dos respetivos vetores. A dimensão dos vetores de mudança foi determinada com base no Teorema de Pitágoras, consubstanciado na seguinte equação:

$$\| \vec{\mu} \| = \sqrt{[(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2]}$$

[Eq. 32]

em que,
$\| \vec{\mu} \|$= magnitude de mudança do vetor;
Δx= diferença entre Ts* final de Ts* inicial;
Δx= diferença Fr inicial e Fr final.

O cálculo dos vetores de mudança foi efetuado de modo individual para os municípios de Braga e de Guimarães, de modo a identificar as implicações térmicas dos respetivos processos de urbanização, bem como descortinar as diferenças e/ou similaridades entre eles, no cumprimento dos objetivos definidos no presente trabalho.

II – 9.2. Incerteza na Dinâmica do Espaço TVX

Amiri *et al.* (2009) alertam que a normalização de Ts e de NDVI, não elimina na totalidade os efeitos da variabilidade entre imagens, pelo que a magnitude dos vetores apresentada inclui, para além das mudanças nas condições das superfícies fruto da alteração da cobertura (e uso) do solo, uma certa quantidade de ruído decorrente das variações naturais – *e.g.*, condições atmosféricas e de iluminação – intrínsecas a cada cena. Para determinar a incerteza inerente à avaliação do efeito da urbanização, a quantificação da componente de ruído é fundamental.

No presente trabalho a componente de ruído é identificada a partir de áreas que não sofreram mudanças nas componentes biofísicas (*i.e.*, o território estável) – que constituem os pontos de controlo para estimar a incerteza envolvida. Em condições ideais, seria de esperar que os vetores fossem controlados apenas por mudanças nas componentes biofísicas, pelo que a magnitude dos vetores num território estável deveria ser igual a zero; porém, na realidade, em consonância com

o acima mencionado, o fator ruído pode afetar estes pixéis, pelo que o resultado obtido será diferente de zero.

Assumindo as duas premissas estabelecidas por Amiri *et al.* (2009): a primeira que, a magnitude dos vetores de mudança no território estável é resultado de outros fatores que não as mudanças nas componentes biofísicas (componente ruído); e, a segunda que, as variações entre cenas (fator ruído) afetam na mesma proporção uma determinada classe das componentes biofísicas, quer se verifiquem ou não mudanças – a quantidade de ruído pode ser extraídas do território estável, e utilizada para separar a componente ruído presente no vetor de mudança. Em vista disso, os referidos autores consideram que o efeito de ruído não é homogéneo em toda a imagem, encontrando-se este dependente da classe. Esta opção distancia-se da abordagem de Carlson *et al.* (2000), que utilizavam como pontos de controlo os valores médios de toda a imagem.

O cálculo da dimensão dos vetores de mudança associada aos consumos de solo nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 foi reproduzido, numa base *pixel-by-pixel,* para a globalidade da AUBG, e para os cinco intervalos temporais em estudo – *i.e.*, 1984-1999, 1999-2003, 2003-2007, 2007-2010, 2010-2016 e 1984-2016. Para o cálculo dos vetores de mudanças (cuja a equação foi apresentada anteriormente) recorre-se ferramenta *Raster Calculator* (do Map Algebra, disponível na extensão *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS), que possibilita a inserção de sintaxe *Python*. Em seguida, com recurso à ferramenta *Zonal Statistics as Table* (também do *Spatial Analyst Tools*), determinou-se a magnitude de mudança associada aos vetores de cada classe das componentes biofísicas (ditada pelo seu valor médio), quer para as áreas que permaneceram estáveis (como vegetação arbórea e/ou densa, como vegetação herbácea/arbustiva ou como solo nu), quer para aquelas onde ocorreram os consumos de solo.

Por fim, os valores da magnitude de mudança associada aos vetores das componentes biofísicas que permaneceram estáveis foram utilizados como limiar para separara as áreas com e sem mudança dentro de cada classe em particular. Para evidenciar a incerteza envolvida na estimação dos efeitos de cada tipo de conversão do solo na carga térmica (Ts*) e na quantidade de área verde (Fr), aplicou-se os valores dos respetivos limiares a cada tipo de conversão do solo, salientando-se: (i) as áreas onde a magnitude de mudança é maior do que o limiar, quer isto dizer, que as mudanças em Ts* e de Fr decorrem efetivamente do processo de urbanização; e, (ii) as áreas onde a magnitude de mudança é menor do que limiar, onde as mudanças de Ts* e Fr se devem ao ruído inerente à incerteza envolvida neste processo.

II – 10. AMBIENTE TÉRMICO A PARTIR DO MODIS

"MODIS enable the study of diurnal, inter-annual, and intra-annual variability of surface urban heat island at various spatial scales".
|Zhou *et al.*, 2019, p.7|

Aproveitada a longevidade temporal do Landsat (a que se soma a elevada resolução espacial do infravermelho térmico) para descortinar os efeitos do crescimento urbano na AUBG entre 1984 e 2016, recorre-se em seguida ao arquivo MODIS – com 4 imagens diárias – para seguir a evolução do ambiente térmico num espetro temporal mais curto. Numa primeira fase, a análise centra-se na variação diária de Ts, cuja opção pelas datas selecionadas aquando da análise histórica possibilita a comparação entre os arquivos MODIS e Landsat; e, em seguida, a atenção foca-se na evolução de Ts no decorrer uma onda de calor, aproveitando-se a elevada resolução temporal do MODIS para entender o modo como as superfícies urbanas e não urbanas são afetadas pelo calor continuado.

II – 10.1. Variação Diária

A análise dos valores de Ts ao longo do dia foi efetuada com recurso a métodos estatísticos. Para tal, no ArcGIS converteu-se uma imagem MODIS – no caso específico a referente ao MODIS-Aqua captada à 01:30 do dia 11 de julho de 2003 – numa *shapefile* de pontos. Na prática, cada ponto corresponde ao centroide do pixel – obtendo-se um total de 634 pontos para o conjunto da AUBG (Figura II-28), pelo que os resultados estatísticos apresentados correspondem ao total da população – quer isto dizer, trata-se de uma abordagem *pixel-by-pixel*. Tendo por base esta grelha de pontos extraiu-se o valor de Ts das imagens MODIS, com recurso à ferramenta *Extract Multi Values To Points*, disponível na extensão *Spatial Analyst Tools* do ArcGIS. Concomitantemente, extraiu-se o valor de Ts captado pelo Landsat, que coincidia com o centroide do pixel do MODIS. A série de dados referente a cada data foi exportada para o IBM SPSS Statistics, *software* onde se calcularam-se as estatísticas descritivas – representadas graficamente em caixas de bigodes. Em paralelo, determinou-se a relação estatística entre as imagens MODIS disponíveis para cada data, bem como entre estas e o valor de Ts do Landsat, com recurso à correlação de Spearman (para um intervalo de confiança de 95%).

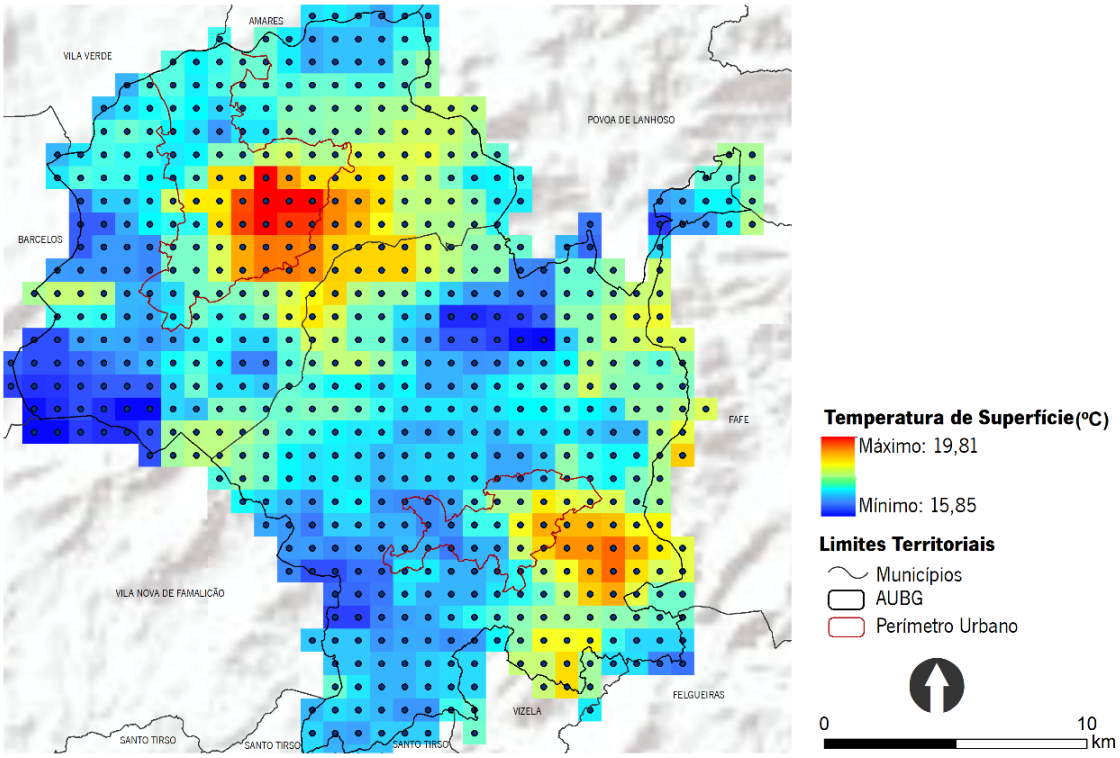


Figura II-28 – Grelha de pontos correspondente ao centroide dos pixéis do MODIS na AUBG

Para um entendimento mais profundo da variação de Ts ao longo do dia, e particularmente a sua relação com as componentes biofísicas e com o relevo, elaborou-se um perfil transversal que abarca todo o território da AUBG (Figura II-29). O perfil tem início junto ao Rio Cávado (no limite do município de Braga com Vila Verde) e estende-se por 30km, terminando na interseção de Guimarães com Felgueiras. No seu decurso atravessa o núcleo histórico da cidade de Braga e de Guimarães, e cruza igualmente os dois pontos mais elevados do território da AUBG – correspondendo o primeiro ao interflúvio formado pelos Três-Sacromontes, que serve de divisória aos municípios em estudo, e o segundo, localizado em Guimarães, corresponde ao Monte da Penha (Figura II-29).

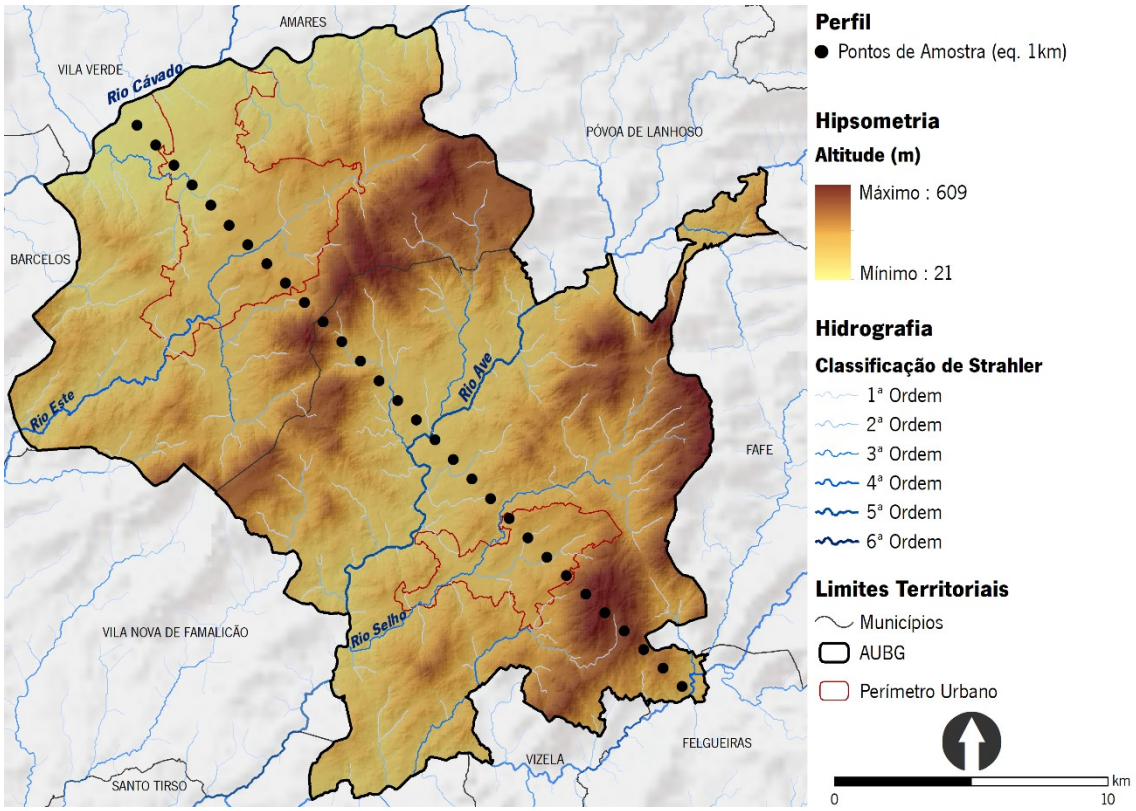


Figura II-29 – Localização dos pontos de amostra do perfil traçado

Para cada um dos pontos de amostra do perfil – cuja equidistância é de 1km (Figura II-29) – extraiu-se o valor de altitude. Em seguida, retirou-se o valor de Ts correspondente a cada horário disponibilizado pelo MODIS em cada data, bem como a respetiva componente biofísica (*i.e.*, industrial/pedreiras, superfícies impermeáveis antrópicas, vegetação arbórea e/ou densa, vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa, solo nu e água).

Além disto, numa lógica *pixel-by-*pixel calcularam-se as amplitudes térmicas verificadas entre os quatro horários que o MODIS capta diariamente, nomeadamente: 01:30–10:30, 10:30–13:30, 13:30–22:30, 22:30–01:30 (apenas possível para no ano de 2007 e 2010) e, ainda, o intervalo da 01:30-13:30 que traduz a variação mais extrema. No caso de 2007 e de 2010 foi possível determinar ainda a diferença de Ts verificada entre as duas imagens correspondentes ao horário da 01:30.

Por fim, com vista à comparação multitemporal do ambiente térmico efetuou-se a normalização de Ts em consonância com os procedimentos descritos anteriormente para os valores obtidos na banda do infravermelho térmico do Landsat (*i.e.*, em função do máximo e do mínimo verificado

em cada imagem). Cada imagem de Ts normalizada foi igualmente classificada em função dos limiares propostos por Xiong *et al.* (2012).

II – 10.2. Onda de Calor

A análise dos ritmos espaciais e temporais no decorrer da onda de calor de 23 a 30 de julho de 2010 foi efetuada com base num total de 32 imagens MODIS, correspondendo 8 a cada horário do MODIS – *i.e.*, 01:30, 10:30, 13:30 e 22:30. Frisar que, os procedimentos doravante descritos foram realizados para cada um dos horários em separado e, considerando a AUBG no seu conjunto. Primeiramente, com intuito de traçar a evolução de Ts no decorrer dos 8 dias da onda de calor, derivaram-se as estatísticas descritivas *pixel-by-pixel*, nomeadamente o mínimo, máximo, média, desvio-padrão e a amplitude.

De seguida, as 8 imagens referentes a cada horário do MODIS foram sintetizadas num único mapa, tendo por base o valor médio de Ts em cada pixel. A partir destas imagens calculou-se: (i) o desvio-padrão de Ts em relação à média; e, (ii) a amplitude dos valores, determinada pela diferença entre o valor máximo e o mínimo de Ts registada nos 8 dias em análise. Estes três procedimentos foram executados no *software* ArcGIS, com recurso à ferramenta *Cell Statistics* (em específico às opções *Mean*, *Standard Deviation e Range*), disponível na extensão *Spatial Analyst Tools*. Importa esclarecer que, durante o processamento se optou por ignorar os pixéis sem dados (por estes terem uma distribuição espacial e temporal muito reduzida), – deste modo, o valor obtido decorre somente do observado nas imagens sem pixéis nulos.

Adicionalmente, recorreu-se à imagem com a média de Ts de cada horário para precisar o número de dias em que no decorrer da onda de calor a temperatura se encontrou acima e abaixo da média em cada um dos pixéis, tirando partido das ferramentas *Greater than Frequency* e *Less than Frequency*, disponíveis na mesma extensão do ArcGIS anteriormente referida. Tendo ainda por base a imagem de Ts média de cada horário identificou-se para cada um dos pixéis o dia da onda de calor (correspondendo o dia um a 23 de julho e o oitavo dia a 30 de julho) em que a Ts foi mais elevada e o dia em que foi mais baixa, tendo por base as ferramentas *Highest Position e Lowest Position,* respetivamente. Todas estas ferramentas se encontram agrupadas no ArcGIS na extensão *Spatial Analyst Tools*, sob a designação de *Local,* dado que efetuam os cálculos para

cada um dos pixéis em função dos valores de todos os *inputs* adicionados – que no presente caso correspondem aos valores de Ts em cada um dos dias do mês de julho classificados como onda de calor.

Relativamente ao NDVI, após o cálculo das estatísticas descritivas para cada data, as imagens foram sintetizas com base na média, por um lado, e no desvio-padrão, por outro. Este procedimento foi efetuado de modo separado para a informação proveniente do satélite Terra e do Aqua, com recurso às mesmas ferramentas do ArcGIS utilizadas no caso de Ts (*i.e.*, o *Cell Statistics*).

Os procedimentos descritos culminaram em nove *layers* de informação para cada horário do MODIS, nomeadamente: (i) média de Ts; (ii) amplitude de Ts; (iii) desvio-padrão de Ts; (iv) número de dias com Ts acima da média; (v) número de dias com Ts abaixo da média; (vi) dia da onda e calor com Ts mais elevada; (vii) dia da onda de calor com Ts mais baixa; (viii) média do NDVI; e, (ix) desvio-padrão do NDVI. Os valores referentes a cada pixel foram extraídos com base na grelha de 634 pontos criada anteriormente (*vide* Figura II-28), que corresponde o número de pixéis pelos quais se reparte uma imagem MODIS na AUBG. Com intuito de determinar a relação de associação entre as nove variáveis recorre-se à correlação de Spearman (opção não-paramétrica da correlação de Pearson), calculada no *software* SPSS IBM Statistics.

Por outro lado, com vista à comparação multitemporal do ambiente térmico procedeu-se à normalização dos valores médios de Ts de cada horário, em função do valor máximo e mínimo, seguindo os procedimentos explicitados anteriormente. Deste modo, os valores passam variar entre 0 e 1, o que possibilita a sua classificação em função dos limiares propostos por Xiong *et al.* (2012), por diversas vezes já utilizados. A incorporação desta classificação permite não só comparar diretamente os diferentes horários do MODIS, como também confrontar os dois municípios em estudo.

Por fim, as quatro imagens de Ts normalizada (*i.e.*, uma de cada horário MODIS) foram agrupadas num único mapa, tendo como referência primeiramente o valor da média, e depois o do desvio-padrão. Com vista a uniformizar uma vez mais a informação, a média de Ts das 32 imagens foi de igual modo classificada em função dos limiares do ambiente térmico (Xiong *et al.*, 2012).

II – 11. CORRELAÇÃO ECOLÓGICA

"In Geography, when spatial units (patches, districts, areas, regions, gaps) are elements of correlation-regression analysis, the results are termed «ecological correlation»".
|Meentemeyer, 1989, p.168|

Para um entendimento mais profundo dos fatores que condicionam (e/ou explicam) o ambiente térmico superficial na AUBG recorre-se à análise estatística, nomeadamente a correlações e a regressões. Importa salientar que, toda a análise estatística subsequente é efetuada de modo isolado para os municípios de Braga e de Guimarães – visto que os fatores que explicam a variação da Ts podem ser diferentes em cada um dos municípios, ou sendo os mesmos podem assumir um poder de explicação distinto.

A adoção da subsecção estatística (divisão mínima em Portugal) como unidade de análise torna possível a comparação das variáveis espectrais com os dados socioeconómicos decorrentes do Recenseamento Geral da População e da Habitação em Portugal. Tendo como referência a Base Geográfica de Referenciação da Informação (BGRI) utilizada nos Censos 2011 constata-se que o município de Braga se reparte por 2761 subsecções e Guimarães por 2657. Por defeito, assume-se que as características superficiais são uniformes no interior de cada subsecção. Dado que o último momento censitário ocorreu em 2011, optou-se por utilizar os valores de Ts relativos a 30 de julho de 2010, não só por serem os mais próximos desta data, mas também por duas outras razões. A primeira, é por coincidir com uma onda de calor – que enfatiza a necessidade de conhecer os fatores na génese da formação das ilhas de calor de superfície. A segunda, prende-se com aspetos técnicos, pois nesta data os dados MODIS detêm melhor qualidade do que o verificado em 14 de julho de 2016 – cujas imagens apresentam alguns valores nulos, devido à presença de nebulosidade.

II – 11.1. Seleção das Variáveis

As variáveis analisadas podem ser agrupadas em dois conjuntos: (i) as dependentes, que representam o processo que se pretende compreender e/ou explicar; e, (ii) as explicativas (ou independentes), que, como a designação indica, explicam o processo em causa. No primeiro grupo inserem-se os valores de Ts captados em 30 de julho de 2010, pelo Landsat e pelo MODIS-Terra

e MODIS-Aqua (Tabela II-31). Estas variáveis correspondem ao valor médio de Ts de cada subsecção, traduzindo a carga térmica verificado em diferentes momentos do dia.

Tabela II-31 – Descrição das variáveis dependentes

Satélite	Abreviatura	Unidade	Descrição
Landsat	**LAND**	°C	Reflete a média (por subsecção) de Ts captada às 10/11h.
MODIS-	**MYD_N**	°C	Reflete a média (por subsecção) de Ts captada à 01h30.
MODIS-	**MOD_D**	°C	Reflete a média (por subsecção) de Ts captada às 10h30.
MODIS-	**MYD_D**	°C	Reflete a média (por subsecção) de Ts captada às 13h30.
MODIS-	**MOD_N**	°C	Reflete a média (por subsecção) de Ts captada às 22h30

As variáveis explicativas selecionadas decorrem das ilações obtidas com o trabalho empírico, bem como da consulta da mais diversa bibliografia. As variáveis repartem-se por quatro categorias: os indicadores espectrais e as componentes biofísicas, decorrentes do processamento da imagem Landsat de 30 de julho de 2010; as características fisiográficas, que permitem inferir a posição topográfica; e, os aspetos socioeconómicos, que refletem a apropriação antrópica do território – assumidos como *proxy* da morfologia urbana e da produção de calor antrópico (Tabela II-32).

Nos índices espectrais – *i.e.*, NDVI, NDWI e Fr – optou-se por calcular o valor médio de cada subsecção, como efetuado no caso de Ts. Nas componentes biofísicas reteve-se três tipos de informação: identificou-se a componente biofísica que ocupa maior percentagem de área (M_CB); determinou-se o número de componentes biofísicas abarcadas em cada subsecção (V_CB); e, calculou-se a peso que o tecido urbano tem no total da área da subseção (URB_P). Em detalhe, após se extrair a componente biofísica maioritária (M_CB), efetuou-se uma ordenação destas tendo por base a informação da assinatura térmica. A escala adotada varia entre 1 e 6 – na qual o 1 corresponde à água, o 2 à vegetação arbórea e/ou densa, o 3 à vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa, o 4 ao solo nu, o 5 às superfícies impermeáveis antrópicas e o 6 às áreas industriais/pedreiras – que reflete o incremento da carga térmica. A variação das componentes biofísicas (V_CB) também oscila entre 1 e 6, em que 1 significa que toda a subseção é ocupada por uma única componente biofísica e o 6 que todas as componentes biofísicas delineadas se encontram presentes na subsecção (Tabela II-32).

Tabela II-32 – Descrição das variáveis explicativas

Categoria	Designação	Unidade (se aplicável)	Abreviatura	Descrição
Indicadores Espectrais	Média do NDVI	-	**NDVI**	Reflete a presença de vegetação (e humidade) em cada subseção.
	Média do NDWI	-	**NDWI**	Indica a humidade da superfície em cada subseção, esta informação é fundamental uma vez que determina o parcelamento da energia em calor sensível e latente.
	Média da fração de vegetação	-	**Fr**	Reflete a presença de vegetação em cada subseção.
Componentes Biofísicas	Componente biofísica maioritária	-	**M_CB**	Traduz o tipo de ocupação do solo primordial na subseção, constituindo um *proxy* das propriedades térmicas da superfície.
	Número de componentes biofísicas	-	**V_CB**	Indica a miscelânea e a heterogeneidade de ocupação do solo em cada subsecção, constituindo um *proxy* da complexidade da paisagem. .
	Percentagem de tecido urbano	Percentagem de área	**URB_P**	Mede o grau de impermeabilização do solo em cada subsecção.
Características Fisiográficas	Altitude média	Metros	**Alt**	Indicativo da posição topográfica da subsecção (determinante na formação das brisas).
	Declive médio	Percentagem	**Dec**	Indicativo da posição topográfica da subsecção (determinante na formação das brisas) e do condicionamento à edificação.
Aspetos Socioeconómicos	Densidade populacional	Habitantes por km^2	**Pop**	Traduz a concentração populacional em cada subsecção, constituindo um *proxy* da produção de calor antrópico (decorrente do consumo de energia elétrica).
	Densidade de edificado	Edifícios por km^2	**Edif**	Traduz a área de implantação do edificado em cada subsecção, constituindo um bom indicador da superfície disponível para a acumulação de calor.
	Densidade de alojamentos	Alojamentos por km^2	**Aloj**	Consubstancia a verticalização do edificado em cada subsecção, que favorece o aprisionamento da radiação de longo comprimento e condiciona a ventilação no interior do tecido urbano – que em conjunto potenciam o aumento da carga térmica.
	Percentagem de edifícios exclusivamente residenciais	Percentagem no total de edifícios	**E_Eres**	Corresponde às áreas exclusivamente residenciais, em geral vivendas unifamiliares ou multifamiliares.
	Percentagem de edifícios principalmente residenciais	Percentagem no total de edifícios	**E_Pres**	Corresponde aos edifícios multifuncionais (*e.g.*, residencial, comercial), associados à construção em altura.
	Percentagem de edifícios não residenciais	Percentagem no total de edifícios	**E_Nres**	Corresponde às áreas monofuncionais, decorrentes dos 'parques temáticos do zonamento'. Neste território, dado o peso do setor secundário, correspondem maioritariamente a parque industriais, que constituem importantes *hotspots.*
	Densidade de estradas	Metros de estrada por km^2	**Vias**	Indicador quantitativo da densidade de tráfego por subsecção, pelo que constitui um *proxy* da produção e libertação de calor antrópico.

Nas variáveis fisiográficas relativas à altitude (Alt) e ao declive (Dec) adotou-se o valor médio do conjunto da subsecção (Tabela II-32). No caso dos aspetos socioeconómicas optou-se por normalizar o número de habitantes, de edifícios e de alojamentos em função da área da subseção – tendo como unidade de referência o km^2. O cálculo da densidade populacional (Pop), de edificado (Edf) e do alojamento (Aloj) elimina o problema da dimensão das subsecções. Nas vias rodoviárias (Vias) também se adotou o mesmo procedimento metodológico (Tabela II-32). Relativamente à tipologia dos edifícios optou-se por calcular a proporção relativa de cada uma – *i.e.*, exclusivamente residenciais (E_Eres), principalmente residenciais (E_Pres) e não residenciais (E_Nres) – no conjunto total dos edifícios existentes em cada subsecção (Tabela II-32).

II – 11.1.1. Teste de Normalidade

Para decidir os procedimentos estatísticos a adotar em seguida, primeiramente, é necessário, testar a série de valores para determinar se estes seguem uma distribuição normal (ou não). Com efeito, as vinte variáveis selecionadas foram sujeitas aos testes de normalidade Kolmogorov-Smirnov (K-S) e Shapiro-Wilk (S-W), no *software* IBM SPSS Statistics (Tabela II-33 e Tabela II-34).

Tabela II-33 – Testes de normalidade K-S e S-W para as variáveis selecionadas em Braga

	Testes de Normalidade			
	K-S[a]		**S-W**	
	Valor de S-W	***p*-valor***	**Valor de S-W**	***p*-valor***
LAND	0,048	0,000	0,985	0,000
MYD_N	0,113	0,000	0,956	0,000
MOD_D	0,141	0,000	0,938	0,000
MYD_D	0,074	0,000	0,968	0,000
MOD_N	0,117	0,000	0,928	0,000
NDVI	0,058	0,000	0,973	0,000
NDWI	0,062	0,000	0,980	0,000
Fr	0,071	0,000	0,966	0,000
M_CB	0,311	0,000	0,789	0,000
V_CB	0,227	0,000	0,905	0,000
URB_P	0,104	0,000	0,910	0,000
Alt	0,102	0,000	0,927	0,000
Dec	0,080	0,000	0,927	0,000
Pop	0,280	0,000	0,602	0,000
Edif	0,205	0,000	0,744	0,000
Aloj	0,289	0,000	0,588	0,000
E_Eres	0,304	0,000	0,566	0,000
E_Pres	0,329	0,000	0,508	0,000
E_Nres	0,495	0,000	0,164	0,000
Vias	0,078	0,000	0,932	0,000

[a] Correlação de Significância de Lilliefors; *****Intervalo de confiança de 95%.

Tabela II-34 – Testes de normalidade K-S e S-W para as variáveis selecionadas em Guimarães

	Testes de Normalidade			
	K-S[a]		S-W	
	Valor de K-S	*p*-valor*	Valor de S-W	*p*-valor*
LAND	0,043	0,000	0,932	0,000
MYD_N	0,077	0,000	0,985	0,000
MOD_D	0,099	0,000	0,953	0,000
MYD_D	0,070	0,000	0,986	0,000
MOD_N	0,088	0,000	0,977	0,000
NDVI	0,041	0,000	0,984	0,000
NDWI	0,038	0,000	0,993	0,000
Fr	0,049	0,000	0,981	0,000
M_CB	0,263	0,000	0,822	0,000
V_CB	0,263	0,000	0,889	0,000
URB_P	0,104	0,000	0,919	0,000
Alt	0,112	0,000	0,896	0,000
Dec	0,073	0,000	0,960	0,000
Pop	0,272	0,000	0,578	0,000
Edif	0,239	0,000	0,630	0,000
Aloj	0,285	0,000	0,543	0,000
E_Eres	0,316	0,000	0,522	0,000
E_Pres	0,327	0,000	0,500	0,000
E_Nres	0,490	0,000	0,154	0,000
Vias	0,089	0,000	0,919	0,000

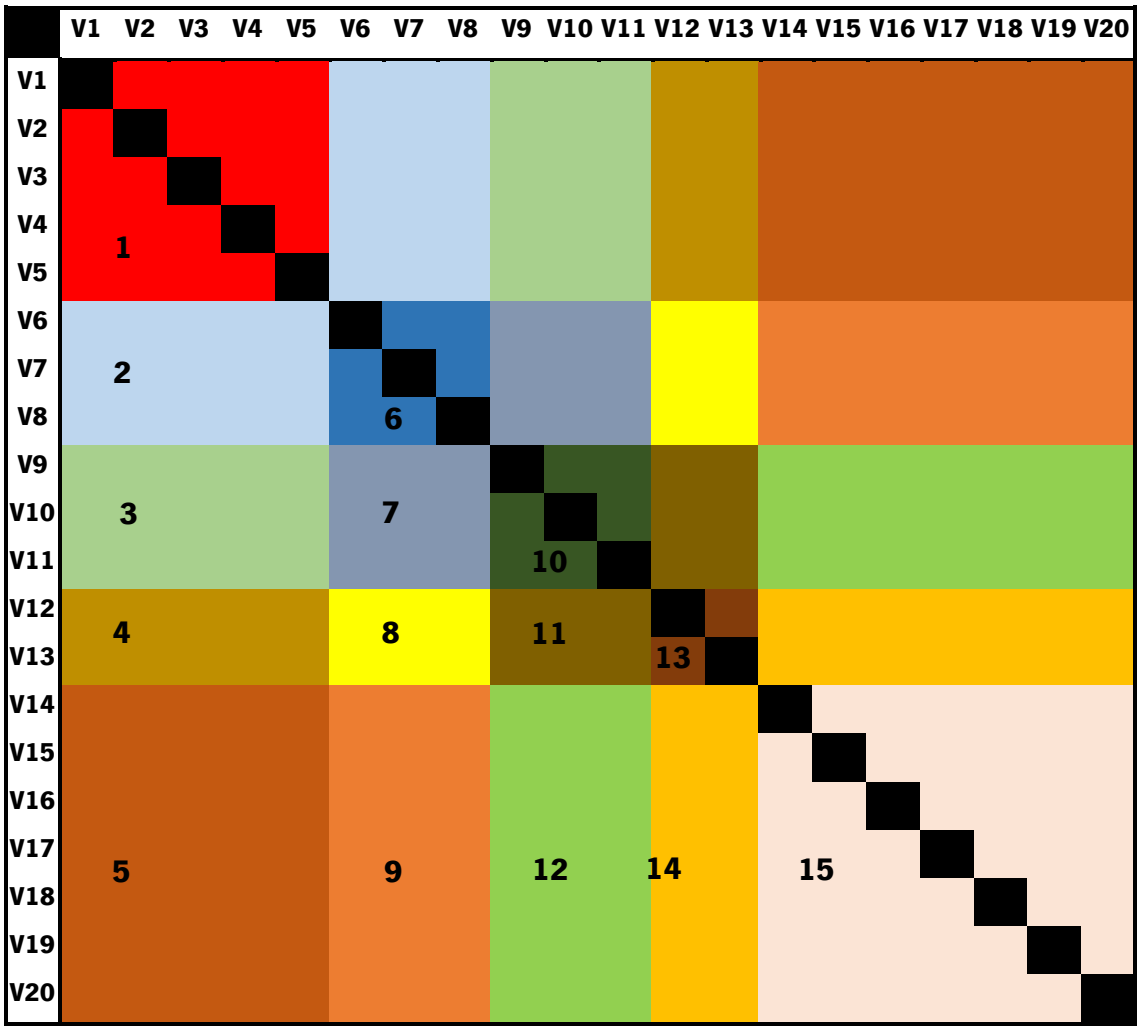
[a] Correlação de Significância de Lilliefors; *****Intervalo de confiança de 95%.

Os resultados demonstram que nenhuma das variáveis selecionadas segue uma distribuição normal (Tabela II-33 e Tabela II-34). Este desvio da normalidade, comum a Braga e a Guimarães, informa que não se podem aplicar testes estatísticos paramétricos, pelo que em alternativa deverão ser utilizados testes não-paramétricos.

II – 11.1.2. Correlação Estatística entre as Variáveis

As vinte variáveis selecionadas foram sujeitas à correlação bivariada de Spearman, uma vez que os dados não seguem uma distribuição normal. A matriz de correlação traduz a relação (e a sua força) entre todas as variáveis – considerando a complexidade inerente à sua leitura (dada a dimensão) propõe-se o esquema de análise sintetizado na Tabela II-35.

Tabela II-35 – Esquema de análise da matriz de correlação



Variáveis selecionadas (para uma descrição mais detalhada consultar Tabela II-31 e Tabela II-32): V1 – LAND; V2 – MYD_N; V3 – MOD_D; V4 – MYD_D; V5 – MOD_N; V6 – NDVI; V7 – NDWI; V8 – Fr; V9 – M_CB; V10 – V_CB; V11 – URB_P; V12 – Alt; V13 – Dec; V14 – Pop; V15 – Edif; V16 – Aloj; –17 – E_Eres; V8 –E_Pres; V19 – E_Nres; V20 – Vias. Descodificação das cores e números: interseção das variáveis; relação entre Ts nos diferentes horários (1); relação de Ts com os índices espectrais (2); relação de Ts com as componentes biofísicas (3); relação de Ts com as características fisiográficas (4); relação de Ts com os aspetos socioeconómicos (5); relação entre índices espectrais (6); relação dos índices espectrais com as componentes biofísicas (7); relação dos índices espectrais com as características fisiográficas (8); relação dos índices espectrais com os aspetos socioeconómicos (9); relação entre componentes biofísicas (10); relação das componentes biofísicas com as variáveis fisiográficas (11); relação das componentes biofísicas com os aspetos socioeconómicos (12); relação entre características fisiográficas (13); relação das características fisiográficas com os aspetos socioeconómicos (14); relação entre aspetos socioeconómicos (15).

II – 11.2. Procura de um Modelo Explicativo Global

A regressão constitui uma técnica estatística que permite examinar ou explorar a relação de uma variável dependente com variáveis independentes específicas, com o intuito de explicar e/ou

prever a sua variação. O método mais conhecido é a *Ordinary Least Squar*es (OLS), que constitui o ponto de partida para a regressão espacial (*e.g.*, *Geographically Weighted Regression*), uma vez que fornece um modelo global das variáveis ou processo que se pretende modelar – sintetizado por via de uma equação matemática. Assim, diferentemente da correlação que testa a força da relação entre duas variáveis, a regressão demonstra o grau em que uma ou mais variáveis promovem uma mudança positiva ou negativa em outra variável (ESRI, 2019a).

No contexto do presente trabalho constituem variáveis dependentes a Ts captada pelo Landsat às 10:30 da manhã e a Ts captada pelo MODIS-Aqua à 01:30, nos municípios de Braga e de Guimarães a 30 de julho de 2010. Estas variáveis foram selecionadas por constituírem um *proxy* do ambiente térmico superficial diurno e noturno, respetivamente. As variáveis independentes, tal como indicado anteriormente, consubstanciam os indicadores espectrais e de composição biofísica, as características fisiográficas e os aspetos socioeconómicos (Tabela II-32). Deste modo, procura-se com base na OLS entender melhor este fenómeno deveras complexo, nomeadamente os efeitos que a apropriação antrópica do território – e, por inerência das políticas municipais de ordenamento do território – têm sobre o ambiente térmico superficial.

II – 11.2.1. *Exploratory Regression*

A construção da regressão constitui um processo interativo, durante o qual se procura encontrar as variáveis independentes que melhor explicam o fenómeno em causa. No decorrer deste processo são testadas diversas hipóteses, segundo as quais as variáveis são adicionadas ou removidas do modelo (ESRI, 2019a). Considerando que este processo se revela particularmente complexo quando existe um grande número variáveis explicativas (como é caso do presente estudo), recorre-se à ferramenta *Exploratory Regression*, inserida no *Modeling Spatial Relationships*, da extensão *Spatial Analyst Tools* do software ArcGIS. Esta ferramenta avalia todas as combinações possíveis das variáveis explicativas selecionadas – numa perspetiva de *data mining* (similar ao *Stepwise Regression*) *–,* com o intuito de encontrar o modelo OLS que melhor explica a variável dependente. Nesta ferramenta apenas 'passam' os modelos que cumprem todos os requisitos da OLS – designadamente o R^2 ajustado, *p*-valor, *variance inflation factor* (VIF), bem como *p*-valor do teste de Jarque-Bera e o *p*-valor da autocorrelação espacial dos resíduos (ESRI, 2019b).

Considerando que as variáveis independentes selecionadas apresentam uma correlação significativa com Ts (*i.e.*, *p*-valor <0,05), optou-se por remover da *Exploratory Regression* somente a fração da vegetação (Fr), que exibe uma correlação perfeita com o NDVI (e, por isso redundante) – permanecendo um conjunto de 14 variáveis explicativas, divididas por quatro categorias, nomeadamente: índices espectrais, componentes biofísicas, características fisiográficas e aspetos socioeconómicos (Figura II-30).



Fonte: Baseado em ESRI (2019b).

Figura II-30 – Ilustração do *Exploratory Regression*

A ferramenta *Exploratory Regression* foi especificamente desenvolvida para examinar um grande número de modelos OLS, no contexto dos critérios definidos pelo utilizador (ESRI, 2019b). Em detalhe, aplicou-se a *Exploratory Regression* em separado para os municípios de Braga e de Guimarães, primeiramente, tendo como variável dependente média de Ts captada pelo Landsat (LAND), e, em seguida, implementaram-se os mesmos procedimentos para a Ts do MODIS-Aqua captada à 01:30 (MYD_N) – mantendo-se constantes as variáveis explicativas. Para o modelo OLS teve-se como referência um número mínimo de duas variáveis e um máximo de cinco – uma vez que se constatou que os modelos com mais variáveis se tornavam redundantes. Os critérios

adotados encontram-se em consonância com os requisitos mínimos exigidos pela OLS (Tabela II-36).

Tabela II-36 – Critérios adotados na *Exploratory Regression*

Parâmetro	Explicação	Limiar adotado
Mínimo R^2 ajustado aceitável	Indica a percentagem de variação da variável dependente que é explicada pelo modelo; oscila entre 0 e 1, em que 0,5 significa que o modelo explica 50% da variação.	0,5
Máximo *p*-valor aceitável	O *p*-valor inserido representa o intervalo de confiança pretendido, sendo de 0,05 para um intervalo de confiança de 95%, ou 0,01 para um intervalo de confiança de 99%.	0,01
Máximo VIF aceitável	O *variance inflation factor* (VIF) reflete a redundância (*i.e.*, a multicolinariedade) das variáveis explicativas; um modelo com VIF superior a 7,5 torna-se instável, por sua vez um valor mais baixo (*e.g.*, 5) indica um modelo menos redundante.	5
Mínimo *p*-valor de teste de Jarque-Bera aceitável	O *p*-valor do diagnóstico de Jarque-Bera indica se os resíduos do modelo se encontram normalmente distribuídos; quando o *p*-valor é significativo (*i.e.*, valor reduzido) os resíduos não seguem uma distribuição normal, indicando que o modelo está enviesado. O valor mínimo aceitável é de 0,1.	0,1
Mínimo *p*-valor da autocorrelação espacial aceitável	Quando todos os critérios acima mencionados são cumpridos o *Exploratory Regression* calcula se os resíduos do modelo se encontram espacialmente clusterizdos, tendo por base o método de *Global Moran´s I;* o um *p*-valor significativo deste teste de diagnóstico decorre da autocorrelação espacial dos resíduos, devido à ausência de alguma variável importante no modelo. O valor mínimo aceitável é de 0,1.	0,1

Fonte: Adaptado de ESRI (2019b).

Após a implementação da *Exploratory Regression* constatou-se que nenhum modelo cumpre todos os requisitos necessários para prosseguir para a OLS (Tabela II-37). O principal problema dos modelos prende-se com os resíduos, que não só não seguem uma distribuição normal – *i.e.*, *p*-valor do teste de Jarque-Bera significativo –, como também se encontram autocorrelacionados espacialmente – *i.e.*, *p*-valor do índice *Global Moran´s* significativo (Tabela II-37). Este enviesamento poderá decorrer, entre outros fatores, da ausência de alguma variável importante na explicação de Ts (ou seja, 'as variáveis selecionadas não contam a história toda'). A única exceção ao mencionado é o modelo de explicação/previsão de Ts captada pelo Landsat em Guimarães – que do conjunto de modelos analisados 1092 (*i.e.*, 31,5%) apresentam uma distribuição normal dos resíduos. Mesmo assim, estes exibem indícios de autocorrelação espacial (Tabela II-37).

Tabela II-37 – Sumário Global da *Exploratory Regression* para Braga e Guimarães

Parâmetro	Limiar adotado	Modelos que Passaram (Nº e %)			
		Landsat (LAND)		MODIS (MYD_N)	
		Braga	Guimarães	Braga	Guimarães
Mínimo R^2 ajustado aceitável	0,5	2927 (84,3%)	2857 (82,3%)	980 (28,2%)	0 (0%)
Máximo *p*-valor aceitável	0,01	1304 (37,6%)	1200 (34,6%)	1503 (43,3%)	1107 (31,9%)
Máximo VIF aceitável	5	2885 (83,1%)	2885 (83,1%)	2885 (83,1%)	2885 (83,09%)
Mínimo *p*-valor de Jarque-Bera aceitável	0,1	0 (0%)	1092 (31,5%)	0 (0%)	0 (0%)
Mínimo *p*-valor da autocorrelação	0,1	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

Outro problema com os modelos analisados prende-se com o facto de que nenhuma combinação das variáveis explicativas selecionadas (num agrupamento máximo de 5) conseguir explicar pelo menos 50% da variação da de Ts durante a madrugada (MYD_N) no município de Guimarães (Tabela II-37). O valor máximo do R^2 ajustado conseguido é de 0,42 – quer isto dizer, explica somente 42% da variação (tendo por base cinco variáveis).

Adicionalmente, o relatório da *Exploratory Regression* fornece um vasto conjunto de informação acerca da relação entre as vaiáveis que importa considerar (mesmo que nenhum dos modelos tenha passados nos critérios da OLS). Um destes aspetos prende-se com a multicolinariedade das variáveis, determinado pelo valor do VIF (Tabela II-38).

Tabela II-38 – Multicolinariedade das variáveis explicativas selecionadas

Variável	Landsat						MODIS-Aqua (01:30)					
	Braga			Guimarães			Braga			Guimarães		
	VIF[1]	Violações	Covariância	VIF	Violações	Covariância	VIF	Violações	Covariância	VIF	Violações	Covariância
Pop	13,02	299	Aloj (99,67), NDVI (3,67), NDWI (3,67)	12,13	299	Aloj (99,67), NDVI (3,67), NDWI (3,67)	13,03	299	Aloj (99,67), NDVI (3,67), NDWI (3,67)	11,73	299	Aloj (99,67), NDVI (3,67), NDWI (3,67)
Edf	1,85	0		2,33	0		1,85	0		2,32	0	
Aloj	13,2	299	Pop (99,67), NDVI (3,67), NDWI (3,67)	13,96	299	Pop (99,67), NDVI (3,67), NDWI (3,67)	13,2	299	Pop (99,67), NDVI (3,67), NDWI (3,67)	13,71	299	Pop (99,67), NDVI (3,67), NDWI (3,67)
Vias	1,47	0		1,4	0		1,47	0		1,4	0	
Dec	1,43	0		1,61	0		1,43	0		1,61	0	
Alt	1,3	0		1,6	0		1,3	0		1,6	0	
NDWI	14,28	299	NDVI (99,67), Aloj (3,67), Pop (3,67), URB_P (1,67)	16,06	299	NDVI (99,67), Aloj (3,67), Pop (3,67)	14	299	NDVI (99,67), Aloj (3,67), Pop (3,67), URB_P (1,00)	15,12	299	NDVI (99,67), Aloj (3,67), Pop (3,67)
NDVI	26,55	299	NDWI (99,67), Aloj (3,67), Pop (3,67), URB_P (1,67)	27,49	299	NDWI (99,67), Aloj (3,67), Pop (3,67)	25,28	299	NDWI (99,67), Aloj (3,67), Pop (3,67), URB_P (1,00)	24,49	299	NDWI (99,67), Aloj (3,67), Pop (3,67)
E_Eres	2,13	0		1,75	0		2,12	0		1,76	0	
P_Res	2,15	0		1,89	0		2,15	0		1,89	0	
N_Res	1,12	0		1,1	0		1,12	0		1,1	0	
V_CB	2,41	0		2,19	0		2,41	0		2,19	0	
M_CB	3,79	0		3,5	0		3,75	0		3,41	0	
URB_P	8,23	5	NDVI (1,67), NDWI (1,67)	6,63	0		8,02	3	NDVI (1,00), NDWI (1,00)	6,37	0	

A análise conjunta das quatro variáveis dependentes (*i.e.*, LAND em Braga, LAND em Guimarães, MYD_N em Braga e MYD_N em Guimarães) demonstra que os dois municípios detêm um comportamento similar no se refere à multicolinariedade das variáveis – a única exceção é a percentagem de tecido urbano, que em Guimarães (ao contrário do que sucede em Braga) não é redundante com os índices espectrais de vegetação e humidade (Tabela II-38). Esta situação decorre do facto de em Braga a percentagem de vegetação arbórea e/ou densa ser mais elevada do que em Guimarães, ao passo que o solo nu assume maior representatividade em Guimarães. Assim sendo, em Braga o que não é urbano é em grande parte vegetação (relação inversa), enquanto em Guimarães pode ser solo nu (relação menos linear). Comum a todos os modelos, sobressai a multicolinariedade da variável densidade populacional (Pop) com a dos alojamentos (Aloj), bem como destas com o NDVI e o com NDWI. Em igual sentido, os índices espectrais são redundantes com as variáveis anteriores, bem como entre si – e, ainda com a percentagem de tecido urbano no caso do município de Braga (Tabela II-38).

Outro aspeto que importa reter é a significância das variáveis explicativas – que indica o tipo de relação com a variável dependente, assim como a sua consistência. Deste modo, os melhores previsores podem ser inferidos com base na percentagem de significância, bem como na sua estabilidade – *i.e.*, primordialmente negativa ou positiva (ESRI, 2019b). A este respeito importa notar que, as variáveis independentes selecionadas assumem uma significância distintas na explicação da variação de Ts, tratando-se do Landsat (LAND) ou do MODIS (MYD_N), bem como do município em consideração (Tabela II-39). Na variação diurna de Ts (LAND) constata-se que, tanto em Braga como em Guimarães, as variáveis que mais contribuem para a sua explicação são as vias (Vias), o declive (Dec), o NDVI, o NDWI, e a componente biofísica maioritária (M_CB) – que no caso da primeira e da última detêm um contributo positivo, sendo negativo nas restantes. Em Guimarães acresce ainda a variável altitude (Alt) – como a correlação de Spearman dava a entender. No caso de Braga pode-se ainda considerar os edifícios principalmente residenciais (E_Pres), visto que esta variável foi significativa em mais de 99% dos modelos testados (ao passo que, em Guimarães foi apenas em cerca de 50% dos modelos). As restantes variáveis, não só são menos significativas (oscilando entre os 25% e os 80%), como a relação com a variável dependente é instável (Tabela II-39).

Tabela II-39 – Significância das variáveis explicativas

Landsat

Braga

Variável*	Significância (%)	Negativa (%)	Positiva (%)
Vias	100	0	100
Dec	100	100	0
NDWI	100	100	0
NDVI	100	100	0
M_CB	100	0	100
E_Pres	99,27	0	100
Edif	79,41	47,12	52,88
URB_P	79,23	8,78	91,22
V_CB	76,21	93,32	6,68
Aloj	59,93	19,67	80,33
E_Eres	55,9	63,31	36,69
Alt	54,71	52,97	47,03
Pop	54,07	42,36	57,64
E_Nres	27,54	36,87	63,13

Guimarães

Variável*	Significância (%)	Negativa (%)	Positiva (%)
Vias	100	0	100
Dec	100	100	0
Alt	100	100	0
NDWI	100	100	0
NDVI	100	100	0
M_CB	100	0	100
URB_P	84,26	16,74	83,26
Pop	72,92	41,45	58,55
Edif	66,33	32,66	67,34
Aloj	65,14	45,2	54,8
V_CB	61,21	82,34	17,66
E_Eres	58,01	33,85	66,15
E_Pres	56,54	12,08	87,92
E_Nres	24,98	57,18	42,82

MODIS-Aqua (01:30)

Braga

Variável*	Significância (%)	Negativa (%)	Positiva (%)
Aloj	100	0	100
Vias	100	0	100
Alt	100	0	100
URB_P	100	0	100
Dec	99,63	27,36	72,64
Pop	95,15	27,17	72,83
E_Eres	94,97	98,9	1,1
NDVI	90,94	100	0
P_Res	90,85	2,2	97,8
NDWI	79,32	59,1	40,9
V_CB	72,37	95,43	4,57
M_CB	71,82	44,74	55,26
Edif	43,37	26,53	73,47
E_Nres	30,74	13,63	86,37

Guimarães

Variável*	Significância (%)	Negativa (%)	Positiva (%)
Alt	100	0	100
E_Pres	99,09	0	100
Aloj	95,88	0	100
E_Eres	89,84	95,52	4,48
Vias	88,84	0,46	99,54
E_Nres	88,56	0	100
Pop	78,04	32,85	67,15
M_CB	75,3	99,18	0,82
Dec	72,64	0	100
V_CB	67,25	88,47	11,53
NDVI	55,81	12,08	87,92
NDWI	50,41	7,59	92,41
URB_P	48,31	68,71	31,29
Edif	39,8	25,07	74,93

*A ordem das variáveis decorre da proporção de vezes que foi estatisticamente significativa.

Na variação noturna de Ts (MYD_N) denota-se que apenas a altitude (Alt) é significativa em todos os modelos testados para Braga e Guimarães. Efetivamente, em Guimarães esta constitui a única variável que detém uma significância de 100% – ainda assim, os edifícios principalmente residenciais (E_Pres) e os alojamentos (Aloj) detêm uma significância superior a 95%, sendo a relação sempre positiva (Tabela II-39). Em Braga, além da altitude (Alt), também os alojamentos (Aloj), as vias (Vias) e a percentagem de tecido urbano (URB_P) exibem uma significância de 100%. Os declives (Dec) e a densidade populacional (Pop) apesar de deterem uma elevada de

significância – *i.e.*, superior a 95% - não detêm uma relação estável com Ts (Tabela II-39), pelo que a sua capacidade de previsão será menos eficaz.

II – 11.2.2. *Ordinary Least Squares*

Face ao exposto, e mesmo após a exploração dos indicadores presentes no relatório da *Exploratory Regression,* não foi possível determinar qual (ou quais) as variáveis potencialmente em falta para a explicação de Ts nos municípios de Braga e de Guimarães. Por conseguinte, e, ainda que nenhum dos modelos cumpra os requisitos mínimos da *Ordinary Least Squares* (OLS), optou-se por derivar o melhor modelo alcançado para cada variável dependente, nominalmente: LAND em Braga, LAND em Guimarães, MYD_N em Braga e MYD_N em Guimarães. O objetivo primordial desta tarefa prende-se com as ilações passíveis de serem retiradas com representação espacial dos resíduos – que à partida se sabe que não seguem uma distribuição normal e que estão espacialmente agrupados.

A escolha do modelo a submeter à OLS para cada variável dependente foi efetuada com base no menor valor do *Akaike's Information Criterion* (corrigido) – AICc. Este índice, que não corresponde a uma medida absoluta da qualidade de ajuste (Zhao *et al.,* 2018), permite comparar diferentes modelos, desde que as variáveis explicativas não se alterem. Assim sendo, as variáveis independentes selecionadas para a explicação de cada variável dependente são: (i) no caso do Landsat (LAND) em Braga, o declive (Dec), o NDWI, os edifícios principalmente residenciais (E_Pres), a componente biofísica maioritária (M_CB) e a percentagem de tecido urbano (URB_P); (ii) no caso do Landsat (LAND) em Guimarães, a densidade das vias (Vias), o declive (Dec), o NDWI e os edifícios exclusivamente residenciais (E_Eres); (iii) no caso do MODIS (MYD_N) em Braga, a densidade de alojamentos (Aloj), o declive (Dec), a altitude (Alt), os edifícios exclusivamente residenciais (E_Eres) e a percentagem de tecido urbano (URB_P); e, (iv) no cado do MODIS (MYD_N) em Guimarães, a densidade de alojamentos (Aloj), a densidade de vias (Vias), a altitude (Alt), os edifícios principalmente residenciais (E_Pres) e a componente biofísica maioritária (M_CB). Os coeficientes associados a cada variável explicativa encontram-se presentes na Tabela II-40, estes traduzem a força e o tipo de relação com a variável dependente. O coeficiente é uma estimação da quantidade de mudança verificada na variável dependente perante uma unidade de mudança na variável explicativa (ESRI, 2019c).

Tabela II-40 – Sumário dos resultados da OLS

Landsat em Braga

Variável	Coeficiente[1]	Erro-Padrão	Teste-*t*	Probabilidade	Robustez_SE	Robustez_t	Robustez_Pr	VIF
Interceção	39,42	0,21	188,76	0,000000*	0,711837	55,38	0,000000*	–
Dec	-0,05	0,01	-8,38	0,000000*	0,007251	-6,33	0,000000*	1,14
NDWI	-16,91	0,46	-37,08	0,000000*	1,233387	-13,71	0,000000*	3,25
E_Pres	0,01	0,00	5,30	0,000000*	0,001389	5,73	0,000000*	1,13
M_CB	0,57	0,05	11,85	0,000000*	0,171449	3,35	0,000844*	3,42
URB_P	0,02	0,00	12,97	0,000000*	0,002245	9,30	0,000000*	3,57

Landsat em Guimarães

Variável	Coeficiente[1]	Erro-Padrão	Teste -*t*	Probabilidade	Robustez_SE	Robustez_t	Robustez_Pr	VIF
Interceção	44,23	0,14	319,56	0,000000*	0,147701	299,45	0,000000*	–
Vias	0,000032	0,00	8,88	0,000000*	0,000004	8,41	0,000000*	1,28
Dec	-0,08	0,01	-15,64	0,000000*	0,005185	-15,74	0,000000*	1,06
NDWI	-25,81	0,32	-79,79	0,000000*	0,324477	-79,54	0,000000*	1,33
E_Eres	-0,00249	0,00	-2,08	0,037187*	0,001227	-2,03	0,042176*	1,01

MODIS-Aqua (01:30) em Braga

Variável	Coeficiente[1]	Erro-Padrão	Teste -*t*	Probabilidade	Robustez_SE	Robustez_t	Robustez_Pr	VIF
Interceção	16,66	0,07	255,31	0,000000*	0,064489	258,42	0,000000*	–
Aloj	0,00005	0,00	11,63	0,000000*	0,000005	10,14	0,000000*	1,50
Dec	-0,03	0,00	-11,19	0,000000*	0,003059	-11,03	0,000000*	1,42
Alt	0,01	0,00	49,07	0,000000*	0,000163	57,25	0,000000*	1,28
E_Eres	-0,00177	0,00	-3,37	0,000766*	0,000586	-3,02	0,002549*	1,07
URB_P	0,01	0,00	19,32	0,000000*	0,000523	19,68	0,000000*	1,62

MODIS-Aqua (01:30) em Guimarães

Variável	Coeficiente[1]	Erro-Padrão	Teste -*t*	Probabilidade	Robustez_SE	Robustez_t	Robustez_Pr	VIF
Interceção	16,92	0,08	217,38	0,000000*	0,080642	209,86	0,000000*	–
Aloj	0,00002	0,00	1,98	0,047262*	0,000007	2,04	0,041674*	1,40
Vias	0,00001	0,00	4,48	0,00001*	0,000002	4,59	0,000007*	1,33
Alt	0,01	0,00	41,91	0,000000*	0,000168	46,83	0,000000*	1,04
E_Pres	0,01	0,00	6,38	0,000000*	0,001092	5,90	0,000000*	1,22
M_CB	-0,05	0,02	-2,88	0,003988	0,015995	-2,88	0,003981*	1,33

[1]. O coeficiente devolvido encontra-se na mesma unidade da variável explicativa. O * indica que a variável é estatisticamente significativa (*p*-valor <0,05).

Os diagnósticos da OLS associado a cada modelo confirmam as asserções retiradas com a *Exploratory Regression* (*c.f.,* Tabela II-37 e Tabela II-41). Do ponto de vista da performance – e, tendo como referência o valor do R^2 ajustado – constata-se que o modelo com maior poder de explicação é o do Landsat em Braga (82%), embora em Guimarães o valor seja muito próximo

(80%). No caso do MODIS, o poder de explicação é consideravelmente mais baixo, particularmente no caso de Guimarães, dado que não atinge os 50% (cifra-se nos 42%). Estas diferenças podem advir de fatores de ordem e natureza diversa, como o grau de resolução espacial associado a cada satélite, e/ou os mecanismos subjacentes à variação de Ts em cada horário, que se encontram claramente mais bem estudados durante o dia, do que de noite (Zhou *et al.,* 2019).

Tabela II-41 – Diagnóstico da OLS

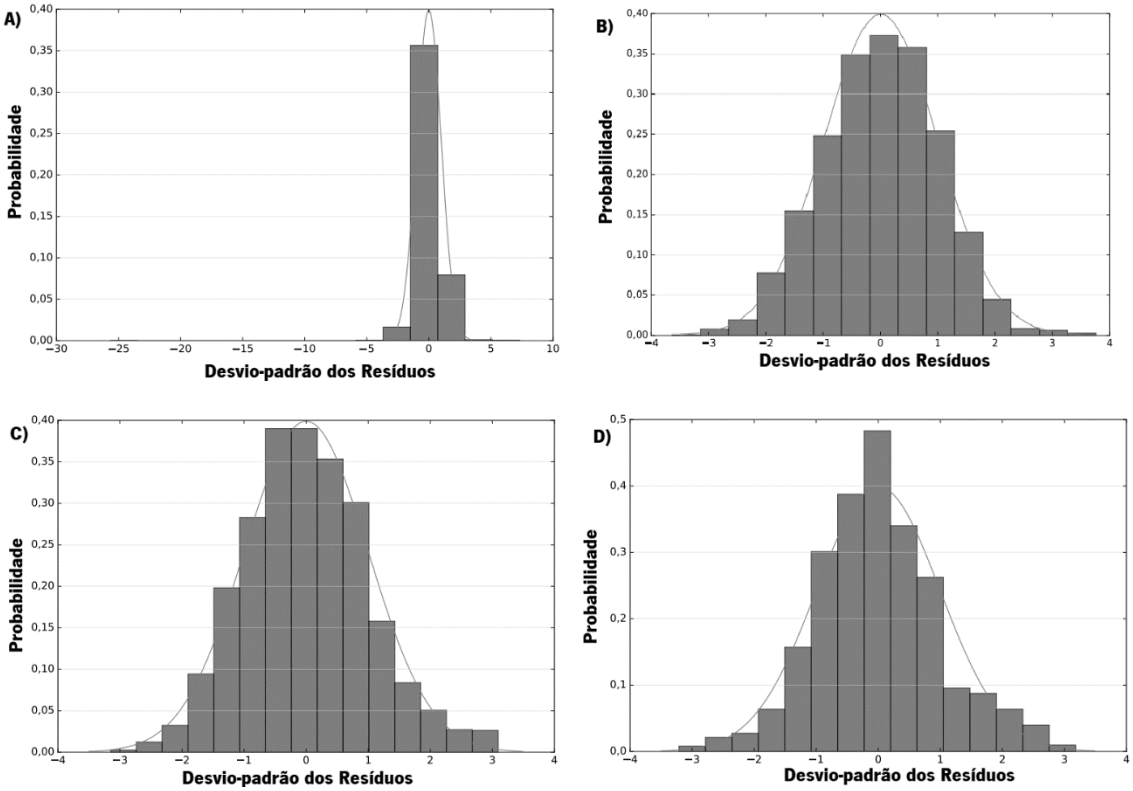
	Landsat		**MODIS**	
	Braga	**Guimarães**	**Braga**	**Guimarães**
R^2	0,82	0,80	0,59	0,42
R^2 Ajustado	0,82	0,80	0,59	0,417
AICc	10182,06	9534,69	6229	5897,18
Teste-F	2465,37	2603,56	803,79	381,32
Probabilidade_F	0,000000*	0,000000*	0,000000*	0,000000*
Teste de Wald	18079,98	10503,68	5309,86	2409,46
Probabilidade_Wald	0,000000*	0,000000*	0,000000*	0,000000*
Teste de Koenker-Bassett	66,7	56,061	81,09	55,86
Probabilidade_ Koenker-Bassett	0,000000*	0,000000*	0,000000*	0,000000*
Teste Jarque-Bera	2951612,2	2,32	31,59	42,21
Probabilidade_Jarque-Bera	0,000000*	0,313622	0,000000*	0,000000*

O * indica que o valor de *p* é estatisticamente significativo (*p* <0,05).

O teste de Koenker-Bassett quando é estatisticamente significativo (*p*-valor <0,05), como sucede em todos os modelos apresentados (Tabela II-41), indica que as relações não são consistentes ao longo da área de análise – *i.e.*, problema da não estacionariedade –, ou que as relações variam em função da magnitude da temperatura de superfície – *i.e.*, problema da heteroscedasticidade (ESRI, 2019c). Por conseguinte, deve-se apenas atender às probabilidades robustas (*vide* Tabela II-40) para determinar a significância do coeficiente associados a cada variável explicativa e ao Teste de Wald para determinar a significância global do modelo. Atente-se que, o contexto de urbanização difusa dos municípios de Braga e de Guimarães– que promove uma acentuada mescla nas componentes biofísicas – pode contribuir para esta situação (e/ou justificar em parte a sua ocorrência). De mais a mais, os efeitos da heterogeneidade da paisagem em Ts são pouco conhecidos, como alertam Hu e Xu (2019).

Por sua vez, o teste de Jarque-Bera, quando estatisticamente significativo (*i.e.*, *p*-valor <0,05), indica que as previsões do modelo se encontram enviesadas – pois os resíduos não seguem uma distribuição normal. No caso dos modelos em análise, constata-se que somente os resíduos do

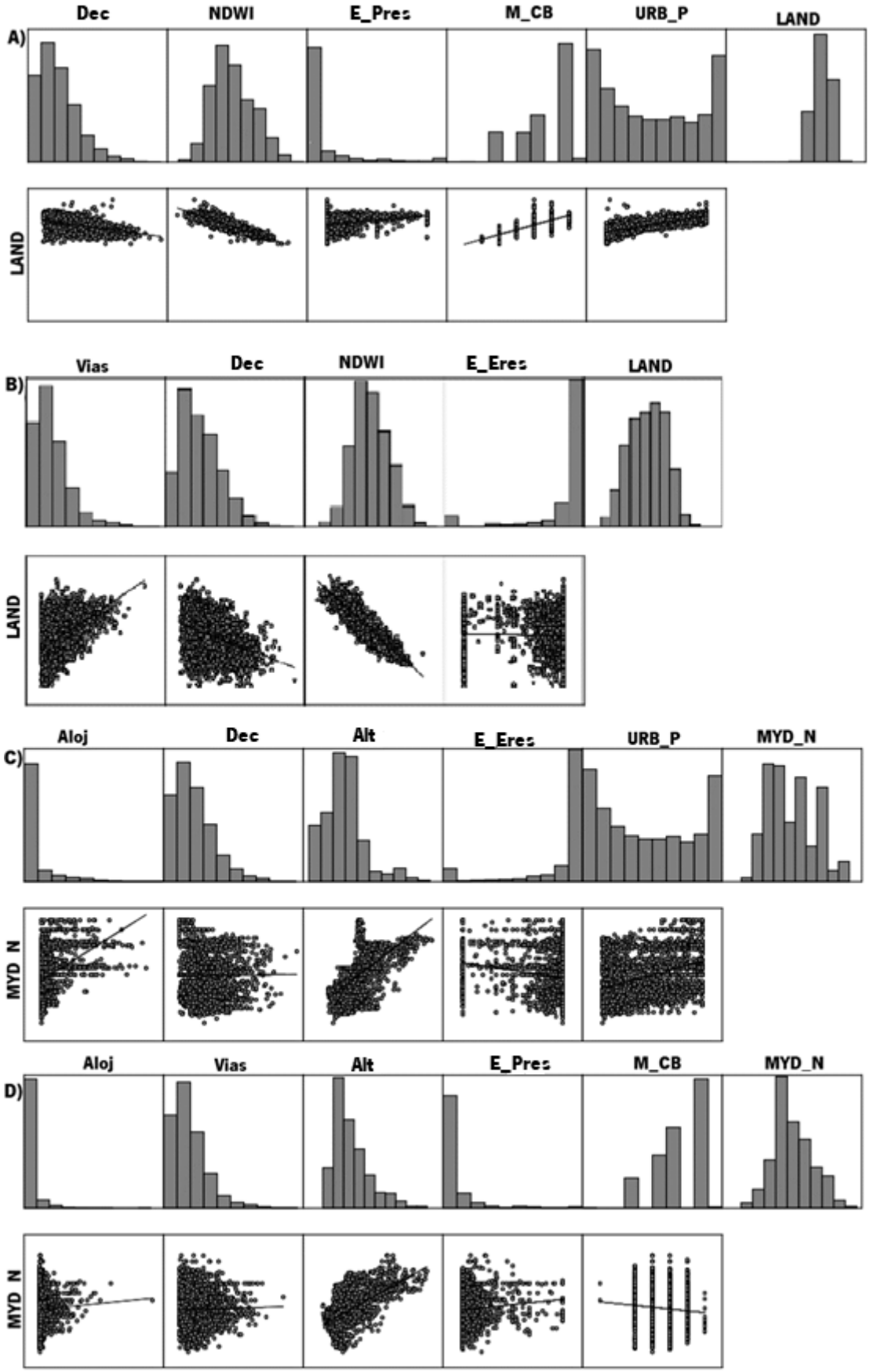
modelo explicativo da variação da temperatura de superfície do Landsat em Guimarães é que apresenta uma distribuição normal (Tabela II-41 e Figura II-31).



A) Landsat em Braga; B – Landsat em Guimarães; C – MODIS (MYD_N) em Braga; D – MODIS (MYD_N) em Guimarães.

Figura II-31 – Histograma dos resíduos padronizados

Face aos resultados obtidos com a aplicação da OLS, o modelo pode-se encontrar enviesado, o que limita a sua utilidade na compreensão das dinâmicas de Ts, e muito particularmente na sua capacidade de previsão dos valores desta variável. Esta situação pode advir diversos fatores, nomeadamente a ausência de estacionariedade do processo ou da heteroscedasticidade do modelo (como anteriormente mencionado), ou a presença de valores extremos, que influenciam as previsões (ESRI, 2019c). Para o enviesamento do modelo pode contribuir de igual modo ausência de uma relação linear das variáveis explicativas com a dependente, como parece suceder em alguns dos parâmetros selecionados. Nos modelos testados a ausência de linearidade é mais notória no caso do MODIS, por comparação com o Landsat, e nos aspetos socioeconómicos, por contraponto com os índices espectrais (Figura II-32).



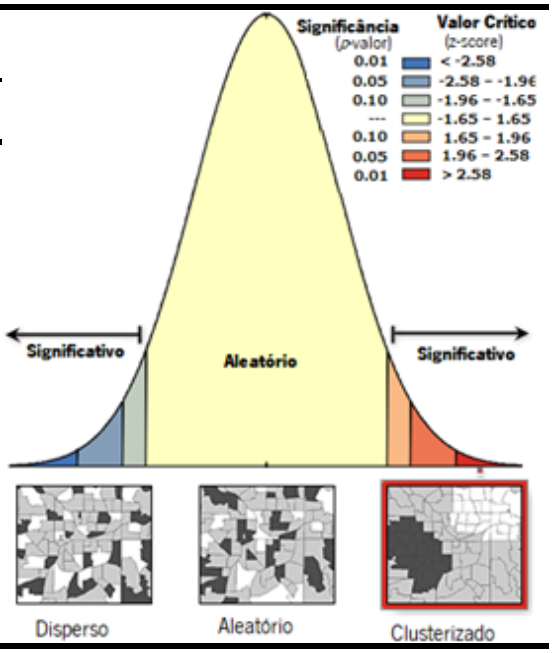
A) Landsat em Braga; B – Landsat em Guimarães; C – MODIS (MYD_N) em Braga; D – MODIS (MYD_N) em Guimarães.

Figura II-32 – Distribuição e relação das variáveis selecionadas em cada modelo com Ts

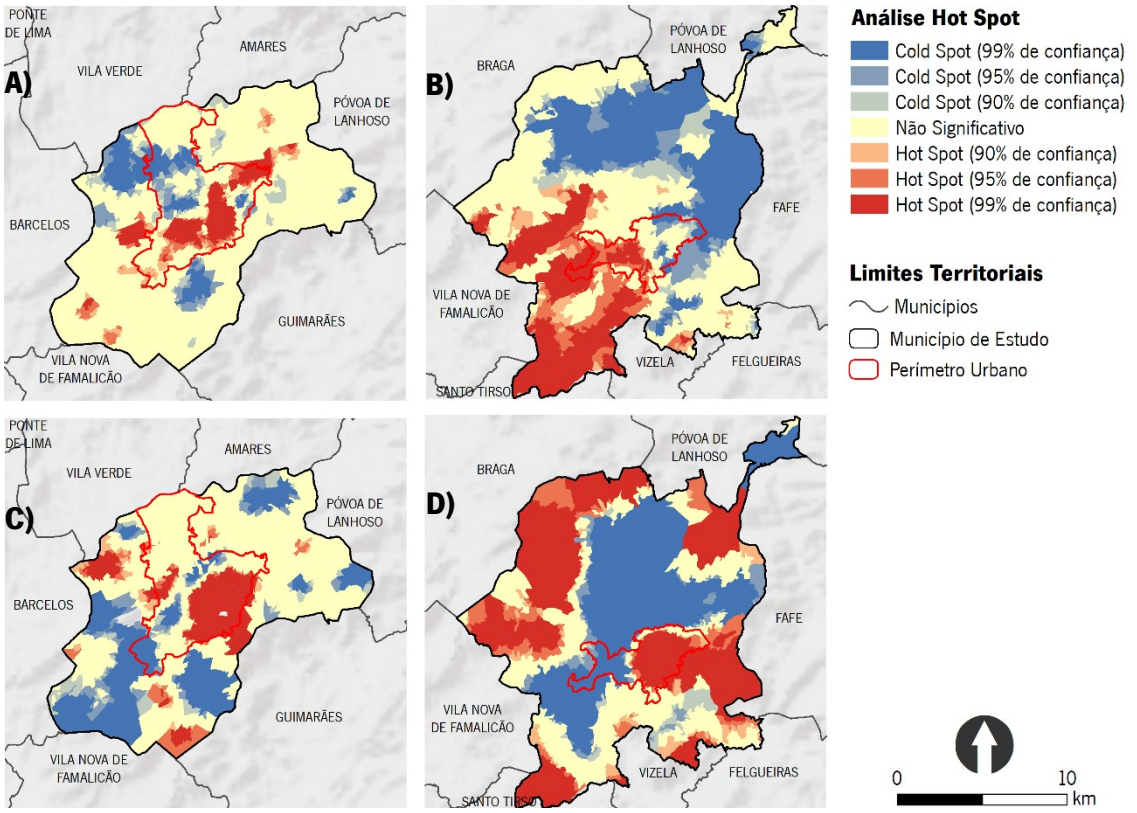
Relativamente aos resíduos importa ainda avaliar se estes exibem (ou não) indícios de autocorrelação espacial. Para tal, recorre-se ao índice Global Moran's I, disponibilizado na ferramenta *Spatial Autocorrelation* (Moran's I) do ArcGIS (na extensão *Analyzing Patterns*). Os resultados deste teste indicam que os resíduos dos quatro modelos não apresentam uma distribuição espacial aleatória, pois todos evidenciam sinais de clusterização (Tabela II-42).

Tabela II-42 – Resultados da autocorrelação espacial dos resíduos dos modelos selecionados

Parâmetro	Landsat		MODIS	
	Braga	**Guimarães**	**Braga**	**Guimarães**
Índice de Moran´s	0,235	0,465	0,694	0,780
z-score	40,596	79,150	116,022	132,949
***p*-valor**	0,000	0,000	0,000	0,000



Dados os indícios de clusterização espacial dos resíduos do modelo da OLS, recorre-se à *Hot Spot Analysis* (mais especificamente à ferramenta *Optimized Hot Spot Analysis,* igualmente disponibilizada no ArcGIS, na opção *Mapping Clusters*) para evidenciar de modo mais amplo os padrões dos resíduos (Figura II-33). A autocorrelação espacial dos resíduos aponta para a ausência de uma variável importante para na explicação de Ts diurna e noturna nos municípios de Braga e de Guimarães. Todavia, reitera-se uma vez mais que, mesmo após todo o escrutínio efetuado e consulta da mais diversa bibliografia, não foi possível determinar qual ou quais as possíveis variáveis em falta no modelo.



A) Landsat em Braga; B – Landsat em Guimarães; C – MODIS (MYD_N) em Braga; D – MODIS (MYD_N) em Guimarães.

Figura II-33 – Análise *Hot Spot* dos resíduos dos modelos

Os resultados obtidos com a OLS demonstram que a procura de um modelo global (*i.e.*, à escala municipal) que explique a variação de Ts em Braga e em Guimarães não foi bem-sucedido. Com efeito, sobressai a necessidade de avançar para a construção de um modelo explicativo local, tendo por base técnicas estatísticas de regressão local.

II – 11.3. Necessidade de Construção de um Modelo Explicativo Local

A análise anterior evidencia de modo claro que não é possível contruir um modelo global que explique a variação de Ts, tanto a captada pelo Landsat a meio da manhã (LAND), como a captada pelo MODIS durante a madrugada (MYD_N) – ou pelo menos não com as variáveis explicativas selecionadas. Para esta impossibilidade concorrem, entre outros aspetos, os problemas de não estacionariedade e de heteroscedasticidade, como indicia o teste de Koenker-Basset estatisticamente significativo (*vide* Tabela II-41). De acordo com a ESRI (2019c), "*regression*

models with statistically significant nonstationarity are often good candidates for Geographically Weighted Regression (GWR) analysis" (p.6). Neste sentido, o passo seguinte passa pela construção de uma modelo de regressão espacial local, que permite que as relações variem ao longo da área de estudo.

II – 11.3.1. Execução da *Geographically Weighted Regression*

A *Geographically Weighted Regression* (GWR), diferentemente da OLS, constitui um método de regressão local, que possibilita que a relação entre as variáveis varie ao longo da área de estudo. Do ponto de vista prático é construída uma regressão – *i.e.*, um ponto de interseção e um coeficiente – para cada subseção (ESRI, 2019c). Na GWR, o contributo de cada observação para a análise de um local em específico (no caso uma subsecção estatística) é função da distância geográfica, sendo que amostras mais distantes têm menos peso do que as localizadas nas proximidades (Fotheringham *et al.*, 2002). Este pressuposto encontra fundamento teórico na primeira Lei da Geografia, definida por Tobler (1970).

Os modelos derivados na GWR correspondem aos mesmos testados na OLS (*vide* Tabela II-40), que, por sua vez, tinham sido selecionados com base nos diagnósticos fornecidos pela *Exploratory Regression,* que permitiram determinar o modelo com menor valor de AICc para cada uma das quatro variáveis dependentes (*i.e.*, LAND em Braga, LAND em Guimarães, MYD_N em Braga e MYD_N em Guimarães).

De igual modo à OLS, também a GWR foi elaborada no ArcGIS, adotando-se no *Kernel Type* a opção Fixa' e no *Bandwith Method* o método AICc, que permite que a ferramenta encontre o número ótimo de vizinhos utilizados no cálculo dos coeficientes locais (ESRI, 2019c).

II – 11.3.2. Avaliação do Modelo Executado na GWR

A avaliação dos quatro modelos executados – *i.e.*, LAND em Braga, LAND em Guimarães, MYD_N em Braga e MYD_N em Guimarães – foi efetuada com base em diversos indicadores disponibilizados pelo *software* ArcGIS no relatório de execução. Primeiramente, importa avaliar a *performance* global do modelo GWR, por comparação com a OLS, com base nos indicadores: R^2, R^2 ajustado e o valor do AICc. Analisa-se ainda os resíduos do modelo, para determinar se os erros

de previsão associados a cada subsecção exibem indícios de autocorrelação espacial. Para tal, aplica-se aos valores padronizados dos resíduos o teste de Moran's (disponibilizado igualmente no ArcGIS, conforme o supramencionado). Adicionalmente, para evidenciar os padrões dos resíduos de modo mais amplo recorre-se à análise *Hot Spot Analysis,* repetindo os procedimentos descritos anteriormente.

Por sua vez, a performance local do modelo é avaliada com base no R^2 local, no erro-padrão e nos resíduos. A multicolinariedade local das variáveis é estimada com base no indicador *Condition Number,* que informa que valores superiores a 30 originam modelos instáveis – e, por consequência, não confiáveis. O número de vizinhos considerado ótimo em cada caso traduz o grau de suavização do modelo da GWR.

II – 11.3.3. Análise dos Coeficientes da GWR

Por fim, a representação espacial dos coeficientes locais da GWR ilustra a heterogeneidade espacial existente entre Ts e os fatores explicativos. A ligação dos resultados da GWR com a imagem aérea do Google Earth, permite um entendimento mais profundo do efeito da morfologia urbana no comportamento do ambiente térmico superficial dos municípios de Braga e de Guimarães.



III.

PROCESSO DE URBANIZAÇÃO NA AUBG ENTRE 1984 E 2016

"Evolução da paisagem portuguesa: inércias naturais e históricas; evolução espontânea e desordenada, inoperância do planeamento; aumento dos desajustamentos – tudo se faz «indo a acertar», isto é, «errando»".

| Orlando Ribeiro, 1995, p.257 |

Parte III – PROCESSO DE URBANIZAÇÃO NA AUBG ENTRE 1984 E 2016

"Cities are the important, unsolved issue of our society, the cross point of all contradictions of the modern world. They are areas, where the interdependence among different components are maximized, where each part is linked to the whole through a systematic organization. In cities change is faster and diversity achieves its pinnacle, and, therefore, the pluralistic composition of our society is highlighted".
|Girard, 1997, p.82|

CONTEXTUALIZAÇÃO

Como evoluem as áreas urbanas? Esta questão – advinda em específico Geografia Urbana (por via do trabalho de Herold *et al.*, 2005) – assume cada vez mais destaque nos estudos urbanos (independentemente da afiliação científica), decorrente da multiplicação e longevidade dos Programas de Observação da Terra, que fornecem informação a diversas escalas espaciais, temporais e espectrais. Por conseguinte, a estrutura territorial dos municípios de Braga e de Guimarães inscrita na imagem de cores naturais, repercute-se nos índices espectrais (*e.g.*, *Normalized Difference Vegetation Index*, *Urban Index*), nas componentes biofísicas (*i.e.*, vegetação, superfícies impermeáveis e solo nu) e, até mesmo, na temperatura de superfície (Ts). As imagens sequenciais captadas pelos satélites permitem traçar a evolução urbana (tendo como referência a sua estrutura física), bem como avaliar as condições ambientais (*e.g.*, ambiente térmico), sob a forma de um retrato instantâneo (*i.e.*, o padrão; visão estática) ou de um filme (*i.e.*, o processo; perspetiva dinâmica). Ainda que, o maior contributo da Deteção Remota resida precisamente na determinação das consequências ecológicas da urbanização – entre as quais se destaca o seu efeito climático, neste estudo inferido a partir do cruzamento das componentes biofísicas com a Ts. Sublinhar ainda que, a investigação empírica doravante encetada consubstancia a aceção de Orlando Ribeiro (1994) que – o ponto de partida do geógrafo é sempre a observação (no caso da cartografia), e que a descrição (dos padrões) deve preceder as aproximações complexas e a subtil ponderação de relações que poderão abrir caminho à interpretação (do efeito climático da urbanização difusa).

III – 1. A Dinâmica das Componentes Biofísicas

"The urban landscape is a mosaic of biotic and abiotic patches (or land cover types) within a matrix of human induced settlements, technical infrastructure and other human-caused landscape modifications. Spatial heterogeneity within an urban landscape has both natural and human sources".
|Stefanov e Netzband, 2010, p.223|

A expansão física das áreas urbanas sobre os terrenos permeáveis – com maior ou menor cobertura de vegetação – constitui a mais drástica, disseminada e irreversível forma de transformação da superfície terrestre (Weng, 2001; Song *et al.*, 2016). O conhecimento destas mudanças é fundamental para o desenvolvimento de políticas urbanas que promovam a sustentabilidade do território, nomeadamente num período em que a mudança do uso do solo ocorre a uma velocidade mais acelerada do que em qualquer outro período da história (Seto *et al.*, 2010). Nesta aceção, traça-se a dinâmica territorial da Área Urbana de Braga e de Guimarães (AUBG), decorrente do processo de urbanização, com base na distribuição das componentes biofísicas entre 1984 e 2016 – *i.e.*, industrial/pedreiras, superfícies impermeáveis antrópicas, solo nu, vegetação arbórea e/ou densa, vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa, e água –, extraídas das imagens Landsat TM (1984, 2003, 2007 e 2010), ETM+ (1999) e OLI (2016). Deste modo, considera-se o território como um sistema (mais precisamente o ecossistema urbano), onde todos as componentes concorrem para a caracterização da paisagem, independentemente de estarem ou não impermeabilizadas – abordagem particularmente necessária no contexto de urbanização difusa em análise.

A análise do padrão espacial das componentes biofísicas em cada data, bem como a quantificação dos ganhos e perdas (quanto mudou?), da natureza (de quê para quê?) e da localização das mudanças (onde?), traduzem o desenvolvimento territorial da AUBG, resultante da apropriação antrópica do território nas décadas em estudo. Para identificar a (des)sincronização das dinâmicas territoriais nos municípios de Braga e de Guimarães são consideradas três escalas espaciais: (i) a AUBG no seu conjunto (visão sinótica); (ii) o nível do municipal (análise comparativa de Braga e de Guimarães); e, (iii) a escala da freguesia (especificidades intramunicipais)

III – 1.1. Visão Sinótica da AUBG

A visão sinótica (do termo Grego *synoptikos*) traduz uma visão integrada do território em estudo. Deste modo, é possível enquadrar as dinâmicas das componentes biofísicas no conjunto de processos e fatores que são comuns aos dois municípios – a denominada Área Urbana de Braga e de Guimarães (AUBG) –, nomeadamente aqueles que decorrem da legislação nacional (e comunitária) ou da economia. Na AUBG entre 1984 e 2016 a distribuição espacial das componentes biofísicas revela-se profundamente assimétrica, sendo que as dinâmicas de alteração também não foram uniformes espacial ou temporalmente. Neste sentido, procura-se identificar as múltiplas e concorrentes mudanças verificadas neste território, de modo a desenvolver um entendimento mais completo sobre as tendências urbanas e as suas implicações ambientais, particularmente no que concerne ao ambiente térmico.

III – 1.1.1. Heterogeneidade do Ecossistema Urbano

O número de manchas das componentes biofísicas presentes na AUBG entre 1984 e 2016 manteve-se, mais ou menos, estável, na ordem das 40 000 a 50 000, com exceção dos anos de 2003 (que regista apenas 31465 manchas) e de 2016 (onde se observam 59134 manchas). Como seria de esperar, verifica-se a relação inversa entre o número e a dimensão média das manchas (Figura III-1).

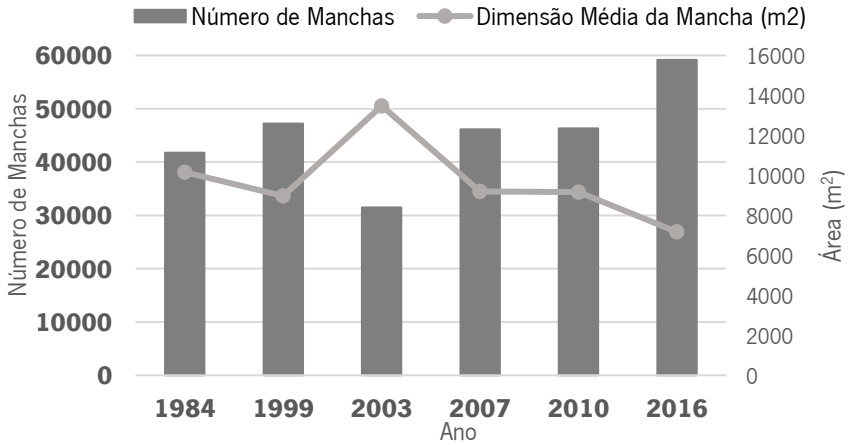
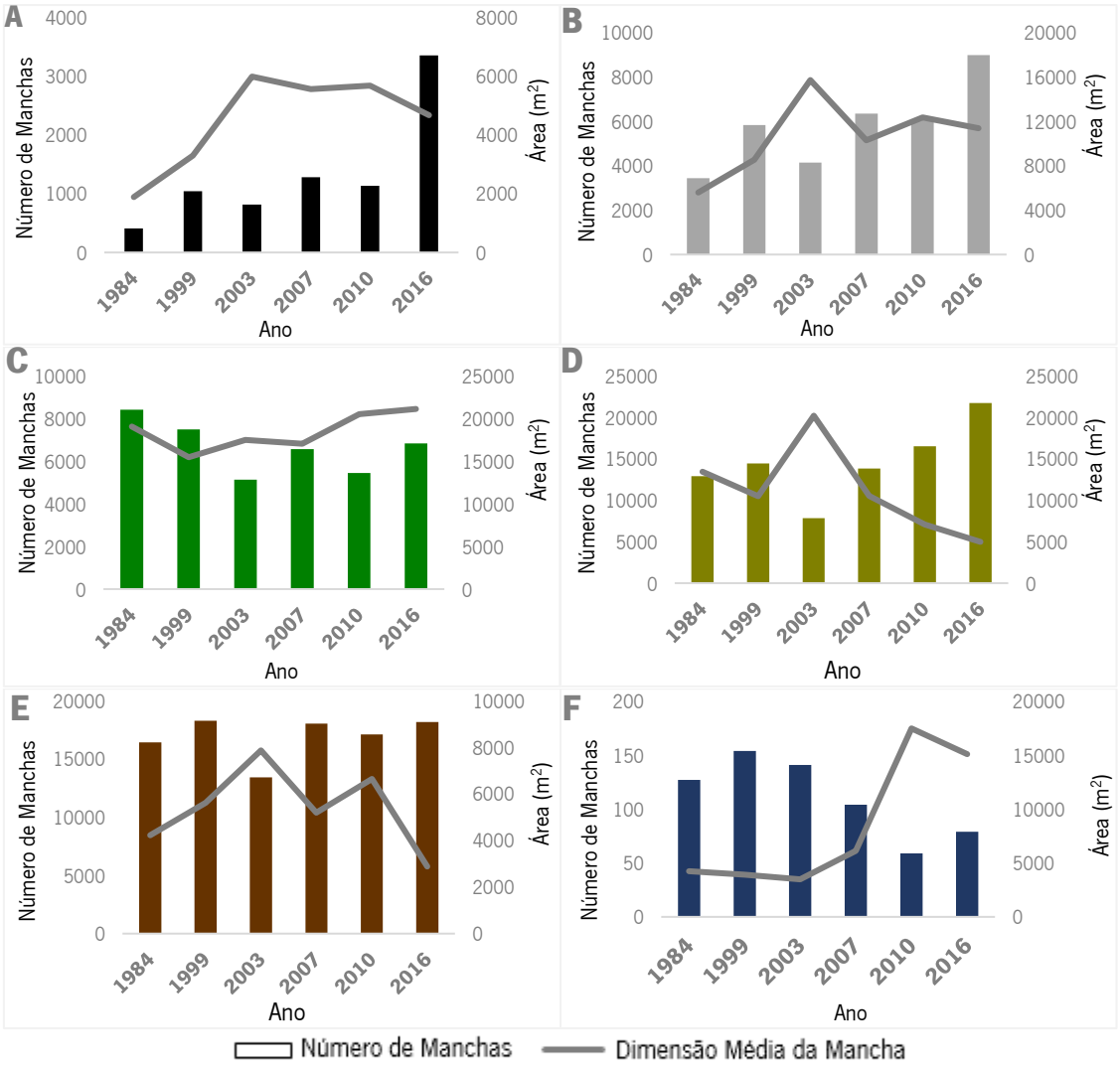


Figura III-1 – Número e dimensão média das manchas na AUBG entre 1984 e 2016

Quando consideradas as componentes biofísicas de modo individual, denota-se a desigual repartição do número de manchas (Figura III-2).



A – Industrial/Pedreiras; B – Superfícies Impermeáveis Antrópicas; C – Vegetação Arbórea ou Densa; D – Vegetação Herbácea/Arbustiva ou Esparsa; E – Solo Nu; F – Água.

Figura III-2 – Número e dimensão média das manchas das componentes biofísicas na AUBG entre 1984 e 2016

As componentes biofísicas industrial/pedreiras e superfícies impermeáveis antrópicas exibem um comportamento oscilatório – *i.e.*, aumento seguido de diminuição – no que se refere ao número de manchas. Contudo, relativamente à dimensão média, esta aumenta até 2003, data em que volta a diminuir, sendo que reduzida dimensão média verificada em 2016 se deverá ao aparecimento de um grande número de novas manchas urbanas (Figura III-2). A vegetação arbórea e/ou densa exibe oscilações menores quando comparada com as restantes componentes biofísicas no que se refere ao número e dimensão média das manchas (Figura III-2), denotando a estabilidade das áreas florestais no decorrer dos 32 anos estudados. Na vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa e o solo nu, verifica-se o maior número de manchas e a dimensão média mais elevada; porém, estes valores oscilam significativamente entre as seis datas. Efetivamente, estas duas componentes biofísicas representam a multiplicidade de parcelas

agrícolas, que na AUBG vão desde os campos agrícolas de maiores dimensões nas veigas, a leiras criadas pelos socalcos, hortas, jardins, pomares e vinhas. Esta manta de retalhos desempenha um papel importante nas mutações interanuais (e sazonais) que se verificam no território. Por fim, a água é a componente biofísica que apresenta o menor número de manchas.

O incremento do número de machas na AUBG, particularmente evidente em 2016, consubstanciou-se num aumento da diversidade da paisagem – como comprova o *Shannon Diversity Index*, que passa 1,19 em 1984 para 1,45 em 2016 (Figura III-3). Assim, contrariamente ao referido por Jenerette e Pottere (2010), o aumento da urbanização na AUBG não resultou numa homogeneização da estrutura da paisagem. Por outro lado, estes resultados encontram-se em consonância com o referido por Li *et al.* (2013), que também relatam um aumento da complexidade do território decorrente do processo de urbanização. Não obstante, estes autores alertam que o maior ou menor grau de homogeneização do território depende em grande medida do contexto, da escala e das métricas.

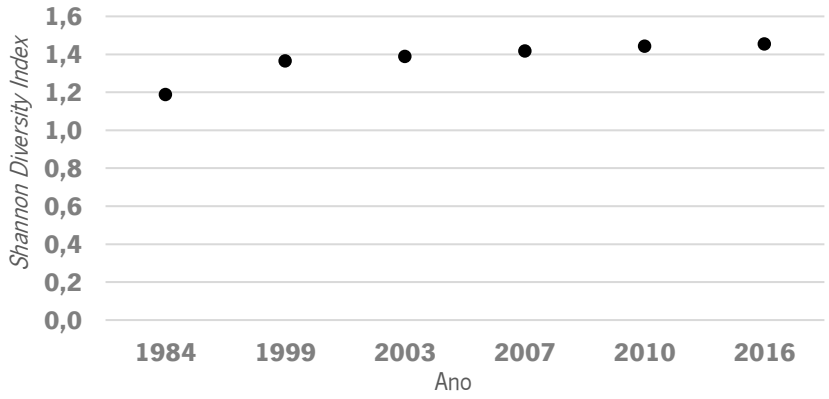


Figura III-3 - *Shannon Diversity Index* na AUBG entre 1984 e 2016

III – 1.1.2. Padrão Espaciotemporal

A análise da estrutura e padrão espacial da paisagem são conceitos fundamentais em Geografia, que tanto se ocupa do estudo das permanências como das mudanças. Neste sentido, a partir da análise do padrão espacial das componentes biofísicas em cada data considerada (*vide* Figura III-5, Figura III-8, Figura III-11, Figura III-12, Figura III-14, Figura III-16 e Tabela III-1), bem como da quantificação da magnitude dos ganhos e perdas (Figura III-4), procura-se desvendar a evolução territorial da AUBG, sempre com um enfoque particular nos impactes decorrentes da apropriação antrópica do território.

Tabela III-1 – Distribuição das componentes biofísicas na AUBG entre 1984 e 2016

Componente Biofísica	1984		1999		2003		2007		2010		2016	
	m²	%	m²	%	m²	%	m²	%	m²	%	m²	%
Industrial/Pedreiras	878 600	0,21	3 766 750	0,89	4 881 925	1,15	7 119 725	1,68	6 460 425	1,52	15 660 775	3,69
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	19 209 200	4,53	49 360 425	11,64	65 070 925	15,35	65 158 775	15,37	74 419 700	17,55	102 011 100	24,06
Vegetação Arbórea ou Densa	159 765 425	37,68	115 942 625	27,34	89 841 275	21,19	111 945 325	26,40	111 915 250	26,39	144 678 675	34,12
Vegetação Herbácea/Arbustiva ou Esparsa	171 582 025	40,46	149 602 550	35,28	158 378 075	37,35	145 532 550	34,32	116 972 650	27,59	108 333 500	25,55
Solo Nu	71 870 025	16,95	104 562 650	24,66	105 184 925	24,81	93 452 675	22,04	113 304 250	26,72	52 236 600	12,32
Água	735 225	0,17	805 500	0,19	683 375	0,16	831 450	0,20	968 225	0,23	1 119 850	0,26

Área Total – 424040 500 m² = 100%

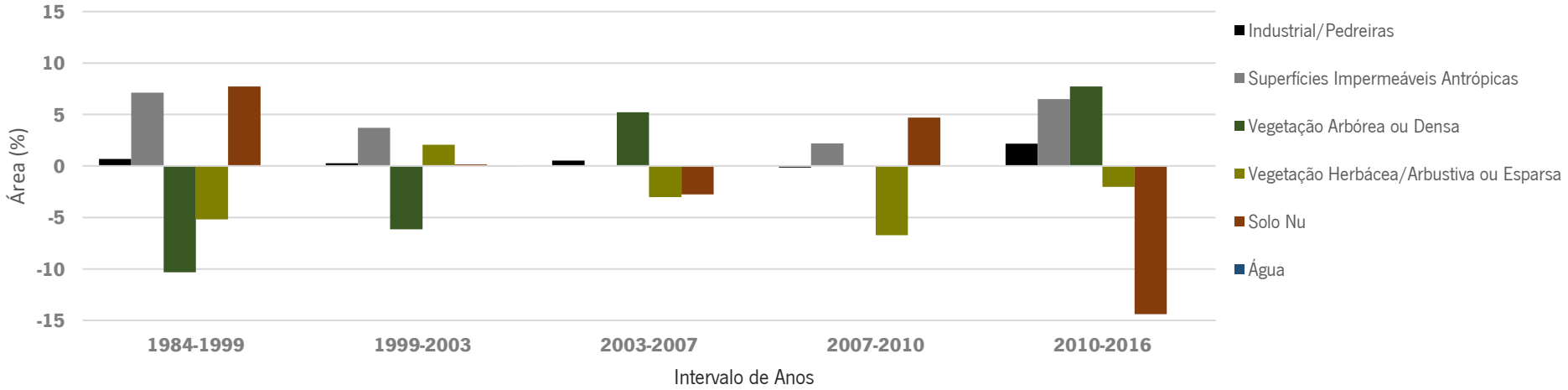


Figura III-4 – Mudanças nas componentes biofísicas (%) na AUBG entre 1984 e2016

1984

Em 1984 verifica-se uma reduzida percentagem de área coberta pelas áreas industriais/pedreiras (menos de 1%; Tabela III-1). Todavia, esta situação não se deve à ausência de unidades industriais na AUBG (Figura III-5), até porque, como refere Ribeiro (1994), um traço insistentemente repetido nesta paisagem são os grandes edifícios fabris que se levantam no meio de culturas ou bosques. Mas sim ao material utilizado na cobertura destes edifícios – o fibrocimento (Figura III-6), que apresenta um baixo albedo, pelo que não é captado nesta classe (tal como explicitado anteriormente).

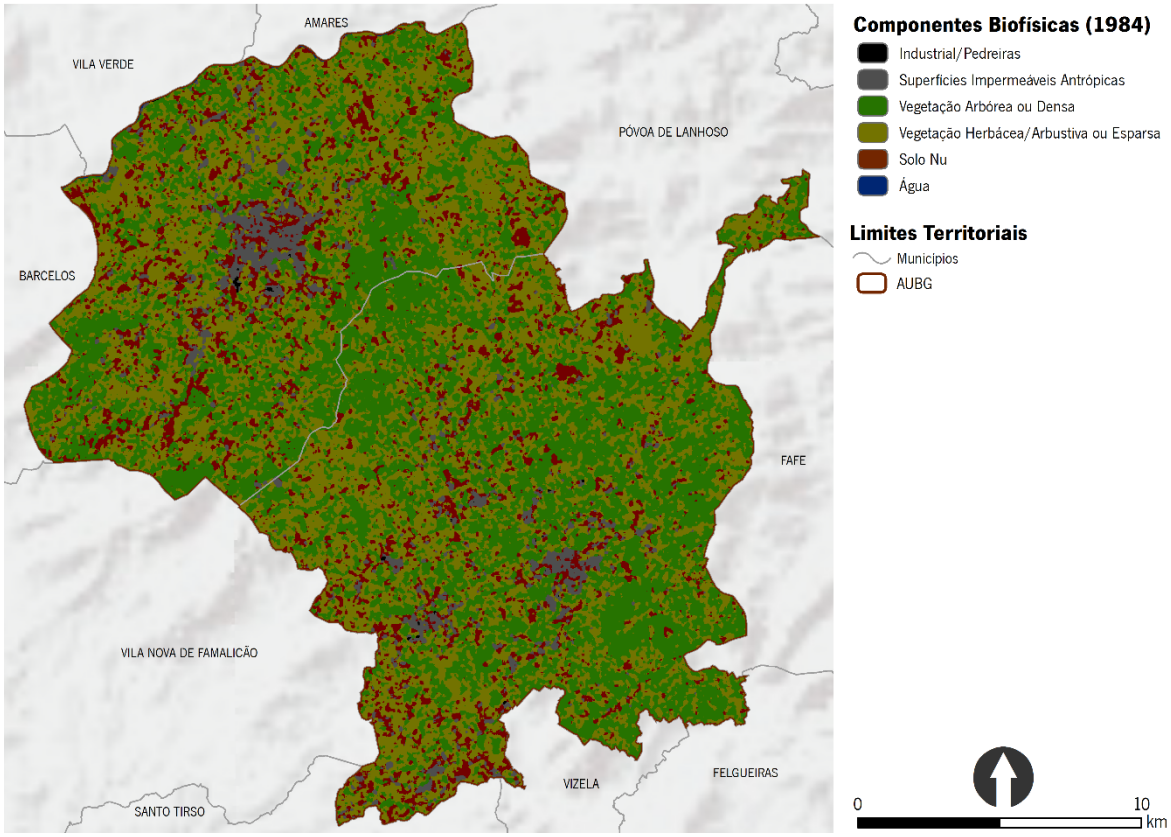


Figura III-5 – Distribuição das componentes biofísicas na AUBG em 1984

As superfícies impermeáveis antrópicas, que incluem os edifícios industriais não abarcados na classe anterior, encontram-se confinadas em grande medida aos centros históricos de Braga e de Guimarães (Figura III-5), ocupando apenas 5% do território (Tabela III-1). De referir que os centros históricos são aqui entendidos na perspetiva apresentada por Salinas e de Maia (2016) – *i.e.*, corresponde a uma "área específica da cidade onde se dá a interseção da sua antiga área central e dos marcos históricos que integram a respetiva paisagem" (p.74).

Desde já sobressaem as dissimilaridades urbanas entre Braga e Guimarães, pois no primeiro caso é notória a estrutura radial que emerge a partir do núcleo central, como se de uma estrutura tentacular se tratasse, que liga entre si vários núcleos; ao passo que em Guimarães surgem diversos aglomerados, descosidos do centro urbano principal, entre os quais se destacam Pevidém (tradicionalmente um pólo industrial), as Caldas das Taipas e Lordelo/Moreira de Cónegos. Atente-se que em meados da década de 80, do século XX, as duas cidades se encontram claramente separadas por uma vasta área não impermeabilizada e densamente vegetada (Figura III-5). Assim, como refere Saraiva (1987), "quase de repente a ocupação humana desaparece. Volta a haver pinhais, fetos e tojo. É uma espécie de zona-tampão entre o feudo dos arcebispos e a cidade dos burgueses" (p.71).



Fonte: Google Earth (2016).

Figura III-6 – Cobertura em fibrocimento de uma unidade industrial

O território da AUBG não impermeabilizado (95%) reparte-se de modo desigual pelas componentes biofísicas permeáveis, verificando-se um notório predomínio das áreas com vegetação herbácea/arbustiva ou esparsa (40%), seguindo-se a vegetação arbórea ou densa (38%), e, por fim, o solo nu (17%; Tabela III-1). Este cenário ilustra bem as palavras de Orlando Ribeiro (1998), quando o autor alude à verdura dominante deste território (Figura III-5), permitida pelos elevados quantitativos de precipitação (*vide* Figura A.9). A vegetação arbórea e/ou densa localiza-se primordialmente nos interflúvios mais elevados, seguindo-se a vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa (que nesta época do ano se pode encontrar seca) que efetua a transição para os campos agrícolas (o solo nu), que nos meses de junho/julho não apresentam qualquer cobertura vegetal (ou então está é muito incipiente), decorrente do facto de os solos terem sido lavrados para a

sementeira do milho (Figura III-7). O milho é semeado tarde para que o seu ciclo vegetativo se desenvolva rapidamente nos meses quentes e mais secos, no entanto, depende da rega contínua, possibilitada pela densa rede de drenagem (natural e artificial). Assim, durante o verão o prado transforma-se em campo (Ribeiro, 1998).



Figura III-7 – Sementeira do milho (Veiga de Creixomil, Guimarães)

Vale ressalvar que, a presença de áreas com o solo exposto na área limítrofe da cidade de Braga e de Guimarães (Figura III-5) tanto se poderá à presença de campos agrícolas, como à remoção da vegetação para a implementação de estruturas urbanas, nomeadamente os loteamentos e/ou estaleiros de obras (Ridd, 1995).

1999

Em 1999, quando comparado com 1984, são percetíveis os ganhos de áreas industriais/pedreiras (cerca de 1% do território; Tabela III-1), particularmente no município de Braga (Figura III-8). No que concerne à sua distribuição espacial: em Braga estas áreas localizam-se maioritariamente no entorno do centro urbano; em Guimarães surgem mais afastadas do núcleo principal, mais precisamente junto às vilas de Pevidém e São João de Ponte (Figura III-8), comprovando que a indústria não é, necessariamente, uma atividade da cidade, como a visão tradicionalista da Revolução Industrial faz parecer. Efetivamente, a necessidade de grandes áreas industriais, associada aos elevados custos dos terrenos, promoveu a deslocalização dos edifícios fabris para

o exterior dos centros urbanos – encontrando-se nos dias de hoje concentradas, em grande medida, nos parques industriais delimitados nos PDM (e promovidos por estes).

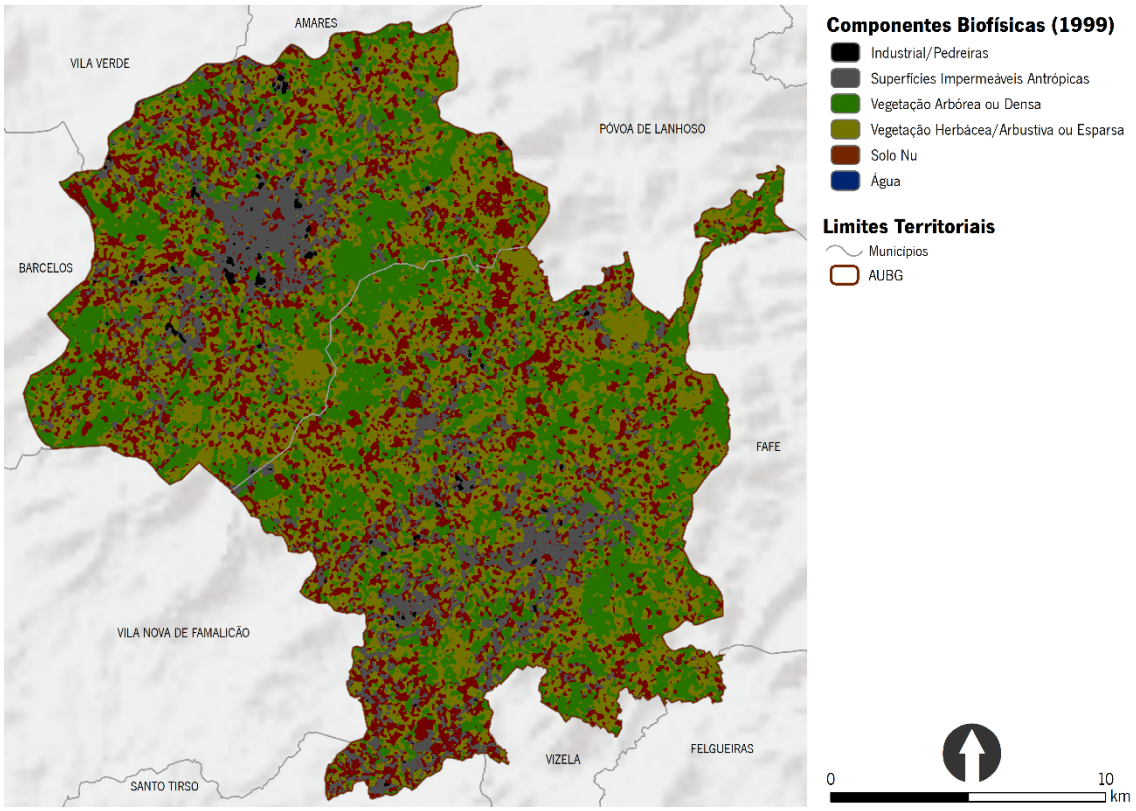
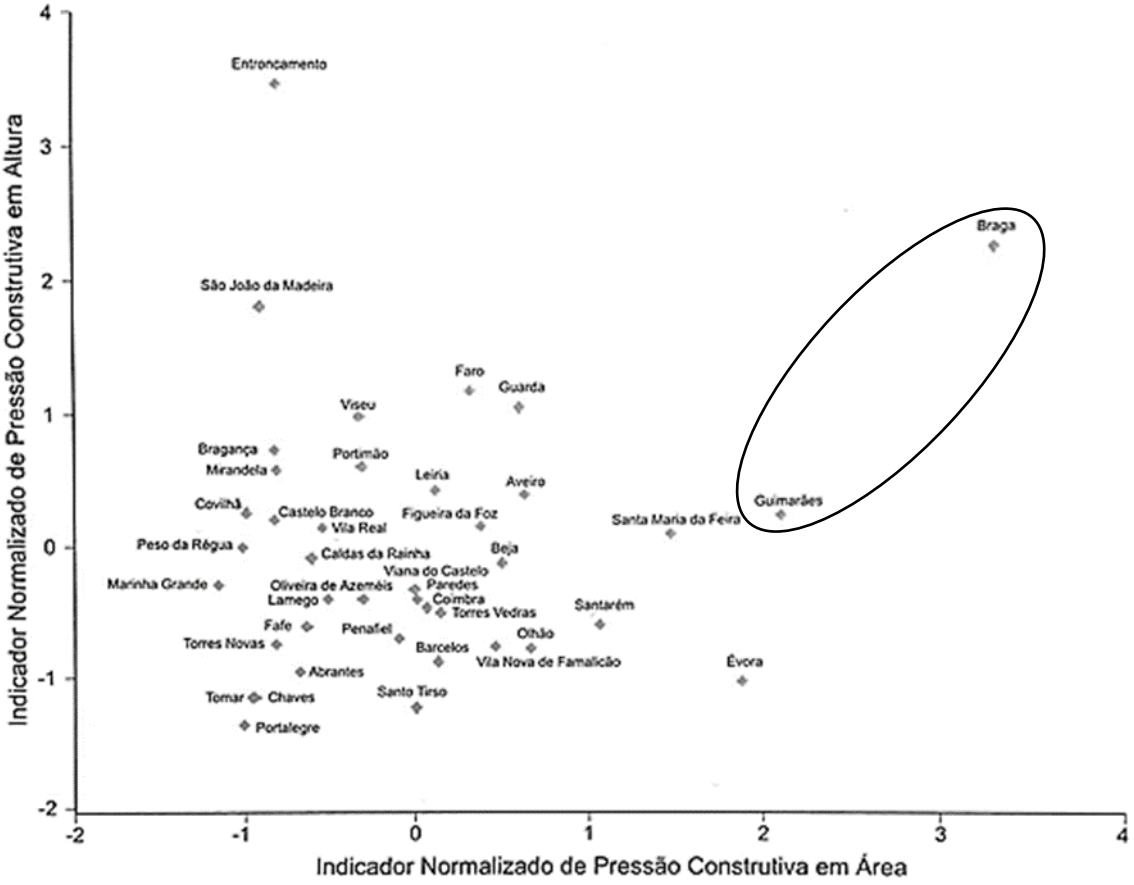


Figura III-8 – Distribuição das componentes biofísicas na AUBG em 1999

Decorridos 15 anos, o núcleo genético da cidade de Braga e de Guimarães emergem claramente na paisagem da AUBG (Figura III-8), fruto do crescimento urbano contíguo ao tecido preexistente. A superfície urbanizada assemelha-se a uma estrutura tentacular que liga entre si vários núcleos, porém fora do contorno mais ou menos contínuo, caso se trate de Braga ou de Guimarães, respetivamente, sobressaem diversas metáteses. Neste sentido, se em 1984 as superfícies impermeáveis antrópicas correspondiam apenas a 5% do território em 1999 este valor passa para 12%, o que representa ganhos de 7%, o mais significativo de toda série em análise (Tabela III-1 e Figura III-4). De acordo com o evidenciado pelo INE (2000), entre 1994-1998 Braga e Guimarães constituem as cidades de média dimensão onde o indicador normalizado de pressão construtiva em área atinge os valores mais elevados (Figura III-9). Em Braga, à densidade elevada de fogos que os Censos de 1991 ilustravam, soma-se a acentuada taxa de crescimento no número de fogos verificada entre 1994 e 1998 – que se consubstancia, então, nesta elevada pressão construtiva (INE, 2000). Neste município sobressai igualmente a construção em altura (Figura III-9), sendo a

altura média dos novos edifícios de 3,3 pavimentos, enquanto que em Guimarães este valor, consideravelmente inferior, é de apenas 2,4 pavimentos.



Fonte: INE (2000).

Figura III-9 – Pressão construtiva potencial entre 1994 e 1998 nas cidades portuguesas de média dimensão

O surto de urbanização verificado no decorrer da década de 80 e 90, do século XX, na generalidade do território português decorre do aumento do poder de compra das famílias (Cavaco, 2015) e da facilidade no acesso ao crédito bancário – menos juros e mais bonificações – concedido em simultâneo a construtores e a compradores (Domingues e Travasso, 2015a), que estimulou a aquisição de habitação própria. Por conseguinte, passa-se de uma situação de défice para excesso de habitação (INE, 2013; Cavaco, 2015).

As componentes biofísicas permeáveis (87% do território; Tabela III-1) apresentam uma distribuição espacial similar à verificada em 1984 (*c.f.,* Figura III-5 e Figura III.11). Todavia, é notório o ganho de área com solo exposto (Figura III-10), em detrimento da diminuição dos terrenos ocupados com vegetação, quer a de estrato arbóreo quer a de estrato herbáceo/arbustivo (Figura

III-4). Estas variações podem-se dever às condições meteorológicas, que condicionam – *i.e.*, antecipam ou retardam – as plantações/colheitas agrícolas.



Figura III-10 – Terreno agrícola lavrado (Veiga de Creixomil, Guimarães)

2003

Em 2003 as áreas industriais/pedreiras não apresentam diferenças visíveis em relação a 1999 (Figura III-4 e Figura III-11), pelo menos nesta escala de análise. Contudo, nas superfícies impermeáveis antrópicas constatam-se importantes mudanças – atendendo ao curto espaço de tempo, que separa esta imagem da anterior (*i.e.*, apenas 4 anos) – passando de 12% para 15% (Tabela III-1). Estes ganhos decorrem em grande medida da realização do Campeonato Europeu de Futebol (Euro) em 2004 em Portugal, do qual Braga e Guimarães constituíram cidades acolhedoras. Todavia, os dois municípios optaram por soluções distintas no que se refere aos estádios de futebol: por um lado, Braga preferiu a construção de um novo estádio na periferia da cidade (na freguesia de Dume), aproveitando a obra para requalificar uma antiga pedreira; Guimarães, por sua vez, optou por renovar o estádio já existente, inserido na malha urbana da cidade.

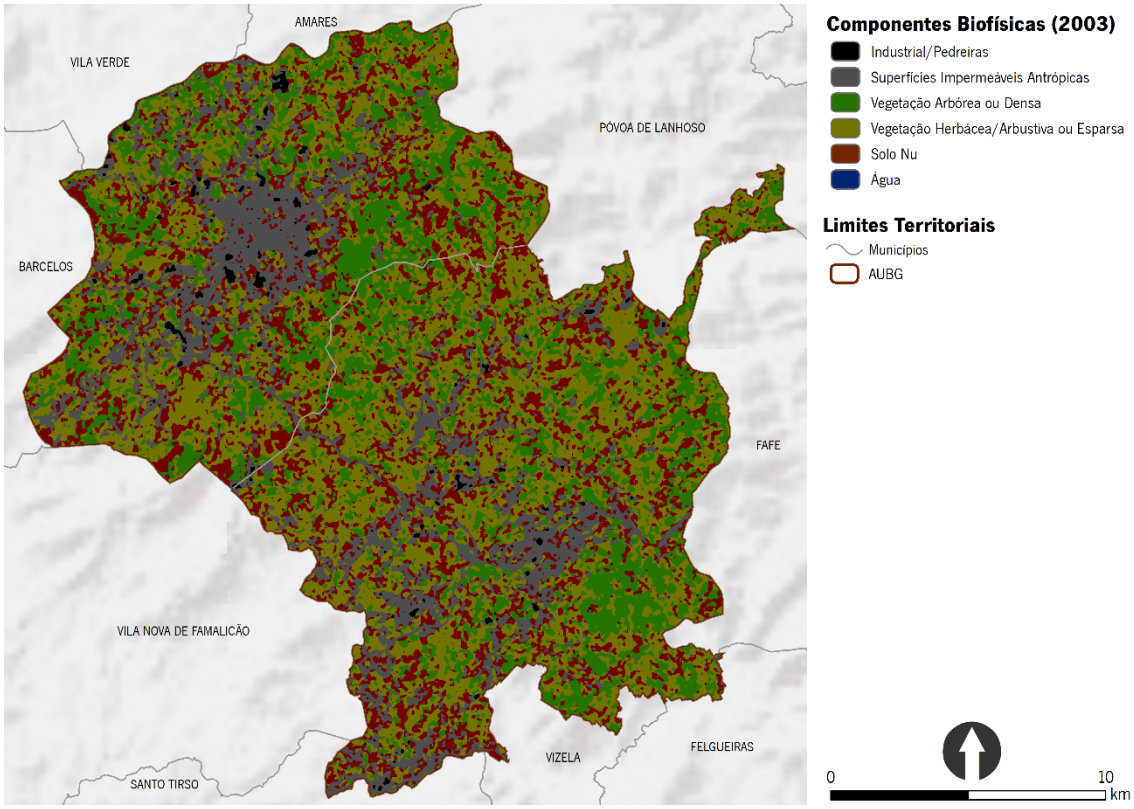


Figura III-11 – Distribuição das componentes biofísicas na AUBG em 2003

O Euro 2004 mobilizou fortemente o setor da construção – pelo que Silva (2005) classifica este evento como a apoteose do lóbi do betão –, não só por causa dos estádios, como também da criação de outras estruturas urbanas e a abertura de novas vias de acesso. Na área de estudo destaca-se a construção da autoestrada A11, com início na Apúlia (Esposende) e fim em Castelões (Penafiel) – que constitui o primeiro elemento urbano, que liga os dois núcleos principais. Em Guimarães no setor Este do município, destaca-se ainda a continuação da circular urbana, que permite a ligação à variante de Fafe (Figura III-11). Do ponto de vista urbanístico, mais importante do que o evento em si, foi o caminho que conduziu até ele e os resultados que dele advieram, já que as diferenças mais significativas tiveram lugar no período que o precedeu e no que imediatamente o sucedeu.

A parte das superfícies impermeabilizadas, no restante território (83%; Tabela III-1) observa-se uma clara diminuição das áreas com vegetação arbórea ou densa (Figura III-4), pelo que, contrariamente às datas anteriores, esta componente biofísica apresenta menor expressão do que o solo nu. Sem embargo, a vegetação herbácea/arbustiva ou esparsa continua a ser a componente biofísica que detém maior percentagem de área na AUBG (Tabela III-1 e Figura III-11).

2007

Em 2007 as áreas industriais/pedreiras passam a ocupar cerca de 2% da AUBG (Tabela III-1 e Figura III-12), verificando-se um ligeiro aumento em relação a 2003 (Figura III-4). Estas mudanças tanto podem advir da construção de novos pavilhões industriais e/ou estufas agrícolas, como da alteração do material de cobertura dos telhados de antigas unidades fabris (ou de outros edifícios), nomeadamente a substituição de telhas de fibrocimento pelas de zinco. O fibrocimento (Figura III-6), material muito utilizado em Portugal, como no resto da Europa entre 1945 e 1990, é composto, entre outros elementos, por amianto – designação comercial utilizada para a variedade fibrosa de seis minerais metamórficos de ocorrência natural –, que com o decorrer dos anos vai libertando fibras para o ar muito prejudiciais à saúde humana (Direção-Geral da Saúde, 2016). Neste sentido, a sua comercialização foi proibida em Portugal (como no resto da Europa), a partir de 1 de janeiro de 2005, de acordo com o disposto na Diretiva 2003/18/CE, transposta para o direito interno através do Decreto-Lei nº 101/2005, de 23 de junho. Esta substituição implica uma alteração das características das coberturas, pois as telhas de zinco apresentam um albedo mais elevado, pelo que estas áreas passam a estar integradas na classe industrial/pedreiras.

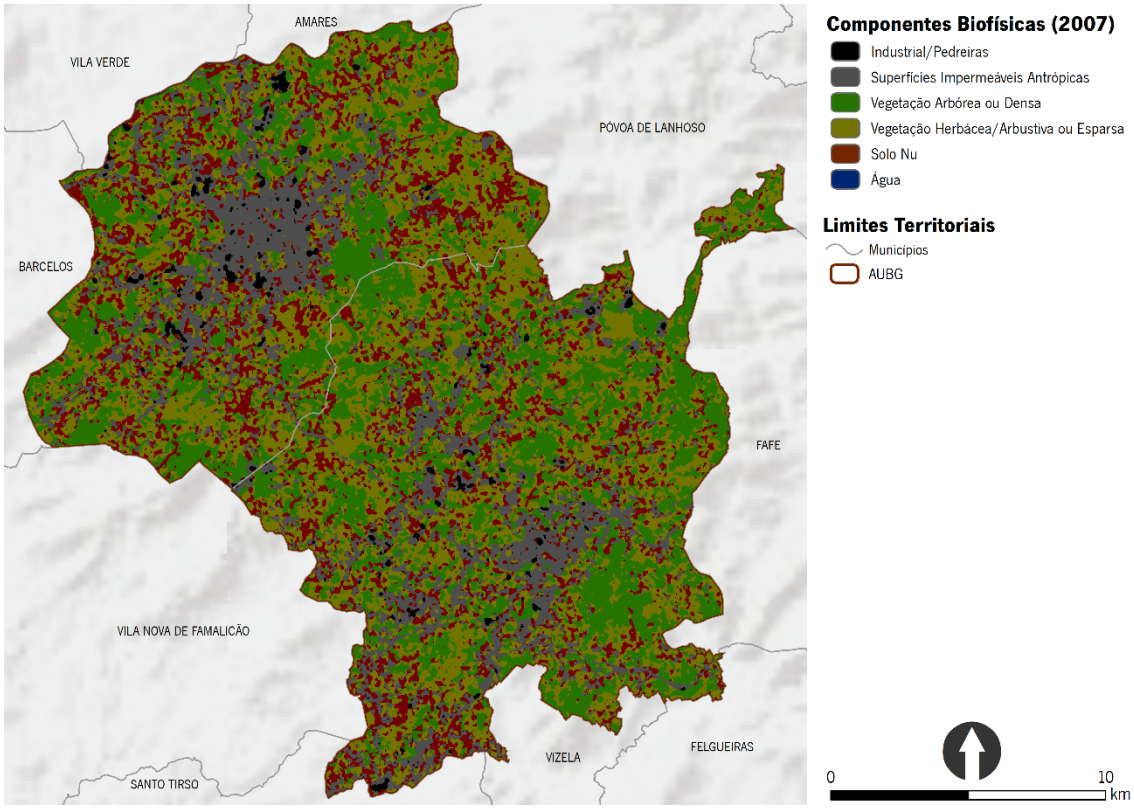
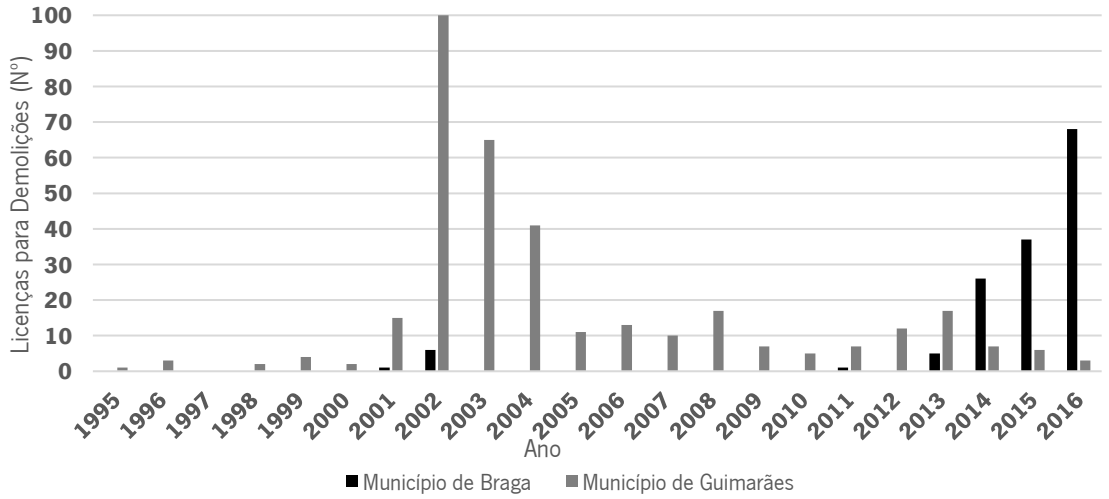


Figura III-12 – Distribuição das componentes biofísicas na AUBG em 2007

Nas superfícies impermeáveis antrópicas não se discernem diferenças significativas em relação à 2003 (Tabela III-1), pelo que construção de edifícios ou de vias rodoviárias terá sido residual (Figura III-4). De facto, a partir de 2002 os apoios públicos ao setor da construção foram sendo sequencialmente anulados – o que se repercutiu numa queda acentuada do setor da construção (Travasso, 2015). Esta falência decorreu da estagnação da economia internacional, que antecedeu a crise em Portugal causada pela dívida soberana (Mateus, 2015). Além disto, salientar que algumas das áreas abarcadas em 2003 nas superfícies impermeáveis antrópicas – fruto das alterações mencionadas anteriormente –, em 2007 poderão ter sido incluídas na classe do industrial/pedreiras, face à substituição de cobertura acima mencionada. Por último, é ainda nota de apontamento o facto de neste período se verificar um número significativo de pedidos de licença para demolições no município de Guimarães (Figura III-13).



Fonte dos Dados: INE – Inquérito aos projetos de obras de edificação e de demolição de edifícios (2017).

Figura III-13 – Licenças para demolições (nº) nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1995 e 2016

As componentes biofísicas permeáveis continuam a ocupar 83% do território (Tabela III-1), porém a sua importância relativa altera-se, fruto dos ganhos de vegetação arbórea ou densa, e das perdas de vegetação herbácea/arbustiva ou esparsa e de solo nu (Figura III-4 e Figura III-12).

2010

Em 2010 áreas industriais/pedreiras sofrem uma ligeiríssima redução de área quando comparadas com 2007 (*c.f.*, Figura III-14 e Figura III-12), passando de 1,68% para 1,52% (Tabela

III-1). Todavia, considerando a insignificância na diferença (-0,16%; Figura III-4) esta perda pode dever-se: (i) ao desaparecimento de estufas agrícolas, dado que são construções mais efémeras; (ii) à reconversão/demolição de unidades industriais; ou (iii), simplesmente a erros decorrentes do sistema de classificação implementado. Por seu turno, as superfícies impermeáveis antrópicas exibem ganhos de área expressivos (Figura III-4), pois a sua representatividade espacial passa de 15% para 18% (Tabela III-1), em resultado da consolidação de núcleos preexistentes, bem como da ocupação e colmatação de terrenos adjacentes aos eixos viários (Figura III-14).

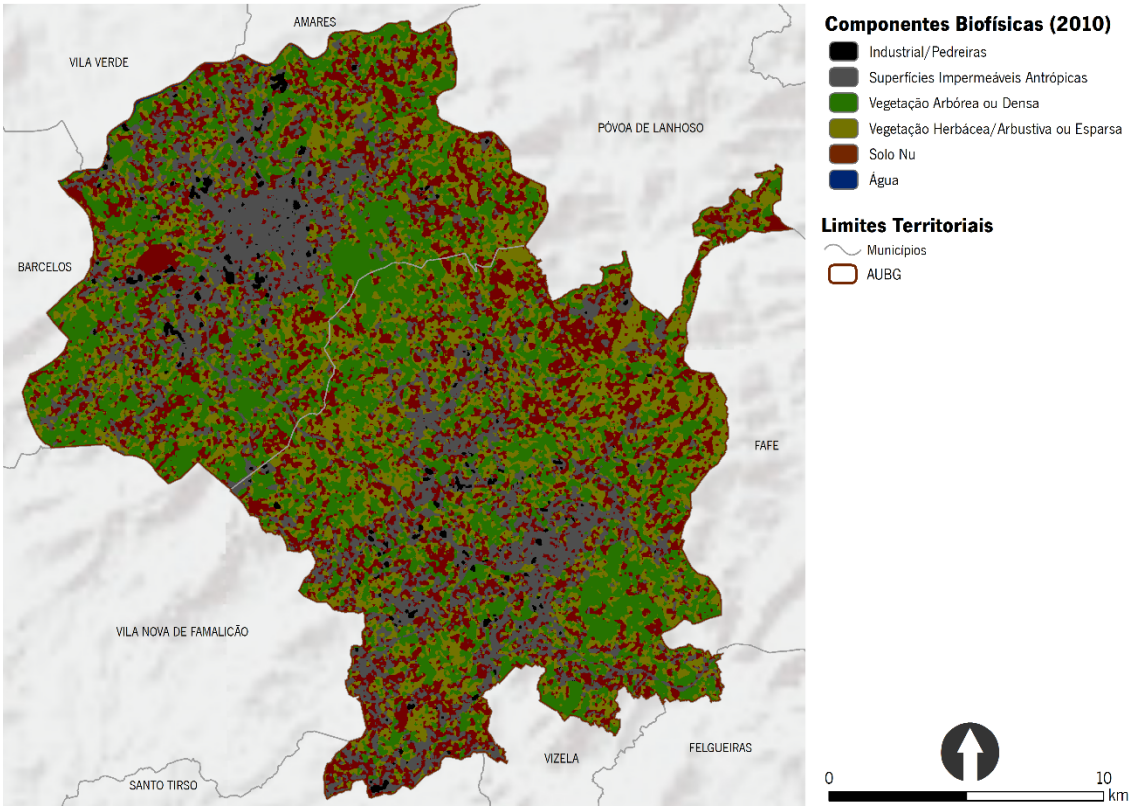


Figura III-14 – Distribuição das componentes biofísicas na AUBG em 2010

Por consequência do crescimento urbano, as superfícies permeáveis registam uma diminuição relativamente 2007, passando a ocupar 81% do território da AUBG (Tabela III-1). À semelhança do que se observava em 2003, o solo nu detém maior representatividade do que a vegetação arbórea e/ou densa, por via da perda de áreas com vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa (Figura III-4). O incremento de solo nu decorre, em grande medida, de incêndios florestais – sobressaindo visualmente o que ocorreu no dia 19 de julho de 2010, no Monte das Caldas (em Sequeira, Braga). As imagens aéreas de 18 de maio e de 20 de agosto, deixam bem patente a dimensão deste incêndio, que consumiu vegetação arbustiva e arbórea, à data já esparsa (Figura III-15).



Fonte: Google Earth (2010).

Figura III-15 – Área ardida em julho de 2010 no Monte das Caldas (Sequeira, Braga)

2016

Entre 2010 e 2016 salientam-se os ganhos de áreas industriais/pedreiras (Figura III-4), que passam de 2% para 4% (Tabela III-1). A distribuição destas áreas pelo território da AUBG (Figura III-16), consubstanciam a característica mais proeminente da urbanização difusa – *i.e.*, a dispersão das atividades económicas (Portas, 2005). Evidenciando que a indústria continua – hoje, como no passado – a ser o motor da economia e da urbanização do difuso (Domingues e Travasso, 2015a). Como seria de esperar, em Guimarães esta questão assume maior acuidade, pois as áreas industriais/pedreiras apresentam menor dimensão, mas maior disseminação (Figura III-16).

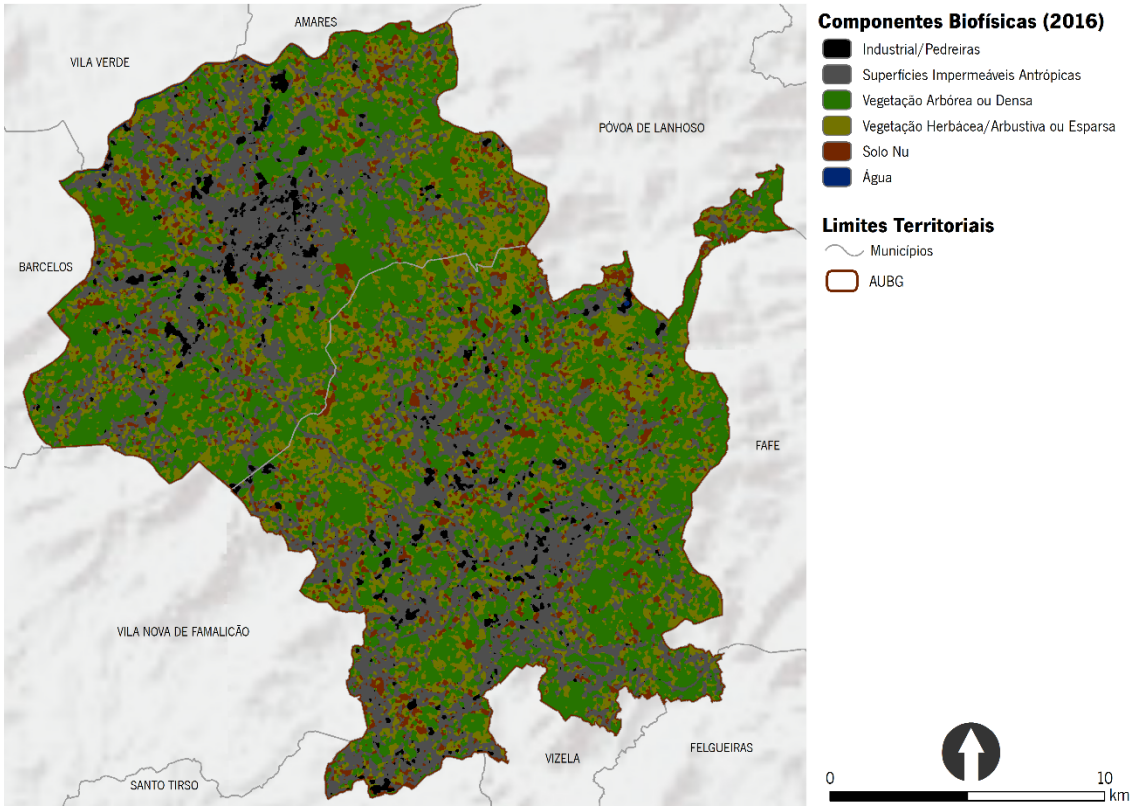


Figura III-16 – Distribuição das componentes biofísicas na AUBG em 2016

As superfícies impermeáveis antrópicas registam, à semelhança do industrial/pedreiras, um aumento significativo, passando a ocupar 24% da AUBG (Tabela III-1). Os ganhos de 7% nestes seis anos (Figura III-4) decorrem da consolidação dos núcleos já existentes, bem como do espraiar do crescimento urbano para o setor Nordeste nos municípios de Braga e de Guimarães (Figura III-16), terrenos até então mais salvaguardados da urbanização. Por oposição, o território 'não urbano' vê a sua área diminuir (Figura III-16), passando a ocupar apenas 72% da AUBG (Tabela III-1). Mesmos assim, é em 2016 que a vegetação arbórea ou densa ocupa maior percentagem de área (34%), conseguindo ultrapassar inclusive a vegetação herbácea/arbustiva (26%), que detinha a preponderância em todas as datas analisadas anteriormente (Tabela III-1). Por conseguinte, o solo nu ocupa o valor mais reduzido de toda a série histórica (12%; Tabela III-1).

Síntese do período 1984-2016

Na AUBG verifica-se uma clara dicotomia na evolução das componentes biofísicas entre 1984 e 2016: por um lado, as áreas industriais/pedreiras e as superfícies impermeáveis antrópicas exibem um crescimento linear (R^2=0,9 e R^2=0,8, respetivamente); e, por outro, as restantes componentes biofísicas, com menor influência antrópicas, sofrem um decréscimo proporcional (Figura III-17). Esta tendência atesta bem os impactes que apropriação antrópica do território tem nas componentes biofísicas e, consequentemente, sobre o ambiente (*e.g.*, efeito da ilha de calor urbano). Nas três décadas em análise é notório o acentuar da urbanização difusa na AUBG, fruto da continua dispersão das áreas industriais/pedreiras, bem como das superfícies impermeáveis antrópicas, por todo o território. Consequência das sucessivas adições de segmentos urbanos, vai emergindo na paisagem de modo cada vez mais claro uma 'urbe contínua' entre os núcleos principais de Braga e Guimarães, que desde 2003 se encontram conectadas por um nervo central – a autoestrada (A11). Neste território, a rede viária constitui uma espécie de teia que guia o desenvolvimento urbano, dado que a criação de novas vias que promove a expansão das superfícies impermeáveis antrópicas; ou então esta surge como resposta a novos *hotspots* urbanos.

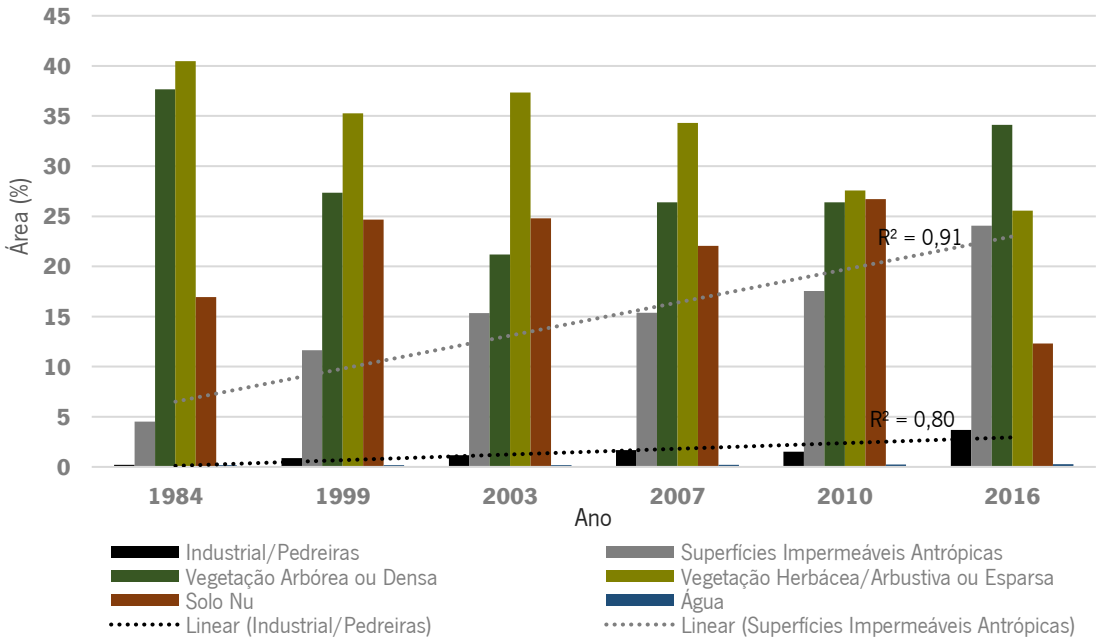


Figura III-17 – Evolução das componentes biofísicas (%) na AUBG entre 1984 e 2016

As componentes biofísicas 'não urbanas' não só foram recuando, como também se vão metamorfoseando, pelo que apresentam uma distribuição muito variável entre 1984 e 2016 (Figura III-17). Ainda assim, sobressai a predominância das áreas ocupadas com vegetação herbácea/arbustiva ou esparsa (com exceção de 2016), atendendo à grande miscelânea de usos de solo que esta componente biofísica engloba. A vegetação arbórea ou densa ocupa, por regra, mais área do que o solo nu (exceção feita a 2003, ano em que regista a menor percentagem de área, e a 2010 que ocupa igual área). Com efeito, o solo nu apresenta uma grande variação de área, correspondendo 2010 e 2016 aos anos com maior e menor percentagem, respetivamente. Estas variações tanto se podem dever a mudanças efémeras (*e.g.*, incêndios florestais), como a alterações do uso do solo (*e.g.*, passagem de florestal para a agrícola, ou vice-versa), ou ainda às condições meteorológicas que antecederam a passagem do satélite (que afetam as condições de humidade da vegetação e do solo), pelo que serão necessários mais estudos para entender esta relação de causalidade.

Os espaços com vegetação arbórea ou densa coincidem com os pontos culminantes da AUBG, mormente as serras da Falperra e da Penha, pois com a altitude o povoamento torna-se mais rarefeito. Neste sentido, a topografia e o declive continuam a constituir um obstáculo ao crescimento urbano da cidade de Braga e de Guimarães, bem como as condicionantes legais, como a Reserva Ecológica Nacional (REN). Por oposição, os terrenos com solo nu localizam-se

próximos das superfícies impermeáveis antrópicas, no fundo de vale ou até meia encosta, quando se trata de campos agrícolas; quando esta componente biofísica surge mais próxima do topo da vertente trata-se de áreas ardidas ou a cortes de plantações florestais. O espaço que medeia estas duas componentes biofísicas é ocupado por uma multiplicidade de terrenos com vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa. Note-se que esta explicação encontra suporte no padrão de povoamento herdado, decorrente das lógicas seculares de organização do Entre-Douro-E-Minho (Ribeiro, 1995; Domingues, 2007).

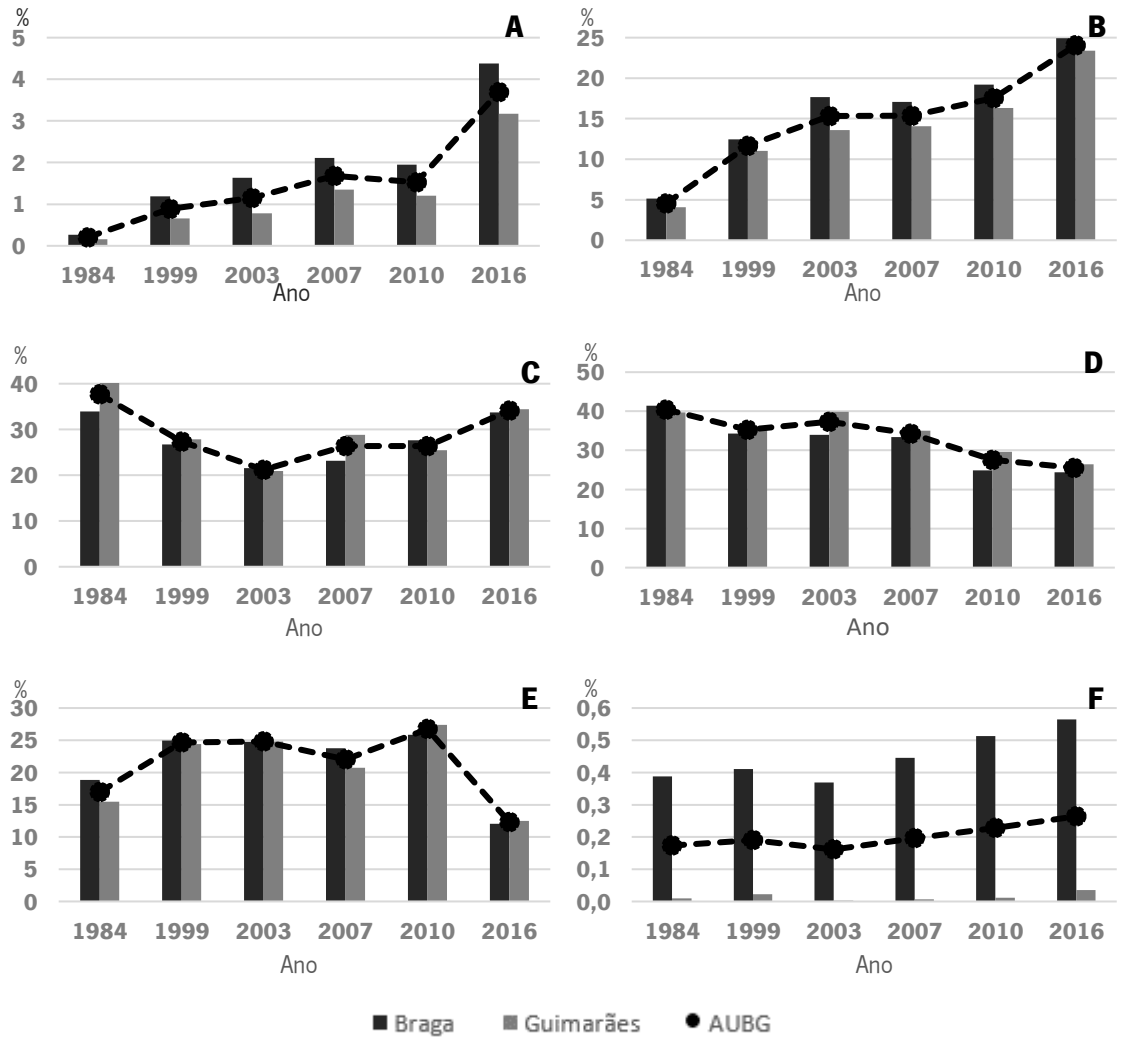
Nas seis datas em estudo ressalta a heterogeneidade e a mescla das componentes biofísicas na AUBG, num território onde a "cidade devora o campo, às vezes sem o digerir completamente, e prolifera em metástases, espécie de tumores malignos e, como estes, caracterizados pelo aspeto teratológico", como disse Orlando Ribeiro (1989, p.170). Assim, nesta paisagem compósita, onde as categorias de urbano, rural, industrial, agrário se misturam e se confundem, a desordem parece superar a ordem. E, tal como refere Portas (2005) "numa palavra, a dispersão é o caos – e os deuses (como os planeadores) têm horror ao caos" (p.81). Contudo, este pequeno 'caos' urbano quando devidamente enquadrado, e se observado sem os pré-conceitos estabelecidos sobre o que deve ser a 'boa forma urbana', exibe uma lógica consistente, ainda que esta obrigue à superação da(s) velha(s) dicotomia(s) cidade(urbano)/campo(rural). Efetivamente, estas não fazem sentido nem como grelha analítica, nem como modelo prospetivo, pelo que desde o início se optou pelo conceito de urbano – aqui entendido como o conjunto das superfícies impermeáveis de origem antrópica.

III – 1.2. Análise Comparativa dos Municípios de Braga e de Guimarães

A análise sinótica da dinâmica das componentes biofísicas fornece a súmula do processo de urbanização decorrido nas últimas três décadas na AUBG, porém é fundamental uma análise comparativa entre os municípios de Braga e de Guimarães, de modo a identificar tanto as semelhanças, como a salientar as diferenças na evolução das componentes biofísicas. Tal como referido anteriormente, cada um dos municípios detém um carácter individual e, como tal, uma biografia própria (Ribeiro, 1994).

III – 1.2.1. Evolução Temporal

Os municípios de Braga e de Guimarães apresentam variações semelhantes nas componentes biofísicas, embora com diferentes magnitudes (Figura III-18). As principais disparidades relacionam-se com o 'urbano' (*i.e.*, as áreas industriais/pedreiras e as superfícies impermeáveis antrópicas), sempre preponderante em Braga, ainda que a diferença relativamente a Guimarães se tenha ora acentuado, ora diluído, ao longo dos 32 anos em estudo (Figura III-18-A&B).



A – Industrial/Pedreiras; B – Superfícies Impermeáveis Antrópicas; C – Vegetação Arbórea ou Densa; D – Vegetação Herbácea/Arbustiva ou Esparsa; E – Solo Nu; F – Água.

Figura III-18 – Evolução das componentes biofísicas (%) na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Nas áreas industriais/pedreiras é evidente um crescimento linear nos dois municípios, no entanto, a expressão da área ocupada por esta componente é sempre mais significativa em Braga do que em Guimarães (Figura III-18-A), sendo entre 2010 e 2016 que se verificam os ganhos de área mais expressivos em ambos os municípios.

Partindo de valores percentuais semelhantes no que se refere às superfícies impermeáveis antrópicas (*i.e.,* 5% em Braga e 4% em Guimarães), entre 1984 e 1999 os ganhos mais acentuados ocorrem em Braga, porém a partir desta data a tendência inverte-se e os aumentos mais significativos passam a registar-se em Guimarães. Tanto assim é que, fruto do crescimento verificado entre 2010 e 2016, Guimarães consegue-se aproximar-se dos valores exibidos por Braga (*i.e.,* 25% em Braga e 23% em Guimarães; Figura III-18-B).

Vale ressalvar que, apesar de as superfícies impermeáveis antrópicas ocuparem em todas as datas uma percentagem de área mais significativa em Braga do que em Guimarães, quando considerados os valores absolutos de área (*i.e.,* os metros quadrados) regista-se a situação oposta, fruto da maior dimensão espacial do município de Guimarães. Efetivamente, segundo a Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) de 2010, Guimarães ocupa a sétima posição no *ranking* dos municípios portugueses com maior área urbana, quando considerados os valores absolutos (Caetano *et al.*, 2017). Ainda segundo a mesma fonte, à data Braga detinha uma percentagem de território artificializado de 30%, enquanto em Guimarães o valor era de 25% – valores próximos dos obtidos no sistema de classificação implementado.

As componentes biofísicas 'não urbanas', como já salientado, apresentam uma distribuição irregular, não sendo discernível uma tendência evolutiva clara (Figura III-18-C, D, E). A vegetação ocupa, regra geral, mais área em Guimarães do que em Braga, exceção feita ao ano 1984 no que se refere à vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa e aos anos de 2003 e de 2007 na vegetação arbórea e/ou densa. O solo nu apresenta uma distribuição muito irregular, sendo preponderante ora em Braga (1984, 1999, 2007) ora em Guimarães (2003, 2010, 2016), nunca sendo as diferenças muito significativas. Por último, relativamente à água, componente biofísica com menor representatividade na AUBG, são notórias as diferenças – em termos gráficos (Figura III-18-F), mas não absolutos – entre Braga e Guimarães. Esta disparidade resulta maior expressão de caudal do rio Cávado, que delimita Braga a Norte, quando comparado com o rio Ave, que cruza Guimarães.

III – 1.2.2. Natureza e Localização das Mudanças

A discriminação da natureza das mudanças nas componentes biofísicas entre 1984 e 2016 para os municípios de Braga e de Guimarães foi determinada através de matrizes de transição,

elaboradas por pares de datas que se sucedem cronologicamente (*i.e.*, 1984-1999; 1999-2003; 2003-2007; 2007-2010; 2010-2016), resultando num total dez matrizes (Apêndice I). Paralelamente, ilustra-se a distribuição espacial destas mudanças. Deste modo, à apreciação quantitativa do processo de mudança efetuada com base na matriz de transição, soma-se a perspetiva espacial e qualitativa decorrente da representação cartográfica das mudanças. Sem embargo, é de igual modo possível identificar e determinar o território que mantém a classificação nas componentes biofísicas entre duas datas.

Atendendo à complexidade da informação presente nas matrizes de transição, a que já se aludiu anteriormente (Figura II-20), reparte-se a sua análise em vários segmentos (Tabela III-2): 1- áreas que mantém a mesma classificação nas componentes biofísicas entre duas datas (*i.e.*, territórios estáveis); 2 - áreas em que as variações nas componentes biofísicas são muito pontuais, pelo que não se podem excluir possíveis de erros de classificação (*i.e.*, pontual/erro); 3 - áreas em que a mudança resulta da substituição da cobertura dos edifícios (*i.e.*, substituição de cobertura); 4 - áreas em que se verifica a conversão de solo permeável para área urbana (*i.e.*, consumo de solo); 5 – áreas em que se verifica maior variabilidade entre componentes biofísicas (*i.e.*, oscilação), podendo esta dever-se ou não à alteração do uso do solo.

Tabela III-2 – Descodificação da matriz de transição

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água
Industrial/Pedreiras	**Estável**	Substituição de cobertura	Pontual/Erro	Pontual/Erro	Pontual/Erro	Pontual/Erro
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Substituição de cobertura	**Estável**	Pontual/Erro	Pontual/Erro	Pontual/Erro	Pontual/Erro
Vegetação Arbórea e/ou Densa	Consumo de solo	Consumo de solo	**Estável**	Oscilação	Oscilação	Pontual/Erro
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Consumo de solo	Consumo de solo	Oscilação	**Estável**	Oscilação	Pontual/Erro
Solo Nu	Consumo de solo	Consumo de solo	Oscilação	Oscilação	**Estável**	Pontual/Erro
Água	Pontual/Erro	Pontual/Erro	Pontual/Erro	Pontual/Erro	Pontual/Erro	**Estável**

Território Estável

No conjunto dos cinco intervalos temporais em estudo ressalta a divisão proporcional de território em que a classificação das componentes biofísicas se altera e aquele que se mantém estável (*i.e.*, 50%-50%). Os municípios de Braga e Guimarães apresentam uma disposição similar, porém com magnitudes diferenciadas, particularmente evidentes no intervalo temporal 2007-2010 (Figura III-19). Sem embargo, a percentagem de território alterado é sempre preponderante em Guimarães (Figura III-19), decorrendo a estabilidade de Braga do maior peso percentual das componentes biofísicas 'urbanas' (industrial/pedreiras e superfícies impermeáveis antrópicas), bem como da constância dos povoamentos florestais – com vegetação arbórea densa – particularmente evidentes no eixo Bom Jesus, Sameiro e Falperra (Figura III-19).

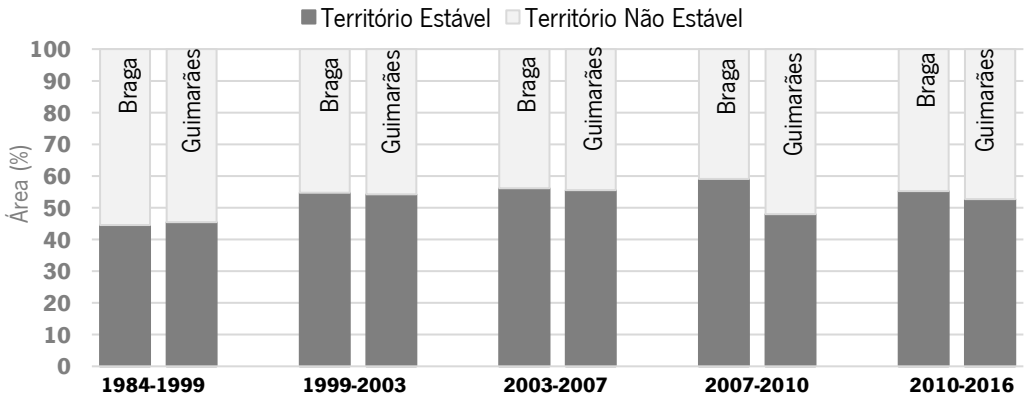


Figura III-19 – Território estável *versus* não estável (% de área) nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Note-se que, tanto em Braga como em Guimarães, a persistência de áreas classificadas como vegetação herbácea/arbustiva ou esparsa, bem como solo nu, entre dois intervalos temporais é muito reduzida, o que reforça as asserções efetuadas anteriormente acerca da volatilidade destas áreas (Figura III-20 e Figura III-21).

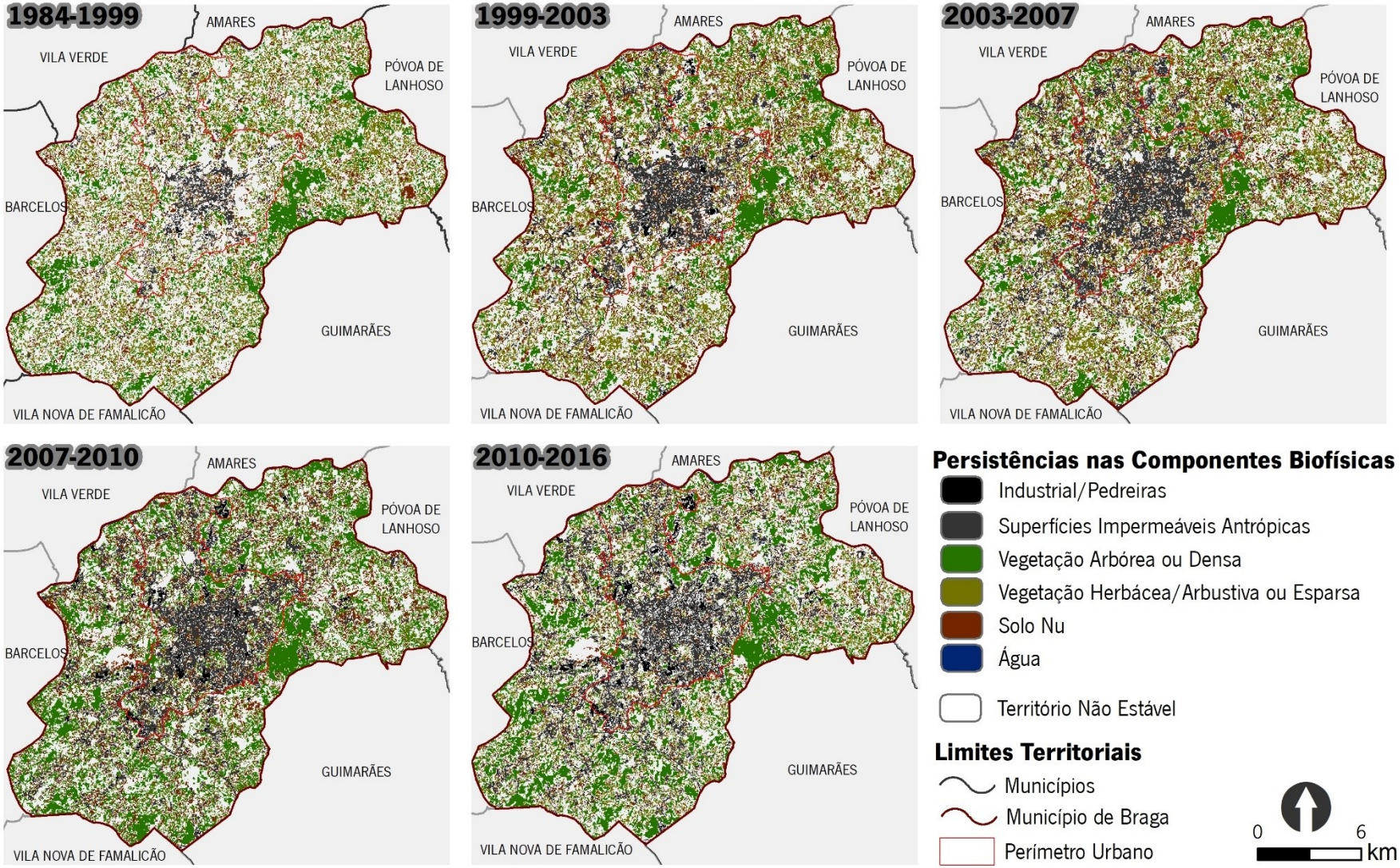


Figura III-20 – Persistências nas componentes biofísicas no município de Braga entre 1984 e 2016

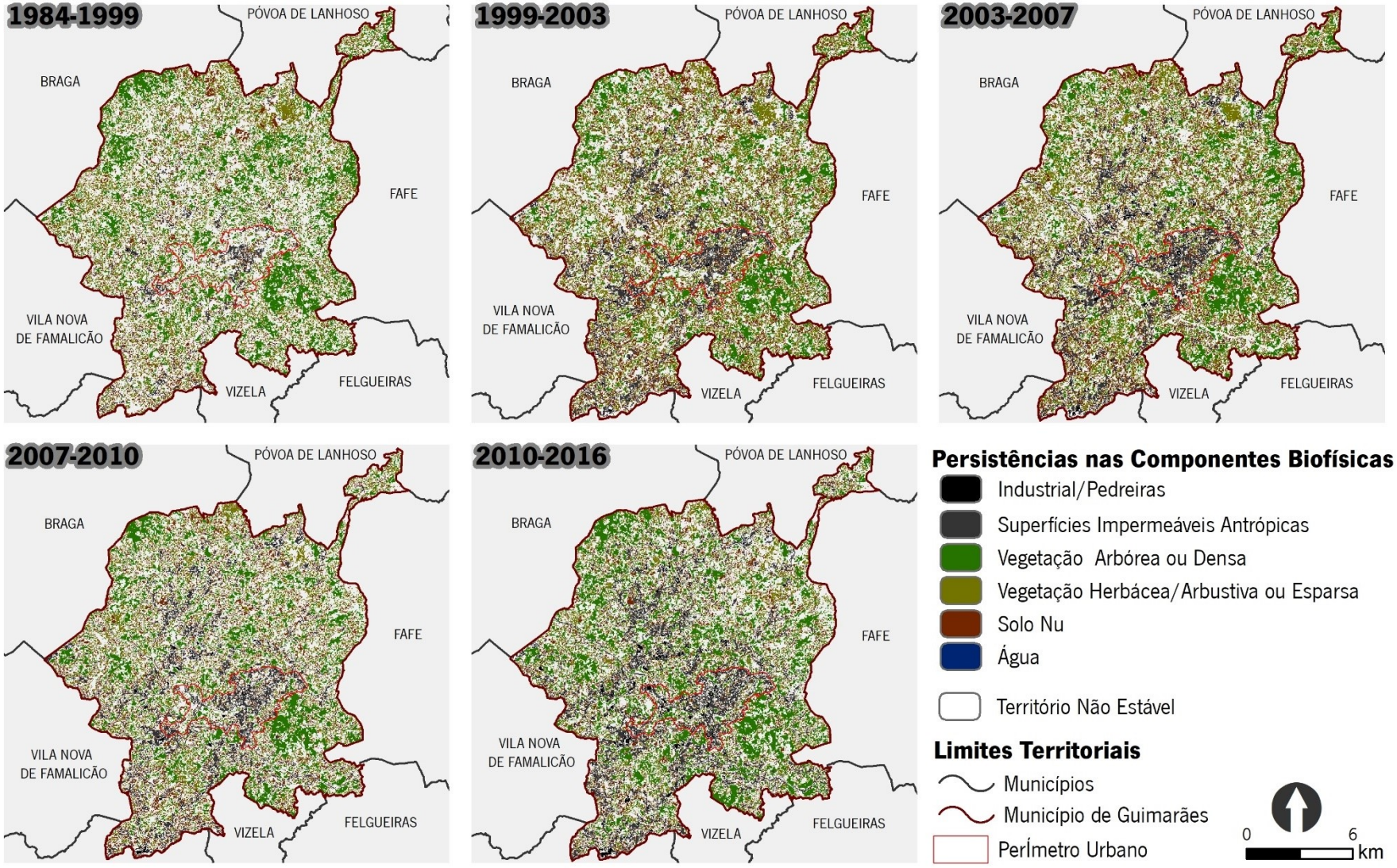


Figura III-21 – Persistências nas componentes biofísicas no município de Guimarães entre 1984 e 2016

Território Não Estável

O conhecimento da transição entre as distintas componentes biofísicas permite compreender melhor os ganhos e perdas associados a cada componente biofísica.

Situações Pontuais/Possíveis Erros

A despeito da multidireccionalidade das mudanças nas componentes biofísicas evidenciada nas dez matrizes elaboradas (Apêndice I e Tabela II-14), importa ressalvar que a transformação de áreas industriais/pedreiras ou superfícies impermeáveis antrópicas em vegetação arbórea e/ou densa, em vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa ou em solo nu, podem constituir erros de classificação das imagens, considerando os valores pouco significativos que apresentam. De facto, é com solo nu que esta questão assume maior acuidade, decorrente da similaridade espectral entre estas componentes biofísicas que o estudo da assinatura espectral do modelo V-I-S (Figura II-13) e da singularidade da urbanização difusa (Figura II-14) já tinha deixado bem patente. Ademais, este foi o principal erro detetado aquando da avaliação do sistema de classificação implementado (Tabela II-17 e Tabela II-18).

As perdas de 'urbano' apesar de não muito frequentes – pois, regra geral, assume-se o desenvolvimento urbano como é um processo cumulativo e irreversível (Dietzel *et al.*, 2005a) – são possíveis. No cômputo da Deteção Remota a conversão destas áreas em: (i) vegetação arbórea pode resultar do aumento da dimensão das copas das árvores, que encobrem os elementos urbanos (*i.e.*, casas ou estradas) – ou seja, aquilo que o satélite deveras capta deixa de ser um material artificial e passa a ser vegetal; (ii) vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa pode ser fruto do crescimento de vetação espontânea sobre edifícios devolutos ou projetos de loteamento (aplicando-se a mesma situação técnica enunciada anteriormente); (iii) solo nu devido à eliminação de estaleiros de obras (Caetano *et al.*, 2017) ou à demolição de edifícios. Posto isto, realçar que estas duas últimas mudanças são particularmente notórias em Braga entre 2003 e 2007 e em Guimarães entre 2007 e 2010, indiciando que em Braga o setor da construção foi mais cedo afetado do que Guimarães, fruto da acentuada especulação imobiliária promovida nas décadas anteriores, a que se somou a estagnação da economia nacional. Assim, verifica-se neste período de crise económica, tal como no passado, devido a maus anos agrícolas, instabilidade político-

militar, pestes ou cataclismos, que as crises correspondem quase sempre a épocas de regressão (ou estabilização) do crescimento urbano (Salgueiro, 1992).

Componentes Biofísicas 'Urbanas'

No âmbito do esquema de classificação das componentes biofísicas adotado o 'urbano' corresponde às áreas industriais/pedreiras e às superfícies impermeáveis antrópicas. As mudanças nas componentes biofísicas urbanas podem decorrer da substituição dos materiais de cobertura ou do consumo de solo – sendo que no primeiro caso apenas se verifica uma alteração da classificação, ao passo que o segundo implica uma perda de território permeável.

Substituição das coberturas dos edifícios

A substituição dos materiais de cobertura das áreas urbanizadas, caso implique uma modificação das características dos materiais, como o albedo (determinado pela cor), repercute-se na informação captada pelo satélite, e, por consequência, na classificação das componentes biofísicas, designadamente a passagem de industrial/pedreiras para superfícies impermeáveis antrópicas ou *vice-versa* (Tabela III.3, Figura III-22 e Figura III-23). Lembrado que a classe do industrial/pedreiras engloba, além destas superfícies, outras estruturas urbanas com elevado albedo (Tabela II-14).

Tabela III-3 – Alterações decorrentes da substituição do material das coberturas urbanas (% de área) nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Município	Substituição	1984-1999	1999-2003	2003-2007	2007-2010	2010-2016
Braga	Industrial para Impermeável*	0,1	0,39	0,33	0,65	0,11
	Impermeável para industrial**	0,33	0,51	0,74	0,38	2,37
Guimarães	Industrial para Impermeável*	0,13	0,35	0,15	0,68	0,07
	Impermeável para industrial**	0,19	0,33	0,62	0,45	1,78

Alteração na classificação das componentes biofísicas: *passa da classe industrial/pedreiras para a classe superfícies impermeáveis antrópicas; ** passa da classe superfícies impermeáveis antrópicas para a classe industrial/pedreiras.

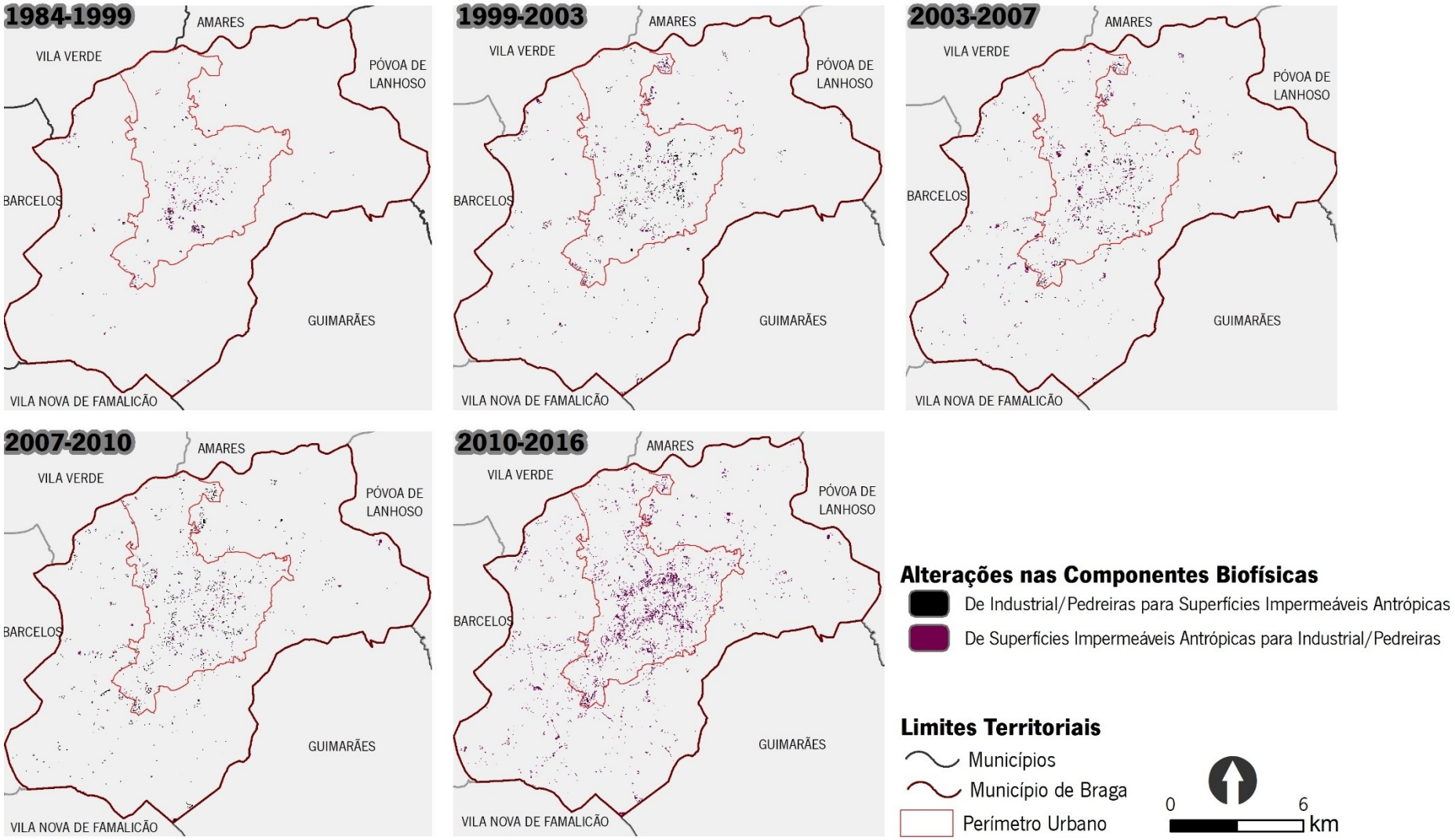


Figura III-22 – Alterações nas componentes biofísicas no município de Braga decorrentes da substituição dos materiais de cobertura

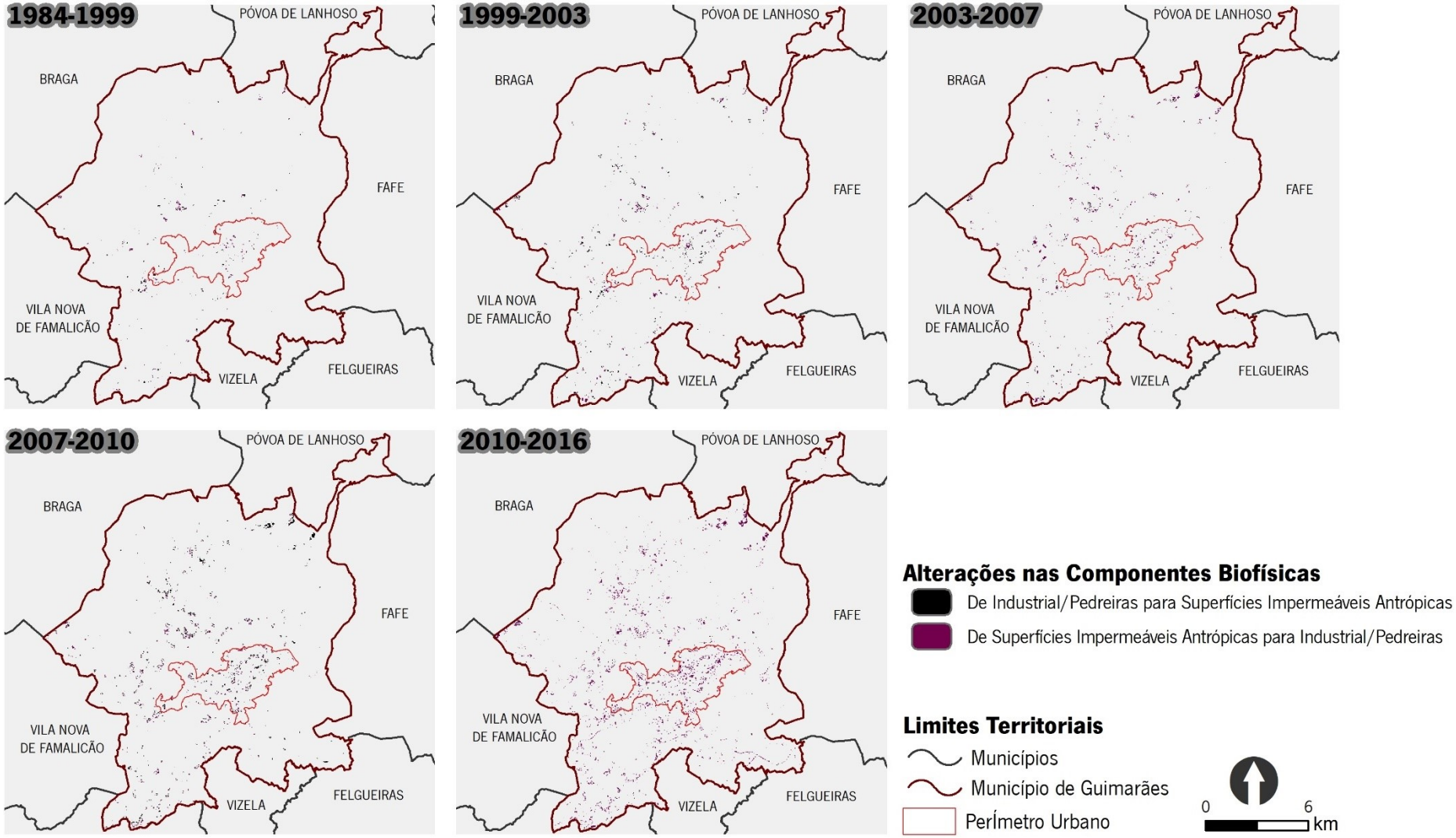


Figura III-23 – Alterações nas componentes biofísicas no município de Guimarães decorrentes da substituição dos materiais de cobertura

Nos municípios de Braga e Guimarães, apesar de reduzidas, as alterações decorrentes da substituição das coberturas urbanas estão presentes em todos os intervalos temporais (Tabela III-3), sendo que as mudanças de superfícies impermeáveis antrópicas para industrial/pedreiras são sempre mais significativas do que as verificadas no sentido inverso. Em Braga estas situações, inicialmente confinadas ao interior perímetro urbano, vão progressivamente se estendendo a todo território concelhio (Figura III-22). Em Guimarães, esta dispersão espacial é notória desde o primeiro intervalo temporal em estudo (Figura III-23).

As alterações de superfícies impermeáveis antrópicas para industrial/pedreiras são particularmente evidentes no município de Braga entre 2010 e 2016, embora também seja neste período que se destacam em Guimarães. As alterações de industrial/pedreiras para superfícies impermeáveis antrópicas assumem maior importância no período 2007-2010 em ambos os municípios (Tabela III.3, Figura III-22 e Figura III-23).

Consumo de solo pelo 'urbano'

Um dos aspetos fulcrais na análise do processo de urbanização consiste na compreensão dos consumos do solo permeável – com ou sem vegetação – pelo crescimento urbano, pois permite determinar as componentes biofísicas mais depauperadas. Efetivamente, importa salientar que esta conversão constitui uma transformação da paisagem irreversível, que reduz os ecossistemas naturais, assim como os benefícios que a sociedade pode deles retirar.

Entre 1984 e 2016 constata-se que os municípios de Braga e de Guimarães apresentam um padrão de consumo de solo análogo (Tabela III-4). No conjunto dos 32 anos em análise a componente biofísica mais exaurida é o solo nu – ressaltando pela sua expressividade o intervalo 2010-2016 (Tabela III-4). Estes resultados, em consonância com o referido por outros autores (*e.g.*, Ridd, 1995; Amiri *et al.*, 2009; Zhou *et al.,* 2014; Xiao e Weng, 2016), decorrem da remoção da vegetação numa fase prévia à implantação das estruturas urbanas, seja aquando da definição dos loteamentos, seja para a implantação de estaleiros de obras. Na AUBG os consumos de solo nu ocorrem de modo disseminado, por via da conversão de numerosos segmentos de reduzida dimensão (Figura III-24 e Figura III-25) em habitações unifamiliares ou edifícios fabris/comerciais. Esta situação pateia bem um dos aspetos centrais da urbanização difusa – *i.e.*, o crescimento por

via da adição de sucessivas camadas urbanas, muitas das vezes de exígua dimensão, decorrente da iniciativa privada individual, e em estreita ligação com a divisão histórica da propriedade.

Tabela III-4 – Consumo de componentes biofísicas permeáveis (% de área) nos municípios de Braga e de Guimarães pela área urbana entre 1984 e 2016

Município	Componente Biofísica	1984-1999	1999-2000	2003-2007	2007-2010	2010-2016	Total
Braga	Vegetação arbórea e/ou densa	1,50	1,04	0,19	0,26	0,59	3,58
	Vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa	3,61	2,54	1,14	1,60	2,24	10,53
	Solo nu	3,63	3,30	3,01	3,38	6,79	20,71
Guimarães	Vegetação arbórea e/ou densa	1,46	0,61	0,23	0,51	0,54	3,35
	Vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa	3,24	1,70	1,21	2,37	2,45	10,97
	Solo nu	3,34	2,96	3,08	3,86	7,44	20,68

A vegetação herbácea/arbustiva ou esparsa constitui a segunda componente biofísica mais depauperada pela urbanização. Neste cenário a vegetação arbórea e/ou densa surge como a componente biofísica menos afetada (Tabela III-4), visto que se localiza preferencialmente nos topos mais elevados e declivosos – áreas geralmente integradas na REN, e como tal mais salvaguardadas da impermeabilização. Note-se, porém, que os consumos mais acentuados de vegetação ocorrem entre 1984 e 1999, período temporal em que os Planos Diretores Municipais (PDM), assim como a REN, ainda não se encontravam implementados. De facto, é somente em 1994 que se verifica a aprovação do primeiro PDM de Braga (Resolução do Conselho de Ministros n.º 35/94, de 20 de maio) e de Guimarães (Resolução do Conselho de Ministro n.º 101/94, de 13 de outubro).

Nos primeiros 15 anos análise os consumos de vegetação arbórea e/ou densa ocorrem primordialmente no interior do perímetro urbano, por comparação com o exterior, e com maior preponderância em Braga face a Guimarães (Figura III-24 e Figura III-25). Paralelamente, constata-se que a abertura das novas vias rodoviárias, no interior e exterior do perímetro urbano de Braga e de Guimarães, foi igualmente efetuada à custa de áreas com vegetação, quer do estrato arbóreo

quer herbáceo/arbustivo. As manchas de vegetação arbórea ou densa consumidas no interior do perímetro urbano são mais extensas do que as do exterior, indicando que os projetos de loteamento de maior dimensão, nos dois municípios, ocorreram dentro desta circunscrição administrativa. Com efeito, a expansão urbana foi gradualmente ocupando os terrenos abertos existentes nas proximidades do núcleo histórico das cidades de Braga e de Guimarães, fixando os limites do núcleo urbano principal nas áreas vizinhas anteriormente agrícolas ou florestais.

No período 1999-2003 sobressaem os consumos de vegetação aquando criação da circular urbana de Guimarães, bem como da abertura a autoestada A11, que liga Braga a Guimarães (Figura III-24 e Figura III-25). Estes consumos são de igual modo evidentes no intervalo 2003-2007, no setor Sudeste do município de Guimarães, com a continuação dos trabalhos na Autoestrada A11, que segue em direção a Penafiel (Figura III-25).

Os consumos das componentes biofísicas permeáveis pela área urbana quando considerados de modo holístico – digo, em termos espaciais e temporais (Figura III-24 e Figura III-25) –, evidenciam uma situação paradoxal, dado que as componentes biofísicas cujos consumos são mais expressivos são aquelas que as manchas apesentam menor dimensão (*i.e.*, o solo nu). Por sua vez, as componentes biofísicas com menor expressão percentual são aquelas cujas manchas apresentam uma maior dimensão espacial (*i.e.*, a vegetação arbórea e/ou densa e a vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa).

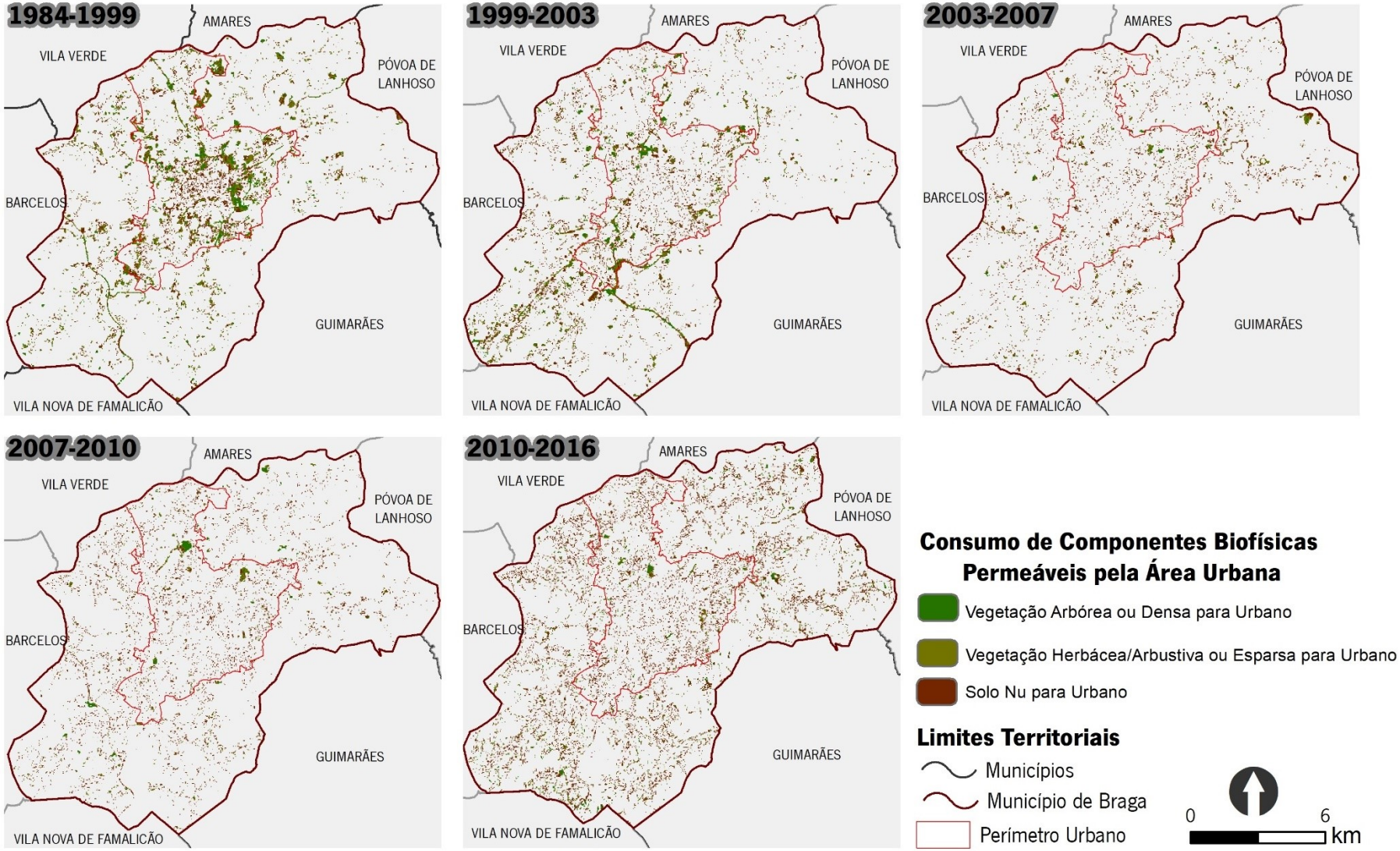


Figura III-24 – Consumo de componentes biofísicas permeáveis pelo 'urbano' no município de Braga entre 1984 e 2016

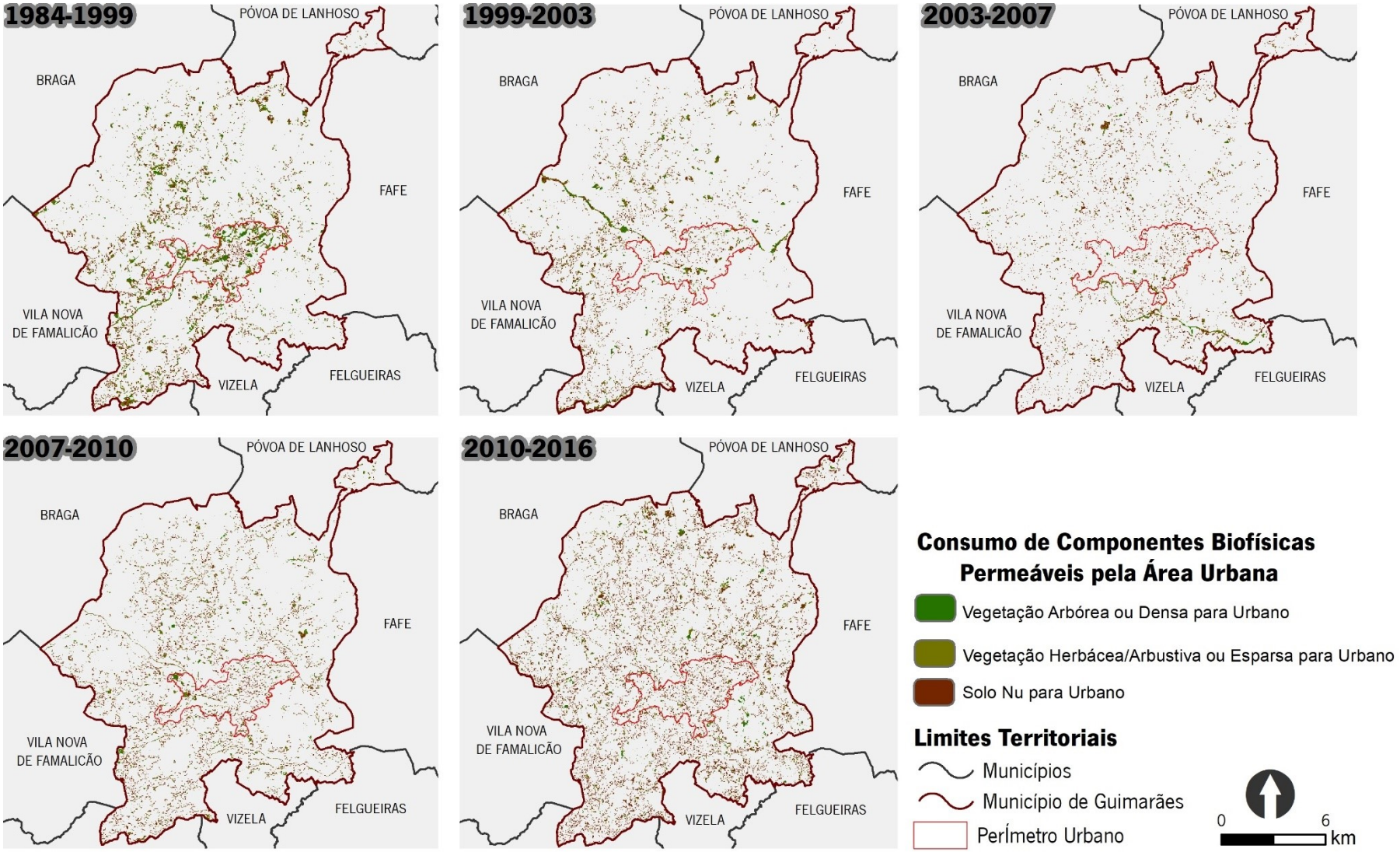


Figura III-25 – Consumo de componentes biofísicas permeáveis pelo 'urbano' no município de Guimarães entre 1984 e 2016

Componentes Biofísicas 'Não Urbanas'

As componentes biofísicas 'não urbanas' – *i.e.,* vegetação arbórea e/ou densa, vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa e o solo nu – apresentam uma distribuição temporal (*vide* Apêndice I) e espacial (Figura III-26 e Figura III-27) deveras irregular, corroborando que a cobertura do solo não é estática ao longo do tempo (Mayaux *et al.*, 2008).

O padrão de oscilação nas componentes biofísicas exibido pelos municípios de Braga e de Guimarães é semelhante, embora a magnitude seja diferenciada. Com efeito, pode-se sintetizar do seguinte modo: (i) entre 1984 e 1999, a principal a mudança reside na passagem de vegetação arbórea e/ou densa para vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa (sendo a situação comum aos dois municípios); (ii) 1999-2003 é o intervalo em que Braga e Guimarães apresentam uma direção de mudança nas componentes biofísicas mais dissimilar, pois embora nos dois casos se verifique um notório acréscimo das áreas com vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa, em Braga o aumento decorre da diminuição das áreas com solo nu, enquanto em Guimarães se deve ao decréscimo de áreas com vegetação arbórea e/ou densa; (iii) no hiato 2003-2007 verifica-se a mesma situação descrita para no intervalo 1984-1999; (iv) entre 2007 e 2010 a principal mudança decorre do decréscimo da quantidade de vegetação, por via da passagem de vastas áreas com vegetação herbácea/arbustiva para solo nu; e, (v) por fim entre 2010 e 2016 verifica-se a situação inversa à descrita em 1984-1999 e 2003-2007 (Figura III-26 e Figura III-27). Como referido anteriormente, estas oscilações tanto se podem dever a fatores naturais, como à apropriação antrópica do território.

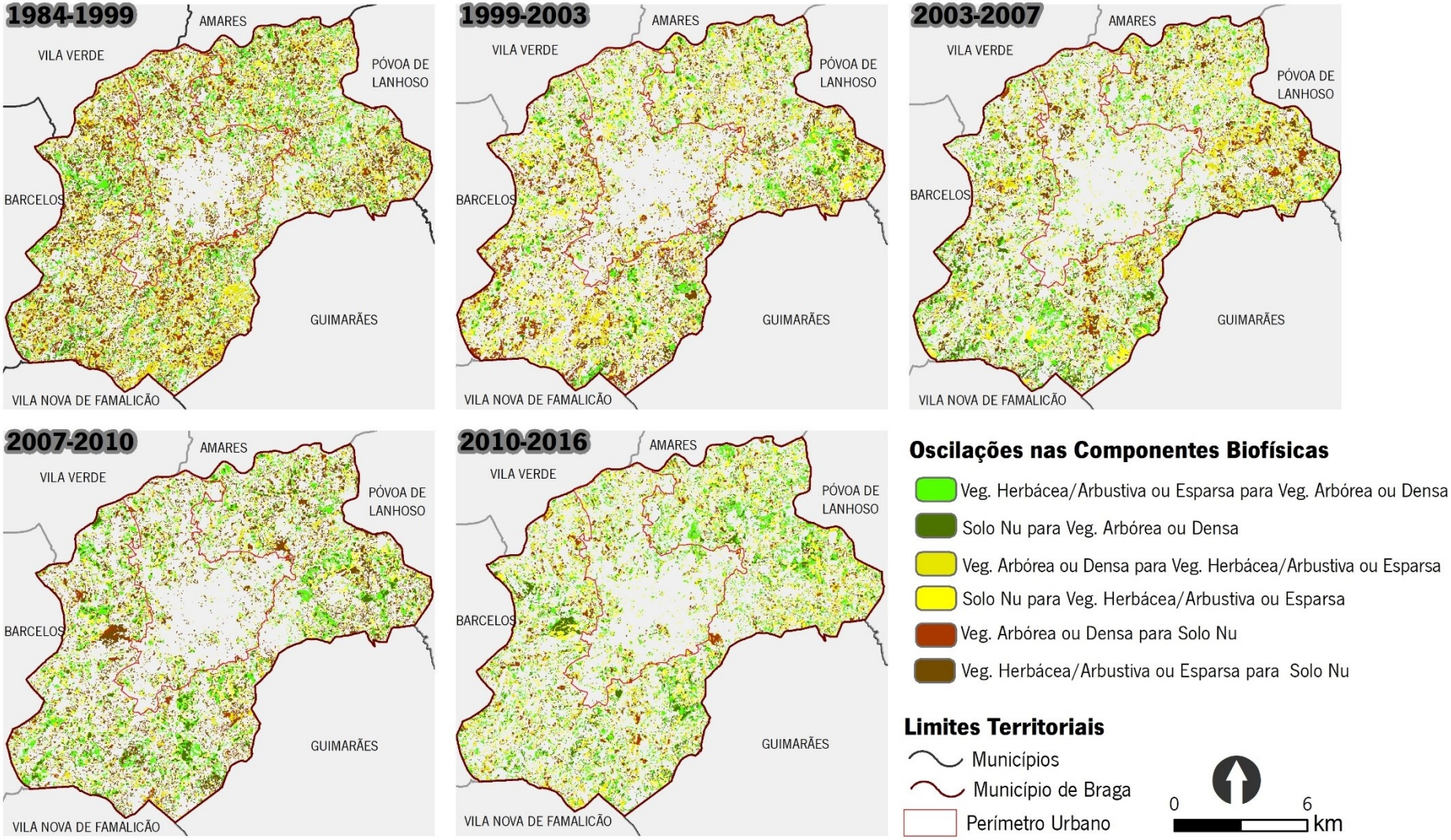


Figura III-26 – Oscilação das componentes biofísicas permeáveis no município de Braga entre 1984 e 2016

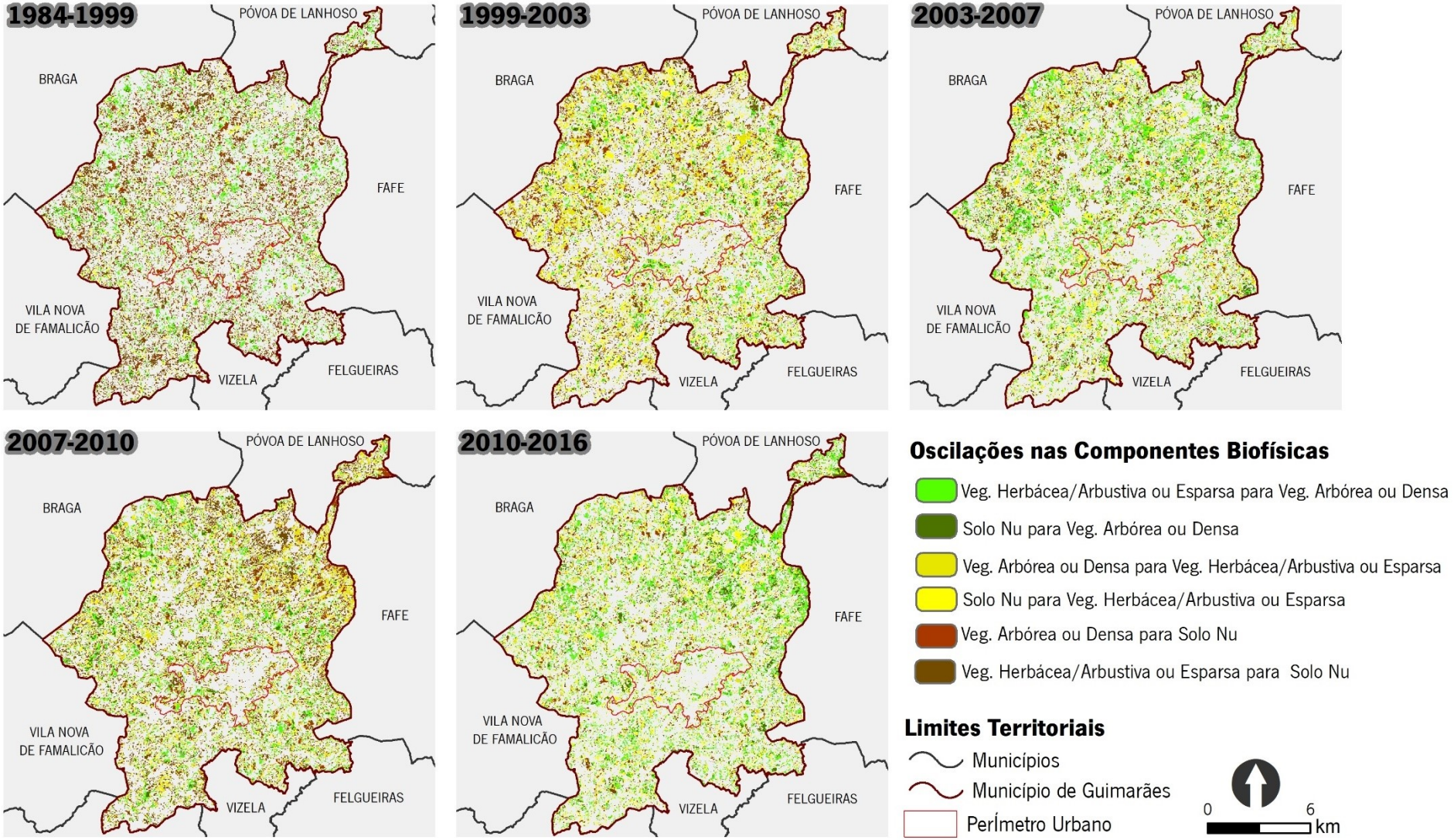


Figura III-27 – Oscilação das componentes biofísicas permeáveis no município de Guimarães entre 1984 e 2016

III – 1.3. Especificidades dos Municípios de Braga e de Guimarães

A desagregação espacial da escala de análise ao nível da freguesia – a mais pequena divisão administrativa em Portugal – permite a compreensão das especificidades da evolução das componentes biofísicas nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016. Esta análise é efetuada com base na divisão administrativa vigente em Portugal, definida pela Lei n.º 11-A/2013, de 28 de janeiro, que procede à reorganização administrativa do território das freguesias, através da criação de freguesias por agregação. Face ao exposto anteriormente, os corpos de água não são tidos consideração nesta escala de análise, dada a sua exiguidade ou mesmo total ausência na maioria das freguesias da AUBG.

III – 1.3.1. Evolução por Freguesia

O agrupamento da área (em percentagem) ocupada por cada componente biofísica em classes (*i.e.*, 0-5%, 5-10%, ...) permite a contagem do número de freguesias presente em cada uma destas. A repetição deste procedimento para as seis datas em estudo e a sua representação conjunta ilustra a evolução das componentes biofísicas entre 1984 e 2016 nas freguesias de Braga e de Guimarães (Figura III-28, Figura III-29, Figura III-30, Figura III-31 e Figura III-32).

De entre as componentes biofísicas estudadas, a classe industrial/pedreiras é a que apresenta menor amplitude de valores de área ocupada por freguesia, sendo que este valor nunca é superior a 25% do total da área da freguesia (Figura III-28). Sem embargo, exibe um incremento significativo, pois se em 1984 nenhuma das freguesias apresenta mais de 10% da área classificada como industrial/pedreiras, a partir de 2010 a situação altera-se em Braga (sendo que em Guimarães tal só se verifica na última data em análise). Efetivamente, em 2016 verifica-se um aumento notório do número de freguesias em que a componente biofísica industrial/pedreiras ocupa 10% da área, em detrimento da representatividade da classe dos 5% (Figura III-28). Este crescimento, bem patente nos dois municípios (embora com maior acuidade em Braga), resulta do aparecimento de novas áreas industriais disseminadas por todo o território, bem como da substituição das coberturas de algumas superfícies impermeáveis antrópicas, como constatado anteriormente.

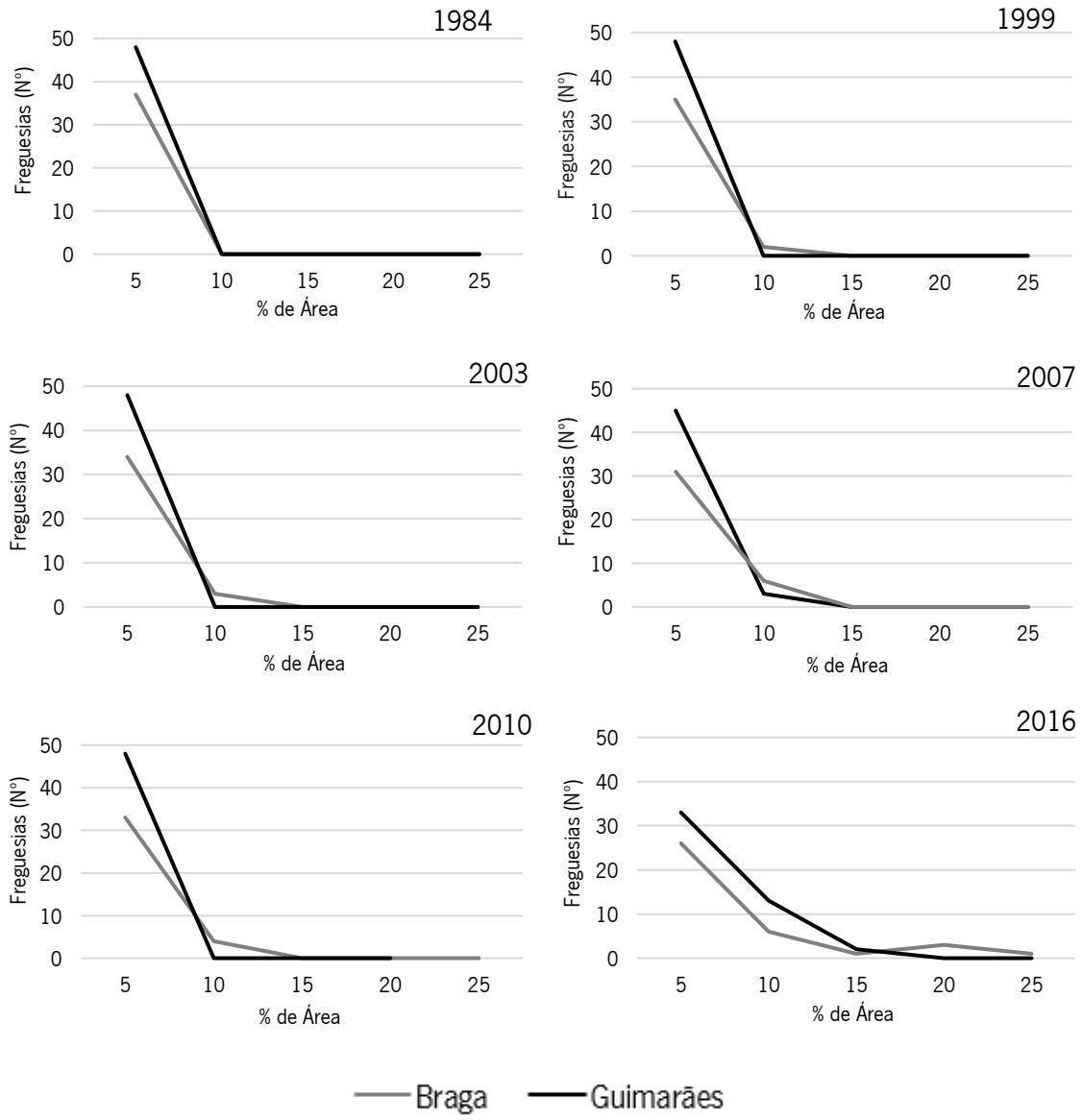


Figura III-28 – Evolução área (%) ocupada com indústria/pedreiras entre 1984 e 2016 por freguesia

Contrariamente ao verificado no industrial/pedreiras, as superfícies impermeáveis antrópicas apresentam uma grande amplitude de valores, sendo em verdade a componente biofísica com maior amplitude de valores (*c.f.*, Figura III-28, Figura III-29, Figura III-30, Figura III-31 e Figura III-32), decorrente da desigual repartição do tecido urbano pelas freguesias de Braga e de Guimarães. Não obstante, entre 1984 e 2016 os processos de crescimento urbano foram transversais a todas as freguesias, de tal modo que em 2016 nenhuma das freguesias da AUBG apresentava uma percentagem de área urbana inferior a 5%, e apenas numa (em Guimarães) este valor se encontrava entre os 5-10% (Figura III-29).

As freguesias com maior percentagem de área classificada como superfícies impermeáveis antrópicas encontram-se em Braga, no entanto, é Guimarães que detém a freguesia com maior

grau de impermeabilização do solo – mormente a União de Freguesias de Oliveira, São Paio e São Sebastião, que corresponde ao centro histórico da cidade, com 79% do solo impermeabilizado (Figura III-29).

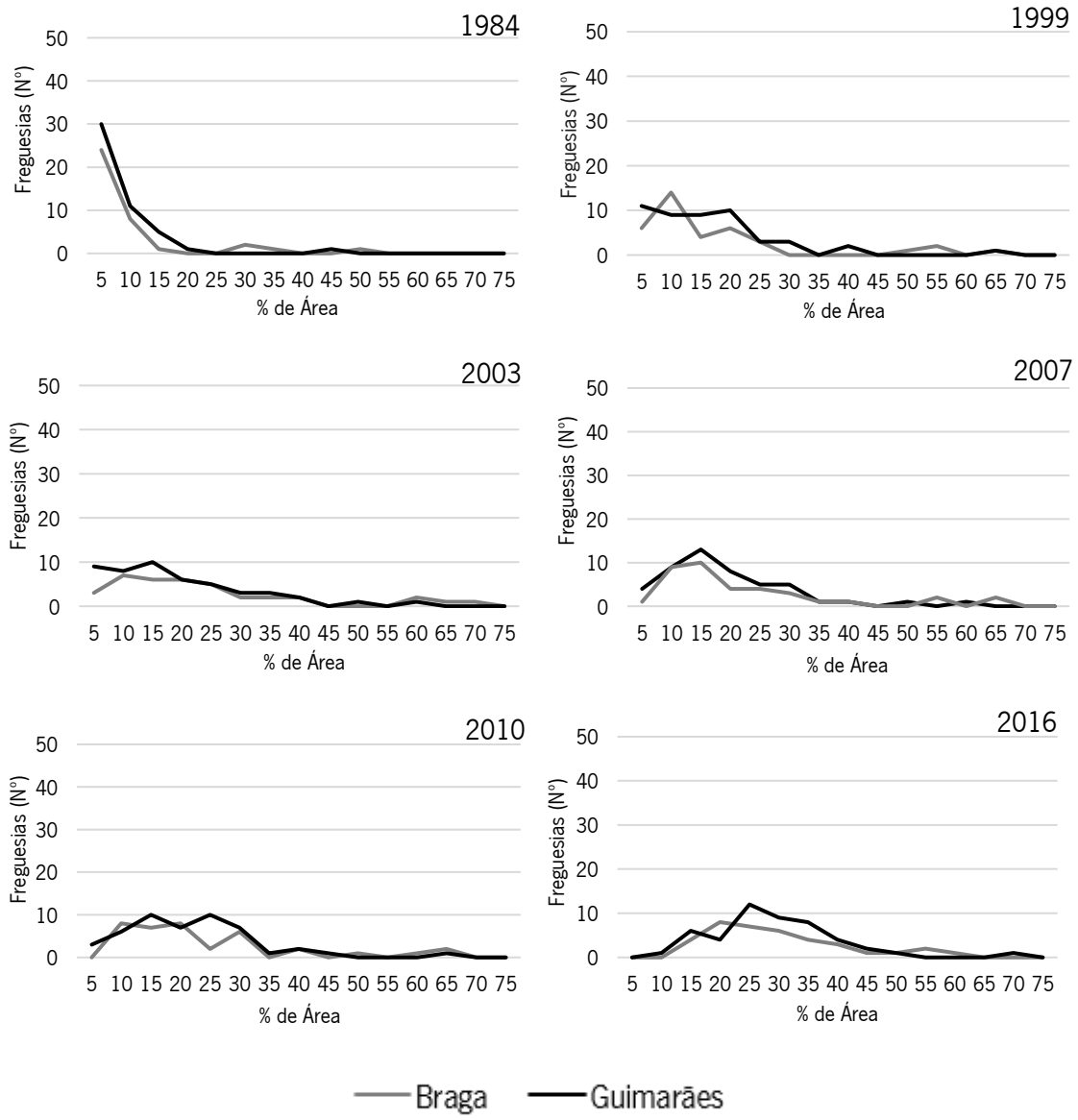


Figura III-29 – Evolução área (%) ocupada com superfícies impermeáveis antrópicas entre 1984 e 2016 por freguesia

À parte das componentes biofísicas 'urbanas', o restante território de Braga e de Guimarães – permeável – reparte-se, dependendo da quantidade e do estrato da vegetação presente, em vegetação arbórea ou densa, vegetação herbácea/arbustiva ou esparsa, ou solo nu. Estas componentes biofísicas encontram-se repartidas por todas as freguesias em estudo, sendo parcas as situações em que ocupam uma percentagem inferior a 5% da freguesia. Conquanto, a

multiplicidade de classes percentuais de ocupação destas componentes biofísicas revela a sua desigual distribuição pelas freguesias (Figura III-30, Figura III-31 e Figura III-32).

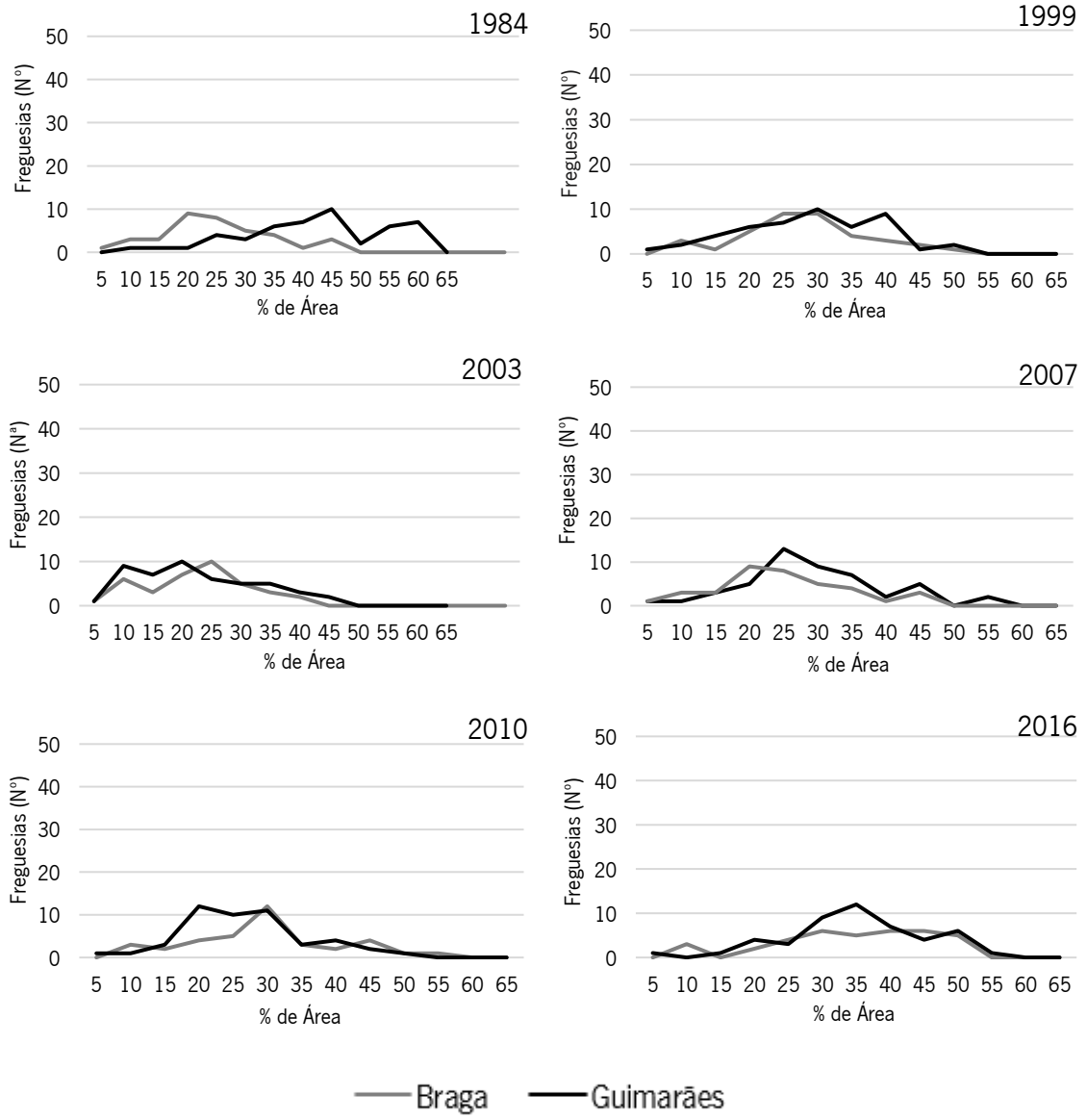


Figura III-30 – Evolução área (%) ocupada com vegetação arbórea e/ou densa entre 1984 e 2016 por freguesia

Em consonância com resultados anteriores, não é possível discernir uma tendência evolutiva clara das componentes biofísicas não urbanas entre 1984 e 2016, fruto das acentuadas variações interanuais a que estão sujeitas quer por via da ação antrópica (*e.g.*, agricultura ou atividades florestais), quer das condições meteorológicas. Esta situação é particularmente notória no caso da vegetação arbórea ou densa, uma vez que é nesta que ocorrem as variações temporais (*i.e.*, diferenças entre as imagens) e espaciais (*i.e.*, disparidades entre as freguesias) mais significativas

(Figura III-30). Por seu turno, a vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa apresenta uma distribuição temporal mais uniforme (ainda que tal espacialmente não seja percetível), uma vez que os picos da percentagem de área ocupada por esta componente biofísica oscilam entre os 25% a 50% (Figura III-31).

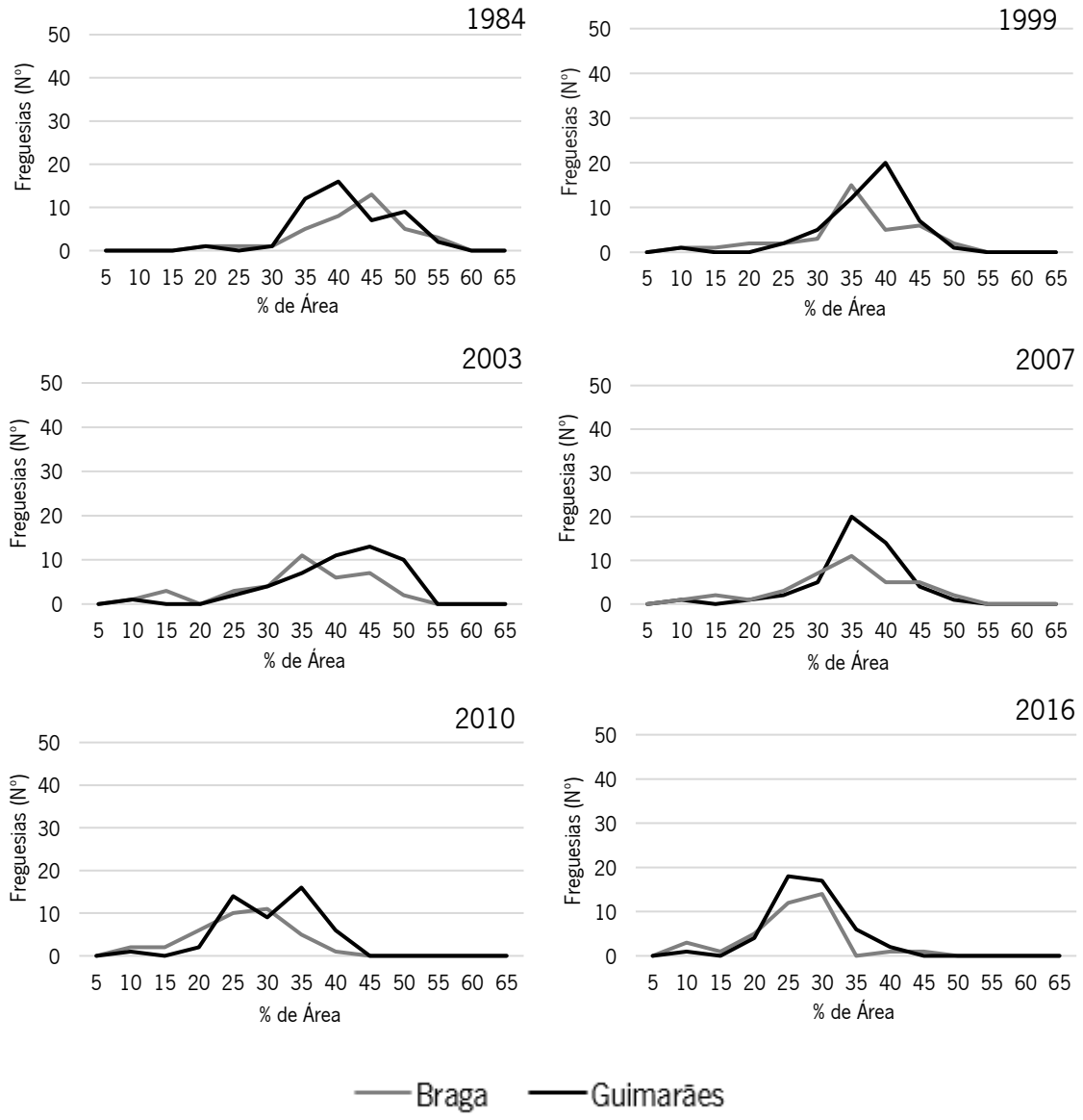


Figura III-31 – Evolução área (%) ocupada com vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa entre 1984 e 2016 por freguesia

O solo nu, contrariamente à vegetação herbácea/arbustiva ou esparsa, não apresenta uma distribuição uniforme no tempo, porém é, de entre as componentes biofísicas permeáveis, a que apresenta distribuição espacial mais uniforme – como evidencia a menor amplitude de valores das classes percentuais e a presença de picos bem demarcados. De notar que estes picos apenas coincidem em Braga e Guimarães no ano de 2016, nas restantes datas (à exceção de 2003) estes

picos ocorrem primeiramente em Guimarães, sendo, paradoxalmente, também neste município que se encontram as freguesias com maior percentagem de área ocupada com solo nu (Figura III-32).

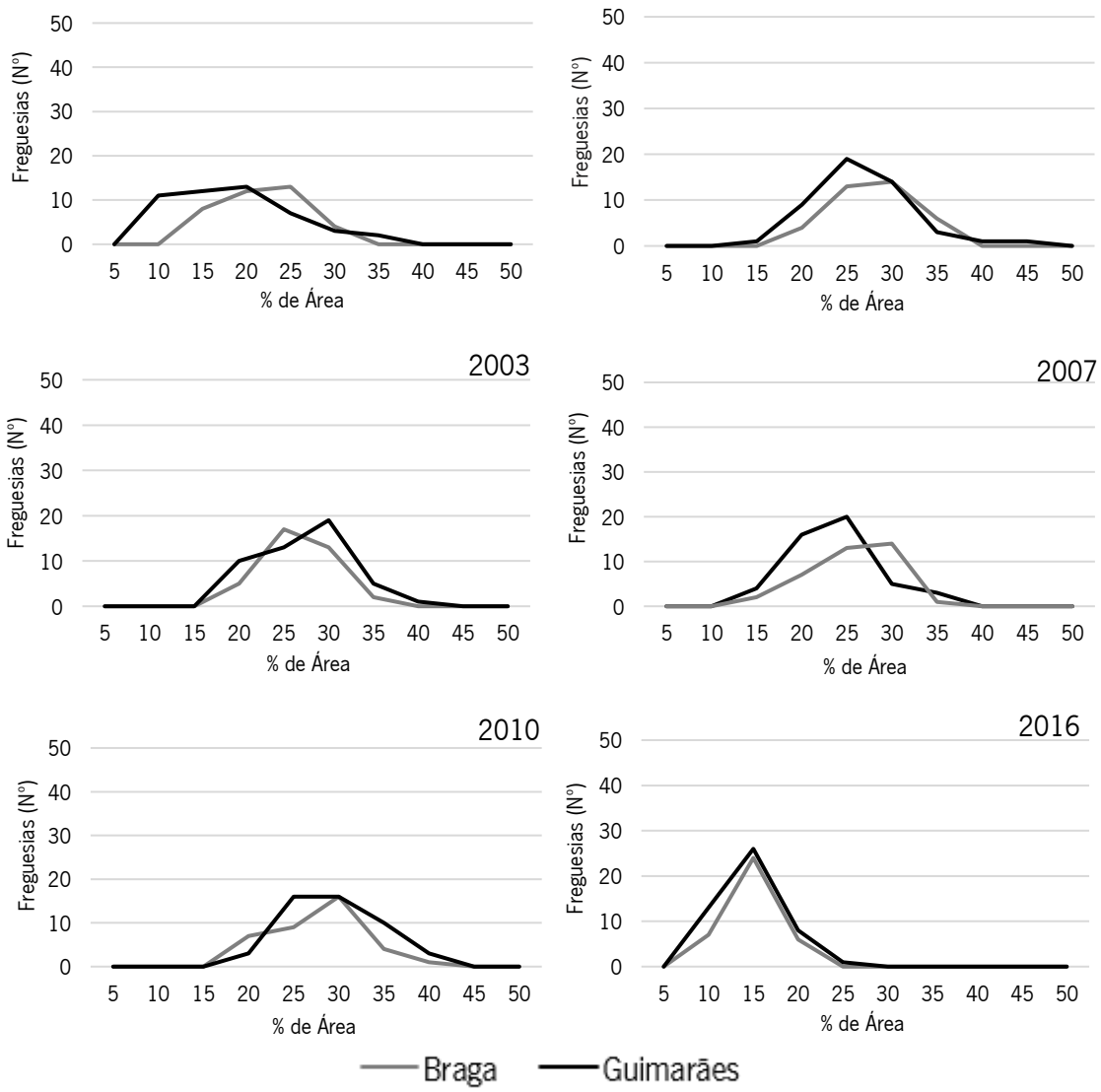


Figura III-32 – Evolução área ocupada (%) com solo nu ou esparsa entre 1984 e 2016 por freguesia

III – 1.3.2. *Ranking* das Freguesias em função da Área Urbana

Os valores da área urbana aqui analisados resultam da soma da área ocupada pelas componentes biofísicas industrial/pedreiras e superfícies impermeáveis antrópicas. Os *rankings* apresentados ilustram em simultâneo as freguesias mais e menos afetadas pelo processo de urbanização, quer em termos de área absoluta, quer relativa (*vide* Apêndice II). De ressalvar que ao se considerar os

valores absolutos da extensão dos tecidos urbanos a dimensão espacial da freguesia desempenha um papel fundamental, uma vez que determina a maior ou menor extensão de área urbana possível.

Município de Braga

No município de Braga em 1984 são as freguesias do núcleo histórico – *i.e.*, União de Freguesias de São José de São Lázaro e São João do Souto; União de Freguesias de Maximinos, Sé e Cividade; e Freguesia de São Vítor; e Freguesia de São Vicente (*vide* Figura I-48) – que apresentam a maior extensão de área urbana, quer em termos absolutos, quer relativos. De notar que a União de Freguesias de São José de São Lázaro e São João do Souto ocupa simultaneamente o primeiro lugar nas duas listagens. São Vicente, apesar constituir a quarta freguesia com maior percentagem de área urbana, a sua exígua dimensão espacial não lhe permite figurar no *ranking* quando considerados os valores absolutos de área (*vide* Apêndice II).

Em 1999 observa-se uma interessante dualidade, pois na ordenação em função da área relativa não se verificam alterações significativas em relação a 1984, porém ao se considerar área absoluta ressalta a entrada direta para o segundo lugar da União de Freguesias de Nogueira, Fraião e Lamaçães. Lembrando que, grande parte do crescimento urbano de Braga nas décadas de 1980/1990 ocorre na freguesia de Lamaçães. Paralelamente, também a União de freguesias de Celeirós, Aveleda e Vimieiro e a freguesia de Palmeira são alvo de intensos processos de crescimento urbano, ocupando o quarto e o quinto lugar, respetivamente, no *ranking* das freguesias com maior extensão de área urbana. Por oposição, a União de Freguesias de Maximinos, Sé e Cividade deixa de constar neste ranking, descendendo também duas posições no ranking da área relativa (*vide* Apêndice II).

Em 2003, como se verificava nas datas anteriores (e continua a verificar nas datas seguintes) são as freguesias do centro histórico que detêm a proporção de território impermeabilizado mais elevada – embora se verifiquem algumas oscilações na sua posição. Sem embargo, quando considerados os valores absolutos o quadro altera-se, sendo que com a saída da União de Freguesias de São José de São Lázaro e São João do Souto, do centro histórico de Braga apenas a Freguesia de São Vítor continua a figurar. As restantes posições do *ranking* passam a ser detidas pelas freguesias confinantes a esta circunscrição – mormente, a União de Freguesias de Nogueira,

Fraião e Lamaçães (segundo lugar) e a União de Freguesias de Real, Dume e Semelhe (quarto lugar) –, e outras duas mais periféricas, como é caso da União de Freguesias de Celeirós, Aveleda e Vimieiro (primeiro lugar) e da Freguesia de Palmeira (quinto lugar). Com efeito, o processo de crescimento urbano da cidade de Braga para além dos limites do núcleo histórico, já indiciado em 1999, consuma-se a partir de 2003, em grande parte fruto da saturação da construção no centro histórico (como comprovam os elevados percentuais de área urbana). Sublinhar que, a partir desta data as cinco freguesias com maior área urbana – absoluta e relativa – não se alteram, apesar de serem visíveis algumas oscilações na posição que ocupam (*vide* Apêndice II).

As freguesias com menor área urbana localizam-se preferencialmente nos territórios limítrofes do município de Braga. Não obstante a área urbana na Freguesia de Pedralva (localizada no extremo Nordeste do município de Braga, onde este confronta com a Póvoa de Lanhoso) aumentar de 0,29% para 11,86% entre 1984 e 2016, esta permanece invariavelmente como a freguesia *bracarense* com menor percentagem de área urbana em todas as datas em estudo. A Freguesia de Sobreposta, que confina com a anterior, em geral, assume o segundo nesta listagem. Note-se que estas duas freguesias entre 1984 e 2003 correspondem também as freguesias com menor extensão de área urbana, quando considerados os valores absolutos (*vide* Apêndice II).

Ainda no que concerne à ordenação das freguesias com menor área urbana relativa, de destacar a União de Freguesias de Este (São Pedro e São Mamede), que apenas aparece neste ranking nos anos de 1984 e 1999, pelo que se depreende que nos anos seguintes terá registado um importante crescimento urbano. A União de Freguesias de Crespos e de Pousada, por outro lado, apenas não se incluía neste ranking no ano de 1984, o que evidencia que não terá acompanhado a tendência de crescimento do município, particularmente evidente no período 1984-1999. Além destas, a União de Freguesias de Escudeiros e Penso (Santo Estevão e São Vicente) e a União de Freguesias de Guisande e Oliveira (São Pedro) também se encontram recorrentemente entre as que apresentam menor percentagem de tecido urbano, exceção feita aos anos de 1984 e 2003 no primeiro caso e aos anos de 1999 e 2016 no segundo (*vide* Apêndice II).

A Freguesia de Lamas ocupa em geral a primeira posição no *ranking* das freguesias com menor extensão urbana (exceção feita a 2003), advindo da exígua dimensão espacial que esta detém. De realçar ainda a inclusão recorrente nesta listagem das seguintes unidades territoriais: Freguesia de Figueiredo, a União de Freguesias de Guisande e Oliveira (São Pedro), a Freguesia de Tadim,

a Freguesia de Esporões, cuja primeira aparição no *ranking* ocorre em 2003, e a Freguesia de Ruílhe, que só aparece a partir de 2010 (*vide* Apêndice II).

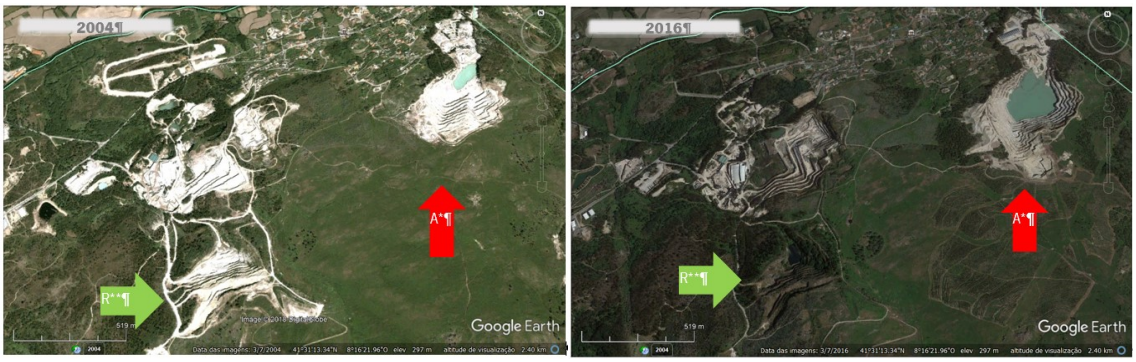
Município de Guimarães

Em Guimarães, contrariamente a Braga, o centro histórico é constituído apenas pela União de Freguesias de Oliveira, São Paio e São Sebastião (*vide* Figura I-53), que detém em todas as datas a maior percentagem de área urbana, consequência da sua urbanização secular e da exígua dimensão espacial (sendo a segunda mais pequena do município). A segunda posição é, igualmente, ocupada em todas as datas pela Freguesia de Creixomil – localizada nas imediações do núcleo histórico e considerada parte integrante da cidade de Guimarães (Figura I-53). A Freguesia de Azurém, também integrada na cidade, em 1984 aparecia apenas na quinta posição, estando à sua frente a Freguesia de Selho (São Jorge), vulgarmente conhecida como Pevidém, e a Freguesia de Moreira de Cónegos, ambas com o estatuto de Vila. Contudo, a partir de 1999 a freguesia de Azurém assume a terceira posição do *ranking*, revelando um crescimento urbano notável, particularmente visível entre 1984 e 1999, alicerçado na criação do *Campus* de Azurém da Universidade do Minho. A freguesia posicionada em quarto lugar no *ranking* das freguesias com maior percentagem de tecido urbano vai oscilando entre datas, porém este lugar é detido na maior parte das vezes pela Freguesia de Caldelas (2007, 2010, 2016) – também conhecida como Vila da Taipas (*vide* Apêndice II).

Em sinopse, no período de 1984 e 2016 as freguesias de Guimarães com maior percentagem de área urbana correspondem sistematicamente ao centro histórico (União de Freguesias de Oliveira, São Paio e São Sebastião), aquelas que constituem a cidade de Guimarães (Creixomil, Azurém, Gondar), bem como às que possuem o estatuto de vila (Caldelas, Selho São Jorge, Moreira de Cónegos e Lordelo) (*vide* Figura I-53 e Apêndice II). Por outro lado, se considerados os valores absolutos de área urbana, irrompe um quadro bastante diferenciado. Desde logo, a União de Freguesias de Oliveira, São Paio e São Sebastião – que detém a maior percentagem de área impermeável em todas as datas – apenas figura no *ranking* em 1984. Assim sendo, apesar da percentagem de área urbana nesta freguesia aumentar entre 1984 e 2016, o crescimento em termos absolutos é reduzido (*vide* Apêndice II), revelando a saturação do território.

As freguesias vimaranenses que apresentam maior extensão de área urbana entre 1984 e 2016 são Selho (São Jorge), Moreira de Cónegos, Ponte (São João) e Lordelo. Estas freguesias apresentam concomitantemente duas características comuns essenciais para a compreensão destes valores: (i) o facto de possuírem o estatuto de vila, como já referido; e (ii) uma forte componente industrial. Além destas, também a Freguesia de Creixomil – parte da cidade de Guimarães – detém valores elevados de área urbana (*vide* Apêndice II). Estes resultados patenteiam bem a importância que as Vilas, e particularmente as mais industrializadas, têm na estruturação do tecido urbano para além dos limites da cidade estabelecidos no PDM (Figura I-53), pois (como próprio PDM também reconhece) constituem importantes polarizadores da urbanidade. Em contraponto, em Braga a ausência de Vilas parece ter promovido um crescimento urbano mais centrífugo, profundamente ancorado no núcleo urbano central.

Antes de terminar, importa ainda esclarecer duas situações instigante decorrentes da presença da União de Freguesias de Souto (Santa Maria e São Salvador) e Gondomar em 2007, 2010 e 2016 e da União de Freguesias de Airão (Santa Maria e São João) e Vermil em 2016 no ranking das freguesias com maior área urbana (*vide* Apêndice II). Em verdade em nenhum dos casos a posição ocupada se deve a um surto de crescimento urbano, mas antes ao alastrar das cicatrizes decorrentes da exploração das pedreiras (Figura III-33) – notando que Guimarães é dos municípios do Norte do país com maior número de pedreiras (Pinho, 1995). Para o caso importa relembrar que para o cálculo da área urbana de cada freguesia, no qual se baseiam estas listagens, se considera quer as superfícies impermeáveis antrópicas, quer a componente biofísica industrial/pedreiras – e tal como bem explicito no nome as pedreiras estão incluídas nesta delimitação – daí que surja este tipo de situações. Aliás, estes 'acidentes visuais' têm tendência a se perpetuar no tempo, pois raramente são levadas a cabo medidas para a reabilitação/renaturalização destes espaços após a extração da rocha (Pinho, 1995). Outro fator que não se pode descurar é a dimensão espacial destas duas freguesias, visto que a União de Freguesias de Souto (Santa Maria e São Salvador) e Gondomar é a freguesia vimaranense que detém maior área geográfica, e que a União de Freguesias de Airão (Santa Maria e São João) e Vermil se posiciona em sexto lugar.



Dinâmica da pedreira: A*avanço e R** recuperação da vegetação.

Fonte: Google Earth (2004 e 2016).

Figura III-33 – Dinâmica temporal das pedreiras localizadas na União de Freguesias de Souto (Santa Maria e São Salvador) e Gondomar

As incongruências detetadas colocam em evidência as implicações que o sistema de classificação implementado, particularmente no que concerne às limitações que lhe estão inerentes, bem como à realidade do território em estudo, evidenciada pelas imagens de alta resolução espacial disponibilizadas pelo Google Earth, detêm nos resultados obtidos. Neste sentido, a familiaridade do utilizador com o território (Xiao e Weng, 2016) permite desde logo descodificar a origem de determinadas situações excêntricas, que numa primeira análise não seriam detetadas. Por tudo isto, partilha-se e reforça-se a asserção de Mayaux *et al.* (2008),

> "*although it can be observed globally from space, land cover change occurs at a very local scale and requires good ecological and socio-economic knowledge to correctly interpret the reflectance registered by the satellite*" (p.106).

Nas seis datas analisadas entre 1984 e 2016 a freguesia vimaranense que detém menor percentagem de área urbana é Longos, com exceção dos anos de 2003 e 2007, momentos em que cede a primeira posição à Freguesia de Infantas (que se inclui igualmente neste *ranking* em todas as outras datas). Concomitantemente, estas duas freguesias apresentam também assiduamente os menores valores absolutos de área urbana, com exceção dos anos de 2007 e 2016 no caso de Longos e de 1984, 1999 e 2016 no de Infantas (*vide* Apêndice II).

Ainda que no concerne à ordenação das freguesias em função da menor percentagem de área urbana, de notar que a despeito das várias oscilações verificadas (*i.e.*, entrada e saída de freguesias e alteração das posições), se observa a presença recorrente das seguintes União de Freguesia: (i) Briteiros (São Salvador e Santa Leocádia), nomeadamente nos anos de 1984, 2003, 2007 e 2010; (ii) Arosa e Castelões, a partir de 1999, sendo que também integra o *ranking* das

freguesias com menor área urbana efetiva no período 1999-2010; (iii) Atães e Rendufe (a segunda freguesia com maior extensão do município), em 1984, 1999, 2007; e, (iv) ainda Oleiros, Leitões e Figueiredo, nos anos de 1984, 1999, 2010. Em 2016 verifica-se a entrada de duas novas freguesias para este *ranking*, mormente a União da Freguesias de Sande (São Lourenço) e Balazar e a Freguesia de Gonça (*vide* Apêndice II).

Por seu turno, no grupo das freguesias com menor extensão urbana, além do já referido anteriormente, salientar a permanência em todas as datas da Freguesia de Prazins (Santa Eufémia), bem como recorrente presença recorrente das freguesias de Aldão (que constitui a freguesia de menor dimensão do município de Guimarães) e de Pinheiro (*vide* Apêndice II).

III – 1.3.3. *Ranking* das Freguesias em função da Vegetação Arbórea e/ou Densa

O *ranking* das áreas urbanas analisado anteriormente evidenciou as freguesias com maior e menor dinamismo urbano nos municípios de Braga e de Guimarães, bem como as tendências espaciais verificadas no processo de crescimento urbano entre 1984 e 2016 (*vide* Apêndice II). Em sequência, procura-se com a elaboração, nos mesmo moldes, de um *ranking* para a vegetação arbórea ou densa (*vide* Apêndice III) identificar as freguesias que possuem maior (e menor) capacidade de regulação climática local (Burkhard *et al.*, 2009), por via do arrefecimento evaporativo (Acero *et al.*, 2013) e das trocas de ar com as áreas mais urbanizadas (Oke *et al.*, 2017) que daí decorrem (*e.g.*, a brisa rural, resultante das diferenças de temperatura e de pressão entre os espaços florestais e as áreas urbanas e a brisa descendente de vertente, existente quando as áreas florestais se localizam nos topos – onde ocorre a produção de ar fresco). Além disto, a presença de vegetação arbórea ou densa contribui para a melhoria da qualidade do ar, através do sequestro do carbono e da filtragem dos poluentes (Burkhard *et al.*, 2009).

Em consonância com o que seria de esperar, quanto maior a percentagem de área urbana menor a de vegetação arbórea ou densa (*c.f.*, Apêndice II e Apêndice III). Por sua vez, no *ranking* das freguesias com menor extensão de área florestal incluem-se quer as que apresentam uma elevada extensão de área urbana, quer aquelas que possuem uma dimensão espacial muito reduzida (*c.f.*, Apêndice II e Apêndice III).

Município de Braga

As freguesias bracarenses que apresentam maior extensão de território ocupado com vegetação arbórea e/ou densa correspondem, em regra, as que possuem maior dimensão territorial. Efetivamente, a freguesia com maior área no município de Braga – *i.e.*, Adaúfe – surge ininterruptamente nesta listagem, variando apenas entre a primeira e a terceira posição. Neste *ranking*, nas diversas datas em estudo, incluem-se de modo sistemático as seguintes União de Freguesia: (i) Este (São Pedro e São Mamede); (ii) Escudeiros e Penso (Santo Estevão e São Vicente); e, (iii) Crespos e Pousada. E, ainda, embora de modo menos frequente, a União de Freguesias de Arentim e Cunha, e a de Santa Lucrécia de Algeriz e Navarra. Note-se que, a Freguesia de Lamaçães, incluída neste *ranking* nos anos de 1984 e 1999, deixa de figurar nos anos seguintes, consequência do crescimento acelerado, que consumiu estas áreas (*vide* Apêndice III).

Na ordenação das freguesias em função dos maiores valores de área relativa com vegetação arbórea e/ou densa ressalta a presença sistemática da Freguesia de Tadim, localizada na fronteira com o município de Barcelos em terrenos com altitude elevada. Estas características – *i.e.*, ocupação de terrenos de interflúvio que constituem a linha de separação entre municípios – são transversais à União de Freguesias de Arentim e Cunha, à Freguesia de Espinho, e à União de Freguesias de Nogueiró e Tenões (*vide* Apêndice III). A União de Freguesias de Guisande e Oliveira (São Pedro), a União de Freguesias de Crespos e Pousada e a União de Freguesias de Este (São Pedro e São Mamede), combinam as maiores percentagens de vegetação arbórea e/ou densa e com as menores percentagens de tecido urbano (*c.f.*, Apêndice II e Apêndice III)..

Município de Guimarães

No município de Guimarães, tal como constado em Braga, as freguesias com maior extensão de vegetação arbórea e/ou densa correspondem às que detêm maior extensão. Nesta aceção, denota-se a inclusão neste *ranking* das seguintes União de Freguesia: (i) Atães e Rendufe (segunda maior do município), presente em todas as datas; (ii) Souto (São Salvador e Santa Maria) e Gondomar, apenas ausente em 2003 e 2010; (iii) Gémeos e Abação, entre 1984 e 2003; e ainda, (iv) Leitões, Oleiros e Figueiredo, a partir de 2010. Paralelamente, é de salientar também a inclusão das Freguesia de Longos, Infantas e de Gonça. Não obstante, verificam-se notórias

oscilações na sua posição, que tanto se podem dever à incêndios florestais, como aos cortes dos povoamentos florestais (*vide* Apêndice III).

As freguesias de Longos e de Infantas, sucessivamente presentes na listagem das freguesias com menor percentagem de área urbana, detêm, por oposição, a maior percentagem de território ocupado com vegetação arbórea e/ou densa. Igual situação é verificada na União de Freguesias de Arosa e Castelões e na União de Freguesias de Atães e Rendufe. Em contrapartida, a União de Freguesias de Abação e Gémeos, parte integrante deste *ranking* nos anos de 1984, 2003 e 2010, e a União de Freguesias de Tabuadelo e São Faustino, nos anos de 2003, 2010 e 2016, não se incluíam na listagem das freguesias com menor percentagem de área urbana.

Por fim, de salientar a presença da Freguesia da Costa como uma das que possuiu maior percentagem de território com vegetação arbórea e/ou densa (*vide* Apêndice III), devendo-se tal à profusa arborização do Monte da Penha – considerada em termos leigos o 'pulmão da cidade de Guimarães'.

III – 2. O CRESCIMENTO URBANO

"De Braga a Guimarães são vinte quilómetros, mas uns quilómetros que vão sendo cada vez mais curtos à medida que as duas cidades veem crescer as suas testadas".
|Saraiva, 1987, p.71|

A geografia da urbanização encontra-se em franca mutação, constituindo este fenómeno um dos exemplos mais profundos da modificação humana sobre a superfície terrestre (Weng, 2011). Para Seto *et al.* (2010) encontramo-nos no século da 'cidade', pelo que a urbanização definirá as características sociais, económicas e ambientais desta centúria. Presentemente, as 'cidades' diferenciam-se de todos os outros períodos da História – no que concerne à extensão espacial, forma, dimensão populacional, bem como funções e importância económica, (Seto *et al.*, 2010). Portugal viveu nos últimos 50 anos um ciclo contínuo de crescimento urbano (Cavaco, 2015), no caso específico dos municípios de Braga e de Guimarães (inseridos no contexto do Noroeste de português), os ritmos de crescimento foram moderados entre 1950 e 1980, e marcadamente acelerados entre 1980 e 2010 (Ribeiro e Ferrão, 2014).

A configuração espacial das coberturas/usos do solo, os processos urbanos, a taxa e escala de urbanização determinam muitas das interações entre os territórios artificiais e o ambiente. A caracterização do crescimento urbano permite, com efeito, avaliar os impactes do processo de urbanização nos recursos ambientais, na biodiversidade e no clima (Seto *et al.*, 2010), entre outros. A ligação dos padrões espaciotemporais com os processos sociais e físicos subjacentes contribui para a definição de políticas urbanas mais eficazes e sustentáveis. Neste cômputo, o presente estudo centra-se na componente física da cidade – *i.e.*, no tecido urbano, decorrente da conversão de áreas permeáveis, com maior ou menor quantidade de vegetação, em superfícies impermeáveis antrópicas. Para tal, procede-se à separação das componentes biofísicas industrial/pedreiras e superfícies impermeáveis antrópicas das restantes, adotando-se uma classificação binária – urbano *versus* não urbano. Deste modo, a área urbana é entendida como sinónimo de superfícies impermeáveis antrópicas ou ambiente construído, em consonância com diversos estudos (*e.g.*, Liu *et al.*, 2010; Zhao *et al.*, 2015; Jiao *et al.*, 2015; Song *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2018). A definição do que é considerado 'urbano' é fundamental, pois a polissemia do conceito, somada à amplitude de dados e métodos utilizados, resulta em diversas estimativas quanto à sua extensão (pelo que os resultados nem sempre são comparáveis).

Atendendo a que a urbanização não é um processo homogéneo, posto que varia significativamente a nível nacional e mesmo regional (Seto *et al.*, 2010), procura-se descortinar as dinâmicas urbanas da AUBG, em geral, e dos municípios de Braga e de Guimarães, em particular, nos 32 anos abarcados pelas imagens Landsat selecionadas. Em concreto, procura-se dar resposta às seguintes questões:

- Qual o padrão espaciotemporal do crescimento urbano na AUBG?
- Qual o modo de crescimento urbano dominante nos municípios de Braga e de Guimarães?
- Quais as (dis)similaridades urbanas entre Braga e Guimarães?

A resposta às questões levantadas só é plenamente entendível quando enquadrada na(s) teoria(s) urbana(s), nomeadamente aplicabilidade da hipótese (teórica) de que a urbanização se desenvolve numa alternância cíclica de duas fases: uma de dispersão, caracterizada pelo aparecimento de novas manchas urbanas, e outra de coalescência, marcada pela fusão das manchas vizinhas (Herold *et al.*, 2005; Dietzel *et al.*, 2005a, 2005b). Diferentemente da maior parte dos trabalhos desenvolvidos nesta temática, este estudo empírico não só analisa o padrão espacial e quantifica o ritmo do crescimento urbano, como também descortina o modo como este ocorre nos municípios de Braga e de Guimarães – *i.e.*, por colmatação, contiguidade ou dispersão (Liu *et al.,* 2010). A este respeito reavivar que, decorrente das vicissitudes históricas, os dois municípios apresentam um mosaico territorial muito distinto.

Cruzando as dimensões longitudinais e temporais, este estudo detém um claro enfoque cronogeográfico – fundamental nos estudos de Geografia Urbana, uma vez que o tempo e o espaço estão indissoluvelmente ligados (Estébanez, 1992). Adota-se primordialmente a lógica indutiva da abordagem *bottom-up* (Herold *et al.*, 2005; Dietzel *et al.*, 2005a, 2005b) – ou se seja, procura-se traçar os padrões da evolução urbana de Braga e de Guimarães (*i.e.*, a estrutura) entre 1984 e 2016, com base na integração dos dados de Deteção Remota com os SIG, para numa fase posterior do trabalho se determinar as consequências deste processo no ambiente térmico.

III – 2.1. Padrão Espacial e Ritmo do Crescimento Urbano

A aquisição sequencial de imagens Landsat permite não só observar a evolução da configuração espacial da AUBG (Figura III-34), como também descrever, quantificar e modelar o processo de urbanização subjacente.

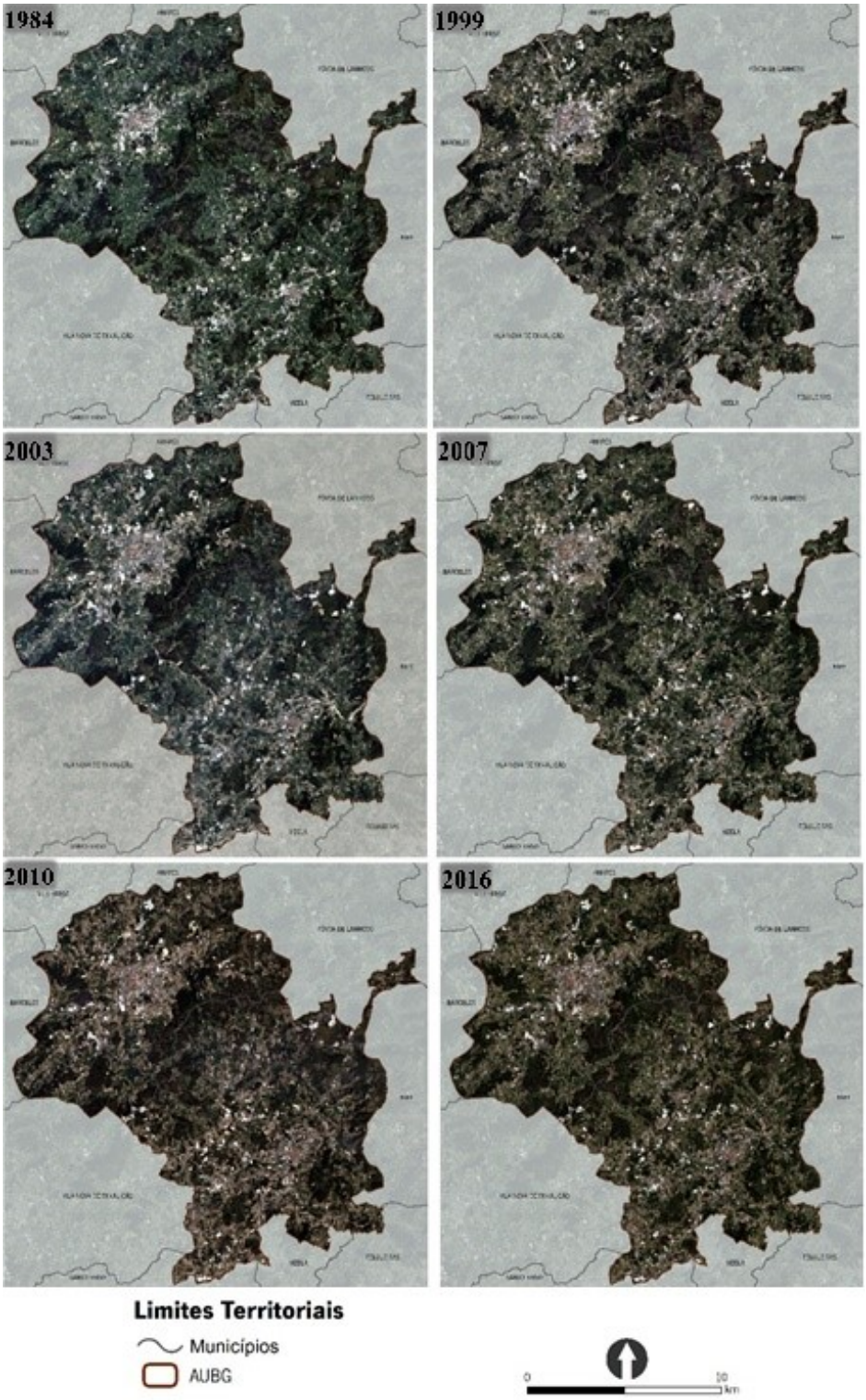


Figura III-34 – Observação da AUBG pelo Landsat entre 1984 e 2016

Na AUBG entre 1984 e 2016 denotam-se alterações significativas na paisagem urbana decorrentes do aumento do tecido construído nos dois municípios (Tabela III-5), que coalesceu numa imensa constelação (Figura III-34). Assim, como refere Fonseca (2016), "a metamorfose é da natureza da cidade, sempre em constante mudança, ao ritmo dos fluxos demográficos, das leis da economia e das modas", por comparação ao campo (...) mais dado à imutabilidade" (p.69). A propósito da asserção de Fonseca (2016), concordando-se com o referido relativamente ao urbano, não se pode dizer o mesmo do 'campo', pois como constatado anteriormente também as componentes biofísicas permeáveis apresentam importantes oscilações neste território.

Tabela III-5 – Tecido urbano (m^2 e %) na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Ano	AUBG		Braga		Guimarães	
	m^2	%	m^2	%	m^2	%
1984	20078100	4,73	9864000	5,38	10214100	4,24
1999	57953700	13,67	27320400	14,91	30633300	12,72
2003	84365100	19,90	41265900	22,52	43099200	17,90
2007	99424800	23,45	47812500	26,09	51612300	21,44
2010	111219300	26,23	52810200	28,82	58409100	24,26
2016	140570100	33,15	64113300	34,98	76456800	31,75

Em termos comparativos, o município de Guimarães apresenta um valor absoluto de área urbana sempre mais elevado do que Braga, no entanto, consequência da maior extensão, a percentagem de território impermeabilizado é ligeiramente inferior em todas as datas (Tabela III-5).

Em 1984, Braga apresentava uma mancha urbana claramente mais contínua do que Guimarães, onde, para além do centro histórico, são claramente percetíveis outros pequenos núcleos, como é o caso de Pevidém, Lordelo/Moreira de Cónegos e da área adjacente à Vila das Taipas. A partir do centro de Braga emerge uma estrutura urbana radial, comandada pelas vias rodoviárias, em direção às localidades vizinhas de Vila Verde, Amares, Vila Nova de Famalicão, Póvoa de Lanhoso e Guimarães (embora esta ligação apareça de forma muito ténue, quando comparada com as anteriores). Não obstante, em Braga, mas sobretudo em Guimarães, é notória a disseminação das manchas urbana por todo território, em muitos casos correspondentes a conjuntos habitacionais individuais (Figura III-35). Neste sentido, a estrutura urbana multinucleada destes municípios contrasta com os convencionais núcleos urbanos individuais e bem delimitados – o que as torna

ideais para estudar as dinâmicas urbanas e ambientais pós-modernas decorrentes do acelerado processo de crescimento urbano (Yang, 2011b).

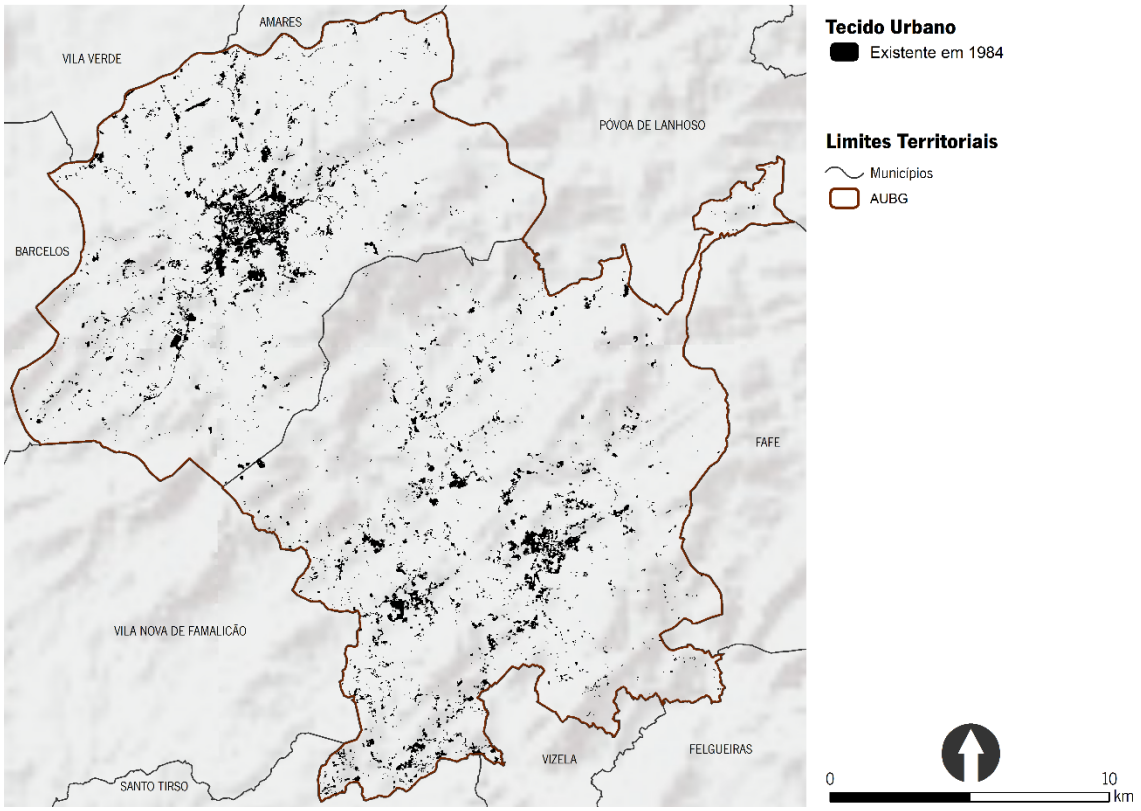


Figura III-35 – Tecido urbano existente na AUBG em 1984

No período de 1984-1999 verificam-se os incrementos mais significativos de área urbana no município de Braga (17,45km²) e de Guimarães (20,42km²), tendo ocorrido nestes 15 anos 30-32% do crescimento urbano registado nas três décadas em estudo (Tabela III-6).

Tabela III-6 – Crescimento urbano (m² e %) na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Intervalo Temporal	AUBG		Braga		Guimarães	
	m²	%	m²	%	m²	%
1984-1999	37872996,96	31,44	17451594,19	32,18	20421402,8	30,84
1999-2003	26401039,75	21,92	13939102,81	25,70	12461936,94	18,82
2003-2007	6552599,93	12,51	6546034,13	12,07	8518136,29	12,86
2007-2010	11791398,47	9,79	4997023,092	9,21	6794375,377	10,26
2010-2016	29328242,97	24,35	11297982,88	20,83	18030260,09	27,23
Total (1984-2016)	120457848,6	100	54231737,11	100	66226111,5	100

No hiato 1984-1999, decorrente da amplitude temporal abarcada e da reduzida dimensão urbana verificada no início da série histórica, registam-se os ganhos proporcionais de tecido urbano mais elevados, pois em Guimarães este triplica (ganhos de 200%) e em Braga fica muito próximo disso (Tabela III-7).

Tabela III-7 – Proporção do crescimento urbano (%) relativamente ao tecido urbano existente na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Intervalo Temporal	Proporção do Crescimento Urbano (%)		
	AUBG	Braga	Guimarães
1984-1999	189	177	200
1999-2003	46	51	41
2003-2007	18	16	20
2007-2010	12	10	13
2010-2016	26	21	31
1984-2016	600	550	649

Em termos espaciais os aumentos de tecido urbano entre 1984 e 1999 são por demais evidentes, destacando-se particularmente a abertura de novos eixos viários. Em Braga acentua-se a forma urbana observada em 1984, por via do aproveitamento dos intervalos sobrantes do crescimento radial da cidade, comandado pelas vias de comunicação, no sentido SW-NE e para Noroeste (Figura III-36). De acordo com Bandeira *et al.* (2018), o tecido urbano ocupou num primeiro momento a freguesia de São José de São Lázaro, depois São Vítor e Maximinos/Lomar, aproveitando os terrenos mais baixos e planos. Porém, rapidamente se estendeu às freguesias circundantes de Fraião/Nogueira, bem como de Lamaçães e Nogueiró, de características mais declivosas e montanhosas (como ilustra o *ranking* das freguesias bracarenses em função da área urbana; Apêndice II). Efetivamente, neste hiato é notória a densificação do espaço central – política indicativa de pujança económica e desenvolvimento de uma cidade durante várias décadas (Ribeiro Telles, 2001). Em Guimarães, apesar de menos evidente, também se observa um crescimento radial a partir do centro, em direção aos núcleos já observados em 1984, nomeadamente as Caldas das Taipas, Pevidém e Lordelo/Moreira de Cónegos, respetivamente nos sentidos Noroeste, Oeste e Sudoeste.

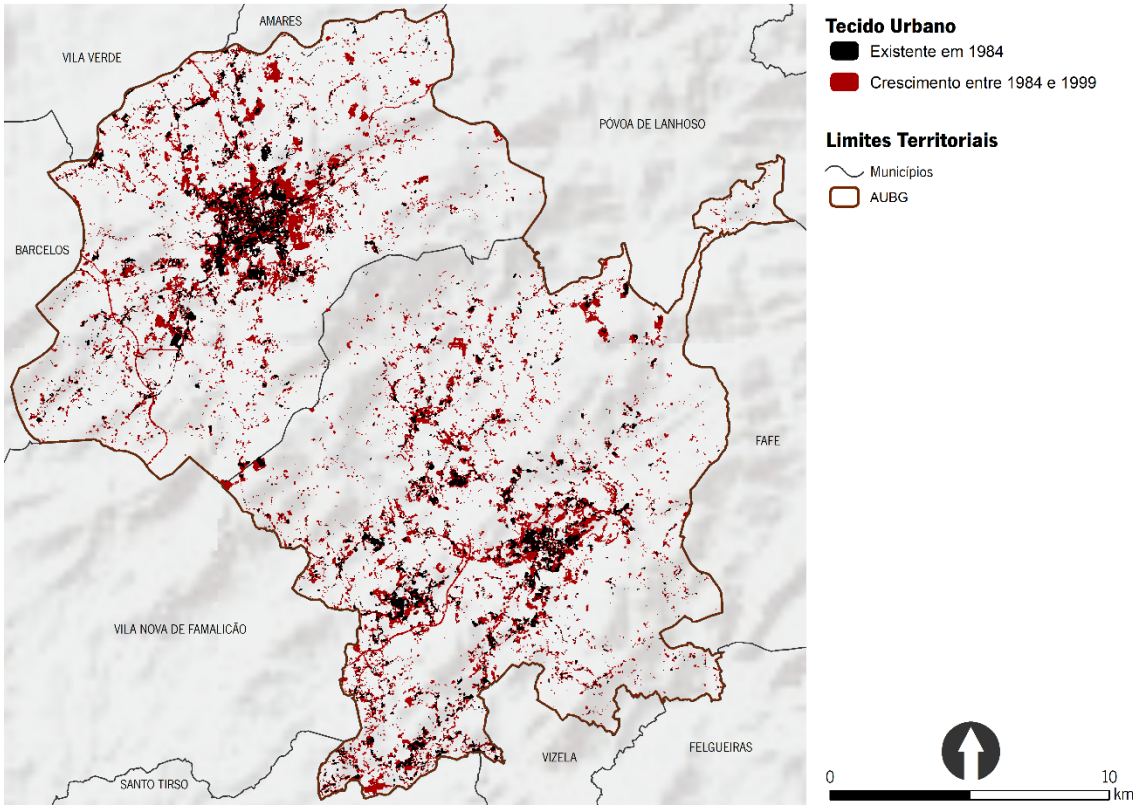


Figura III-36 – Crescimento urbano verificado na AUBG entre 1984 e 1999

Apesar do crescimento urbano verificado entre meados da década de 80 e o final do século, as cidades de Braga e de Guimarães – na sua asserção canónica – permanecem no advento do novo milénio claramente separadas, em grande parte por causa do interflúvio Bom Jesus, Sameiro e Falperra (Figura III-36). Esta situação demonstra a importância da topografia no desenvolvimento urbano, enquanto fator condicionante, mas não determinante, como se observa nos anos seguintes.

Em 2003, relativamente a 1999, denotam-se importantes mudanças na paisagem da AUBG (Figura III-37), decorrentes do incremento de 13939103m² de tecido urbano em Braga e 12461937m² em Guimarães – que representam 26% e 19% do total de crescimento urbano entre 1984 e 2016, respetivamente (Tabela III-6). Estes aumentos traduziram-se em ganhos na ordem dos 50% em relação ao tecido urbano verificado na data anterior, de salientar que é apenas neste hiato temporal que os ganhos proporcionais são mais elevados em Braga do que em Guimarães (Tabela III-7). Em termos espaciais a supremacia de Braga é de igual modo evidente, embora o elemento urbano que mais se destaca na paisagem seja precisamente a A11, que conecta os dois núcleos.

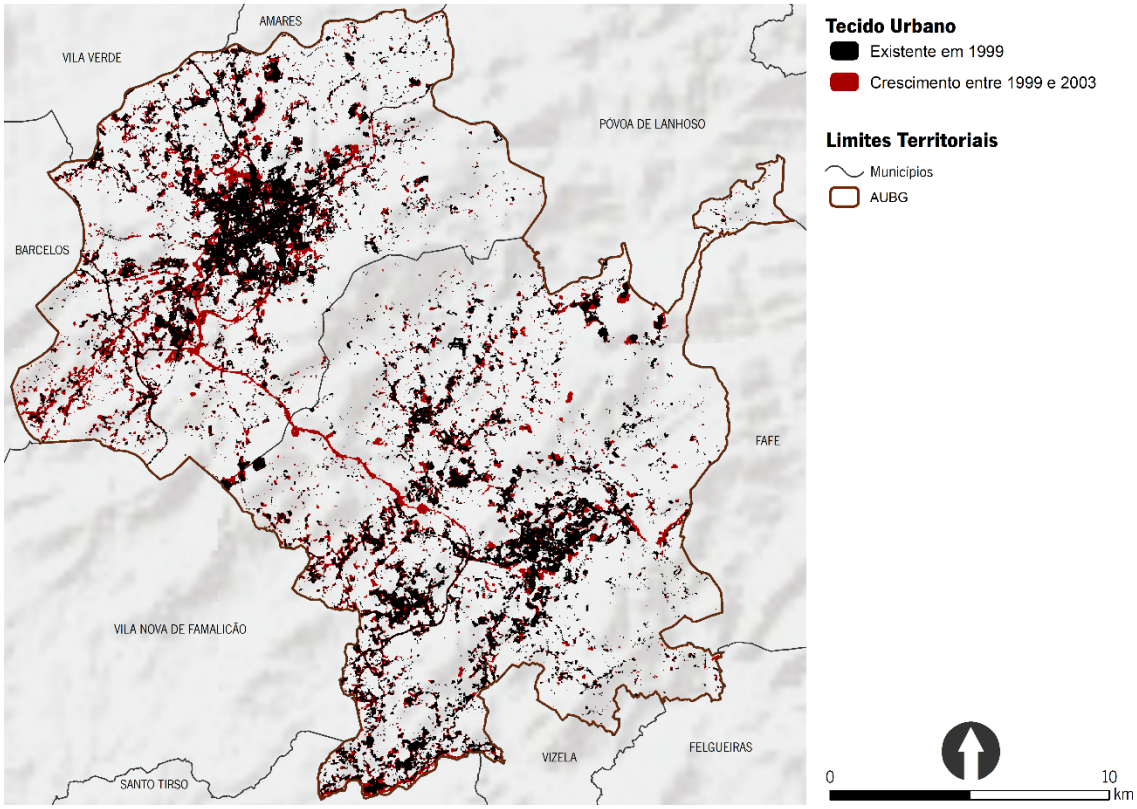


Figura III-37 – Crescimento urbano verificado na AUBG entre 1999 e 2003

De 2003 para 2007 as mudanças verificadas apresentam uma magnitude claramente inferior à verificada anteriormente, dado que os ganhos de tecido urbano em termos proporcionais ao preexistente são reduzidos: 16% em Braga e 20% em Guimarães (Tabela III-7). Além disto, este intervalo temporal representa apenas cerca de 12%-13% no total de crescimento urbano verificado nos 32 anos em estudo (Tabela III-6).

Espacialmente, as alterações verificadas em 2007, relativamente a 2003, são mais evidentes em Guimarães do que em Braga, fruto da continuação da A11 até Penafiel, no setor Sudeste do município de Guimarães. A parte deste eixo viário de alta velocidade, o crescimento urbano resulta do acréscimo de pequenas parcelas urbanas de reduzida dimensão (Figura III-38). Com efeito, é notória uma distinção entre a urbanização de pequena escala, suportada por uma malha fina e ramificada de vias, que se distingue dos grandes volumes edificados – na maior parte dos casos associados a grandes complexos industriais ou de logística. Ainda assim, em Braga sobressai a ocupação da encosta sagrada (em direção ao Santuário do Bom Jesus), marcada pelo aparecimento de um novo eixo viário – ou então, este torna-se visível aos 'olhos' do Landsat pela densificação da construção na sua envolvente (Figura III-38). A construção ao longo desta encosta

decorre do retalhamento e loteamento de quintas agrícolas, ainda que numa primeira fase o edificado se tenha desenvolvido junto dos antigos caminhos rurais, entretanto asfaltados. As primitivas vias encontravam-se adossadas à topografia, porém vão sendo progressivamente alterada por via da densificação das construções – que, não raras as vezes, se vão 'ombreando entre si' (Bandeira *et al.,* 2018). As novas ruas, apesar de dotadas das infraestruturas urbanas necessárias, apresentam um traçado geométrico, que em tudo difere da matriz territorial predecessora, continua o referido autor.

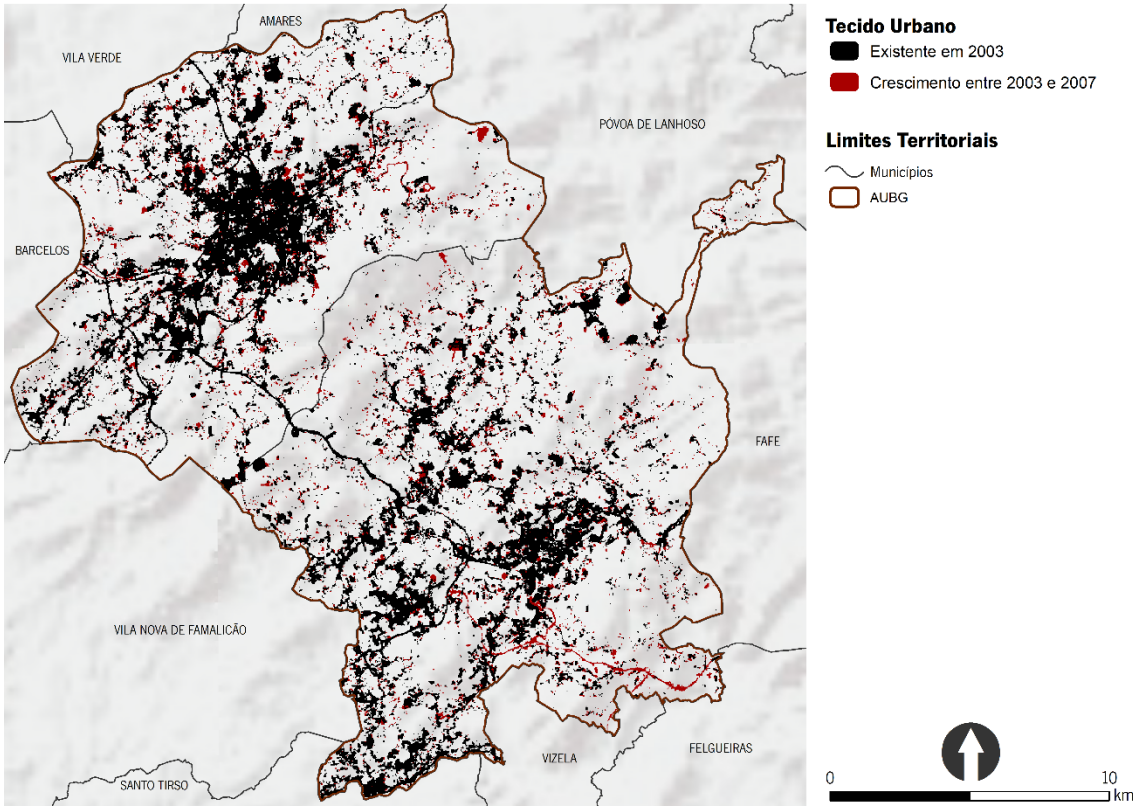


Figura III-38 – Crescimento urbano verificado na AUBG entre 2003 e 2007

Em 2010, relativamente a 2007, as mudanças no território da AUBG são muito reduzidas, decorrentes da estagnação urbana, apenas quebrada pelo surgimento de alguns segmentos urbanos, disseminados na paisagem dos dois municípios (Figura III-39). Não obstante, em alguns casos correspondem ao aproveitamento de terrenos sobrantes, nos interstícios de lotes já edificados. Estes 3 anos contribuíram com 9%-10% do total de crescimento urbano (Tabela III-6), pelo que os ganhos proporcionais em relação ao tecido preexistente são de apenas 10% (Tabela III-7).

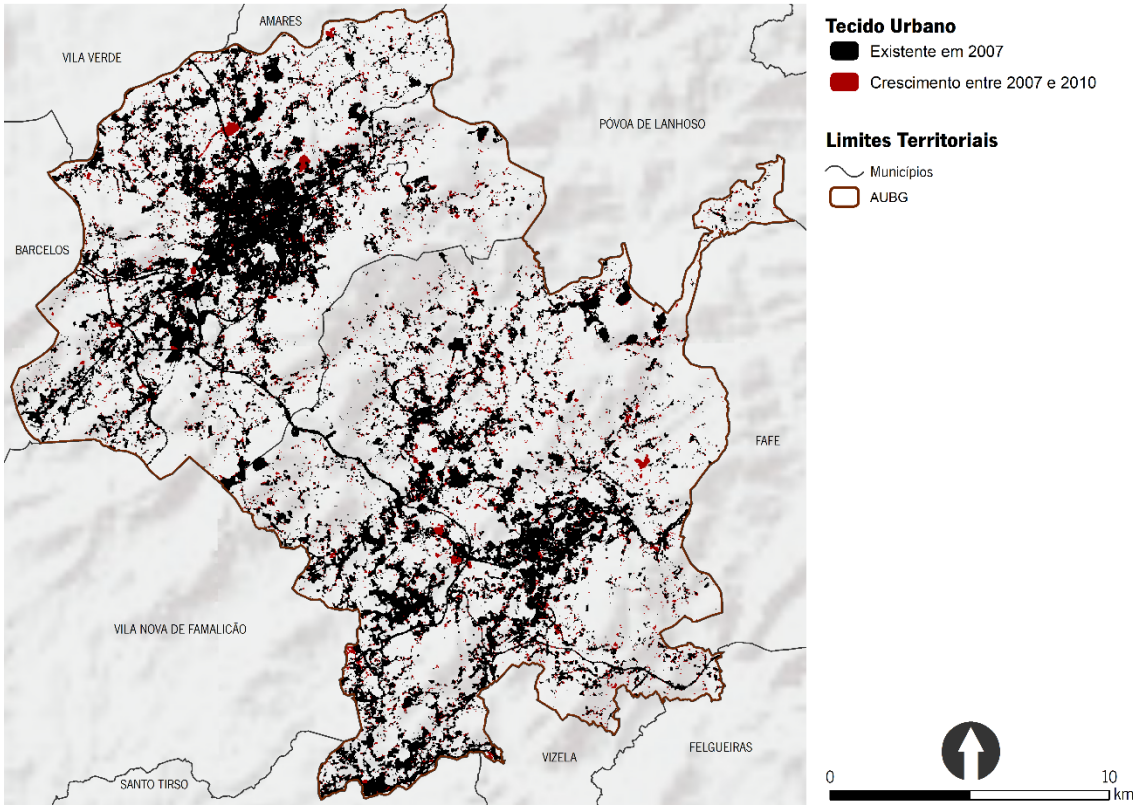


Figura III-39 – Crescimento urbano verificado na AUBG entre 2007 e 2010

Entre 2010 e 2016 observam-se novamente importantes mudanças na paisagem da AUBG, decorrentes do aparecimento um grande número de manchas urbanas de pequena dimensão disseminadas pelos dois municípios (Figura III-40). Em seis anos Braga regista um aumento de 11297983m^2 de área urbano e Guimarães de 18030260m^2, que representa 21% e 28%, respetivamente, no total de crescimento urbano verificado nos 32 anos em estudo (Tabela III-6). Quando comparado com o tecido urbano preexistente representa ganhos proporcionais muito mais elevados em Guimarães (31%) do que em Braga (21%;Tabela III-7).

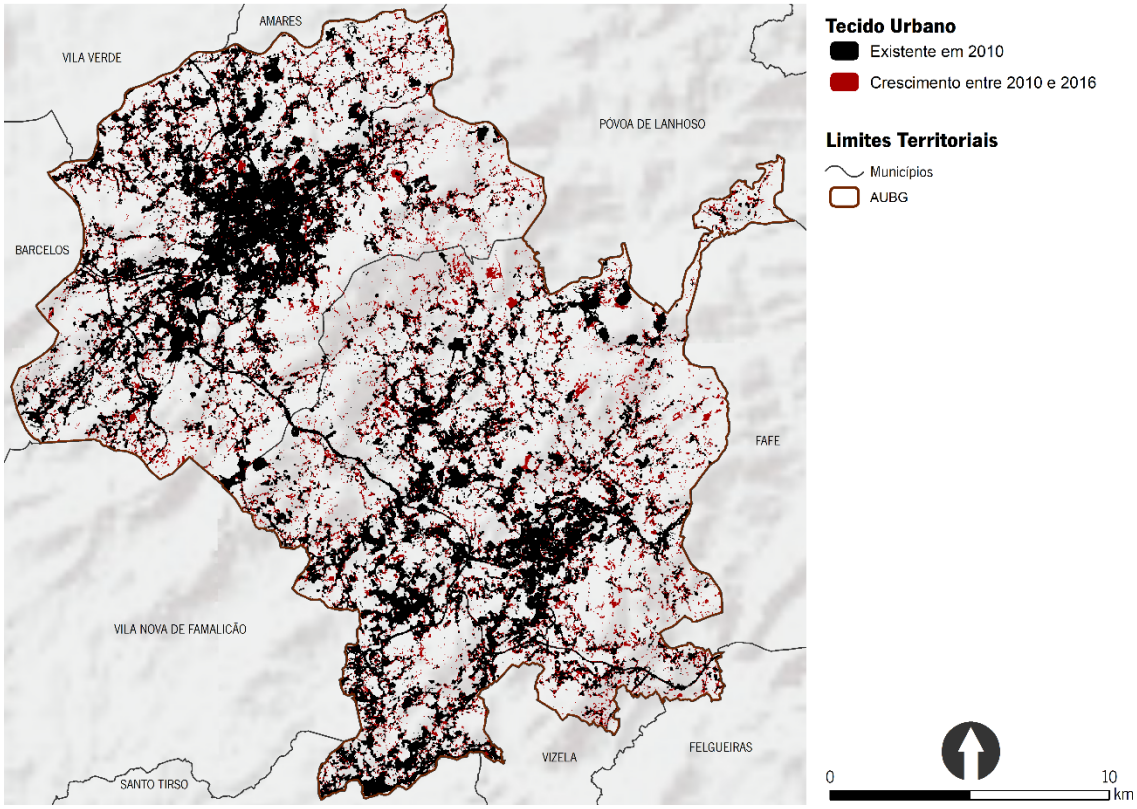


Figura III-40 – Crescimento urbano verificado na AUBG entre 2010 e 2016

Descortinado o processo de crescimento urbano na AUBG, sobressai a geografia desconfinada (ou mesmo gaseificada) da urbanização difusa – demonstrando que quando observadas do alto as 'cidades', na aceção mais atual do termo, nem sempre têm uma forma nitidamente discernível, ao contrário do que Clark (1991) dava a entender. Nestes 32 anos observa-se um crescimento descosido (*i.e., leap-frogging*) entre os centros urbanos principais e um vasto conjunto de aglomerados de menor dimensão, constituindo a malha viária – ora mais evidente, ora mais diluída na paisagem – o elemento de ligação. Assim, tal como refere Ribeiro (1994, p.307), a "estrada não fez, mas incrementou a cidade", particularmente a que decorre da urbanização difusa. Assim, este território que cresceu, numa primeira fase sem planos, e depois já com planos, consubstancia (por motivos e contextos diferentes) os pressupostos da cidade-jardim de Ebenezer Howard, da *broadacre city* de Frank Lloyd Wright, e da cidade linear de Arturo Soria (Domingues, 1999).

Caso se desconsiderasse os processos históricos e as forças socioeconómicas que lhe estão subjacentes, considerar-se-ia a estrutura urbana da AUBG caótica ou irracional. Sem embargo, esta possui uma lógica consistente, que em traços gerais pode ser interpretada com recurso aos seguintes padrões dominantes: o primeiro corresponde ao núcleo central da aglomeração de Braga e de Guimarães, onde a urbanização é mais compacta e estabilizada; o segundo, imediatamente

contíguo, apresenta uma mancha urbana menos compacta e estruturada se comparada com a anterior, que correspondem às novas áreas de expansão do núcleo tradicional da cidade Braga e de Guimarães; o terceiro corresponde a nucleações de dimensão reduzidas, mas compactas, que corresponde aos núcleos históricos das freguesias, ainda que esta situação seja mais premente em Guimarães, por força do poder condensação das vilas; o quarto, consiste nos eixos lineares que acompanham as vias rodoviárias mais importantes, as linhas de água ou os alinhamentos da orografia; e, por fim, o quinto, corresponde então aos segmentos urbanos isolados, decorrentes de habitações isoladas.

III – 2.2. (Dis)Similaridades Urbanas: Espaciais e Temporais

Na AUBG em 32 anos o tecido urbano septuplicou (Tabela III.7), fruto do incremento linear de novas manchas urbanas (como comprova o R^2=0,96), porém denotam-se algumas variações espaciais e temporais entre Braga e Guimarães (Figura III-41). No município de Braga verifica-se um acréscimo de 54,25km^2 de tecido urbano (Tabela III-6), sendo que este passa de apenas 5%, em 1984, para 35%, em 2016 (Tabela III-5). Em Guimarães, o aumento foi, em termos absolutos, ainda mais elevado (66,24km^2;Tabela III-6), pelo que o território urbanizado passa de 4% para 32% (Tabela III-5).

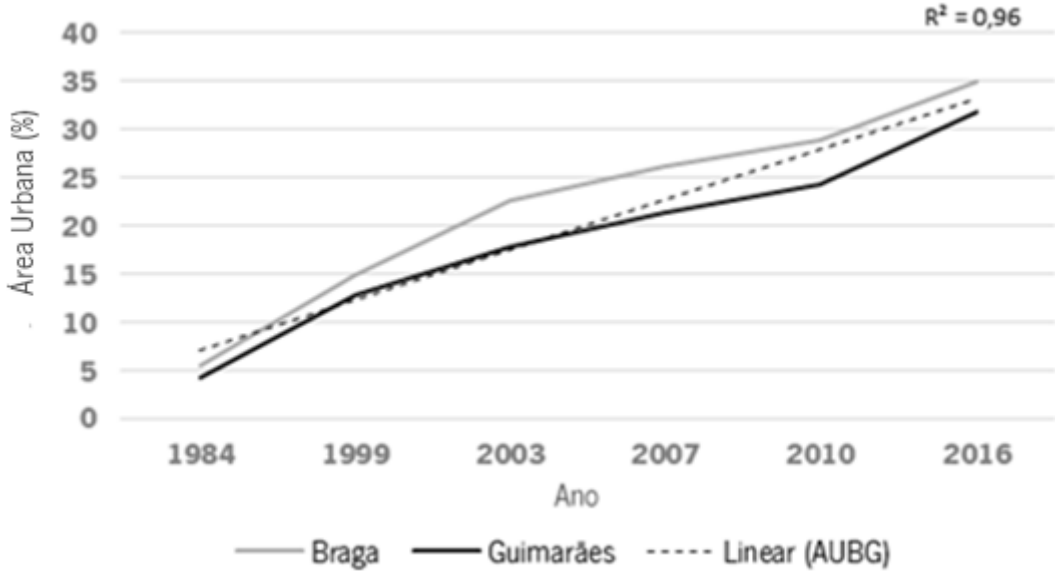


Figura III-41 – Evolução da área urbana (%) em Braga e Guimarães entre 1984 e 2016

Considerando que o contributo relativo de cada intervalo temporal para o crescimento urbano ocorrido nos 32 anos em estudo se encontra diretamente relacionado com o número de anos que abarca, procede-se ao cálculo da taxa anual de crescimento urbano (Tabela III-8), a fim de neutralizar este efeito.

Tabela III-8 – Taxa de crescimento urbano anual (m^2 e %) na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Intervalo	AUBG		Braga		Guimarães	
Temporal	m^2/ano	%	m^2/ano	%	m^2/ano	%
1984-1999	2525040	0,60	1163760	0,64	1361280	0,57
1999-2003	6602850	1,56	3486375	1,90	3116475	1,29
2003-2007	3764925	0,89	1636650	0,89	2128275	0,88
2007-2010	3931500	0,93	1665900	0,91	2265600	0,94
2010-2016	4891800	1,15	1883850	1,03	3007950	1,25

Na AUBG as taxas de crescimento urbano anuais mais elevadas ocorrem entre 1999-2003, seguindo-se 2010-2016, períodos em que por ano é convertido mais de 1% do território da AUBG de superfícies permeáveis para impermeáveis (Tabela III-8). Por sua vez, entre 1984 e 1999 verifica a taxa de crescimento urbano anual mais reduzida na AUBG, sendo este valor de apenas 0,6%. Entre 2003-2007 e 2007-2010 surgem os valores intermédios, 0,89% e 0,93, respetivamente. De salientar, que apesar de os intervalos 1999-2003 e 2003-2007 apresentarem a mesma amplitude temporal – 4 anos –, o valor da taxa anual de crescimento urbano é profundamente desigual (Tabela III-8), verificando-se no primeiro intervalo valores claramente mais elevados.

A análise comparativa entre o município de Braga e o de Guimarães revela que, entre 1984 e 2007 (*i.e.*, 1984-1999, 1999-2003 e 2003-2007), a taxa de crescimento urbano mais elevada ocorre em Braga; porém, a partir de 2007 (*i.e.*, 2007-2010 e 2010-2016), a situação transfigura-se. A taxa de crescimento urbano anual mais elevada verifica-se em Braga entre 1999-2003, período em que, por ano, foram convertidos 1,9% do território bracarense em superfícies impermeáveis antrópicas. Guimarães nunca consegue igualar estes valores, dado que em igual período, a taxa de crescimento foi de apenas 1,29% (Tabela III-8).

Os aumentos sucessivos de tecido urbano ao longo dos 32 anos analisados consubstanciaram-se numa redução significativa da distância média a que cada mancha urbana se encontra da sua

vizinha mais próxima. Assim, se em 1984 este valor era superior a 130m (*i.e.*, 132m em Braga e 139m em Guimarães), em 2016 passa para apenas 44m. Esta diminuição inicialmente brusca, torna-se mais suave com o início do novo milénio (Figura III-42).

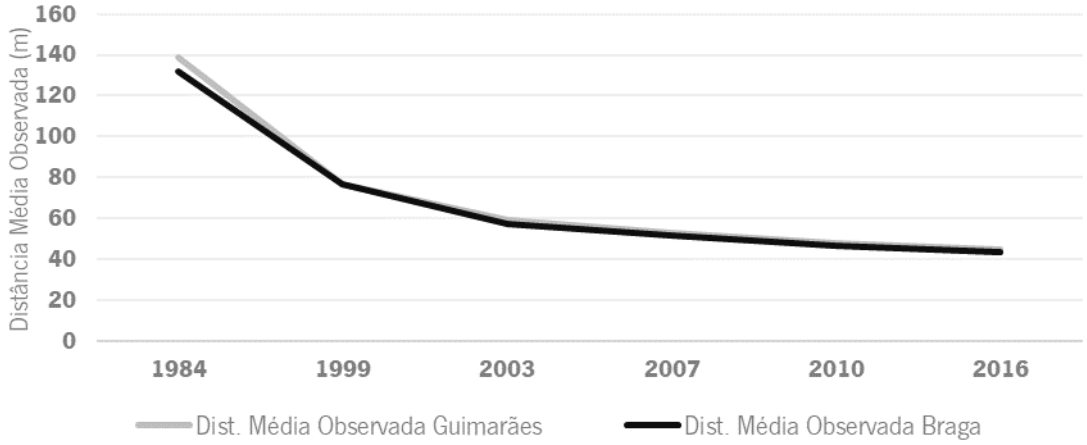


Figura III-42 – Distância média (m) à mancha urbana mais próxima nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Mais do que temporal (*i.e.,* no Quando?) ou quantitativamente (*i.e.,* no Quanto?), Braga e Guimarães apresentam disparidades no crescimento urbano do ponto de vista espacial (*i.e.*, no Onde?). Deste modo, e perante um padrão de crescimento tão complexo, procura-se através da tendência espacial da mudança, discernir a(s) direção(ões) da evolução urbana nos dois municípios (Figura III-43 e Figura III-44). No intervalo 1984-1994, os municípios de Braga e de Guimarães exibem um crescimento urbano centrado no núcleo genético das respetivas cidades e do atual perímetro urbano – efetivamente, é neste período que o ponto central do tecido preexistente e do crescimento urbano mais coincidem (Figura III-43 e Figura III-44). Sem embargo, enquanto em Braga o padrão de mudança é evidentemente concêntrico (Figura III-43), em Guimarães tal não é tão claro, verificando-se um importante pólo de mudança no setor Sudoeste do município (Figura III-43).

Em Braga de 1999 a 2003 a maior intensidade do crescimento urbano ocorre em direção ao Sudoeste do município, enquanto nos anos seguintes (2003-2007) predomina no setor Nordeste, sobressaindo em ambos os casos a ligação das novas manchas urbanas com o núcleo central da cidade. Por outro lado, entre 2007 e 2010 o crescimento urbano desloca-se para Norte, porém a ligação ao núcleo central não é tão evidente como nos intervalos anteriores, individualizando-se mesmo um núcleo de mudança no Sul do município (Figura III-43).

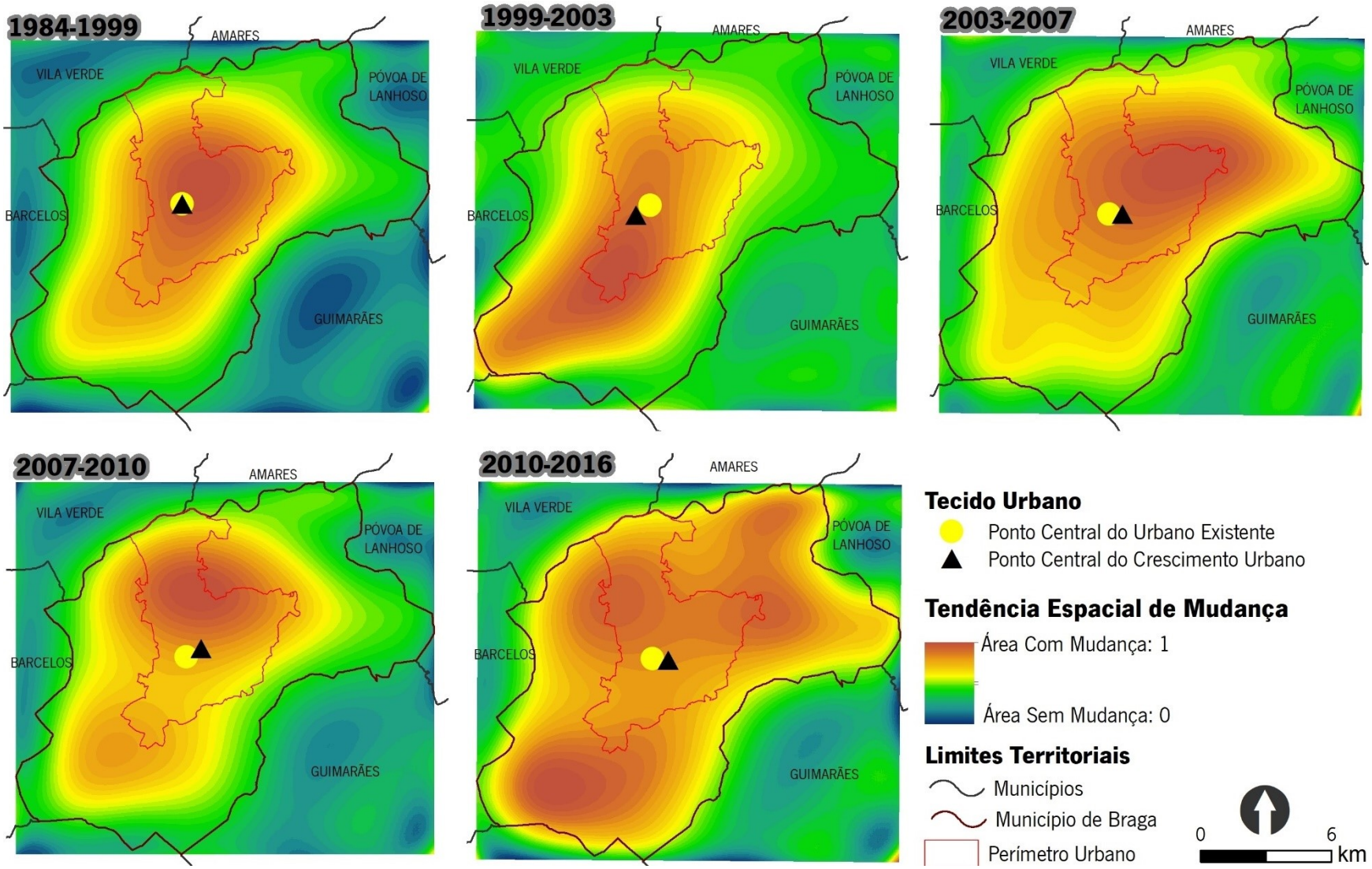


Figura III-43 – Tendência espacial de mudança urbana no município de Braga entre 1984 e 2016

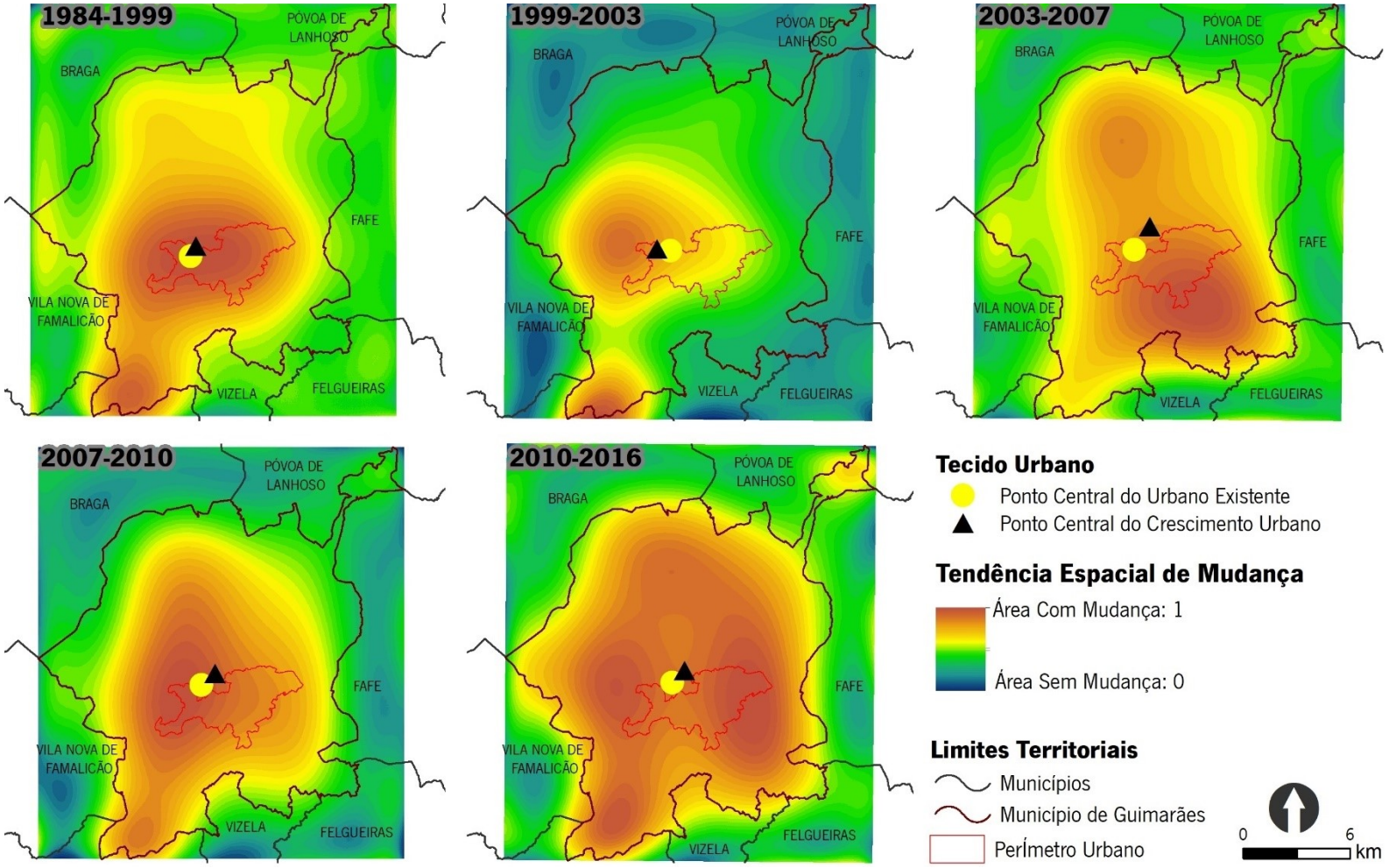


Figura III-44 – Tendência espacial de mudança urbana no município de Guimarães entre 1984 e 2016

Em Guimarães no intervalo 1999-2003 o crescimento urbano concentra-se claramente no setor Oeste do município. O pólo de mudança localizado a Sudoeste, já evidente no período anterior, permanece muito importante. No lapso temporal 2003-2007 as mudanças estendem-se a toda a parte central do território vimaranense, embora se destaquem dois núcleos de maior intensidade localizados de modo diametralmente oposto: um a Noroeste e o outro a Sudeste. O intervalo seguinte (2007-2010) evidencia um padrão concêntrico, porém muito irregular e quebrado pela importância que o setor Sudoeste do município detém.

À semelhança do verificado entre 1984 e 1999, também entre 2010 e 2016 os dois municípios em estudo apresentam um padrão de crescimento urbano similar, assente numa estrutura polinuclear – indicando que as mudanças urbanas se dispersam por todo o território municipal (Figura III-43 e Figura III-44) – o que leva a que o ponto central do tecido urbano se alinhe com o centro geográfico do município.

A análise conjunta do período 1984-2016 revela que o crescimento urbano no município de Barga ocorreu em torno do tecido urbano existente em 1984, verificando-se um desenvolvimento concêntrico em torno da cidade de Braga e confinado, em grande medida, ao atual perímetro urbano (Figura III-45). Por sua vez, em Guimarães, o crescimento urbano desloca-se para Norte do ponto central do tecido urbano de 1984, ancorando-se no limite Oeste do atual perímetro urbano, dado que se denotam importantes *hotspots* de mudança a Noroeste e Sudoeste (Figura III-45). Com efeito, o perímetro urbano bracarense capta melhor o processo de urbanização do que o vimaranense, exibindo a cidade de Braga maior poder de polarização do que a Guimarães.

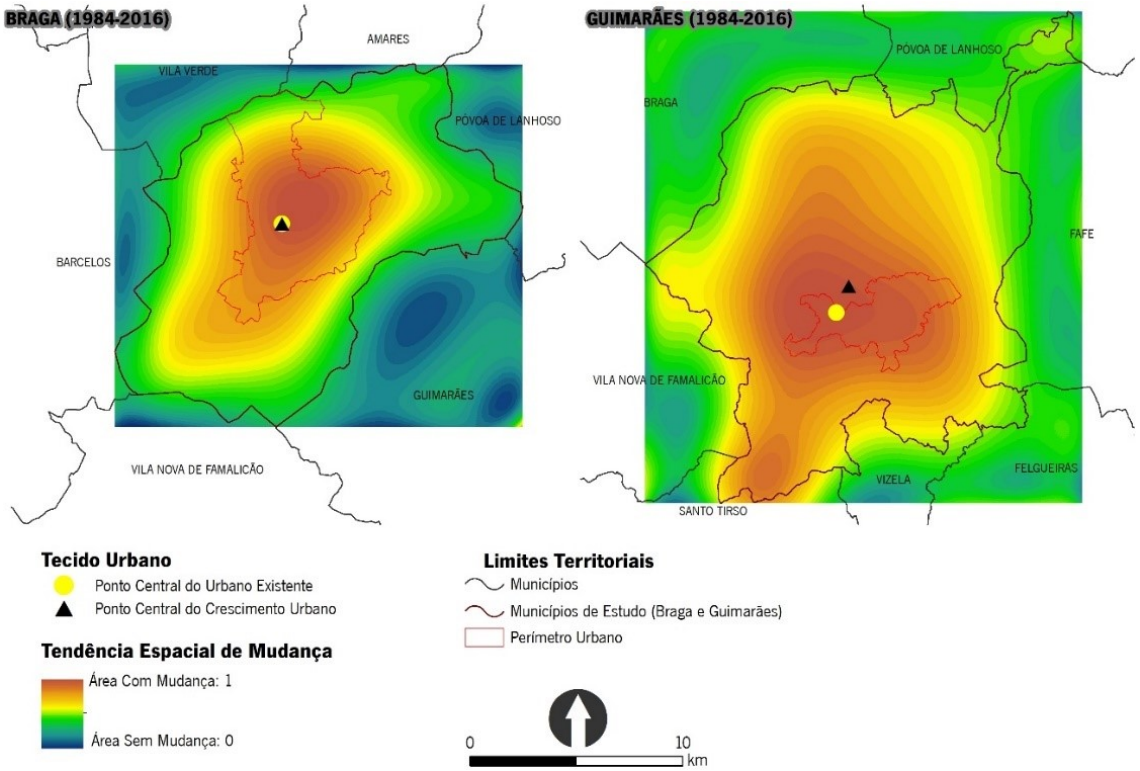


Figura III-45 – Síntese da tendência espacial de mudança urbana no municipio de Braga e de Guimarães no período 1984-2016

Em analogia com a teoria do desenvolvimento urbano (González, 2016), dir-se-ia que Braga possui um desenvolvimento urbano 'implosivo' e centrípeto (decorrente da densificação da malha tradicional), enquanto em Guimarães este é expansivo e centrifugo (ajustado ao uso extensivo do solo), tal como constatado por Pinheiro *et al.* (2016a). Sem embargo, e contrariamente à visão tradicionalista de que as cidades se expandem do centro para a periferia – segundo manchas contínuas bem delimitadas (preservando-se a ideia da cidade-corpo), e que para lá desses limites se estenderia um campo desmedido e esparso de construção (Travasso, 2015) –, em Braga, mas sobretudo em Guimarães verifica-se igualmente o desenvolvimento a partir de outros centros urbanos de menor dimensão existentes no município. Apesar de a terciarização ter aumentando o grau de polarização da 'cidade' de Guimarães, os seus efeitos residenciais foram muito limitados, pelo que este município continua a exibir um sistema de povoamento policêntrico, alicerçado em boa parte nas Vilas, que constituem importantes pontos de condensação humana. De facto, como Portas (2000) alerta o que neste momento se impõe como protagonista não é a cidade, mas o urbano. E, em Braga, mas sobretudo em Guimarães o urbano já não mora na cidade, mas fora dela.

O quadro descrito na AUBG só é possível por via da combinação de lógicas de crescimento urbano decorrentes da colmatação de vazios urbanos, de contiguidade com o tecido construídos, e de dispersão no território – pelo que esta questão é aprofundada em seguida.

III – 2.3. Modo de Crescimento Urbano

Uma determinada taxa de crescimento urbano pode assumir diferentes modos – *i.e.,* colmatação, contiguidade e dispersão – identificados para os municípios de Braga e Guimarães com base no *Landscape Expansion Index* (LEI), proposto por Liu *et al.* (2010). O LEI varia entre 0 e 100, sendo da sua classificação que se infere o modo de crescimento urbano, nomeadamente; LEI<1 indica o crescimento por dispersão, 1≥LEI≤50 corresponde à contiguidade, e 50>LEI≤ 100 traduz a colmatação urbana. Deste modo, a colmatação ocorre quando os espaços vacantes no interior do núcleo urbano são convertidos em áreas edificadas. O crescimento em contiguidade consiste no aumento da extensão de uma área urbana já existente, através da conversão de solo adjacente não urbano. O crescimento por dispersão (também designado, por periferização ou crescimento espontâneo) decorre do aparecimento de novas manchas sem ligação com tecido urbano preexistente (Dahal *et al.*, 2017).

Sublinhar que o conhecimento acerca do 'quando' o território passa por uma fase de dispersão ou de colmatação é fundamental para a delineação de estratégias de conservação da biodiversidade, gestão sustentável dos recursos, bem como do planeamento infraestruturas (*e.g.*, transportes),

III – 2.3.1. AUBG

Na AUBG a adição de tecido urbano entre 1984 e 2016 resulta da combinação dos três modos de crescimento. O crescimento em contiguidade é o modo dominante nos cinco intervalos temporais estudo (*i.e.*, 1984-1999; 1999-2003; 2003-2007; 2007-2010; 2010-2016), correspondendo sempre a mais de 50% do total do crescimento (Tabela III-9 e Figura III.48). Na segunda posição vai oscilando o crescimento por dispersão ou por colmatação, dominando o primeiro nos intervalos de 1984-1999 e 2003-2007 e o segundo nos restantes (Figura III-46).

Tabela III-9 – Modo de crescimento urbano (m^2 e % de área) na AUBG entre 1984 e 2016

Modo de Crescimento Urbano	1984-1999		1999-2003		2003-2007		2007-2010		2010-2016	
	m²	%	m²	%	m²	%	m²	%	m²	%
Disperso	9976444,95	26,34	1948034,08	7,38	3094802,02	20,54	1552809,32	13,17	5889019,11	20,08
Contiguidade	24824392,63	65,55	16439747,99	62,27	8984339,70	59,64	7068977,66	59,95	17039058,73	58,10
Colmatação	3072159,38	8,11	8013257,68	30,35	2985028,71	19,82	3169611,49	26,88	6400165,13	21,82
Total	37872996,96	100	26401039,75	100	15064170,43	100	11791398,47	100	29328242,97	100
Peso (%) no total de crescimento urbano (1984-2016)	31,44		21,92		12,51		9,79		24,35	

Posição	1984-1999	1999-2003	2003-2007	2007-2010	2010-2016
1º	Contiguidade	Contiguidade	Contiguidade	Contiguidade	Contiguidade
2.º	Disperso	Colmatação	Disperso	Colmatação	Colmatação
3.º	Colmatação	Disperso	Colmatação	Disperso	Disperso

Figura III-46 – Importância relativa de cada modo de crescimento urbano na AUBG entre 1984 e 2016

O crescimento em contiguidade assume maior expressão na AUBG no período 1984-1999, consubstanciando 65,55% de todo o crescimento urbano, sendo também neste período que o crescimento por dispersão detém maior magnitude (26,34%). Relativamente à colmatação urbana assume maior significado entre 1999-2003, com 30,35% do total de crescimento urbano (Tabela III-9). Por oposição, a menor expressividade de cada um destes modos de crescimento urbano, ocorre no caso: da colmatação entre 1984-1999 (8,11%); no de contiguidade entre 2010-2016 (58,10%); e, no disperso entre 1999-2003 (7,38%). De salientar que o intervalo 2010-2016 é o que apresenta a distribuição mais equitativa dos três modos de crescimento urbano: 20,08% no crescimento urbano por dispersão, 21,82% na colmatação, e, 58,10% no crescimento por contiguidade (Tabela III-9).

Nos cinco intervalos temporais analisados não se verifica a mesma regularidade no número de manchas encontrada noutros estudos (*e.g.,* Liu *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2014). Ressalvar que, os intervalos do presente estudo não apresentam uma amplitude homogénea como os utilizados nos referidos estudos.

III – 2.3.2. Município de Braga

Em Braga o modo de crescimento dominante entre 1984 e 2016 é contiguidade, sempre com valores acima dos 50% (Tabela III-10), à semelhança do anteriormente verificado no conjunto da AUBG. Relativamente à segunda posição, com exceção do período 1984-1999, esta é detida pela colmatação urbana. Note-se, porém, que no lapso temporal 1984-1999 (o que mais contribui para o total do crescimento verificado nos 32 anos em estudo, com 32,18%) o crescimento disperso é o segundo modo mais expressivo, com 26,34% – correspondendo aos valores mais elevados de toda a série analisada (Tabela III-10).

O crescimento em contiguidade assume maior importância entre 1999 e 2003 (64,44%) e menor importância no intervalo 2010-2016 (57,19%). Relativamente aos outros dois modos de crescimento urbano, verifica-se uma situação antagónica, dado que a maior expressividade do crescimento disperso entre 1984-1999 coincide com os menores valores do crescimento por colmatação (10,07%). Por sua vez, regista-se a maior expressividade do crescimento por colmatação (28,77%) e os menores valores do crescimento disperso (6,78%) no intervalo 1999-2003 (Tabela III-10).

Tabela III-10 – Área (m² e %) de cada modo de crescimento urbano no município de Braga entre 1984 e 2016

Modo de Crescimento Urbano	Área									
	1984-1999		1999-2003		2003-2007		2007-2010		2010-2016	
	m²	%	m²	%	m²	%	m²	%	m²	%
Disperso	4515147,812	25,87	945704,00	6,78	1220053,96	18,64	545173,26	10,91	2103965,83	18,62
Contiguidade	11178746,38	64,06	8982620,58	64,44	3854199,90	58,88	3133479,89	62,71	6461810,45	57,19
Colmatação	1757700	10,07	4010778,23	28,77	1471780,27	22,48	1318369,94	26,38	2732206,60	24,18
Total	17451594,19	100	13939102,81	100	6546034,13	100	4997023,09	100	11297982,88	100
Peso (%) no total de crescimento urbano (1984-2016)	32,18		25,70		12,07		9,21		20,83	

Tabela III-11 – Número de manchas de cada modo de crescimento urbano no município de Braga entre 1984 e 2016

Modo de Crescimento Urbano	Número de Manchas									
	1984-1999		1999-2003		2003-2007		2007-2010		2010-2016	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Disperso	1561	46,47	451	12,20	588	19,74	343	12,43	1288	20,88
Contiguidade	1302	38,76	1790	48,43	1483	49,80	1525	55,25	3114	50,48
Colmatação	496	14,77	1455	39,37	907	30,46	892	32,32	1767	28,64
Total	3359	100	3696	100	2978	100	2760	100	6169	100
Peso (%) no total de novas manchas urbanas (1984-2016)	17,71		19,49		15,71		14,56		32,53	

No que concerne ao número de novas manchas urbanas verifica-se que é entre 2010-2016 que surge o maior número, mormente 6169, que representa 33% do total das manchas que surgiram entre 1984 e 2016 (Tabela III-11). O crescimento em contiguidade, modo de crescimento mais expressivo, é também aquele que sistematicamente apresenta mais manchas urbanas, com exceção do período temporal 1984-1999, no qual é o crescimento disperso que apresenta maior número de novas manchas, designadamente 1561 que corresponde a 46% do total das manchas surgidas neste lapso de 15 anos (Tabela III-11).

Por regra, o número de manchas apresenta uma relação linear positiva com a percentagem de área ocupada, com exceção do intervalo 1984-1999 (Tabela III-10; Tabela III-11). De facto, constata-se que no crescimento disperso a percentagem de manchas é superior à percentagem de área (Tabela III-10; Tabela III-11), indicando que este tipo de crescimento é feito à custa de inúmeras manchas mas de pequena dimensão (Figura III.49). Na colmatação urbana também a percentagem de manchas é superior à área ocupada, indiciando que os espaços *vacantes* apresentam uma reduzida dimensão, sendo os valores de área similares aos do crescimento disperso (Figura III-47).

No crescimento em contiguidade constata-se que a percentagem de manchas é inferior à área ocupada, o que indica que as manchas urbanas maiores resultam deste tipo de crescimento. (Figura III-47). De notar que, apesar de transversal a todos os modos de crescimento urbano, na contiguidade observa-se uma expressiva diminuição na dimensão média das manchas. Esta variação brusca de 1984-1999 para 1999-2003, bem como de 1999-2003 para 2003-2007, continua no período seguinte (2007-2010), estabilizando apenas em 2010-2016 (Figura III-47).

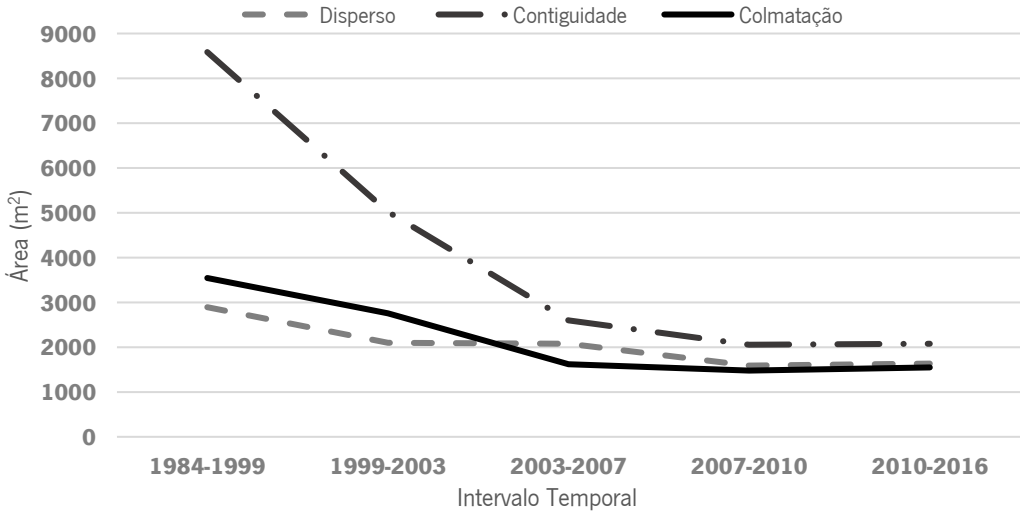


Figura III-47 – Dimensão média (m²) das novas manchas urbanas, por modo de crescimento, no município de Braga entre 1984 e 2016

Entre 1984 e 1999, período responsável por 32% de todo o crescimento urbano verificado no município de Braga entre 1984 e 2016, verifica-se o domínio do crescimento em contiguidade (64,06%). Este modo de crescimento urbano está associado, em geral, a manchas de grande dimensão (Figura III-47), que surgem na área limítrofe ao núcleo urbano central, consubstanciando-se na adição de uma nova coroa urbana. Concomitantemente, denotam-se extensas manchas de crescimento em contiguidade com o tecido urbano marginal à rede rodoviária, particularmente evidente no eixo de ligação à Vila de Prado, pertencente ao município de Vila Verde (Figura III-47). Ademais, no setor Sul de Braga sobressai o aparecimento de um novo eixo viário – Itinerário Principal 1 (IP1), que liga Valença do Minho a Castro Marim (no Algarve). O crescimento por dispersão representa 25,87% de todo o crescimento verificado neste lapso de 15 anos. Como a designação indica, surge disseminado por todo o território bracarense, distribuindo-se entre vias rodoviárias, e construção habitacional ou industrial (Figura III-47). Em termos rodoviários sobressai a construção da Estrada Nacional 101 (EN 101), que liga Braga a Prado (em Vila Verde), que à data da aquisição imagem Landsat (*i.e.*, 08 de julho de 1999) ainda não se encontrava concluída. A colmatação, que corresponde apenas a 10% das novas áreas urbanas, ocorre quase exclusivamente no núcleo central de Braga (Figura III-48).

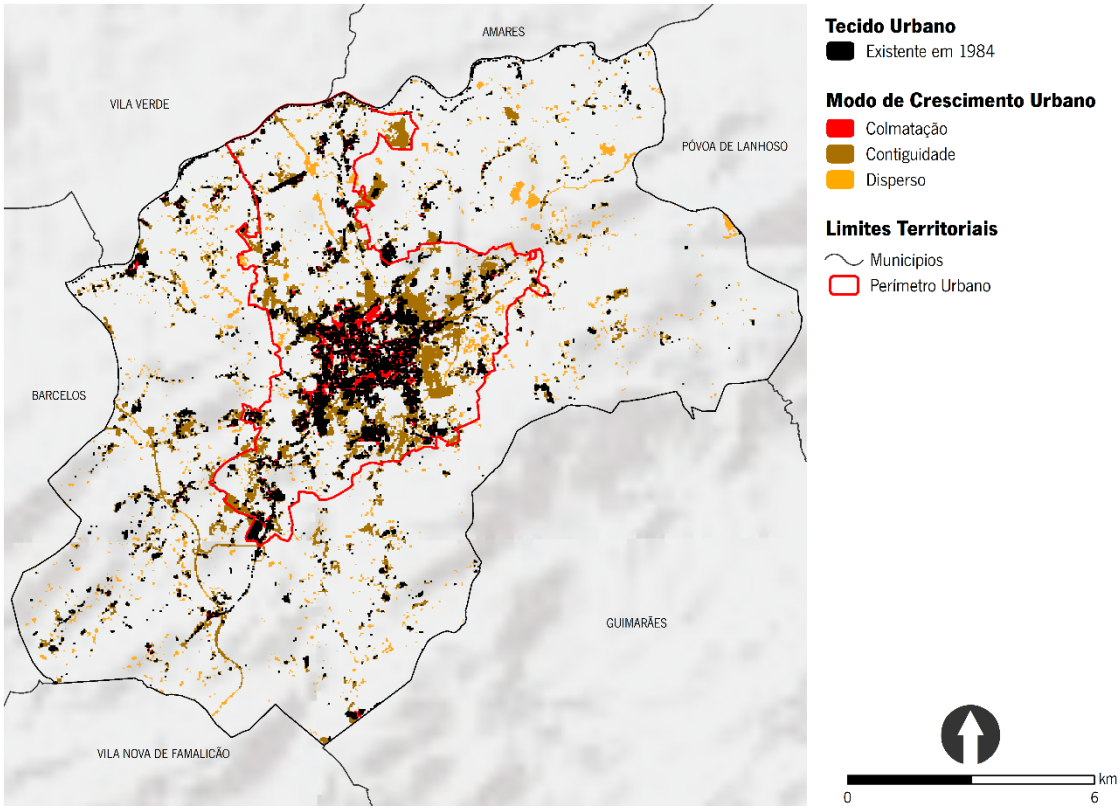


Figura III-48 – Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Braga entre 1984 e 1999

No intervalo 1999-2003, responsável por 25,7% do crescimento urbano verificado no município de Braga entre 1984 e 2016, a adição de tecido urbano ocorre maioritariamente por contiguidade (Tabela III-10). Efetivamente, é neste período que a contiguidade urbana – com 64,4% – assume a maior expressão de toda a série em análise. Este tipo de crescimento encontra-se, maioritariamente, associado a vias rodoviárias, entre as quais se destaca a construção da A11, que efetua a ligação de Braga à Apúlia e a Guimarães. Paralelamente, denota-se o aparecimento da Circular Sul, que estabelece a ligação entre a saída da A11/A3 em Celeirós – para Sudoeste e Sudeste – e o centro urbano de Braga, encontrando-se o perímetro urbano ora paralelo, ora alinhado, com este eixo viário. Em temos rodoviários sobressai ainda a construção de um eixo que permite a ligação à Póvoa de Lanhoso. Não obstante, a importância da contiguidade decorre também da construção de áreas habitacionais, comerciais e industriais nos limites do núcleo central, bem como nos terrenos adjacentes às vias rodoviárias (Figura III-49). Por sua vez, o crescimento disperso – com 6,78% – apresenta a expressão mais reduzida de toda a série temporal, correspondendo essencialmente edificação avulsa no exterior do perímetro urbano (Figura III-49). A colmatação urbana, com 28,7%, é claramente mais significativa do que no hiato 1984-1999 (onde detinha apenas 10%), pois passa a ocorrer no exterior do núcleo central e mesmo do perímetro urbano, e não somente no centro histórico (Figura III-49).

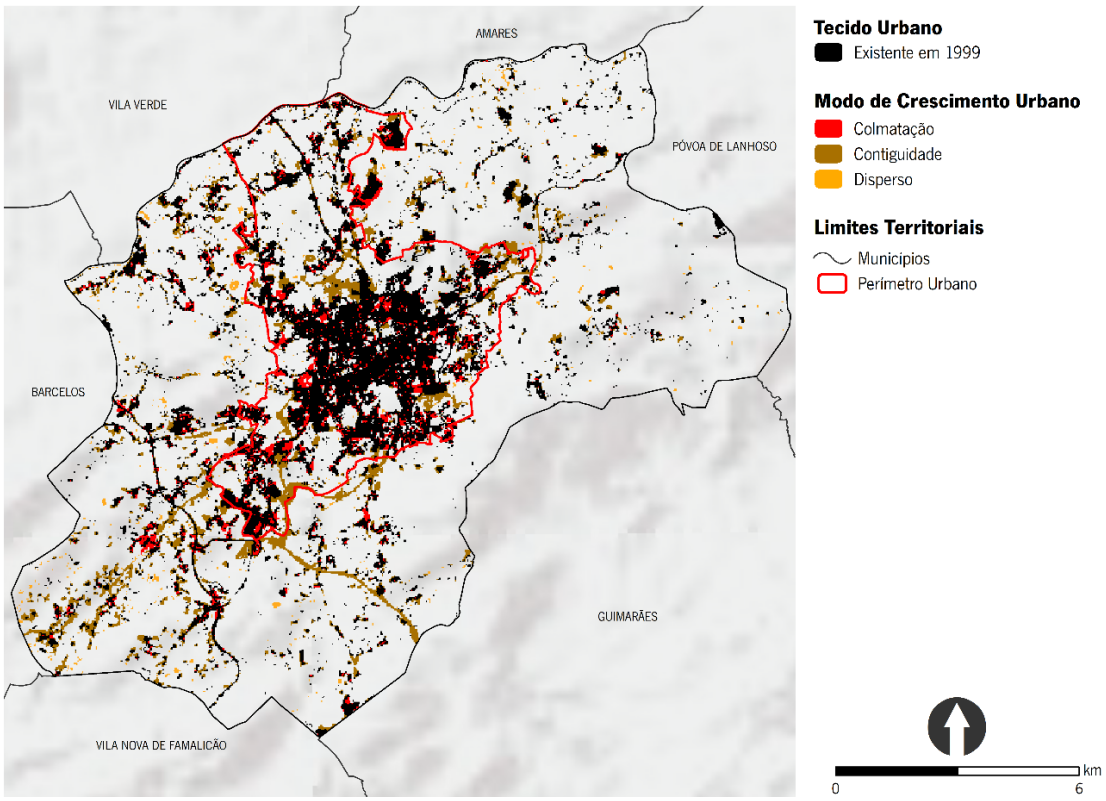


Figura III-49 – Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Braga entre 1999 e 2003

O lapso temporal 2003-2007 foi responsável por apenas 12% do crescimento urbano verificado em Braga entre 1984 e 2016 (Tabela III.10), consequentemente, quando comparado com os dois intervalos temporais anteriores (*i.e.*, 1984-1999 e 1999-2003) a distribuição espacial deste fenómeno é muito menos evidente (Figura III-50). A expansão em contiguidade, que representa 58,08% de todo o crescimento urbano verificado entre 2003 e 2007, decorre da construção de vias rodoviárias, bem com de construção de edificado (Figura III-50). O crescimento disperso (18,64%) ocorre em todo território bracarense, embora se localize maioritariamente no exterior do perímetro urbano (Figura III-50). A colmatação urbana, responsável por 22,48% do incremento de tecido urbano neste período, continua a verificar-se quer no centro urbano (*i.e.*, a cidade de Braga), quer em outros núcleos urbanos de menor dimensão, em muitos casos coincidente com a sede das freguesias/paróquias (Figura III-50). Não obstante, este modo de crescimento urbano resulta igualmente da ocupação de espaços intersticiais existentes nas áreas adjacentes às vias rodoviárias.

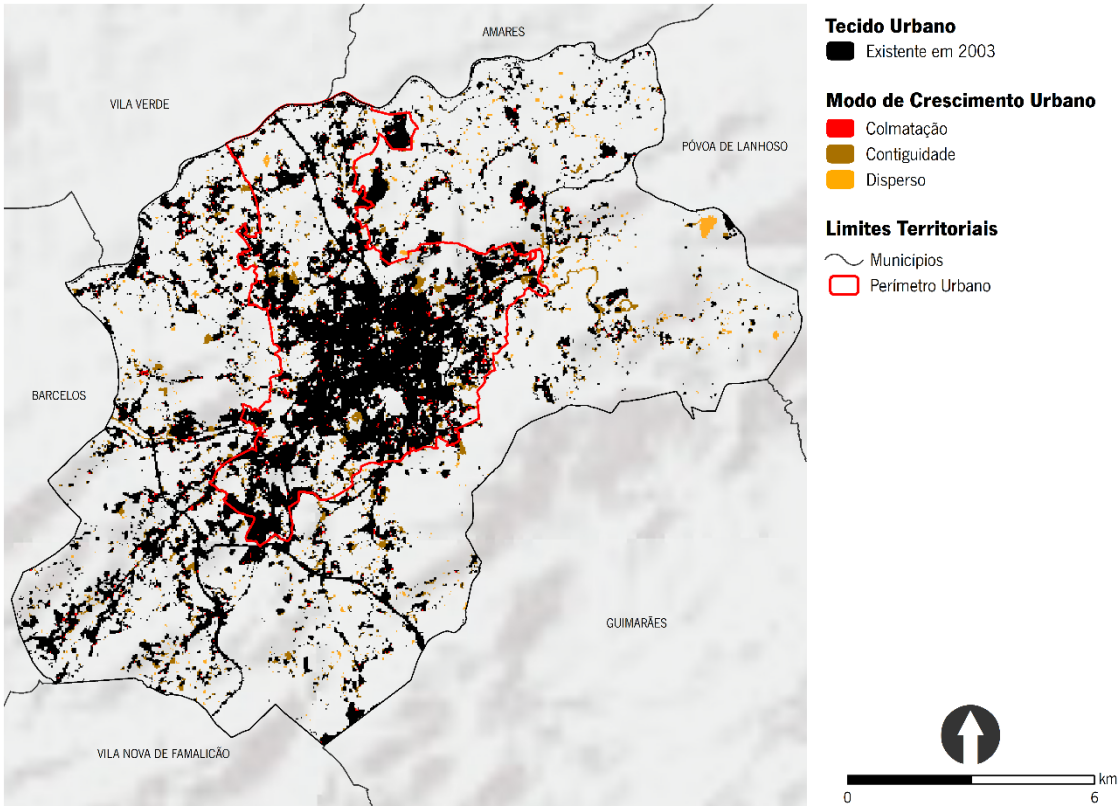


Figura III-50 - Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Braga entre 2003 e 2007

O período 2007-2010 contribuiu com apenas 9,21% para o total crescimento urbano verificado nos 32 anos em estudo, decorrendo esta exiguidade em grande medida do reduzido número de

anos abarcados (Tabela III.10). Neste período destaca-se o crescimento em contiguidade (62,7%), encontrando-se as manchas de maior dimensão localizadas no interior do perímetro urbano (Figura III-51). Por sua vez, como seria de esperar, o crescimento por dispersão (10,9%) ocorre maioritariamente fora desta delimitação administrativa (Figura III-51). A colmatação urbana, apesar de mais evidente no núcleo urbano central, distribui-se também pelo restante município, numa clara associação com a rede rodoviária (Figura III-51). Este modo de crescimento contribuiu com 26,3% para o total de crescimento urbano deste período (Tabela III-10).

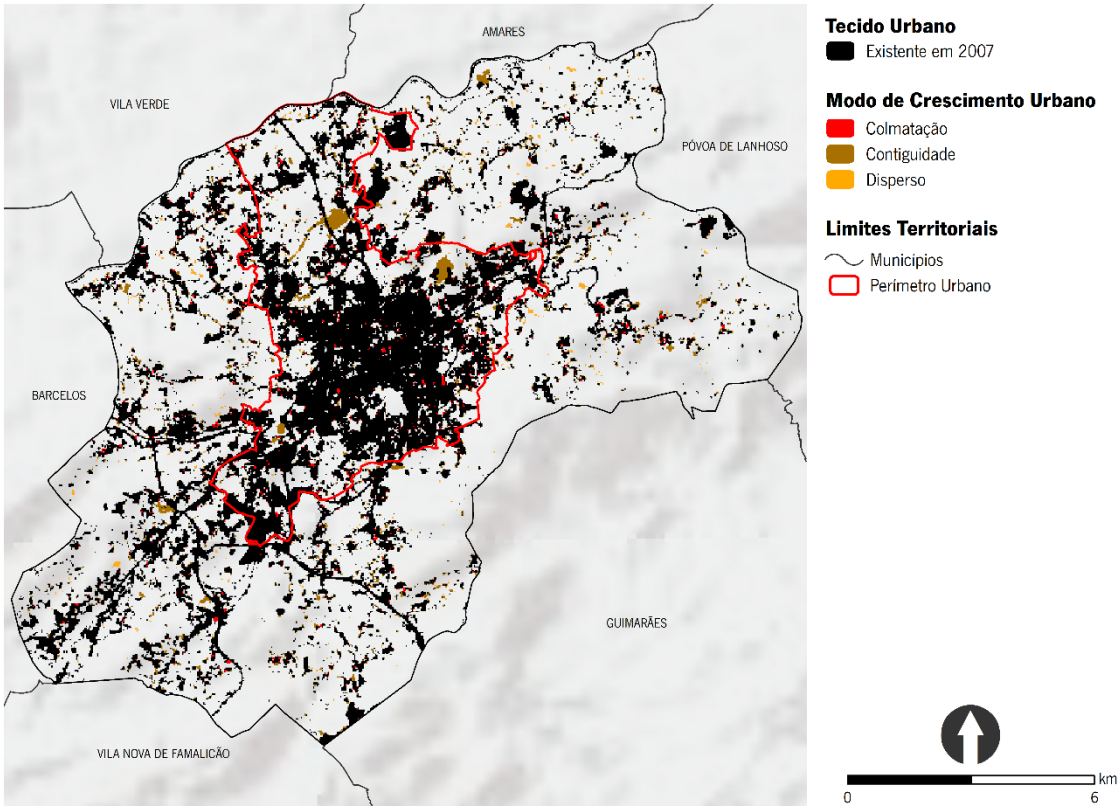


Figura III-51 – Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Braga entre 2007 e 2010

O intervalo temporal 2010-2016 (responsável por 20,83% do crescimento urbano verificado nos 32 em estudo) é o que apresenta a distribuição mais equitativa dos três modos de crescimento urbano, designadamente: o disperso com 18,6%; a contiguidade com 57,1%; e, a colmatação com 24,1% (Tabela III-10). Em termos espaciais esta distribuição equitativa é de igual modo evidente, dado que se observam os três modos de crescimento urbano, quer no interior, quer no exterior do perímetro urbano (Figura III-52). Sem embrago, o crescimento em contiguidade (modo responsável por mais de 50% do crescimento urbano) ocorre quer nas imediações do tecido urbano central, quer no seu exterior nos terrenos adjacentes às vias rodoviárias ou a outros núcleos de menor

dimensão (Figura III-52). O crescimento por dispersão, apesar de presente no interior do perímetro urbano, ocorre indubitavelmente de modo mais expressivo no exterior desta circunscrição (Figura III-52), nos terrenos mais periféricos do município. A colmatação urbana distribui-se claramente por todo o município, numa clara associação com os eixos viários (Figura III-52).

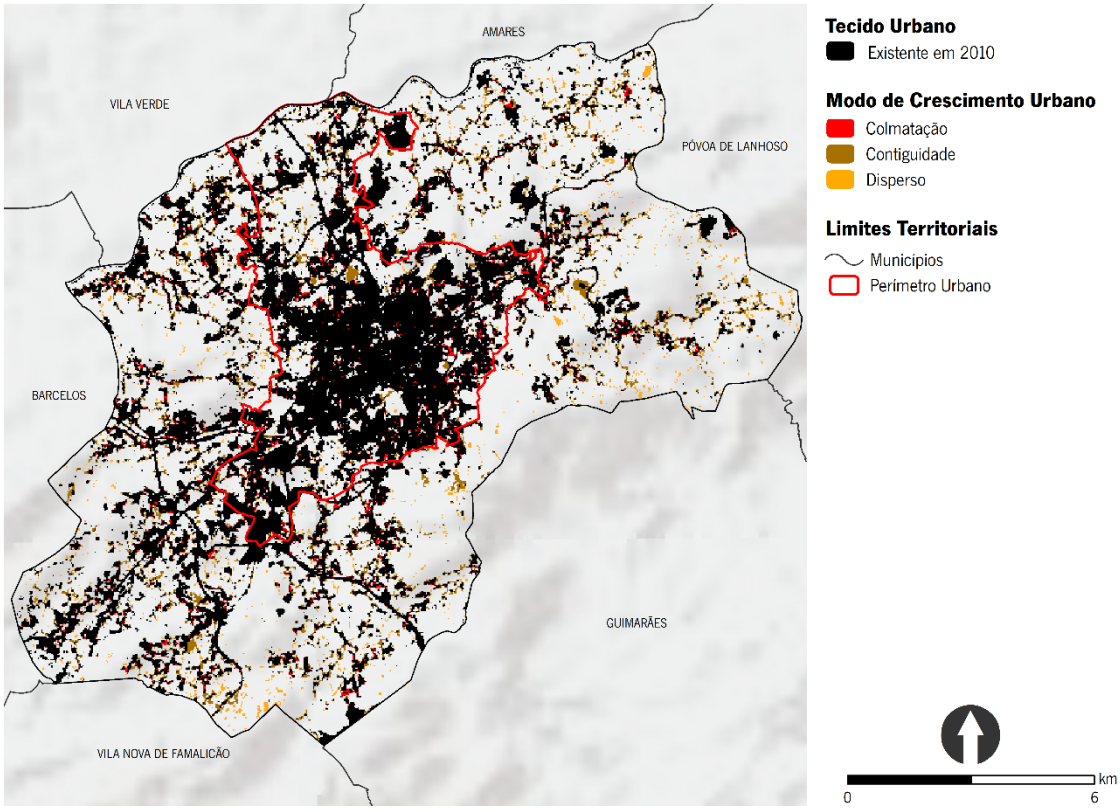


Figura III-52 – Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Braga entre 2010 e 2016

III – 2.3.3. Município de Guimarães

Em consonância com o constatado na AUBG e no município de Braga, também em Guimarães o crescimento urbano em contiguidade é o modo predominante entre 1984 e 2016 (Tabela III-12). A segunda posição é ocupada durante 25 anos, dos 32 anos em estudo, pelo crescimento disperso, nomeadamente nos intervalos temporais 1984-1999, 2003-2007 e 2010-2016. Porém, neste último a diferença percentual para a colmatação é praticamente insignificante (20,99% *versus* 20,34%). Por sua vez, entre 1999-2003 e 2007-2010, período responsável por cerca de 30% do crescimento urbano total, a colmatação das áreas urbanas assume a segunda posição (Tabela III-12).

Tabela III-12 – Área (m^2 e %) de cada modo de crescimento urbano no município de Guimarães entre 1984 e 2016

Modo de Crescimento Urbano	Área									
	1984-1999		1999-2003		2003-2007		2007-2010		2010-2016	
	m^2	%	m^2	%	m^2	%	m^2	%	m^2	%
Disperso	5461297,14	26,74	1002330,08	8,04	1874748,06	22,01	1007636,06	14,83	3785053,28	20,99
Contiguidade	13645646,25	66,82	7457127,41	59,84	5130139,79	60,23	3935497,77	57,92	10577248,29	58,66
Colmatação	1314459,38	6,44	4002479,45	32,12	1513248,44	17,77	1851241,55	27,25	3667958,53	20,34
Total	20421402,77	100,00	12461936,94	100,00	8518136,29	100,00	6794375,38	100,00	18030260,09	100,00
Peso (%) no total de crescimento urbano (1984-2016)	30,84		18,82		12,86		10,26		27,23	

Tabela III-13 – Número de manchas de cada modo de crescimento urbano no município de Guimarães entre 1984 e 2016

Modo de Crescimento Urbano	Número de Manchas									
	1984-1999		1999-2003		2003-2007		2007-2010		2010-2016	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Disperso	2074	47,69	349	9,08	859	23,47	612	16,04	2039	23,70
Contiguidade	1813	41,69	1781	46,33	1908	52,13	1986	52,04	4309	50,08
Colmatação	462	10,62	1714	44,59	893	24,40	1218	31,92	2256	26,22
Total	4349	100	3844	100	3660	100	3816	100	8604	100

No município de Guimarães o crescimento em contiguidade assume maior importância entre 1984 e 1999 (66,82%) e menor importância no intervalo 2007-2010 (57,92%). Relativamente aos outros dois modos de crescimento urbano, verifica-se a mesma situação paradoxal já descrita para Braga, uma vez que a maior expressividade do crescimento disperso entre 1984-1999 (26,74%) coincide com os menores valores do crescimento por colmatação (6,44%). Por seu turno, regista-se a maior expressividade do crescimento por colmatação (32,12%) e os menores valores do crescimento disperso (8,04%) no intervalo 1999-2003 (Tabela III-12Tabela III-6).

No que diz respeito ao número de novas manchas urbanas, constata-se que é entre 2010 e 2016 que se individualizam o maior número manchas – precisamente 8604, que representam 35% do total das manchas criadas nos 32 anos em estudo (Tabela III-13). O crescimento em contiguidade, modo de crescimento mais expressivo, é também aquele que sistematicamente apresenta mais manchas urbanas, com exceção do período temporal 1984-1999, no qual é o crescimento disperso que apresenta maior número de novas manchas, designadamente 2074 que representa 48% do total das manchas surgidas nestes 15 anos (Tabela III-13). Esta situação é de igual modo observada no município de Braga.

Em geral, o número de manchas apresenta uma relação linear positiva com a percentagem de área ocupada, com exceção do intervalo 1984-1999 (Tabela III-12 Tabela III-13). Efetivamente, verifica-se que no crescimento disperso a percentagem de manchas é superior à percentagem de área, indicando que este modo de crescimento é feito à custa de manchas de reduzida dimensão (Figura III-53). O maior número de manchas deste modo de crescimento urbano em Guimarães (5933, que representa 24% do total de novas manchas urbanas entre 1984 e 2016), quando comparado com Braga (apenas 4231, que corresponde a 22% do total de manchas), atesta bem a maior acuidade que este fenómeno assume neste município. Também na colmatação urbana a percentagem de manchas é superior à área ocupada, indiciando que os espaços *vacantes* ocupados no espaço urbano de Guimarães são de reduzida dimensão (Figura III-53). Note-se que, contrariamente à dispersão, a colmatação assume menor importância em Guimarães (27%) do que em Braga (29%). Por sua vez, no crescimento em contiguidade a percentagem de manchas é inferior à área ocupada, pelo que se percebe que as maiores manchas urbanas resultam deste tipo de crescimento urbano (Figura III-53). De salientar uma vez mais que em ambos os municípios este tipo de crescimento urbano representa quase metade das novas manchas urbanas criadas entre 1984 e 2016.

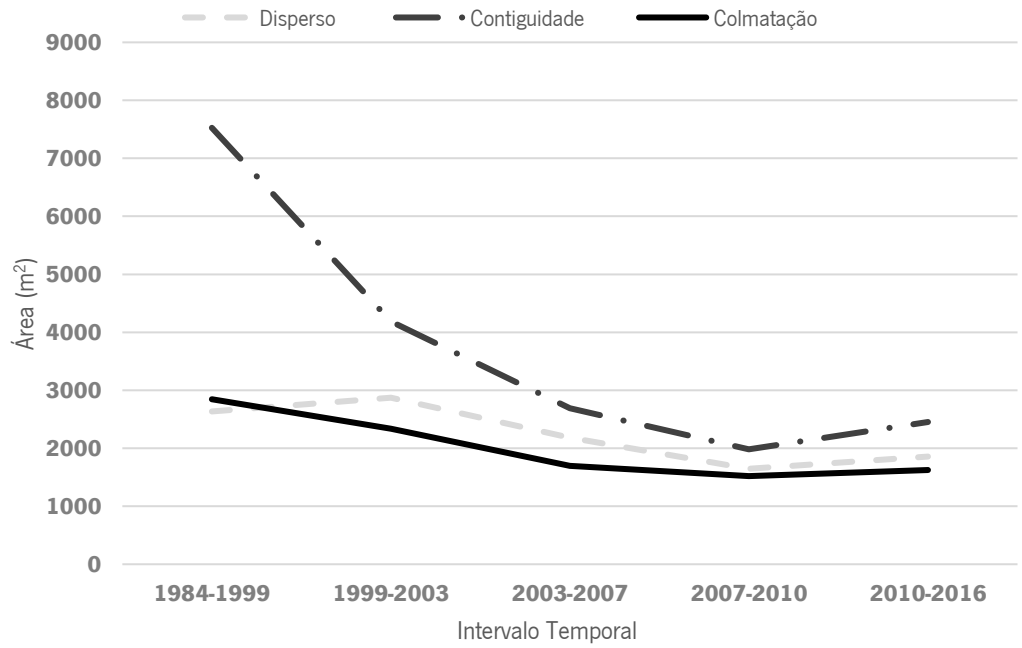


Figura III-53 – Dimensão média (m²) das novas manchas urbanas, por modo de crescimento, no município de Guimarães entre 1984 e 2016

Entre 1984 e 1999, período responsável por 31% de todo o crescimento urbano verificado entre 1984 e 2016, denota-se um predomínio claro do crescimento em contiguidade (66,8%). De facto, de entre os cinco intervalos temporais considerados é neste que o crescimento em contiguidade assume maior expressividade (Tabela III-12). Este modo de crescimento urbano encontra-se associado a manchas de grande dimensão (Figura III-53), que surgem na área circundante ao núcleo urbano central, onde se desenvolve a cidade de Guimarães. Na prática consubstancia a adição de uma nova coroa urbana, que se desenvolve entre a cidade e o limite Norte do perímetro urbano. Paralelamente, o crescimento em contiguidade decorre ainda da construção de novas vias rodoviárias de alta velocidade, designadamente a Autoestrada A7, concebida para ligar Guimarães ao ramal da Autoestrada A3 em Vila Nova de Famalicão, concluída apenas no ano de 1996. Diferentemente do observado em Braga, este modo de crescimento verifica-se ainda no exterior do perímetro urbano de Guimarães, em continuidade com os núcleos urbanos de menor dimensão já existente, que correspondem em grande medida às freguesias classificadas como o estatuto de Vila – *e.g.*, Taipas, Pevidém, Moreira de Cónego e Lordelo (Figura III-54). Neste período a dispersão urbana assume-se como o segundo modo de crescimento urbano mais importante, representando 26,7% do crescimento ocorrido entre 1984 e 1999 (Tabela III-12). Este modo de crescimento, localizado quase em exclusivo no exterior do perímetro urbano, decorre do incremento avulso de

novos fragmentos urbanos (Figura III-54), com dimensão muito variável (Figura III-53). Por fim, o incremento do tecido urbano por via da colmatação urbana representa apenas 6,44% do crescimento urbano ocorrido nestes 15 anos (Tabela III-12). Em termos espaciais, apesar de sobressair o núcleo urbano central, emergem ainda na paisagem vimaranense outros dois *hotspots*: Pevidém e São João de Ponte. Note-se, porém, que a colmatação urbana muito diferentemente do que sucede em Braga em igual período, se encontra um pouco por todo o território concelhio, consequência da densificação dos pequenos núcleos urbanos, cuja existência já é secular (Figura III-54).

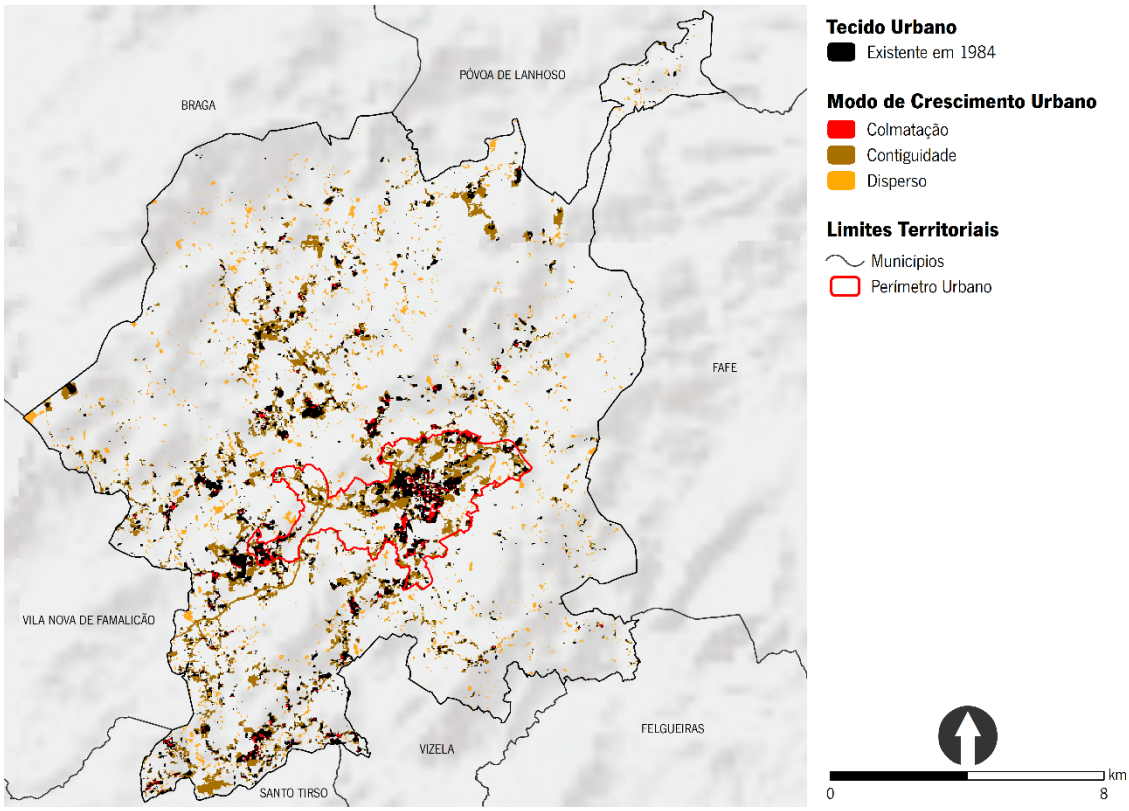


Figura III-54 – Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Guimarães entre 1984 e 1999

No intervalo 1999-2003 ocorre 19% do crescimento urbano verificado nos 32 anos abarcados neste estudo (Tabela III-12), sendo que este crescimento emerge, essencialmente, a partir da continuidade do tecido urbano já existente (59,84%). A contiguidade associa-se em grande medida às vias rodoviárias, de entre as quais se destaca a Autoestrada A11, que permite a ligação de Guimarães a Braga. Concomitante, verifica-se a construção da variante que permite a ligação do nó da Autoestrada em Silvares ao centro da cidade, através da circular urbana, que neste período foi alargada para permitir a ligação a Fafe. No quadrante Sudoeste do município de Guimarães,

junto à fronteira com o Santo Tirso, destaca-se a densificação do crescimento urbano em torno da estrada nacional (EN 105). A parte das vias rodoviárias, verifica-se, ainda, a ampliação de alguns núcleos urbanos (Figura III-55). A dispersão urbana apresenta valores muito reduzidos nestes 4 anos (apenas 8,04%), sendo efetivamente os valores mais exíguos de toda a série temporal em análise (Tabela III-12). Este modo de crescimento ocorre quase em exclusivo exterior do perímetro urbano, por via da adição de novos fragmentos urbanos isolados (Figura III-55), porém alguns de dimensão considerável (Figura III-53). A ocupação dos espaços intersticiais ocorre quer no núcleo central, quer nos restantes aglomerados dispersos pelo território concelhio. Além disto, sobressai a colmatação dos espaços adjacentes às vias rodoviárias, que fruto das sucessivas adições de tecido urbano se vai assemelhando cada vez mais a uma espécie de teia ou de rizoma (Figura III-55). De realçar que é neste período que a colmatação dos espaços *vacantes* assume maior importância percentual no crescimento urbano verificado em Guimarães entre 1984 e 2016 (Tabela III-12).

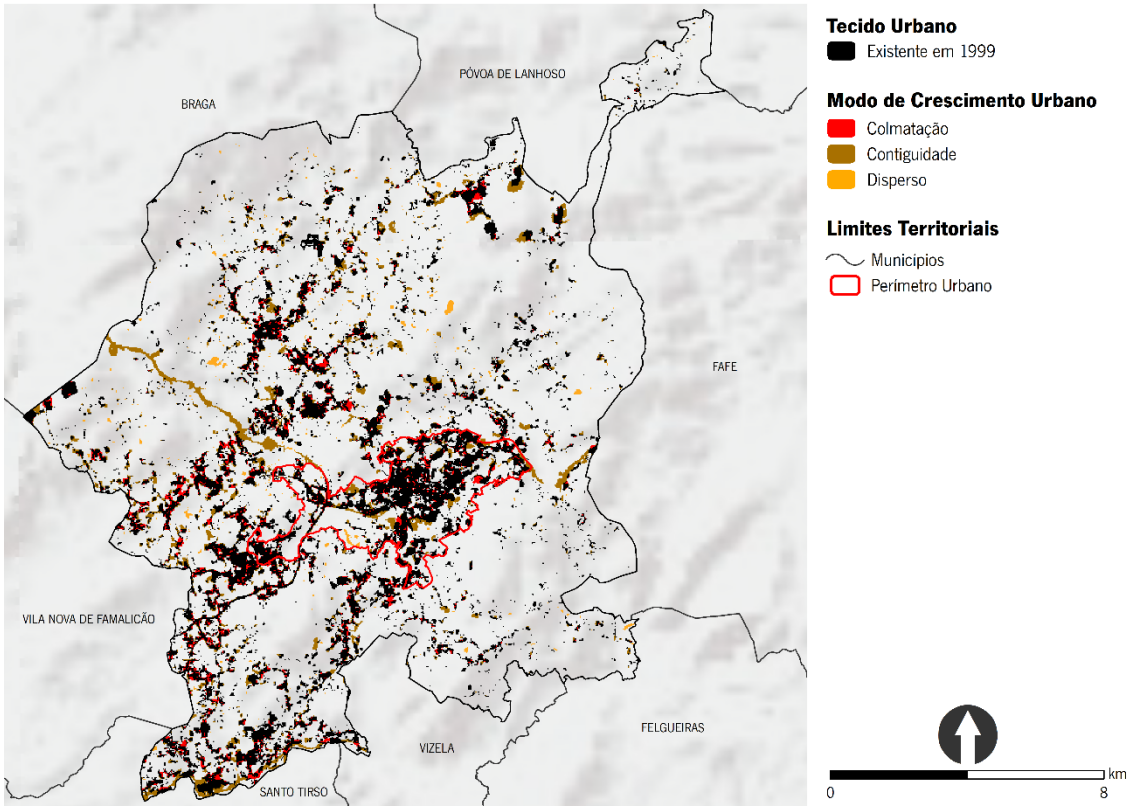


Figura III-55 – Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Guimarães entre 1999 e 2003

O período 2003-2007 foi responsável por 13% do crescimento urbano verificado entre 1984 e 2016, ocorrendo este maioritariamente (*i.e.*, 60,23%) em contiguidade com o tecido urbano

(Tabela III-12). Espacialmente, sobressaem novamente as vias rodoviárias de alta velocidade, mormente a continuação da Autoestrada A11 em direção a Penafiel (embora algumas partes deste troço tenham sido classificadas como crescimento disperso). Não obstante, o crescimento urbano por contiguidade distribui-se por todo o território vimaranense, detendo as manchas localizadas no interior do perímetro urbano uma dimensão elevada, enquanto as do exterior são muito variáveis (Figura III-56). O crescimento urbano disperso, responsável por 17,7% do crescimento urbano ocorrido nestes quatro anos (Tabela III-12), decorre quer da construção de alguns troços da Autoestrada A11, quer da construção de edifícios avulsos por todo o município (Figura III-56). A colmatação urbana (22,01%) ocorre tanto no interior como no exterior do perímetro urbano. Com efeito, em Guimarães verifica-se a densificação quer do centro urbano da cidade de Guimarães, quer de outros pequenos núcleos que se desenvolvem em torno das seculares paróquias (Figura III-56).

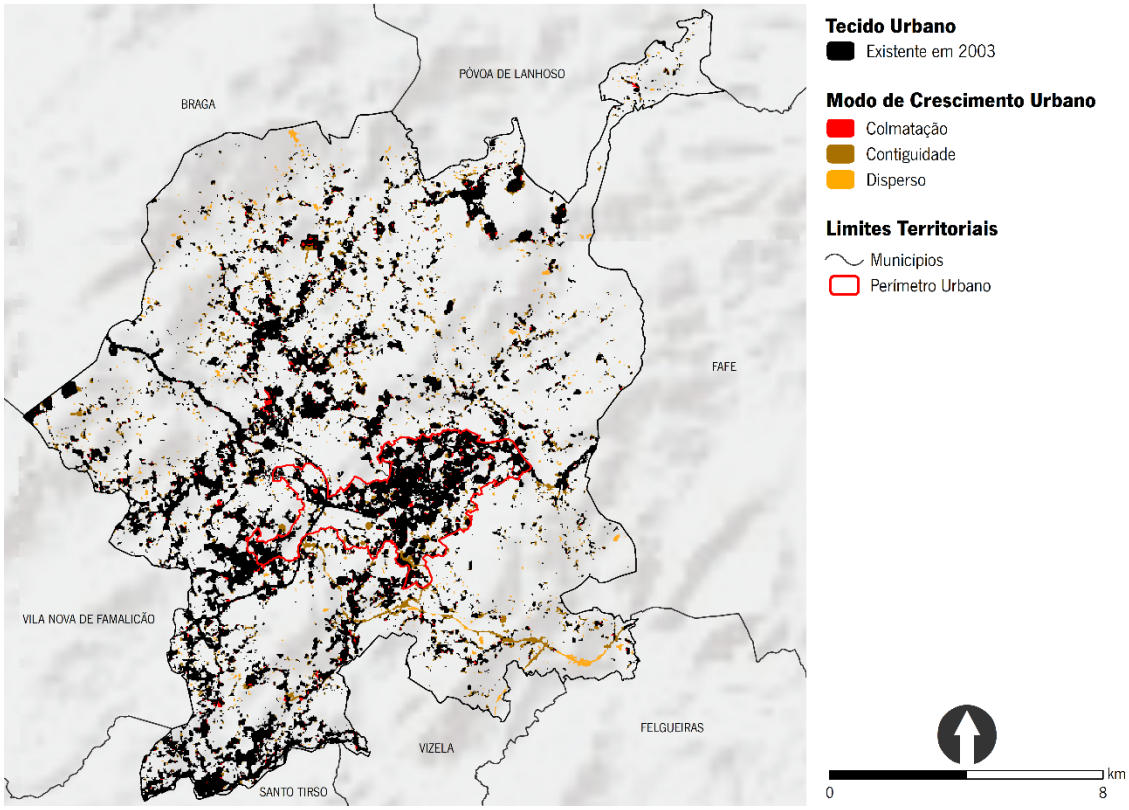


Figura III-56 – Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Guimarães entre 2003 e 2007

No lapso temporal 2007 a 2010, responsável por apenas 10% do crescimento urbano verificado nos 32 anos em estudo, apesar de se verificar um domínio claro do crescimento em contiguidade

(*i.e.*, 57,92%), este valor corresponde à menor percentagem observada nos cinco intervalos analisados (Tabela III-12). Note-se, porém, que contrariamente ao observado anteriormente, neste período não verifica o aparecimento de novas vias rodoviárias. Com efeito, o crescimento em contiguidade decorre apenas do alargamento dos núcleos urbanos preexistentes, maioritariamente localizados no exterior do perímetro urbano. Não obstante, no limite Noroeste do perímetro urbano (na freguesia de Silvares) sobressai uma extensa mancha urbana resultante deste modo de crescimento (Figura III-57). O crescimento por dispersão (14,83%) decorre da adição – por todo o município – de manchas urbanas de reduzida dimensão (Figura III-53; (Figura III.59). A colmatação urbana (27,25%) ocorre num cenário muito semelhante ao observado no intervalo temporal anterior (*c.f.,* Figura III-56 e Figura III-57).

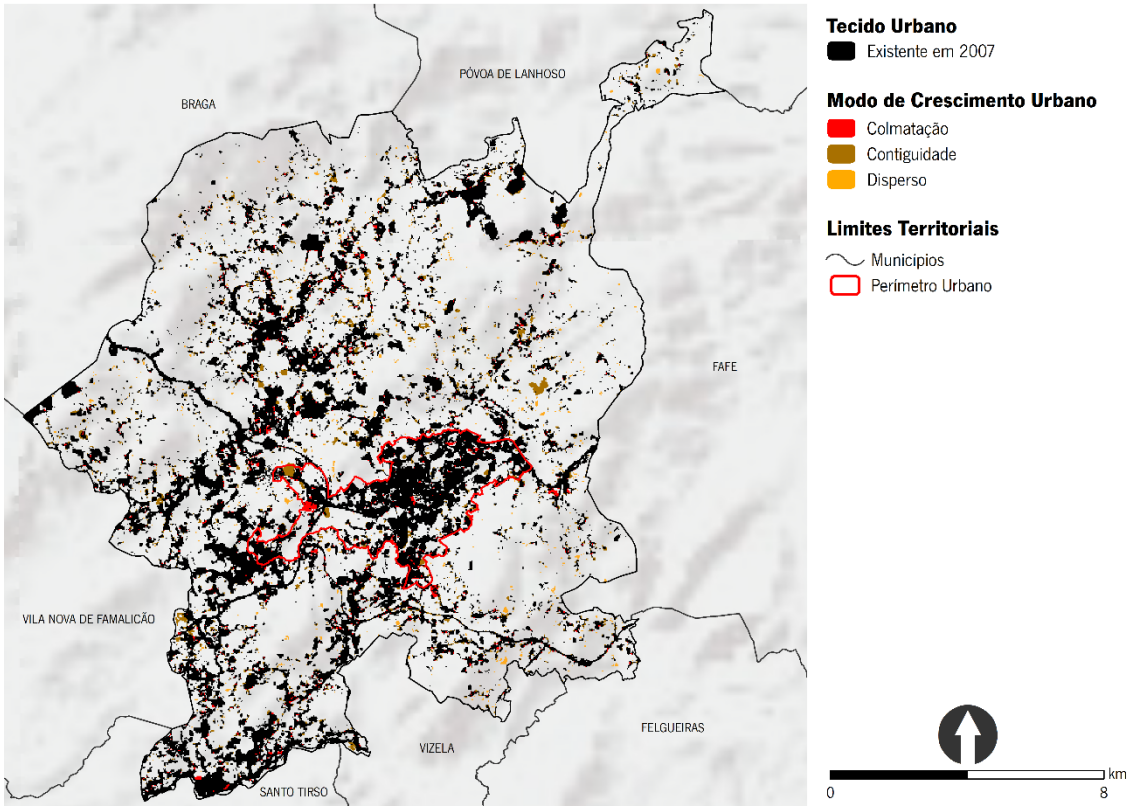


Figura III-57 - Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Guimarães entre 2007 e 2010

O período 2010-2016 abarca 27% do crescimento urbano ocorrido desde 1984 (Tabela III-12). Nestes seis anos verifica-se a distribuição mais equitativa dos três modos de crescimento, como constatado anteriormente. Não obstante, o crescimento em contiguidade responsável por 58,66% traduz a ampliação dos núcleos já existentes (Figura III-58), sobressaindo o aumento da dimensão média destas manchas em relação a 2007-2010 (Figura III-53). O crescimento por dispersão

(20,99%), tal como verificado em todos os intervalos temporais anteriores, ocorre por todo o município. Note-se que, no interior do perímetro urbano são visíveis novas manchas desconexas do tecido urbano preexistente (Figura III-58), não obstante o facto de estas serem de dimensão muito reduzida (Figura III-53). A colmatação urbana (20,34%) ocorre em todo território (Figura III-58), exibindo manchas de reduzida dimensão (Figura III-53), decorrente do exíguo espaço *vacante* que ocupa.

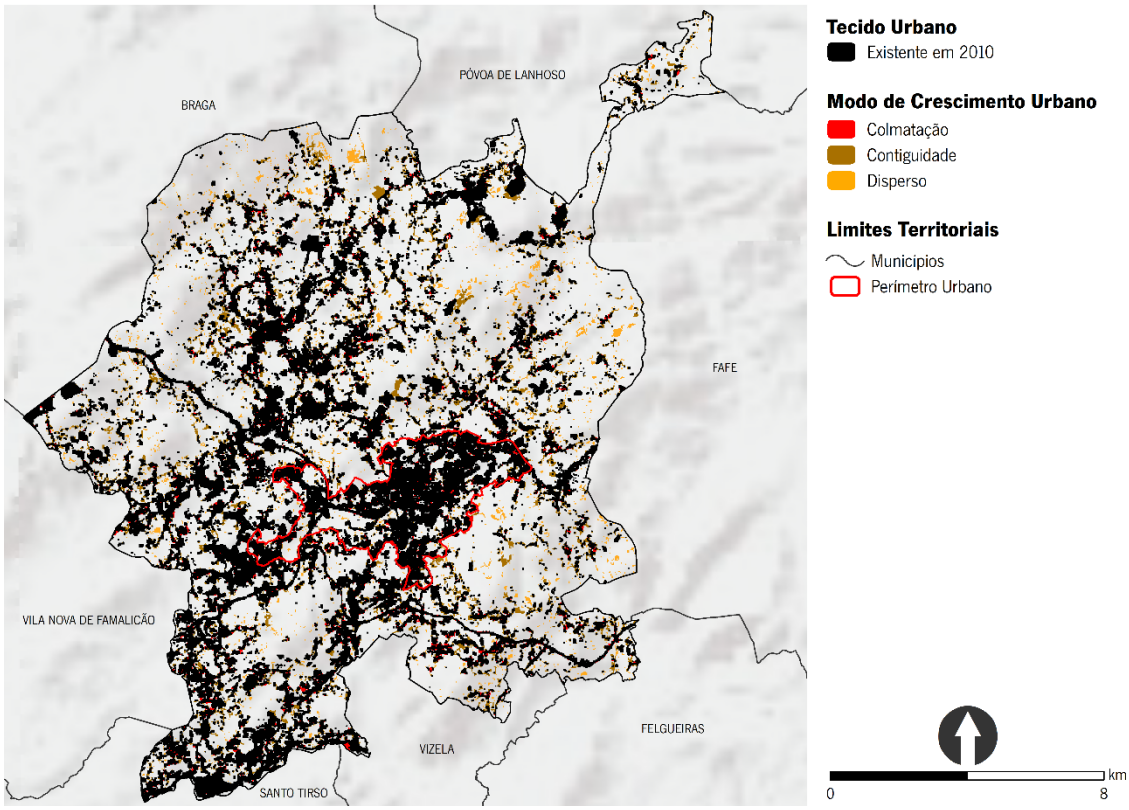
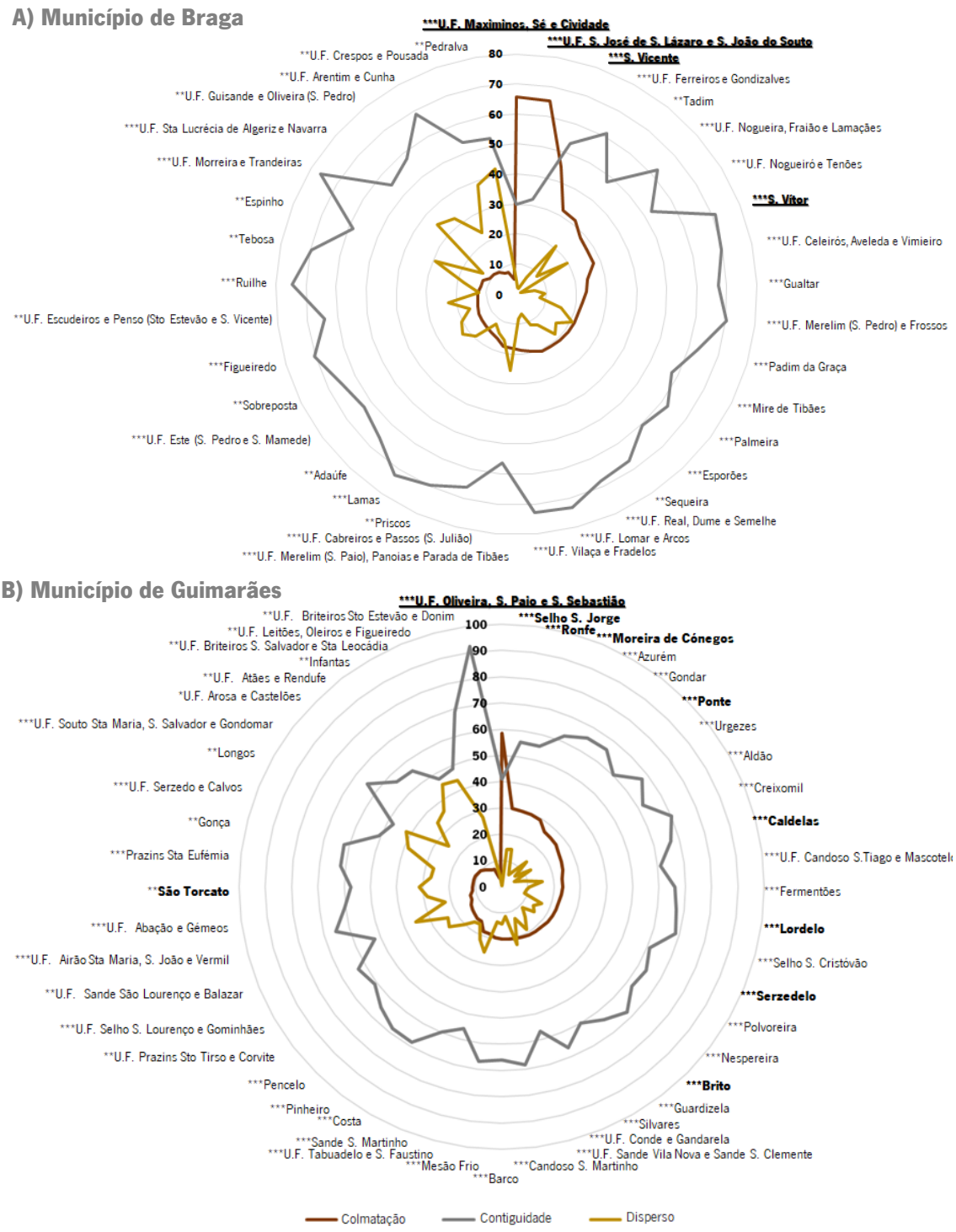


Figura III-58 – Distribuição espacial dos três modos de crescimento urbano verificados em Guimarães entre 2010 e 2016

III – 2.3.4. As Freguesias de Braga e de Guimarães

A análise do LEI à escala da freguesia permite identificar as particularidades à escala intramunicipal. Nos 32 anos abarcados neste estudo denota-se a distribuição uniforme do crescimento em contiguidade nas freguesias bracarenses e vimaranenses (Figura III-59), ainda assim realçar a importância deste modo de crescimento na União de Freguesias Briteiros (Santo Estevão) e Donim (Guimarães), na qual corresponde a mais de 90% de todo o crescimento urbano (Figura III-59-B).



Os nomes a negrito e sublinhado indicam as freguesias que compõem o centro histórico da cidade de Braga e de Guimarães; os nome a negrito correspondem às freguesias com estuto de vila. Os asteriscos traduzem a classificação da Tipologia das Áreas Urbanas efetuada pelo INE: *** Áreas Predominantemente Urbanas; ** Áreas Mediamemente Urbanas; * Áreas Predominantemente Rurais.

Figura III-59 - Repartição dos três modos de crescimento urbano nas freguesias de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Relativamente ao crescimento urbano por colmatação e dispersão sobressai a posição diametralmente opostas das freguesias determinada pela maior/menor representatividade de cada um dos modos (Figura III-59). Esta disjunção espacial é quase simétrica, como comprovam os valores elevados da correlação de Spearman para estas duas variáveis (-0,7 para os dois municípios e *p*-valor < a 0,01), sendo esta efetivamente a relação mais forte verificada (Tabela III-14). Com efeito, é lícito afirmar que as freguesias com maior crescimento por dispersão são, concomitantemente, aquelas que apresentam menor colmatação urbana.

Tabela III-14 – Correlação de Spearman entre os três modos de crescimento urbano nas freguesias de Braga e de Guimarães de 1984 a 2016

Modo de Crescimento	Colmatação	Contiguidade	Disperso
Colmatação	**1/1**	**-**	**-**
Contiguidade	**-0,246/0,138**	**1/1**	**-**
Disperso	**-0,714**/-0,72****	**-0,346*/-0,591****	**1/1**

Os valores a laranja correspondem às freguesias de Braga e os valores a azul às de Guimarães. Nível de significância: **correlação significativa no nível 0,01; e, *correlação significativa no nível 0,05.

O crescimento urbano por colmatação predomina nas freguesias que constituem o núcleo urbano da cidade de Braga e de Guimarães, bem como naquelas que se encontram classificadas pelo INE como Área Predominantemente Urbana. O crescimento disperso ocorre, maioritariamente, nas freguesias classificadas como Área Mediamente Urbana ou Predominantemente Rural (Figura III-59). No caso específico de Guimarães, constata-se que as Vilas se concentram no setor onde predomina a colmatação sobre a dispersão, excetuando-se apenas Vila de São Torcato – também a única classificada como Área Mediamente Urbana (Figura III-59-B).

De notar ainda a importante relação entre o crescimento por contiguidade e o crescimento por dispersão, sendo que o segundo modo tende a ser mais elevado à custa dos menores valores do primeiro (Figura III-59). De facto, a correlação de Spearman, não só confirma esta afirmação, como indica que esta relação – do ponto de vista estatístico – é mais significativa em Guimarães do que em Braga (Tabela III-14). Por sua vez, o crescimento em contiguidade e a colmatação não apresentam uma relação significativa do ponto de vista estatístico (Tabela III-14), porém de notar que esta tende a ser negativa em Braga (*i.e.*, um modo diminui em detrimento do outro), mas positiva em Guimarães (*i.e.,* o maior crescimento em contiguidade ocorre nas freguesias com maior colmatação urbana).

III – 2.4. Ligações Empíricas do LEI com a(s) Teoria(s) Urbana(s)

Em Braga, decorridos 32 anos, denota-se claramente a colmatação do núcleo principal da cidade – onde, em 1984, ainda subsistiam vastas áreas abertas. Além disto, verifica-se igualmente a colmatação em novos espaços urbanos que se originaram por contiguidade ou a partir do crescimento disperso. O crescimento em contiguidade ocorre quer em torno do núcleo central de Braga – onde se localizam as novas manchas urbanas de maior dimensão –, quer ao longo das vias rodoviárias, que comandaram o processo de urbanização. A dispersão urbana surge maioritariamente nas áreas periféricas do município, fruto da adição de segmentos urbanos minúsculos – correspondentes, em muitos casos, a habitações unifamiliares Sem embargo, sobressaem algumas manchas de maior dimensão no quadrante Nordeste do município (Figura III-60).

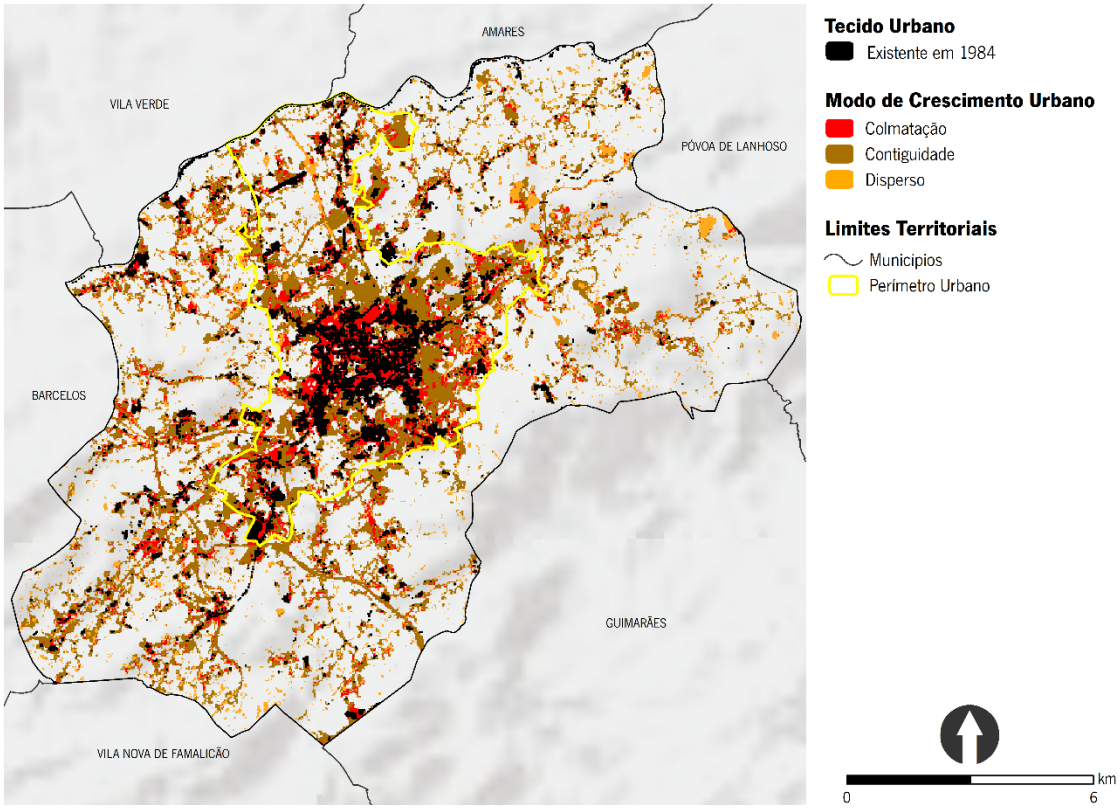


Figura III-60 – Modo de crescimento urbano em Braga entre 1984 e 2016

Por seu turno, no município de Guimarães, apesar de também se notar a colmatação do principal núcleo urbano, este apresenta menor dimensão do que o de Braga. Ao mesmo tempo, sobressai a colmatação em torno de uma vastidão de pequenos aglomerados urbanos, distribuídos por todo o município (Figura III-61). Ao nível da contiguidade, observa-se (como em Braga) uma importante

coroa coalescente ao núcleo urbano e às vias rodoviárias, ainda que se estenda igualmente a todo o território municipal, com particular destaque para a envolvente dos pequenos aglomerados. Por fim, no exterior do perímetro urbano, é por demais evidente a dispersão urbana (Figura III-61), que foi sucessivamente 'perfurando' (Formam, 1995) o território vimaranense.

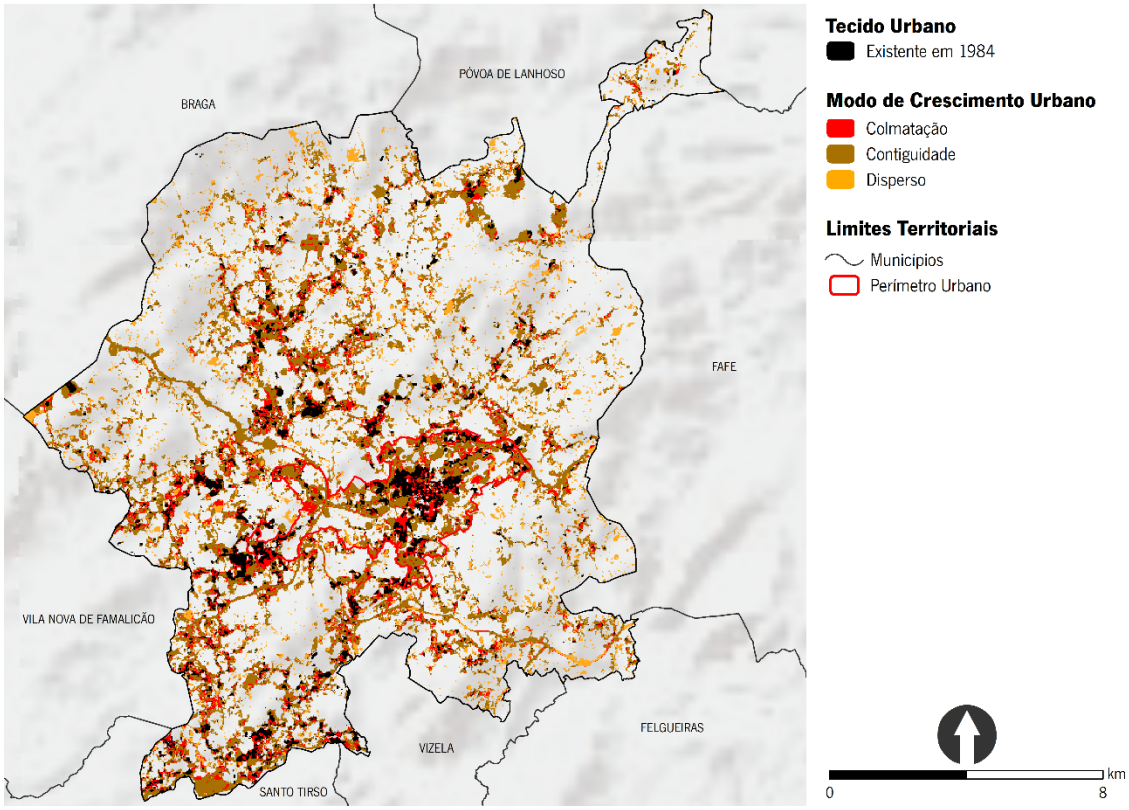


Figura III-61 – Modo de crescimento urbano em Guimarães entre 1984 e 2016

A despeito do tecido urbano nos municípios de Braga e Guimarães ser resultado da combinação da colmatação, contiguidade e dispersão urbana (Figura III-60 e Figura III-61), a contiguidade é claramente o modo dominante nos dois municípios, correspondendo a mais de 60% do crescimento verificado entre 1984 e 2016 (Figura III-62). Estes resultados encontram-se em consonância com os obtidos em diversos estudos que aplicaram o LEI (Liu *et al.*, 2010; Shi *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2013; Dahal *et al.*, 2017).

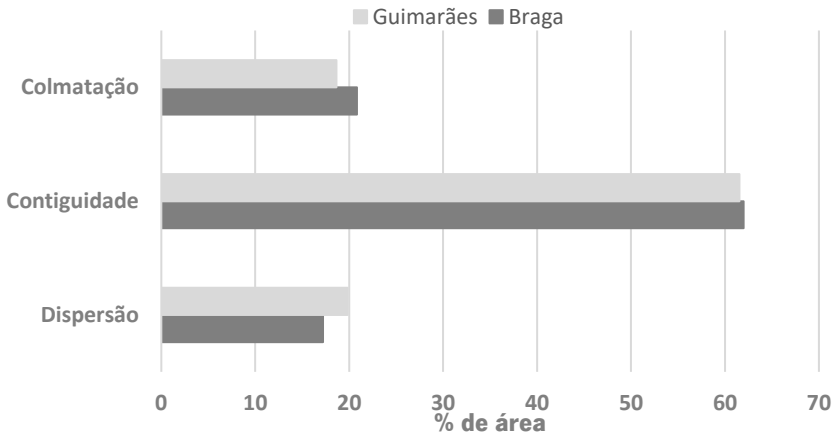


Figura III-62 – Comparação de Braga e Guimarães quanto ao modo de crescimento urbano entre 1984 e 2016

O crescimento por via da colmatação assume-se como o segundo modo mais importante em Braga (Figura III-62), mas não em Guimarães, onde esta posição é ocupada pela dispersão. Efetivamente, durante 25 dos 32 anos em estudo, o crescimento por dispersão constituiu o segundo modo mais expressivo em Guimarães; enquanto em Braga a dispersão foi apenas mais importante do que a colmatação urbana durante os primeiros 15 anos da série temporal. Neste sentido, o LEI confirma não só que a dispersão urbana assume maior acuidade em Guimarães do que em Braga (Domingues,1999; Portas, 2012a), como também mostra que esta se tem vindo a acentuar nas últimas décadas, exatamente como Portas (1986) antevia. Em Guimarães o PDM, aprovado em 1994, não contrariou a tendência secular instalada no território, nomeadamente a minimização do tecido urbano desconectado. Assim, o crescimento urbano "*seems to have been more conducted by processes than by plans*" (Encarnação *et al.*, 2013, p. 2687)

Os resultados obtidos com o LEI na AUBG corroboram ainda a constatação de Gomes *et al.* (2018) – que existe uma forte relação espacial entre o tecido urbano preexistente e as novas manchas urbana (pois apenas 20% do novo tecido urbano não se encontra conectado ao antigo), em consonância com a primeira da Lei da Geografia proposta por Tobler (1970).

O *Mean Expansion Index* (MEI), derivado a partir do LEI, sintetiza a importância relativa de cada um dos modos de crescimento, pelo que traduz a maior ou menor compacidade do crescimento urbano. A este respeito denota-se que Braga e Guimarães exibem um padrão oscilatório ao longo dos 32 anos em análise, indicando que o processo urbano foi intercalando períodos de maior dispersão com outros de maior compactação, decorrentes do crescimento por contiguidade e colmatação (Figura III-63). Estes resultados parecem suportar a hipótese teórica proposta por

Dietzel *et al.* (2005a;b) e Herold *et al.* (2005), de que as áreas urbanas se formam a partir de processos oscilatórios de crescimento, que alternam de modo cíclico fases de difusão (estado inicial) – assente no aparecimento de novas manchas urbanas avulsas no território –, com fases de coalescência (decorrente da fusão de distintas manchas numa única).

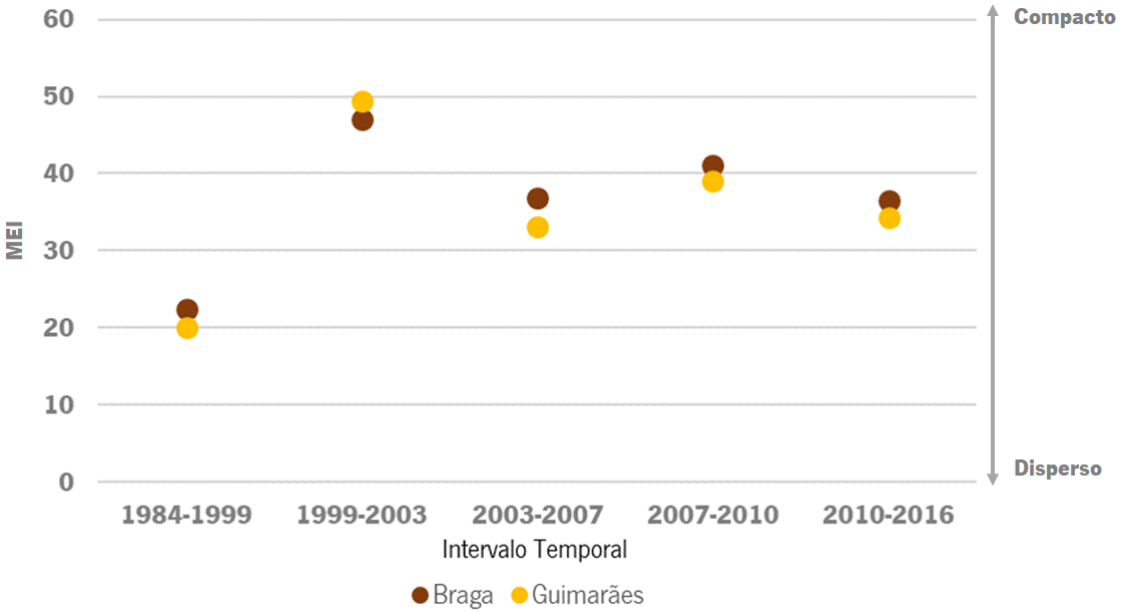


Figura III-63 – MEI em Braga e Guimarães entre 1984 e 2016

O valor médio do LEI (*i.e.,* o MEI) se ponderado pela área da mancha urbana (AWLEI), evidencia um decréscimo dos valores do LEI, excetuando-se unicamente a esta afirmação o município de Braga o período 1984-1999, que regista um aumento 1,7 (Figura III-64). A diferença mais notória em relação MEI coincide com a fase de crescimento urbano mais compacto (*i.e.*, 1999-2003). Apesar de ser em Braga que se denota a diferença absoluta mais significativa no valor do MEI (nomeadamente 9,56 no hiato 1999-2003), em geral é o município de Guimarães que regista as maiores dissemelhanças entre MEI e o AWLEI (Figura III-64).

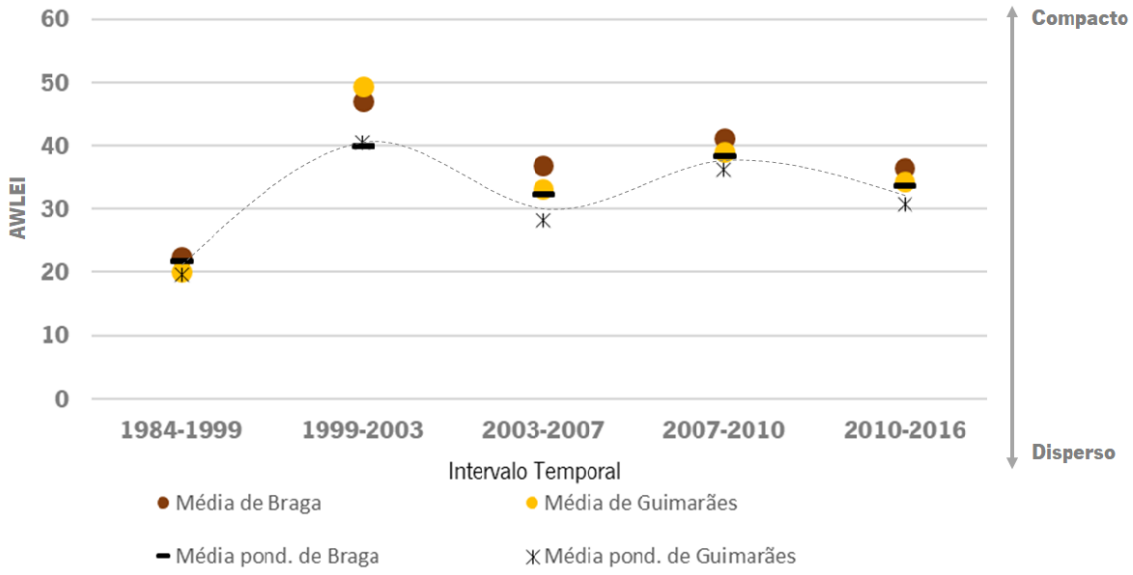


Figura III-64 – AWLEI em Braga e Guimarães entre 1984 e 2016

Os resultados obtidos para os municípios de Braga e de Guimarães atestam a capacidade do LEI – que assenta na integração da Deteção Remota com os SIG – na captura das dinâmicas multifacetadas do processo de urbanização, amplamente maximizadas nos territórios de urbanização difusa em estudo. Este índice de estrutura espacial fornece informação não só acerca do padrão da paisagem urbana, como também – e mais importante ainda – sobre os processos de mudança desta. Nos 32 anos abarcados não se verifica um modo uníssono de urbanização, dado que – à parte do domínio do crescimento em contiguidade –, observa-se uma oscilação de fases de maior dispersão com outras de maior colmatação. De facto, os três modos de crescimento urbano operaram em simultâneo, pelo que a simplificação dicotómica, defendida por Dietzel *et al.* (2005a; 2005b) e Herold *et al.* (2005), *grosso modo* percetível neste território, poderá não abranger a total complexidade espacial e temporal deste fenómeno.

A despeito da vastidão dos estudos empíricos desenvolvidos nos últimos anos melhorarem a compreensão das dinâmicas urbanas, o conhecimento profundo dos padrões e dos processos associados à urbanização é ainda limitado, em consequência da sua reduzida ligação com modelos teóricos compatíveis (Herold *et al.*, 2005; Czamanski *et al.*, 2008). Neste sentido, o LEI pode dar um contributo importante, uma vez que permite a estandardização dos estudos sobre o crescimento urbano e a comparação de diferentes realidades urbanas, bem como de distintas escalas geográficas e temporais.

III – 3. A EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

"The land surface is a complex feature that can be described as a combination of green vegetation, water surfaces, impervious surface materials and exposed soils. As a result of this complexity, LST varies spatially and temporally".
|Rasul *et al.*, 2017, p.1|

As características da cobertura do solo (consubstanciadas nas componentes biofísicas) ditam em grande medida as trocas de energia que ocorrem entre a Terra e a atmosfera, constituindo uma das principais determinantes para o microclima de um local (Arthur-Hartranft *et al.*, 2003; Uddin *et al.*, 2010). As alterações na superfície terrestre repercutem-se de modo direto no balanço energético, pelo que o ambiente térmico se revela um excelente indicador das mudanças climáticas locais, particularmente (embora não de modo exclusivo) as decorrentes do processo de urbanização. A respeito lembrar que, volvidos 32 anos a mudança mais significativa na AUBG se prende com a conversão de áreas naturais – com maior ou menor cobertura de vegetação – em superfícies impermeáveis antrópicas, compostas por materiais como concreto ou o asfalto. Estes materiais artificiais apresentam características radiativas e termodinâmicas muito distintas dos seus predecessores, nomeadamente no que se refere ao albedo, emissividade, capacidade calorífica, condutividade térmica, difusividade térmica e inércia térmica (Curran, 1985). Além de que, como não permitem a infiltração da água, esta rapidamente se perde no sistema de drenagem, diminuindo significativamente o conteúdo de humidade das superfícies.

A banda do infravermelho térmico dos satélites capta a energia que as superfícies emitem, sendo que a partir da inversão da Lei de Planck é possível determinar a temperatura de superfície (Ts) – que para Weng *et al.* (2014) corresponde à temperatura da pele da superfície terrestre. Deste modo, a visão sinótica e repetitiva da Deteção Remota fornece as bases para a compreensão das dinâmicas climáticas decorrentes da maior ou menor apropriação antrópica do território, a diversas escalas espaciais e temporais. No escrutínio das particularidades intraurbanas um dos satélites mais amplamente utilizado é o Landsat – pois, de entre os sensores com banda térmica, é o que apresenta maior resolução espacial. Assim sendo, após a análise das mudanças nas componentes biofísicas verificadas na AUBG entre 1984 e 2016, a partir do arquivo Landsat, procura-se, com base na mesma série de imagens compreender a evolução de Ts neste período. De notar que, a opção por imagens do mês de julho – *i.e.*, verão – permite estudar a altura do ano em que as temperaturas do ar atingem os valores mais elevados (Lautensach, 1999b). Esta análise tem por

referência os valores absolutos de Ts (em °C) – ou seja, antes de qualquer procedimento de normalização, que mais adiante será explorado. Não se pretende efetuar uma comparação direta dos valores de Ts entre as diferentes imagens, mas sim entender o comportamento térmico do território em cada uma das seis datas, e o modo como este é afetado por situações atmosféricas distintas – informação que se perde quando se normaliza a Ts.

III – 3.1. Comportamento Espaciotemporal de Ts

A despeito de a alteração da Ts ser um fenómeno cujas causas são de índole local (*i.e.,* padrões microclimáticos), a sua sincrética compreensão requere a adoção de escalas geográficas múltiplas, bem como o cruzamento de métodos qualitativos (por via da análise dos padrões espaciais), com métodos quantitativos (assentes em estatística multivariada). Em termos geográficos, numa primeira fase, efetua-se uma análise sinótica da AUBG, e de seguida, procura-se compreender as particularidades inerentes aos municípios de Braga e de Guimarães, nomeadamente as que decorrem da bipartição do território em função do perímetro urbano. Ressalvar uma vez mais que esta análise serve de contextualização, dado que a comparação direta dos valores de Ts é pouco ortodoxa (Xiong *et al.*, 2012; Meng *et al.*, 2014; Fang, 2015; Rasul *et al.*, 2017), como mencionado anteriormente.

III – 3.1.1. Panorama da AUBG

Na AUBG entre 1984 e 2016 o aumento de Ts é evidente, apesar de não ser claramente linear, pois algumas imagens desviam-se da tendência geral (Tabela III-15): (i) nos valores mínimos, o ano de 2007 apresenta valores inferiores a 2003; (ii) nos valores máximos, os anos de 2003 e de 2016, registam valores inferiores a 2007; e, em termos médios, são igualmente os anos de 2003 e de 2016, que contrariam a tendência. Neste sentido, as anomalias de temperatura e de precipitação não explicam *per si* esta evolução temporal. A situação sinótica demonstra que 2010 por coincidir com o final de uma onda de calor exibe valores médios de Ts mais elevados, bem os máximos. Além de sobressair o ano de 2003, que exibe valores médios de Ts reduzidos, apesar de se terem verificado condições de calor excecionais em toda a Europa (Schwarz *et al.*, 2011). A este respeito, importa notar que é precisamente nesta imagem que o pico de calor mais se afasta da data de captura (Figura II-9).

Tabela III-15 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (ºC) na AUBG entre 1984 e 2016

Estatística	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-Padrão
1984	19,62	42,31	27,50	2,40
1999	20,93	56,06	35,57	3,52
2003	24,01	53,15	33,80	3,15
2007	22,53	59,95	36,03	3,57
2010	24,68	62,85	38,45	4,07
2016	25,11	59,91	37,02	4,36

Para uma análise estatística mais detalhada de Ts, optou-se por extrair uma amostra de 10 000 pontos. A proximidade dos valores da média e do desvio-padrão resultantes da amostra (Tabela III-16), com os obtidos nas estatísticas *pixel-by-pixel* (Tabela III-15), comprova que esta constitui uma boa representação do conjunto de dados, residindo a principal diferença (como seria de esperar) no valor máximo e mínimo das séries, que nunca são captados pela amostra (*c.f.*, Tabela III-15 e Tabela III-16).

Tabela III-16 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) na AUBG entre 1984 e 2016*

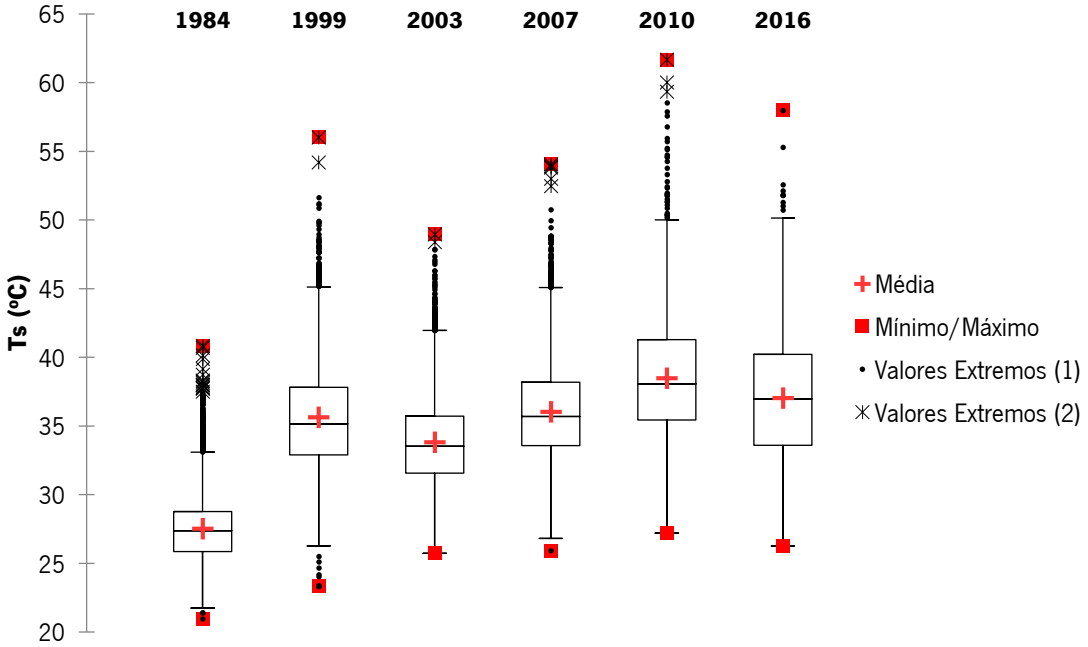
Estatística	1984	1999	2003	2007	2010	2016
Mínimo	20,96	23,32	25,73	25,92	27,20	26,27
Máximo	40,83	56,02	48,95	54,06	61,67	57,97
1º Quartil	25,86	32,90	31,57	33,57	35,43	33,59
Mediana	27,37	35,16	33,52	35,68	38,07	36,97
3º Quartil	28,77	37,81	35,72	38,18	41,30	40,22
Média	27,53	35,63	33,83	36,03	38,47	37,03
Variância	5,95	12,63	10,31	12,81	16,70	19,17
Desvio-Padrão	2,44	3,55	3,21	3,58	4,09	4,38
Coeficiente de Variação	0,09	0,10	0,09	0,10	0,11	0,12

*Estatísticas obtidas para uma amostra de 10 000 pontos.

No decorrer dos 32 anos em estudo denota-se que os valores de Ts na AUBG se tornam mais heterógenos e complexos – como evidencia o aumento das medidas de dispersão. Em detalhe, a variância passa de 5,95 em 1984 para 19,17 em 2016, o desvio-padrão de 2,44ºC para 4,38ºC; e, o coeficiente de variação de 0,09 para 0,12. Com efeito, a maior diversidade de valores observada na distribuição de Ts, decorrente do maior afastamento dos dois extremos do espetro de valores, indica que a média foi perdendo cada vez mais poder de caracterizar o campo térmico

superficial da AUBG (Tabela III-16). Estes resultados encontram-se em consonância com o observado por Chen *et al.* (2016), para a área metropolitana de Shangai, no intervalo temporal 1989-2013.

A caixa de bigodes de Ts nas seis datas em estudo ilustra de modo claro o aumento da dispersão dos valores, particularmente se comparados com a data inicial (Figura III-65). Em 1984 os valores de Ts não só exibem uma distribuição quase simétrica em torno da mediana (tal como acontece novamente em 2016, última data em análise), como também apresentam uma reduzida amplitude interquartil (≈ 3°C). Todavia, nas restantes datas denota-se um enviesamento dos dados acima da mediana, bem como um aumento da amplitude interquartil, cujo valor mais elevado ocorre em 2016 (≈ 7°C).



Limite inferior = x(i), sendo que {x(i)-[Q1-1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q1-1,5 (Q3-Q1). Limite superior = x(i), sendo que {x(i)-[Q3+1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q3+1,5 (Q3-Q1) em que, Q1=1.° quartil; Q3=3.°quartil. São considerados valores anómalos, aqueles que se localizam fora do intervalo]Q1-3 (Q3-Q1; Q3+3 (Q3-Q1)[— representados por •; e os que se localizam nos intervalos [Q1-3 (Q3-Q1); Q1-1,5 (Q3-Q1)] ou [Q3+1,5 (Q3-Q1); Q3+3 (Q3-Q1)] — representados por Ж.

Figura III-65 – Caixa de Bigodes de Ts (°C) na AUBG entre 1984 e 2016

Os valores extremos (*i.e.*, *outliers*), apesar de existirem nas Ts mais baixas, é nos valores mais elevados que assumem maior proeminência (Tabela III-17), particularmente os de tipo 2 (Figura III-65). Assim sendo, pode-se afirmar que as áreas mais quentes apresentam uma maior heterogeneidade de valores de Ts do que as áreas mais frescas – como comprova: a diferença mais acentuada entre os valores absolutos e os não discrepantes máximos, quando comparado

com os mínimos (Tabela III-17); bem como, a amplitude mais elevada de |Q3-Q2|, quando comparada com a de |Q2-Q1|, situação a que apenas se excetua o ano de 2016

Tabela III-17 – Diferença (ºC) entre os valores absolutos e os não discrepantes de Ts mínima e máxima na AUBG entre 1984 e 2016

Ano	Ts Mínima (ºC)			Ts Máxima (ºC)		
	Absoluto	Não Discrepante	Diferença	Absoluto	Não Discrepante	Diferença
1984	20,96	21,74	-0,78	40,83	33,09	7,74
1999	23,32	26,27	-2,95	56,02	45,12	10,90
2003	25,73	25,73*	0	48,95	41,96	6,99
2007	25,92	26,81	-0,89	54,06	45,08	8,98
2010	27,20	27,20*	0	61,67	50,00	11,67
2016	26,27	26,27*	0	57,97	50,14	7,83

*Nos anos de 2003, 2010 e 2016 o valor mínimo da série não é considerado um valor discrepante.

A distribuição de Ts na AUBG é claramente díspar entre 1984 e 2016 (Tabela III-16), sobressaindo a heterogeneidade térmica superficial, decorrente da alternância de áreas quentes com outras mais frescas. Nesta aceção, os resultados do teste de Friedman comprovam que as séries de valores de Ts referentes a cada data são claramente distintas entre si (*vide* Apêndice IV), pelo que importa analisar as suas especificidades.

A imagem de 22 de julho de 1984 distingue-se profundamente das restantes datas, dado que apresenta valores consideravelmente mais baixos – não existindo mesmo valores superiores a 42ºC. O valor médio de Ts é de 28ºC (+/– 2,44ºC), sendo que 50% do território não ultrapassa este valor e apenas 25% exibe Ts superiores a 29ºC (Tabela III-16). Nesta data denota-se um gradiente térmico a partir do núcleo urbano tradicional de Braga e de Guimarães – mais quente - em direção aos topos densamente florestados – claramente mais frescos. Não obstante, em Guimarães podem ser identificados com facilidade alguns *hotspots*, correspondentes a pequenos núcleos urbanos e/ou a campos agrícolas cujo solo à data se encontraria lavrado. Entre o tecido urbano e os povoamentos florestais sobressai uma ampla área de transição com Ts entre 28 e os 31ºC (Figura III-66).

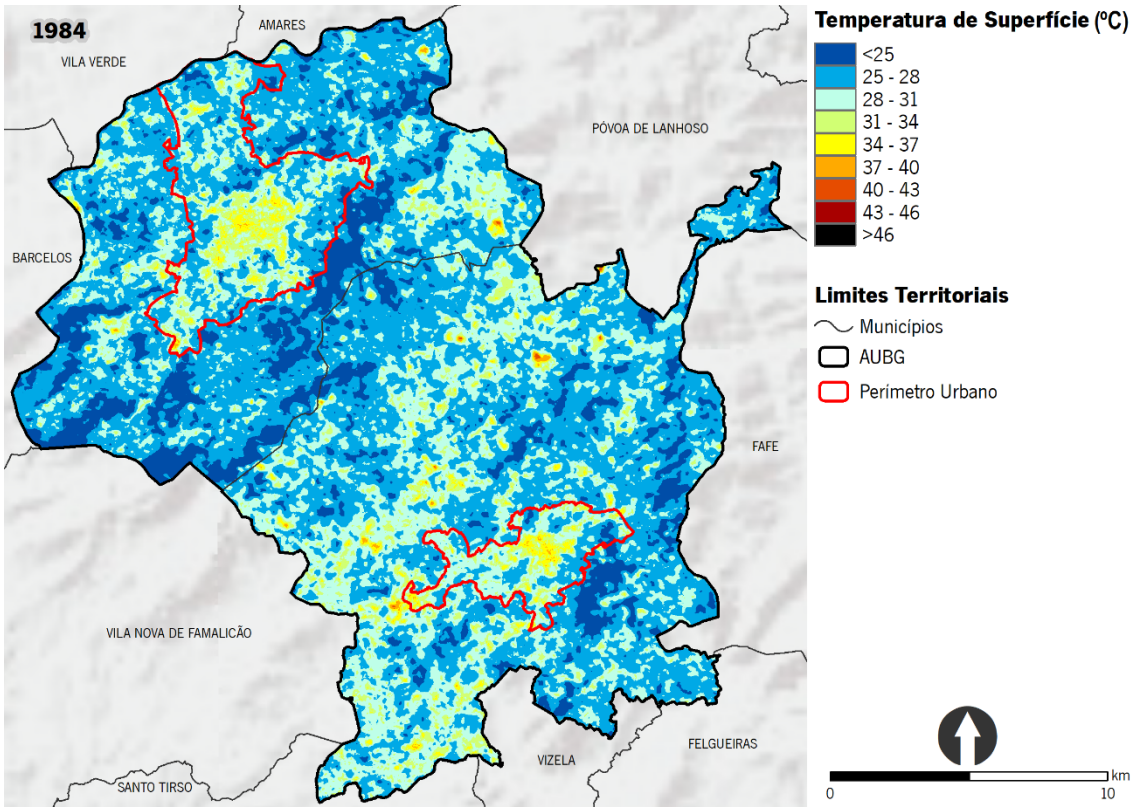


Figura III-66 – Ts (°C) na AUBG em 1984

Em 08 de julho de 1999, contrariamente ao observado em 1984, a Ts passa a exibir um padrão espacial de áreas quentes interconectado (Figura III-67), onde a ausência de acentuados contrastes térmicos – fomentados pela inexistência de áreas muito frescas (*i.e.*, com Ts inferiores a 28°C) – é nítida. Não obstante, as diferenças gráficas verificadas no padrão de Ts poder-se-ão dever às características do sensor, que no caso específico corresponde ao Landsat 7 ETM+ (Figura III-67). Efetivamente, a média de Ts é de 36°C (+/– 3,55°C), sendo que 25% do território tem temperaturas abaixo dos 33°C, e outros 25% exibe Ts superiores a 38°C (Tabela III-16).

Os locais com as Ts mais elevadas em 1984 permanecem em 1999, no entanto, a sua extensão espacial aumenta claramente, fruto do acentuado processo de urbanização verificado nestes 15 anos. As mudanças nas componentes biofísicas encontram clara tradução no campo térmico superficial, sendo que muitas áreas com Ts elevadas correspondem a terrenos agrícolas ou florestais, sem vegetação, ou provavelmente muito secos. Concomitantemente de notar, a reduzida presença de áreas frescas, que se encontram claramente confinadas aos topos mais elevados e declivosos, do interflúvio da Falperra e do Monte da Penha (Figura III-67).

A repartição espacial dos valores mais elevados de Ts (*i.e.*, classe >46°C) apresenta profundas dissimilaridades entre Braga e Guimarães, dado que no primeiro caso se concentram no entorno do núcleo urbano principal (e dentro do perímetro urbano), enquanto em Guimarães se dispersam no exterior do perímetro urbano, por toda a ala Oeste do município (Figura III-67). Considerando que os valores mais elevados de Ts correspondem em grande medida às áreas industriais, estes resultados confirmam, mais uma vez, que a dispersão da indústria no território assume maior acuidade em Guimarães do que em Braga. Em vista disso, se numa primeira interpelação se colocaria a questão de que a 'visão' do Landsat sobre a urbanização difusa e dispersa, tal como definidas por Portas (2012a), seria mesma. A análise efetuada anteriormente sobre as componentes biofísicas, bem como a presente sobre a evolução de Ts, patenteia bem que este satélite consegue discriminar as particularidades da urbanização difusa – nomeadamente a mescla das atividades económicas ao nível mais capilar do território.

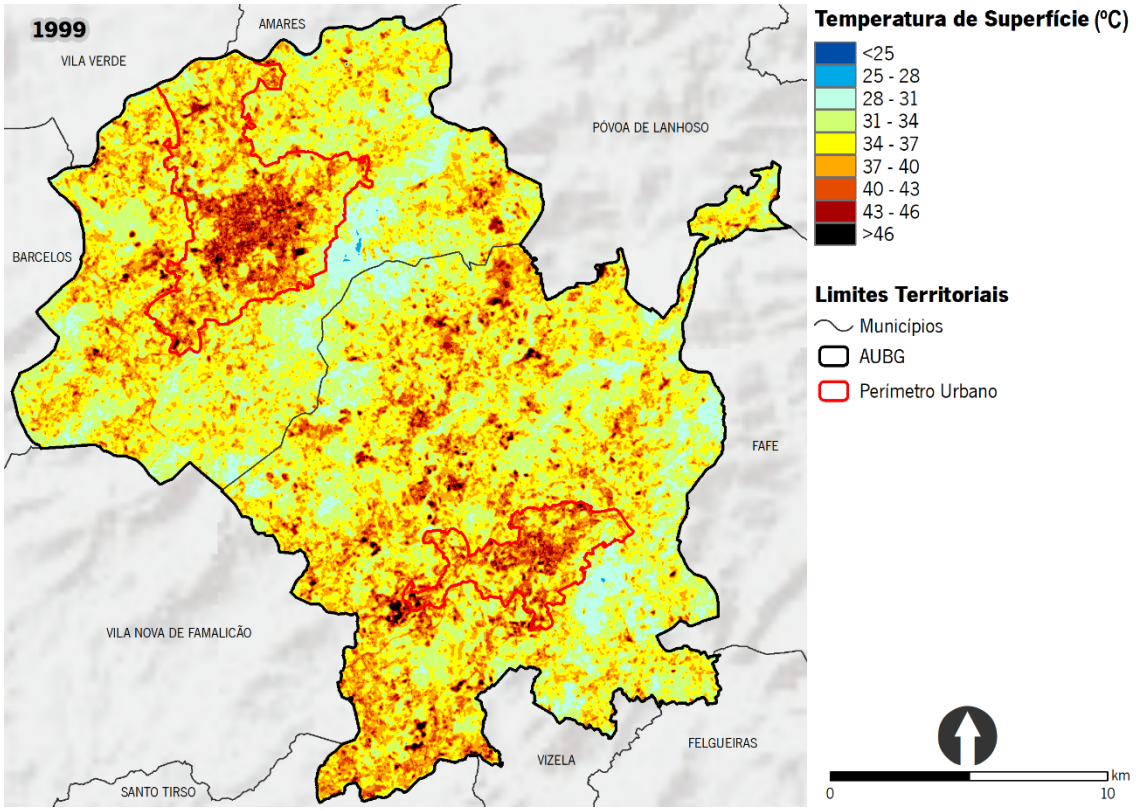


Figura III-67 – Ts (°C) na AUBG em 1999

A 11 de julho de 2003 o padrão de Ts elevadas revela-se menos intrincado, se comparado com a data anterior (*c.f.*, Figura III-67 e Figura III-68), como comprova o valor mais reduzido da variância, que baixa de 12,63 para 10,31 (Tabela III-16). Nesta data, o valor médio de Ts é de 34°C (+/– 3,21°C), sendo que 50% da AUBG exibe Ts entre os 32°C e os 36°C. Os valores elevados do centro

urbano de Braga e de Guimarães emergem claramente na paisagem térmica da AUBG, contribuindo para esta individualização os reduzidos valores das áreas florestais, maioritariamente localizadas nos terrenos limítrofes do município de Braga, bem como no Monte da Penha em Guimarães (Figura III-68). Ainda comparativamente a 1999, as áreas mais quentes (*i.e.*, Ts >46°C) apresentam uma menor diferenciação relativamente ao restante tecido urbano (*c.f.*, Figura III-67 e Figura III-68).

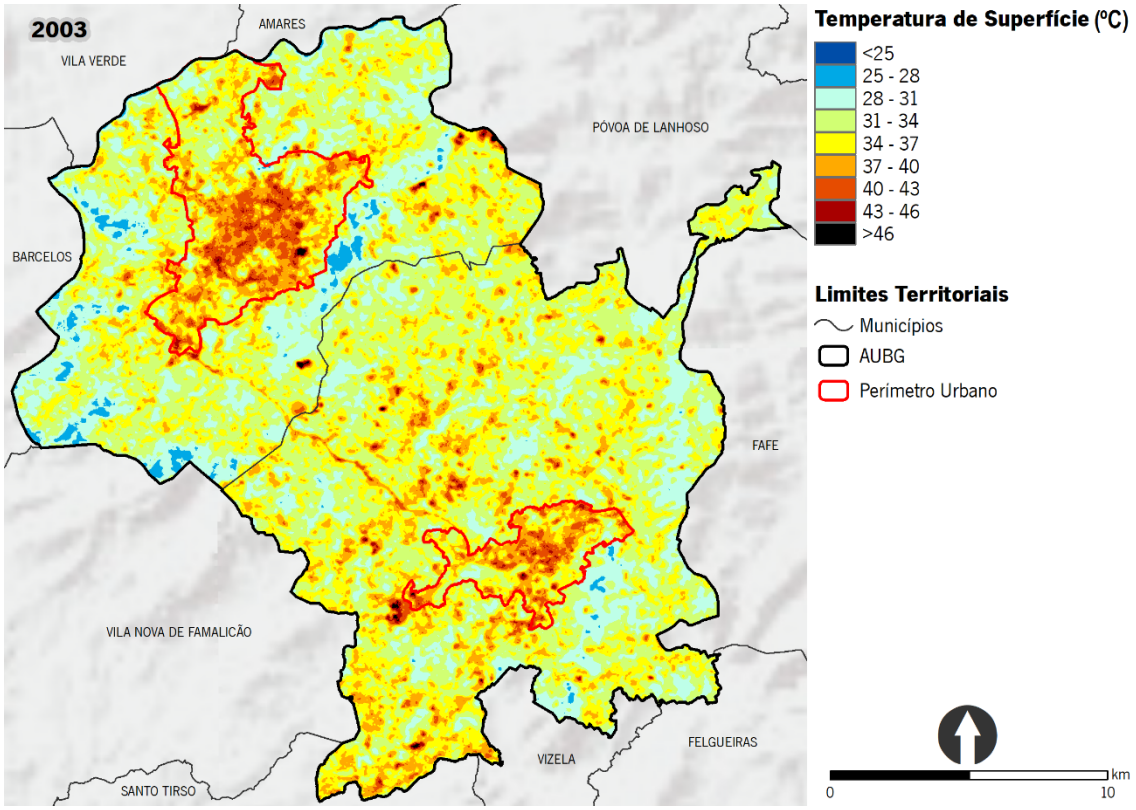


Figura III-68 – Ts (°C) na AUBG em 2003

Na imagem de 06 de julho de 2007 a Ts média é de 36°C (+/– 3,58°C), sendo que 50% da AUBG apresenta valores superiores, ultrapassando mesmo os 38°C em 25% do território (Tabela III-16). As áreas mais quentes, pelo seu confinamento ao interior do perímetro urbano de Braga e de Guimarães, emergem de modo nítido (Figura III-69), sendo também nestes centros que se localizam, em grande medida, os valores muito elevados de Ts (*i.e.,* classe >46°C). De notar mais uma vez que, o perímetro urbano de Braga parece conter melhor os *hotspots* do que o de Guimarães, visto que que apesar de evidentes no interior do perímetro urbano, são igualmente notórios no seu exterior, particularmente nos setores Sul e Oeste do município (Figura III-69).

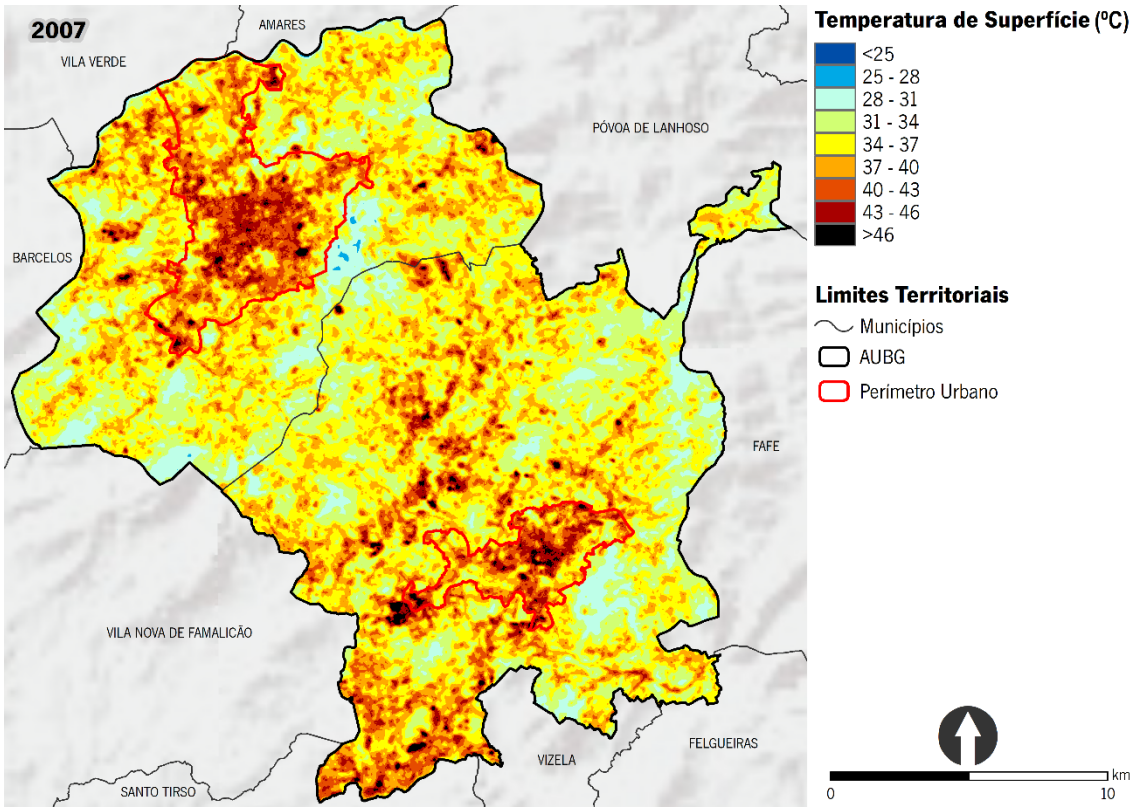


Figura III-69 – Ts (°C) na AUBG em 2007

Na data de 30 de julho de 2010 verificam-se Ts muito elevadas na quase totalidade da AUBG, sendo praticamente inexistente a presença de áreas frescas (Figura III-70). A Ts média é de 38°C (+/– 4°C) – a mais elevada entre as seis datas – encontrando-se 50% do território acima deste valor (Tabela III-16). As áreas com Ts superiores a 46°C destacam-se claramente na paisagem térmica da AUBG (ao contrário do que sucedia em datas anteriores), visto que um quarto da AUBG apresenta Ts superior a 41°C (Tabela III-16), extravasando claramente os limites dos perímetros urbanos definidos pelas autarquias (Figura III-70). Em alguns pontos do território, regista-se mesmo o valor impressionante de 63°C, sendo nesta data que ocorrem as amplitudes térmicas mais acentuadas – precisamente de 38°C, quando se consideram os valores extremos máximos e mínimos (Tabela III-15).

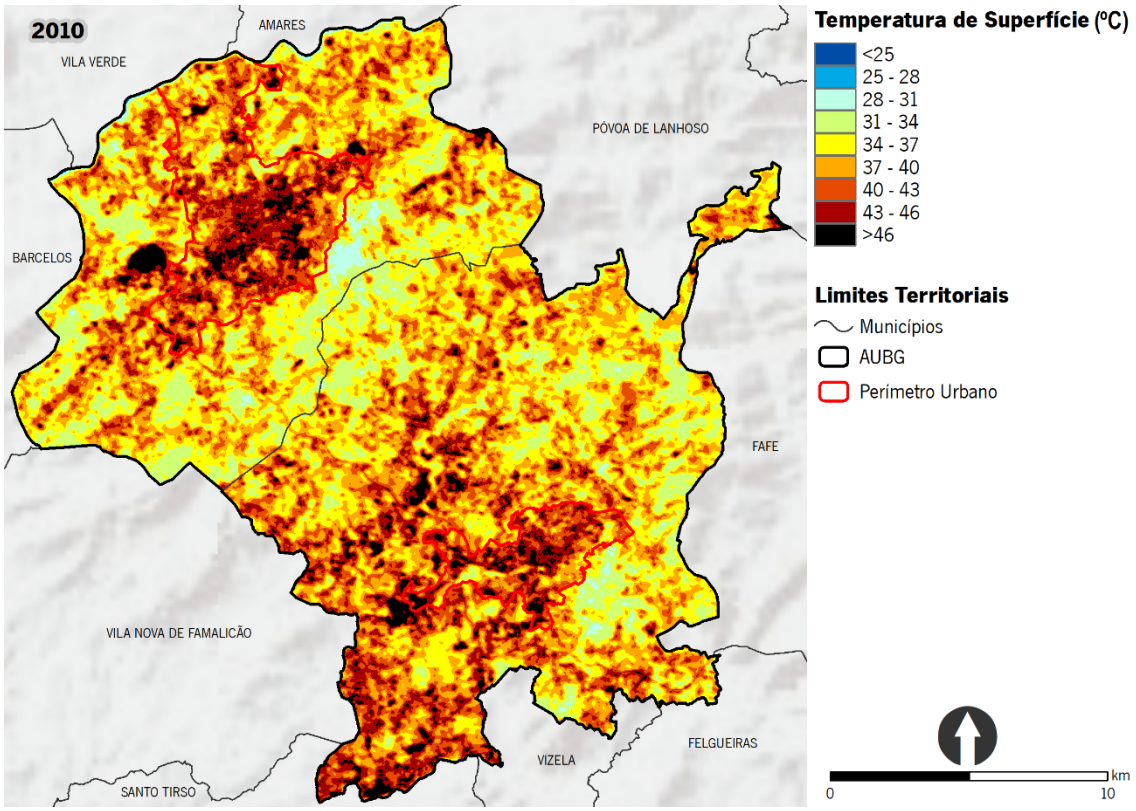


Figura III-70 – Ts (°C) na AUBG em 2010

Em 14 de julho de 2016, à semelhança de 2010, dominam igualmente Ts muito elevadas, porém as áreas de interflúvio, geralmente florestadas, encontram-se mais frescas do que acontecia na data anterior (Figura III-71). Deste modo, o valor médio de Ts de 37°C (+/– 4,38°C) é ligeiramente inferior ao verificado em 2010, encontrando-se 50% do território acima deste valor (Tabela III-16), e apenas 25% da AUBG exibe Ts inferiores a 34°C. Tal como já mencionado, as Ts muito elevadas (>46°C) revelam um padrão espacial distinto entre os dois municípios em estudo, pois se em Braga se circunscrevem em grande parte ao interior do perímetro urbano, em Guimarães extravasam claramente esta circunscrição (Figura III-71).

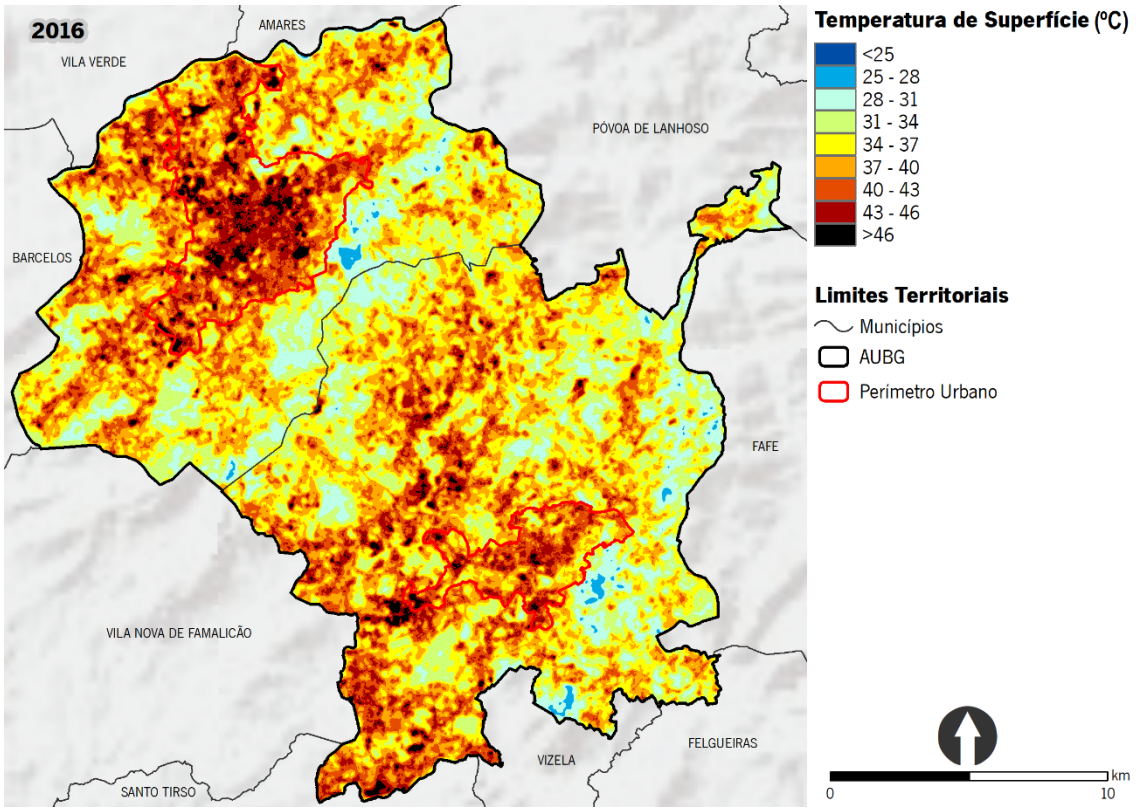


Figura III-71 – Ts (°C) na AUBG em 2016

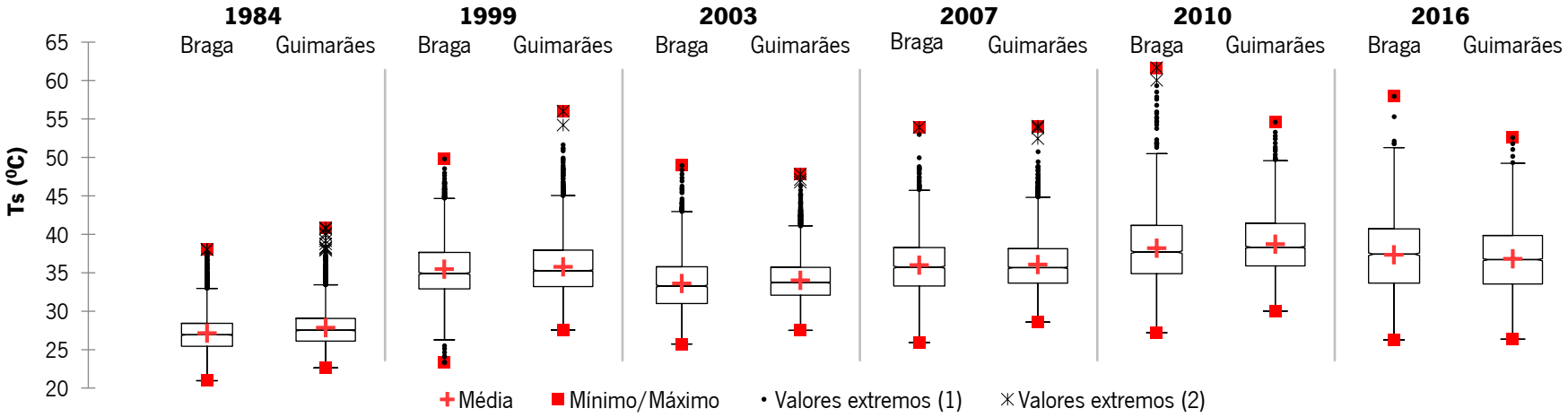
Decorridas três décadas a AUBG deixa de se caracterizar por núcleos quentes isolados e com reduzida dimensão, para passar a exibir uma rede – complexamente interconectada – de áreas quentes (e, alguns casos mesmo muito quentes, correspondentes a áreas industriais), apenas marginalmente ladeadas por áreas frescas, onde subsistem os povoamentos florestais. Assim, como sublinha Forman (2014), "*the island metaphor or model, with core heat intensity concept (...) may be oversimplified and in need of a richer paradigm or broader perspective*". Efetivamente, o padrão térmico atual, além alienar a metáfora da ilha (superficial) de calor, traduz ambientalmente a metamorfose da 'cidade' para o 'urbano' de Françoise Choay.

III – 3.1.2. Particularidades e Similaridades Municipais

Após uma abordagem mais holística da evolução de Ts na AUBG entre 1984 e 2016, efetua-se de seguida uma análise mais segmentada, com o intuito de deslindar tanto as particularidades, como as similaridades na variação de Ts nos municípios de Braga e de Guimarães. Em consonância com o verificado na AUBG, também ao nível municipal se denota o incremento dos valores de Ts, particularmente no que se refere à mínima e à média (Tabela III-18 e Figura III-72).

Tabela III-18 – Estatísticas descritivas de Ts (°C) nos munícios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Estatística	1984		1999		2003		2007		2010		2016	
	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães
Mínimo	20,96	22,63	23,32	27,56	25,73	27,51	25,92	28,58	27,20	30,00	26,27	26,35
Máximo	38,02	40,83	49,84	56,02	48,95	47,84	53,91	54,06	61,67	54,59	57,97	52,58
1º Quartil	25,42	26,10	32,90	33,19	30,99	32,09	33,28	33,66	34,90	35,89	33,63	33,55
Mediana	26,92	27,52	34,90	35,27	33,26	33,73	35,73	35,65	37,69	38,33	37,41	36,69
3º Quartil	28,44	29,04	37,64	37,93	35,78	35,70	38,27	38,15	41,17	41,43	40,71	39,86
Média	27,13	27,83	35,45	35,75	33,61	33,99	35,98	36,07	38,18	38,70	37,33	36,81
Variância	6,21	5,54	12,85	12,42	13,04	8,23	13,64	12,19	18,44	15,30	21,36	17,43
Desvio-Padrão	2,49	2,35	3,59	3,52	3,61	2,87	3,69	3,49	4,29	3,91	4,62	4,17
Coeficiente de Variação	0,09	0,08	0,10	0,10	0,11	0,08	0,10	0,10	0,11	0,10	0,12	0,11



Limite inferior = x(i), sendo que {x(i)-[Q1-1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q1-1,5 (Q3-Q1). Limite superior = x(i), sendo que {x(i)-[Q3+1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q3+1,5 (Q3-Q1) em que, Q1=1.° quartil; Q3=3.°quartil. São considerados valores anómalos, aqueles que se localizam fora do intervalo]Q1-3 (Q3-Q1; Q3+3 (Q3-Q1)[— representados por •; e os que se localizam nos intervalos [Q1-3 (Q3-Q1); Q1-1,5 (Q3-Q1)] ou [Q3+1,5 (Q3-Q1); Q3+3 (Q3-Q1)] — representados por Ж.

Figura III-72 - Caixa de Bigodes de Ts (°C) para os municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

A Ts média registada em cada data nos municípios de Braga e no de Guimarães é muito semelhante, sendo a diferença sempre inferior a 1°C (Tabela III-18). Não obstante, Braga detém em todas as datas os valores mínimos e médios de Ts mais baixos. Por sua vez, os valores máximos são registados tanto em Guimarães (*i.e.*, 1984, 1999, 2007), como em Braga (*i.e.*, 2003, 2010 e 2016). A despeito do aumento do desvio-padrão ser transversal aos dois municípios, em Braga o seu valor é sempre superior ao de Guimarães (Tabela III-18). A presença de valores extremos de Ts elevadas – particularmente visíveis no município de Guimarães em 1999 e no de Braga em 2010 (Tabela III-18) –, confirma novamente que as áreas mais quentes exibem Ts mais heterogéneas do que as áreas mais frescas.

III – 3.1.3. Dicotomia Térmica: Interior *versus* Exterior do Perímetro Urbano

A despeito de os municípios de Braga e Guimarães exibirem valores de Ts análogos, a forma como estes se distribuem no território é claramente distinta. Esta dissimilaridade advém do modelo territorial que cada um dos municípios ostenta, decorrente das vicissitudes históricas que operaram sobre estes territórios desde os primórdios da sua ocupação. Com efeito, do ponto de vista térmico, uma das principais diferenças entre o município de Braga e Guimarães reside na Ts média verificada no interior e no exterior do perímetro urbano (Tabela III-19 e Tabela III-20). De facto, em Braga não só se denotam diferenças térmicas mais significativas (do que em Guimarães), como estas se acentuam claramente entre 1984 e 2016, visto que a diferença da média de Ts entre o interior e o exterior do perímetro urbano passa de 1,98°C para 5,35°C (Tabela III-19).

Tabela III-19 – Diferenças de Ts média (°C) *pixel-by-pixel* entre o interior e o exterior do perímetro urbano no município de Braga entre 1984 e 2016

Ano	Média de Ts no interior do perímetro urbano (°C)	Média de Ts no exterior do perímetro urbano (°C)	Diferença (°C)
1984	28,65 (+/- 2,73)	27,64 (+/- 2,17)	1,98
1999	38,01 (+/- 3,76)	34,66 (+/- 3,07)	3,35
2003	36,64 (+/- 3,51)	32,66 (+/- 2,90)	3,99
2007	38,95 (+/- 3,63)	35,02 (+/- 3,07)	3,93
2010	41,43 (+/- 3,82)	37,17 (+/- 3,85)	4,26
2016	41,40 (+/- 3,78)	36,05 (+/- 3,99)	5,35

Em Guimarães verifica-se um acentuar contínuo da diferença da Ts média entre o interior e o exterior do perímetro urbano até 2007 (*i.e.*, aumenta de 1,82°C para 3,84°C), porém, a partir desta data parece diluir-se gradualmente, passando para 3,78°C em 2010 e 3,57°C em 2016 (Tabela III-20).

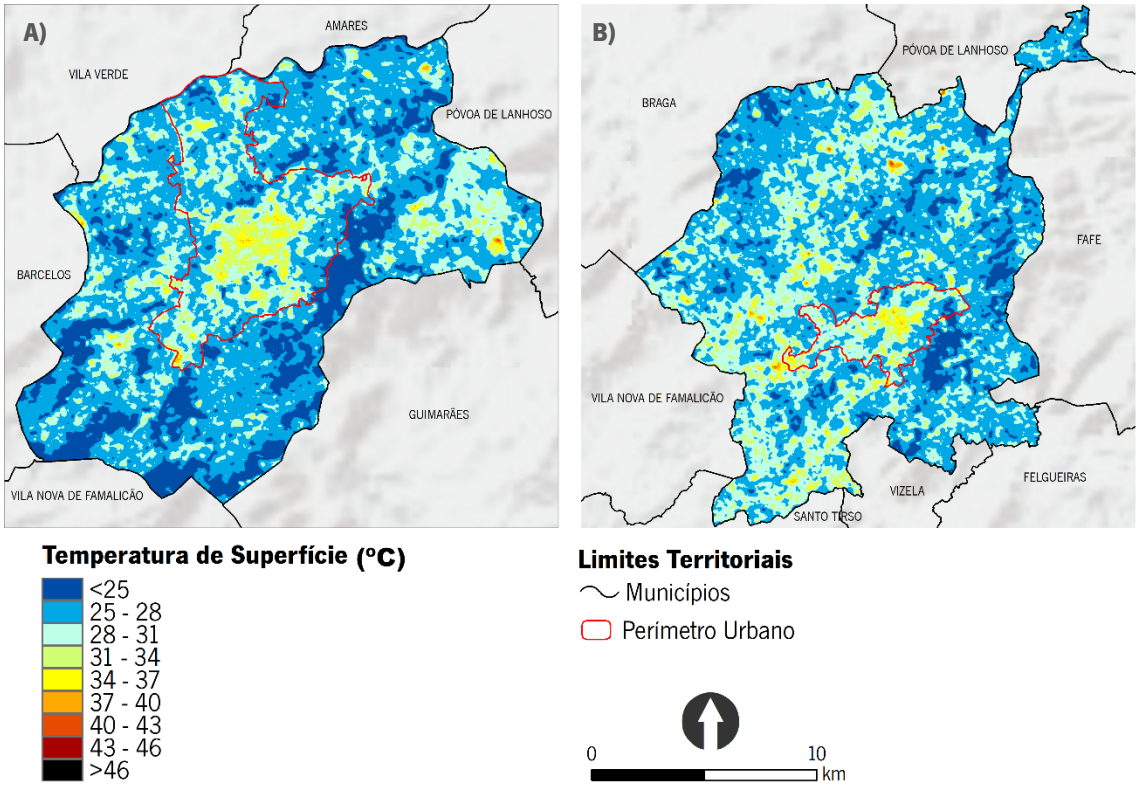
Tabela III-20 – Diferenças de Ts média (°C) *pixel-by-pixel* entre o interior o exterior do perímetro urbano no município de Guimarães entre 1984 e 2016

Ano	Média de Ts no interior do perímetro urbano (°C)	Média de Ts no exterior do perímetro urbano (°C)	Diferença (°C)
1984	29,46 (+/- 2,21)	27,64 (+/- 2,81)	1,82
1999	38,31 (+/- 3,40)	35,46 (+/- 3,57	2,85
2003	36,84 (+/- 2,70)	33,73 (+/- 3,21)	3,10
2007	39,65 (+/- 3,37)	35,81 (+/- 3,36)	3,84
2010	42,17 (+/- 3,82)	38,39 (+/- 3,54)	3,78
2016	40,11 (+/- 4,11)	36,54 (+/- 3,56)	3,57

Em Guimarães registam-se valores médios de Ts no interior do perímetro urbano, bem como no exterior, mais elevados do que em Braga (Tabela III-19 e Tabela III-20) – sendo nesta dupla supremacia que reside a explicação para os elevados valores da Ts média do município vimaranense, reportados anteriormente (Tabela III.18). A esta situação apenas se excetua a imagem de 2016, data em que a média de Ts por município é mais elevada em Braga (Tabela III-18), contribuindo para tal a existência de valores mais elevados no interior do perímetro urbano, face aos verificados em Guimarães (Tabela III-19 e Tabela III-20).

Em 1984 a diferença entre os valores médios de Ts do interior e do exterior do perímetro urbano são reduzidas – *i.e.*, inferiores a 2°C (Tabela III-19 e Tabela III-20) – tanto em Braga como em Guimarães (Figura III.75), devendo-se tal à parca amplitude dos valores de Ts nesta data (Tabela III-16). Em Braga, a área quente mais contínua corresponde ao núcleo urbano principal, que se alinha, de modo quase geométrico, com o ponto central do perímetro urbano, assim como do território municipal. Para além deste tecido urbano emergem as Ts mais baixas, que ocupam ainda vastas áreas do interior do perímetro urbano (Figura III-73-A). No município de Guimarães, o interior do perímetro urbano apresenta um cenário congénere. Contudo, o território extrínseco a esta delimitação administrativa é pontualmente salpicado por pontos com Ts elevadas, que

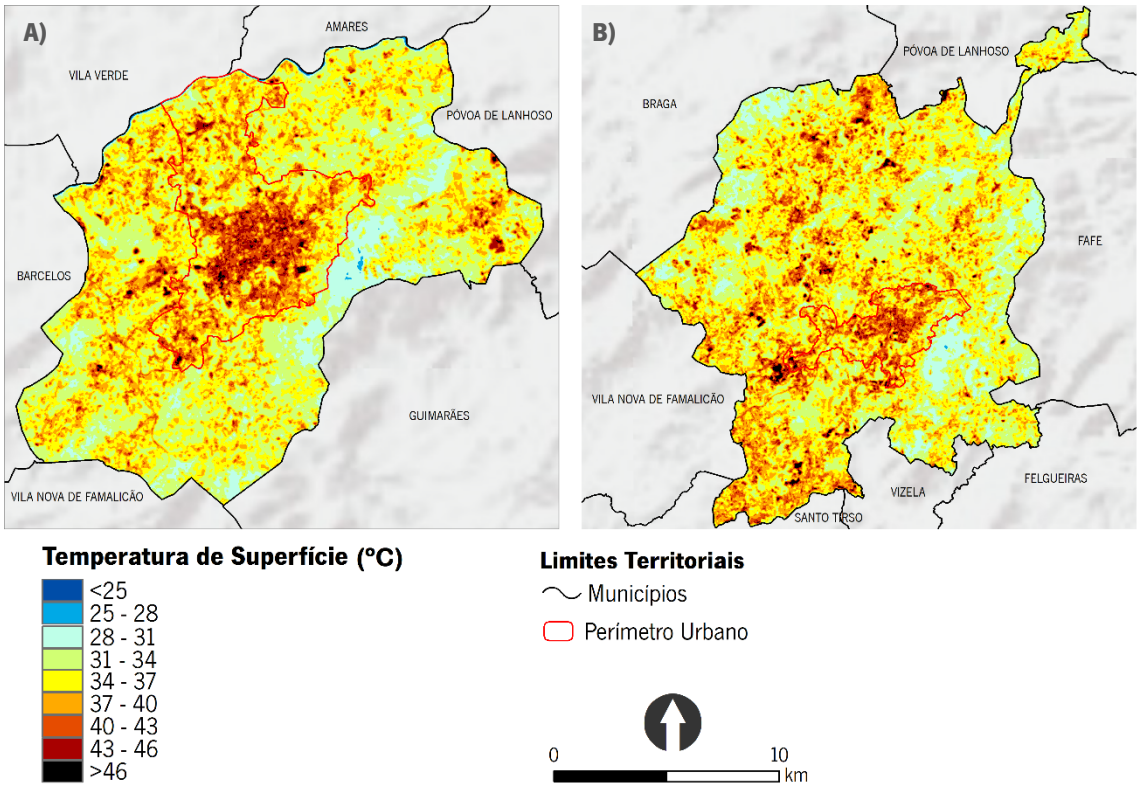
contribuem para amenizar a diferença de valores relativamente ao interior do perímetro (Figura III-73-B).



A – Município de Braga; B – Município de Guimarães.

Figura III-73 – Ts (°C) nos municípios de Braga e de Guimarães em 1984

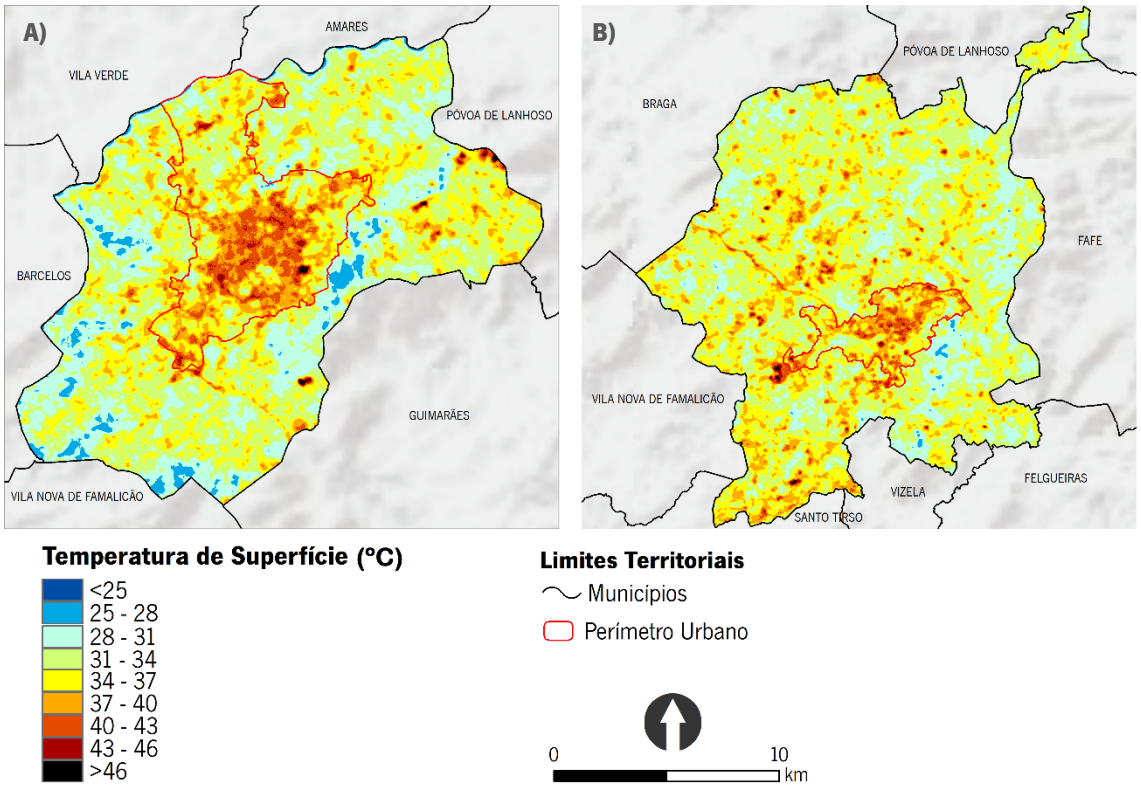
Volvidos 15 anos, em 1999 observam-se temperaturas muito elevadas quer no interior quer no exterior do perímetro de Braga e de Guimarães (Figura III-74), no entanto, as diferenças são mais significativas do que as verificadas em 1984. Em Braga, o interior do perímetro urbano apresenta um padrão interconectado de áreas quentes e muito quentes, enquanto no exterior dominam temperaturas medianas, cingindo-se as áreas mais frescas ao interflúvio Bom Jesus/Sameiro/Falperra (Figura III-74-A). Em Guimarães, observa-se de igual modo Ts muito elevadas no interior do perímetro urbano, porém estas são também visíveis no seu exterior (Figura III-74-B). Com efeito, apesar de se verificaram algumas áreas com Ts baixas – no Monte da Penha e no limite Noroeste do município com o de Braga e a Este com o de Fafe –, estas não são suficientes para contrapor os elevados valores de Ts verificados em alguns locais, pelo que não se geram contrastes térmicos tão significativos como os observados em Braga.



A – Município de Braga; B – Município de Guimarães.

Figura III-74 – Ts (°C) nos municípios de Braga e de Guimarães em 1999

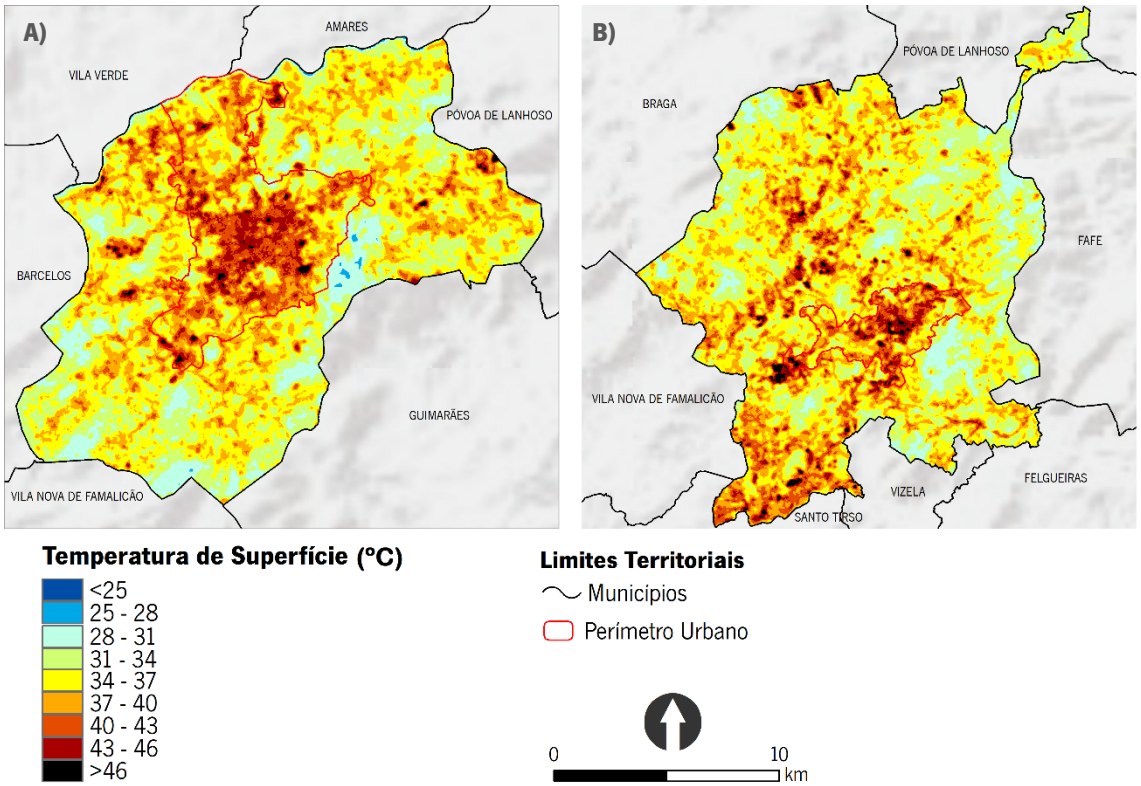
Ambos os municípios exibem em 2003 diferenças térmicas entre o interior e o exterior do perímetro urbano mais acentuadas do que nas datas anteriores (Figura III-75). Ainda assim, notar que em Guimarães esta diferença é inferior à verificada em Braga em 1999 (Tabela III-19 e Tabela III-20). No interior do perímetro urbano de Braga, apesar de sobressair uma mancha extensa e profusamente interconectada de Ts elevadas, denota-se a reduzida presença dos valores muito elevados (*i.e.*, Ts >46). As áreas exteriores ao perímetro urbano dividem-se em dois grandes padrões: um dominado pelas Ts baixas e outro por valores médios a altos (Figura III-75-A). Em Guimarães, emerge no interior do perímetro urbano um complexo aglomerado de áreas quentes, que, no entanto, extravasa claramente esta delimitação administrativa. Ademais, no exterior do perímetro urbano sobressai uma imensidão de áreas com Ts mediana, sendo a representatividade das áreas frescas muito reduzida, que estão confinadas em grande medida ao monte da Penha (Figura III-75-B).



A – Município de Braga; B – Município de Guimarães.

Figura III-75 – Ts (ºC) nos municípios de Braga e de Guimarães em 2003

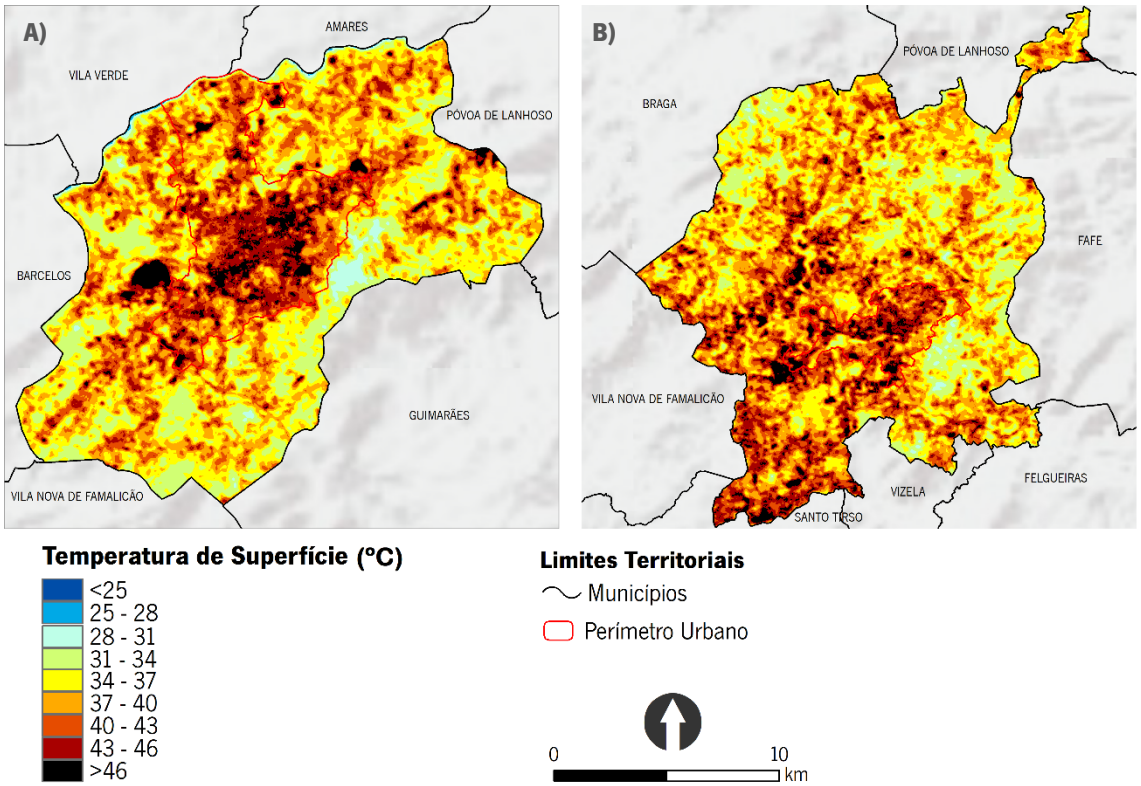
Em 2007 verifica-se um aumento da Ts média no interior e no exterior do perímetro urbano, em ambos os municípios. Todavia, se no município de Guimarães a diferença da Ts média entre estes dois espaços aumenta (*i.e.*, passa de 3,10ºC para 3,84ºC), em Braga regista-se uma ligeira diminuição desta diferença (*i.e.*, de 3,99 passa para 3,93), sendo aliás a única data em que tal sucede (Tabela III-19 e Tabela III-20). Esta situação decorre de um maior aquecimento do território extrínseco ao perímetro urbano, decorrente da exígua presença de áreas frescas, limitadas aos três Sacromontes Bom Jesus/Sameiro/Falperra (Figura III-76-A). Em sentido oposto, é nesta data que em Guimarães se verifica o contraste mais acentuado entre o interior e o exterior do perímetro urbano. Para tal, contribui o maior aquecimento da mancha urbana localizada no interior do perímetro urbano, e a presença de algumas áreas frescas (embora não muito) no exterior do perímetro. As áreas extremamente quentes (*i.e.,* Ts>46ºC) assumem importância similar nestes dois espaços, visto que se dispersam por todo o município (Figura III-76-B).



A – Município de Braga; B – Município de Guimarães.

Figura III-76 – Ts (°C) nos municípios de Braga e de Guimarães em 2007

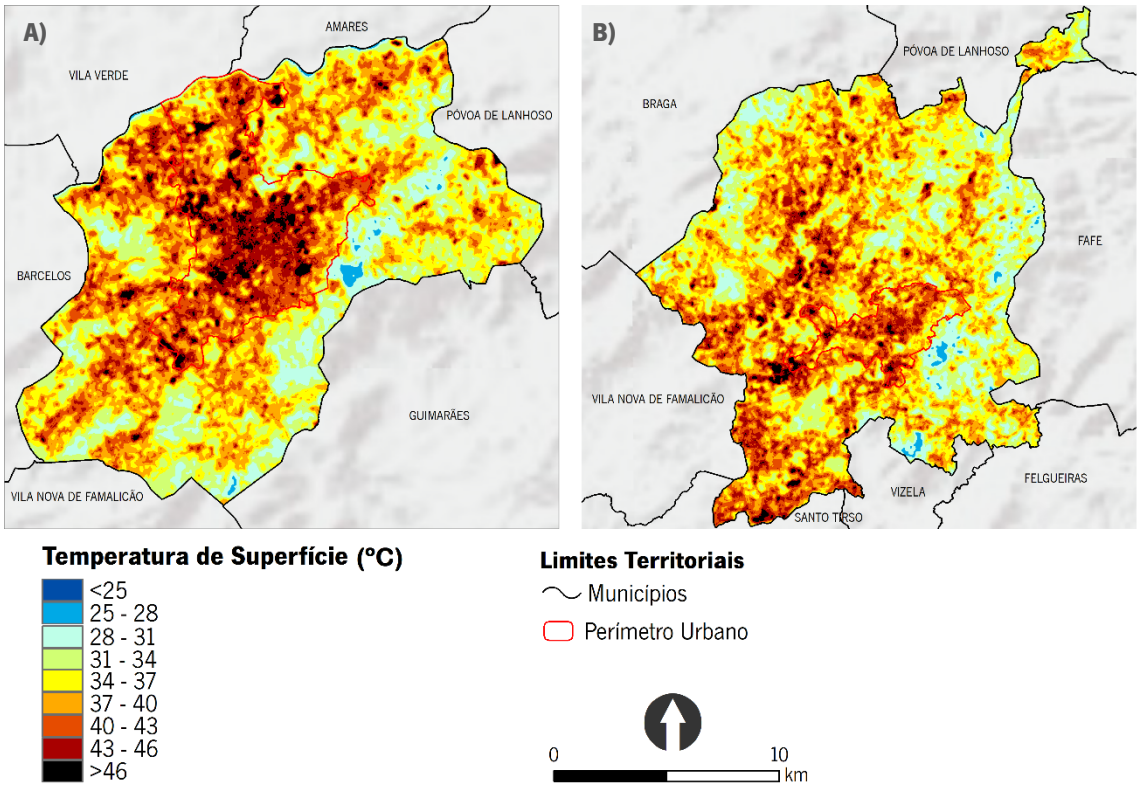
Na data em que todo o território da AUBG se encontra mais quente – *i.e.*, 2010 –, constata-se uma diminuição da diferença da Ts média entre o interior e o exterior do perímetro urbano no município de Guimarães (Tabela III-20). Em sentido oposto, em Braga esta delimitação administrativa traduz claramente uma divisão do ambiente térmico nesta data (Tabela III.20). Sem embargo aos valores elevados de Ts verificados em todo o município, do interior do perímetro urbano de Braga emerge um *cluster* de Ts muito elevadas (Figura III-77-A). Em Guimarães as áreas com Ts muito elevadas surgem tanto no interior, como no exterior do perímetro urbano, sendo a ausência das habituais áreas frescas no monte da Penha que acarreta a diminuição dos contrastes (Figura III-77-B).



A – Município de Braga; B – Município de Guimarães.

Figura III-77 – Ts (°C) nos municípios de Braga e de Guimarães em 2010

Por fim, em 2016 os dois municípios continuam a exibir tendências díspares de evolução, dado que em Guimarães as diferenças de Ts média entre o interior e o exterior do perímetro urbano enfraquecem, enquanto em Braga se tornam mais fortes – exibindo o valor mais elevado de toda a série em análise (Tabela III-19 e Tabela III-20). Em Braga o contraste advém da presença de áreas frescas no interflúvio Bom Jesus/Sameiro/Falperra e da concentração das áreas com Ts muito elevadas no interior do perímetro urbano (Figura III-78-B). Em Guimarães, apesar de o interior do perímetro urbano ser composto por Ts elevadas, estas extravasam claramente esta demarcação administrativa, assim sendo, e apesar subsistirem algumas áreas mais frescas no exterior do perímetro, estas não são suficientes para gerar diferenças tão significativas como sucede – uma vez mais – em Braga (Figura III-78-B)



A – Município de Braga; B – Município de Guimarães.

Figura III-78 – Ts (°C) nos municípios de Braga e de Guimarães em 2016

Sumariando, apesar de os municípios de Braga e de Guimarães partirem de valores similares em 1984 no que se refere à diferença dos valores médios de Ts entre o interior e o exterior do perímetro (*i.e.*, 1,98°C e 1,82°C, respetivamente), e exibirem uma evolução similar até 2007, nas datas seguintes seguem tendências opostas, dado que esta diferença se acentua no primeiro caso e parece diluir-se no segundo (Tabela III-20).

III – 3.2. Relação entre Ts e os Índices Espectrais: NDVI e NDWI

Os índices espetrais fornecem mais informação do que a mera extração das componentes biofísicas, dado que permitem detetar as mudanças ecológicas resultantes do processo de urbanização, assim como das condições meteorológicas verificadas aquando da aquisição das imagens Landsat. Com efeito, são indicadores ou descritores biofísicos, pelo que podem ser utilizados como substitutos (ou complementares) das classificações discretas das coberturas do solo ou das componentes biofísicas, pois representam igualmente as características das

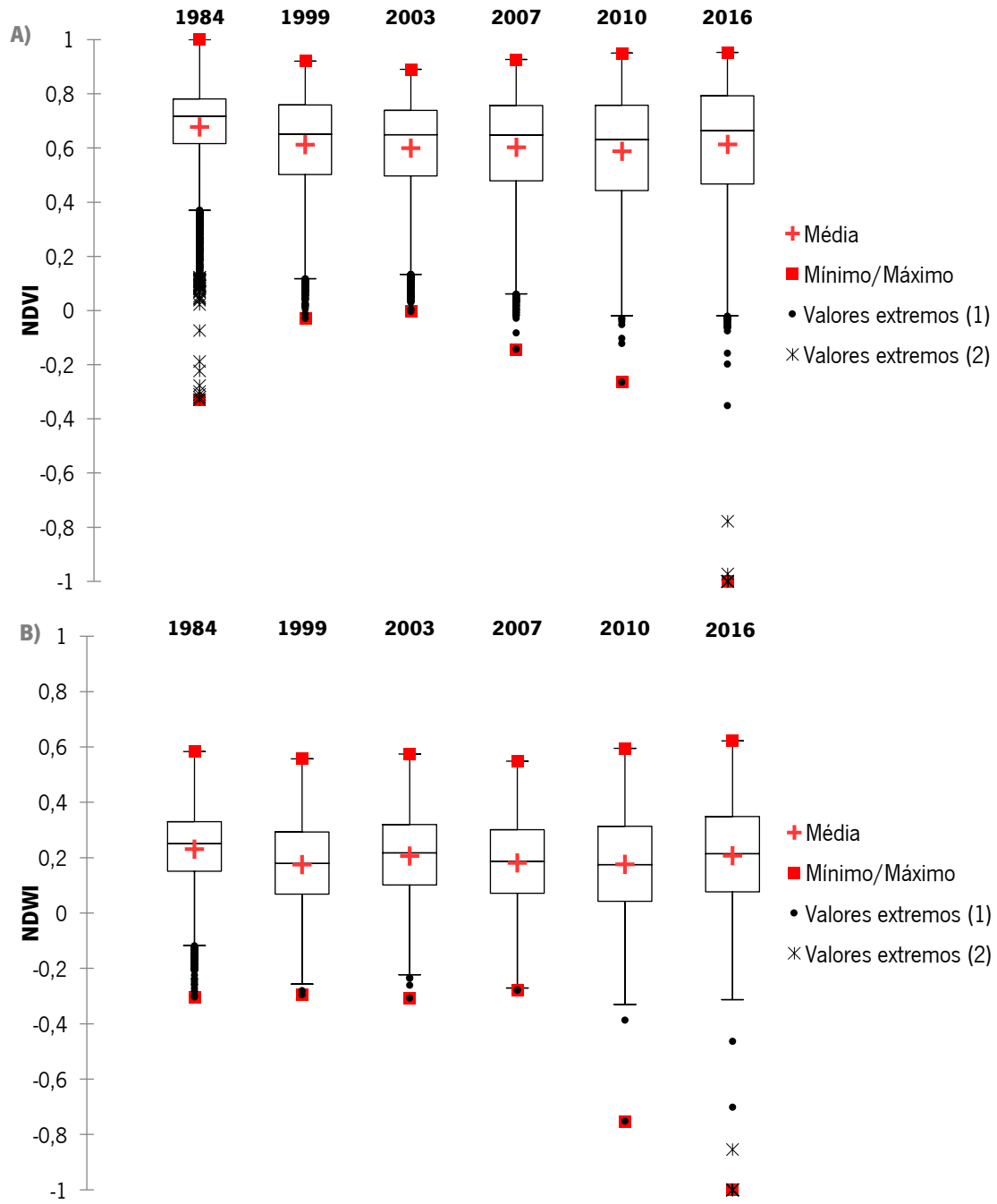
superfícies (Weng e Fu, 2014). Ademais, como as componentes biofísicas apresentam fronteiras difusas – *i.e.*, à resolução espacial do pixel –, a classificação discreta adotada pode não captar na totalidade a complexidade da AUBG, pelo que a análise dos índices espectrais poderá fornecer informações complementares que auxiliem na compreensão das mudanças espaciotemporais da paisagem de Braga e de Guimarães. Esta situação assume particular acuidade quando se recorre a satélites de média resolução espacial (*e.g.,* Landsat) para o estudo de ambientes muito heterogéneos, como os que decorrem da urbanização difusa.

Estes indicadores revelam igualmente modificações nas coberturas/usos do solo (ou no caso específico nas componentes biofísicas), pelo que têm sido utilizados para explicar as variações de Ts (Yuan e Bauer, 2007), também esta considerada um indicador biofísico (Xue *et al.,* 2014).

III – 3.2.1. Retrato Cronogeográfico do NDVI e do NDWI

Para um entendimento mais profundo da relação entre as alterações nas componentes biofísicas e a evolução de Ts na AUBG, procede-se à análise da evolução espaciotemporal do NDVI e do NDWI, cuja combinação fornece informações sobre o estado da vegetação e do conteúdo de humidade desta e do solo. Relembrando que, o NDVI traduz não só a quantidade de vegetação, como também as suas condições ambientais, e o NDWI pode ser utilizado para determinar o conteúdo de humidade da vegetação.

No conjunto da AUBG as alterações verificadas no NDVI entre 1984 e 2016 não são tão conspícuas como as verificadas em Ts (*vide* Apêndice V e Apêndice VI). O valor médio de NDVI de 0,68 em 1984, diminui em 1999 para 0,61, no entanto, estabiliza nas datas seguintes (Figura III-79-A). A análise da caixa de bigodes demonstra que os valores de NDVI mais baixos apresentam uma ampla diversidade de valores, como comprova a maior amplitude de |Q2-Q1|, se comparada com |Q3-Q2|. Além disto, de notar a ausência de valores extremos positivos, enquanto nos negativos estes são bem evidentes, mormente nos anos de 1984 e 2016. Estas constatações corroboram a asserção anterior, de que as áreas quentes (e, como menor NDVI) são mais heterogéneas do que as áreas frescas (Figura III-79-A). Relativamente ao NDWI, quando considerados os valores médios, não se denotam mudanças significativas entre 1984 e 2016 (Figura III-79–B). Este índice apresenta uma distribuição quase simétrica dos valores em torno da mediana, no entanto, de notar a presença de valores extremos negativos, tal como sucede com o NDVI.



Limite inferior = x(i), sendo que {x(i)-[Q1-1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q1-1,5 (Q3-Q1). Limite superior = x(i), sendo que {x(i)-[Q3+1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q3+1,5 (Q3-Q1) em que, Q1=1.° quartil; Q3=3.°quartil. São considerados valores anómalos, aqueles que se localizam fora do intervalo]Q1-3 (Q3-Q1; Q3+3 (Q3-Q1)[— representados por •; e os que se localizam nos intervalos [Q1-3 (Q3-Q1); Q1-1,5 (Q3-Q1)] ou [Q3+1,5 (Q3-Q1); Q3+3 (Q3-Q1)] — representados por Ж.
A – NDVI; B – NDWI.

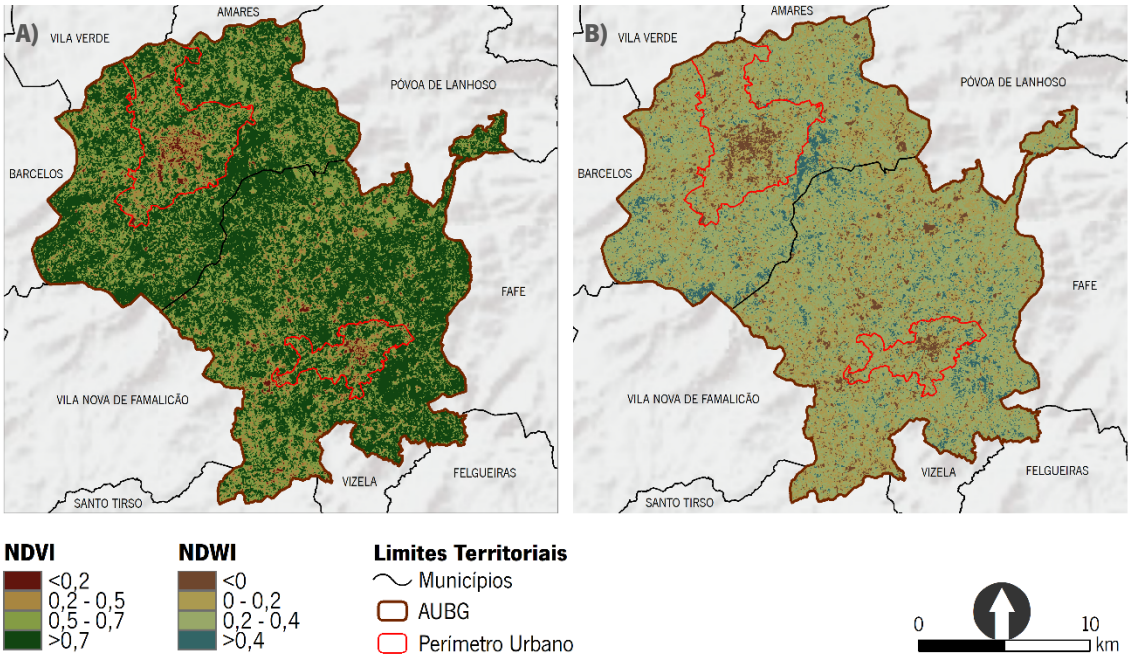
Figura III-79 – Estatísticas descritivas de NDVI e de NDWI na AUBG entre 1984 e 2016

Em termos comparativos, Guimarães exibe um NDVI médio mais elevado do que Braga (*vide* Apêndice VII), embora – paradoxalmente – seja também neste município que se observam as Ts médias mais elevadas (*vide* Tabela III-18). Sem embargo, as diferenças municipais no que se

refere ao NDVI não são expressivas, como referido para as Ts (*vide* Tabela III-18). No caso do NDWI não se observa a mesma supremacia de Guimarães, visto que apenas regista valores médios mais elevados nos anos de 1999 e de 2007; por sua vez, Braga regista valores médios mais elevados apenas em 2010; nos anos de 1984, 2003 e 2016 o valor médio é igual nos dois municípios (*vide* Apêndice VII). O valor do desvio-padrão do NDVI e do NDWI é sempre mais elevado no município de Braga do que no de Guimarães, excetuando-se apenas o NDWI em 1984, data em que os valores são iguais (*vide* Apêndice VII). Esta informação fornece indicação de que a paisagem de Braga detém pontos com características de humidade mais contrastadas, podendo tal dever-se à presença do Rio Cávado.

Em consonância com o referido para as Ts, também ao nível do NDVI e do NDWI o teste de Friedman (*vide* Apêndice IV) comprovou que as imagens analisadas são distintas entre si. Em verdade uma exceção, entre a imagem de NDVI de 2003 e a de 2010, que de acordo com os resultados deste teste são compostas por uma série de valores similares. Com efeito, considera-se pertinente uma análise sumária do padrão espacial verificado em cada data.

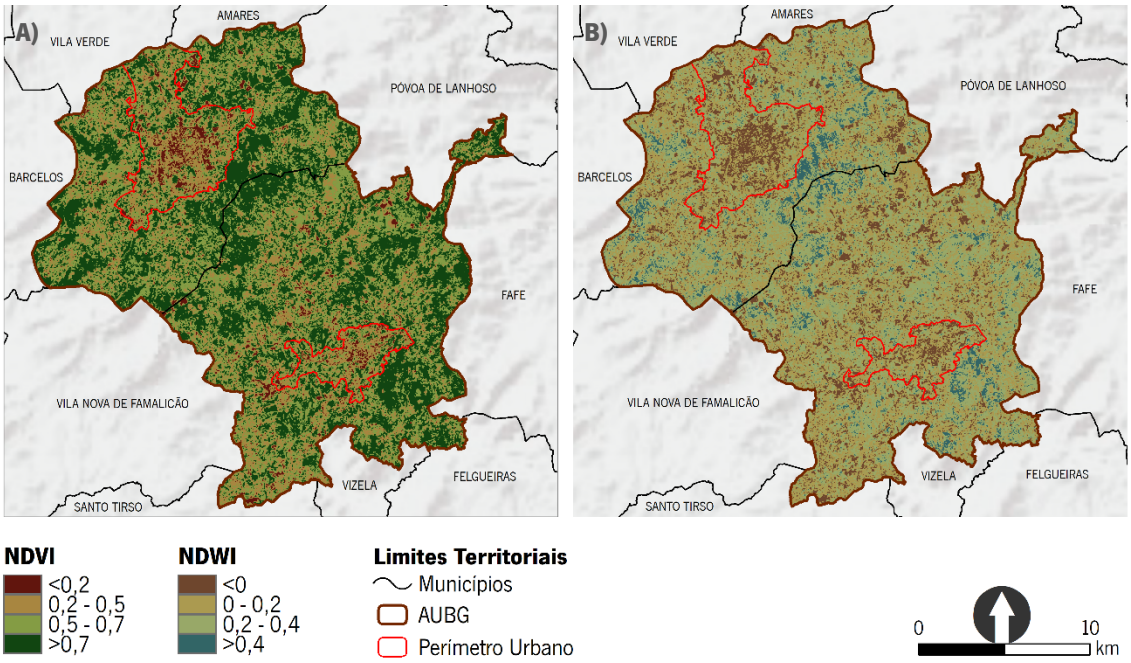
Em 1984 os valores de NDVI apresentam uma reduzida variação, encontrando-se concentrados em torno da mediana (0,72), os valores mais baixos de NDVI – considerados valores extremos (Figura III.81-A) – correspondem, por regra, aos corpos de água. Em termos espaciais sobressaem os valores elevados do NDVI, com exceção do centro urbano de Braga e de Guimarães, embora este em menor grau (Figura III-80–A). Por sua vez, os valores elevados de NDWI confinam-se aos topos mais elevados e florestados dos municípios de Braga e de Guimarães (Figura III-79–B), sendo nesta data que se regista a média do NDWI (Figura III-80-B).



A – NDVI; B – NDWI.

Figura III-80 – Distribuição do NDVI e do NDWI na AUBG em 1984

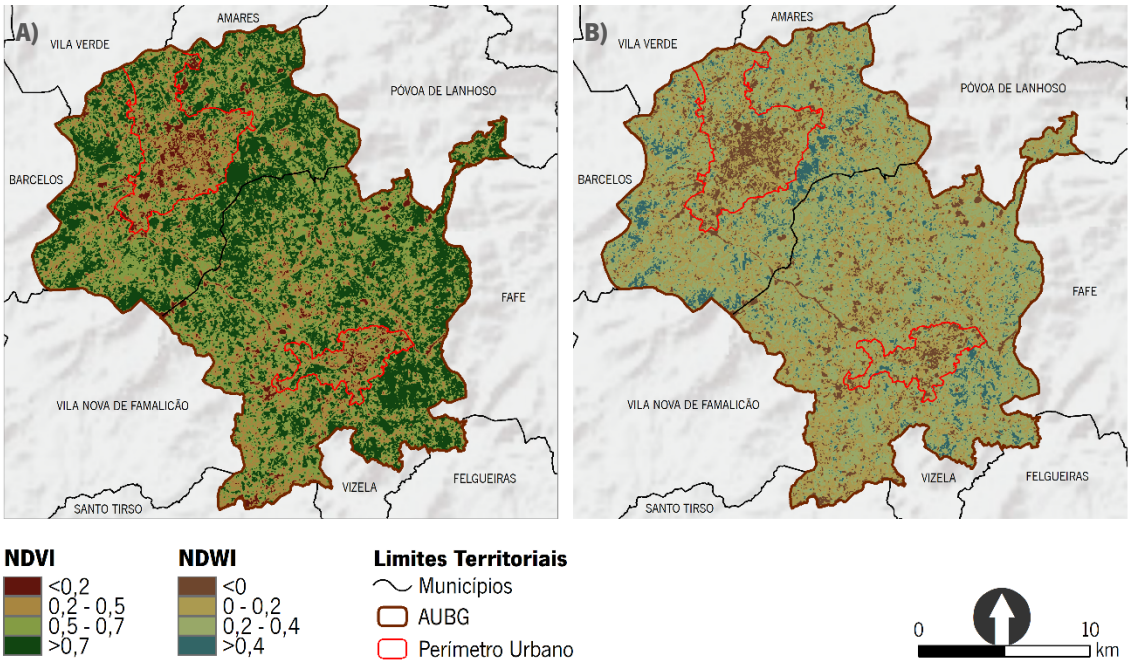
Como mencionado anteriormente, em 1999 é notória a diminuição do NDVI, particularmente em resultado do crescimento do centro urbano de Braga e de Guimarães, bem como do aparecimento/ampliação de outros pequenos núcleos (Figura III-81-A). É neste hiato de 1984 a 1999 que se regista a maior diferença do valor médio de NDVI, visto que passa de 0,68 para 0,61 (*vide* Apêndice VI). Além disto, de notar a reduzida presença de valores extremos nesta data, tal deve-se ao facto de água – componente biofísica, regra geral, responsável pela sua presença – excecionalmente apresentar valores de NDVI positivos. Esta situação atípica pode advir da coloração dos corpos de água, ou então, da existência de vegetação no seu leito e/ou margens. As áreas mais húmidas surgem nos topos, sendo particularmente notório o interflúvio Bom Jesus-Sameiro-Falperra, que efetua a divisão entre os dois municípios em estudo (Figura III-81-B).



A – NDVI; B – NDWI.

Figura III-81 – Distribuição do NDVI e do NDWI na AUBG em 1999

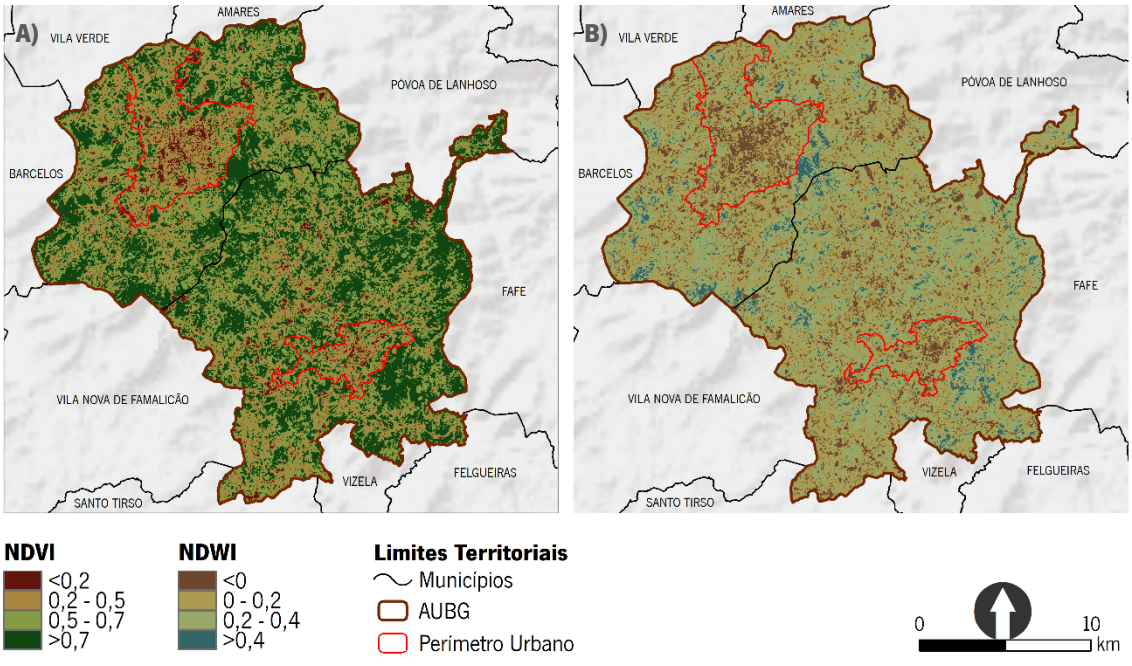
O padrão espacial de NDVI observado em 1999 parece reproduzir-se em 2003, particularmente no que se refere aos valores mais baixos de NDVI (Figura III-82-A). Contudo, é importante notar que a dimensão espacial da classe dos valores intermédios baixos (*i.e.*, 0,2 a 0,5) sofre um visível aumento, resultado da presença significativa de vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa – que nesta data corresponde a 37% da AUBG. Este aumento, decorre da perda de vegetação arbórea e/ou densa, e consubstancia-se na diminuição do valor médio de NDVI de 0,62 para 0,60 (*vide* Apêndice VI). A distribuição espacial do NDWI também não difere muito da data anterior, apenas de salientar o aparecimento de ilhas de humidade nos topos localizados no limite Sul/Sudoeste do município de Braga e no Monte da Penha em Guimarães (Figura III-82-B). De facto, o NDWI passa de 0,18 para 0,21, em termos médios, e para 0,22 no que se refere à mediana (*vide* Apêndice VI).



A – NDVI; B – NDWI.

Figura III-82 – Distribuição do NDVI e do NDWI na AUBG em 2003

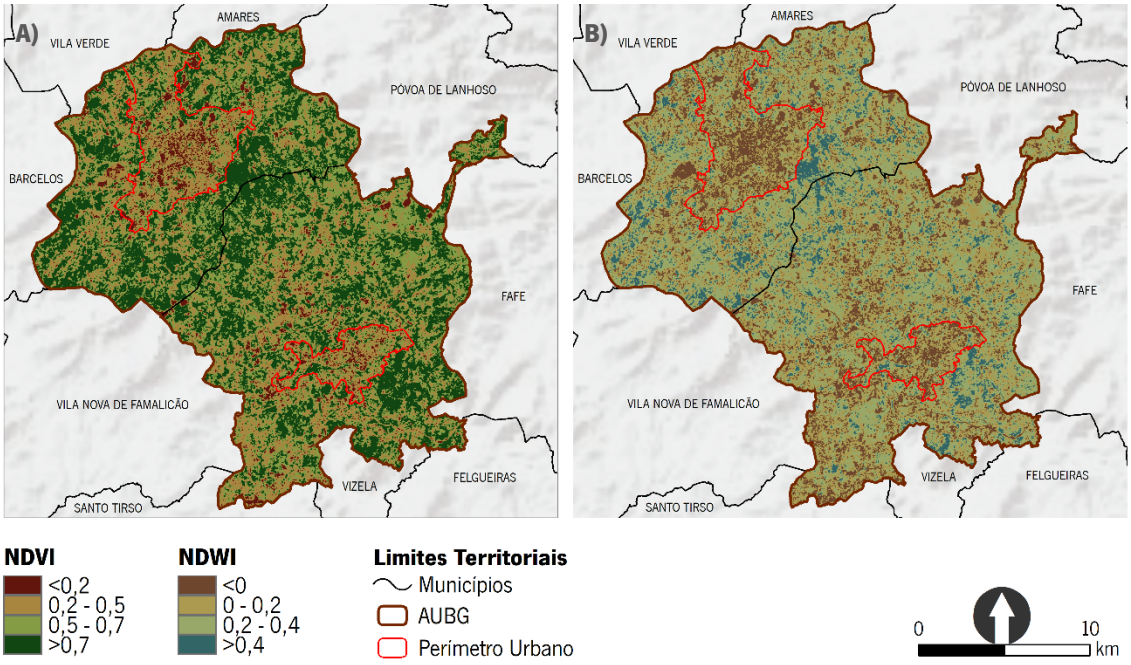
O padrão espacial do NDVI em 2007 reproduz *grosso modo* o observado em 2003 (*c.f.*, Figura III-82-A, Figura III-83-A), como testemunham as medidas de tendência central. As ilhas de humidade existentes em Braga no limite com o município de Barcelos e de Vila Nova de Famalicão perdem importância (Figura III-83-B) – com efeitos notório na média do NDWI (*vide* Apêndice VI).



A – NDVI; B – NDWI.

Figura III-83 – Distribuição do NDVI e do NDWI na AUBG em 2007

O ano de 2010 destaca-se pelas Ts elevadas e pelo valor mais baixo de NDVI, decorrente do aumento do solo nu em detrimento da vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa, sendo que 25% da AUBG apresenta um valor de NDVI inferior a 0,44 (*vide* Apêndice VI). Não obstante, a mesma proporção de território apresenta valores de NDVI superiores a 0,76. Deste modo, a elevada amplitude interquartil |Q3-Q1| evidencia que nesta data a AUBG apresentava grandes contrastes no que se refere à presença de vegetação (Figura III-84-A). Relativamente ao NDWI, denotam-se importantes contrastes entre as áreas mais secas e as áreas mais frescas, particularmente no município de Braga, visto que em Guimarães as fronteiras são sempre mais difusas (Figura III-84-B). De facto, se 25% do território da AUBG apresenta um valor de NDWI inferior a 0,04 outros 25% detêm valores superiores a 0,31 (*vide* Apêndice VI) – contribuindo para tal mais o município de Braga do que o de Guimarães.

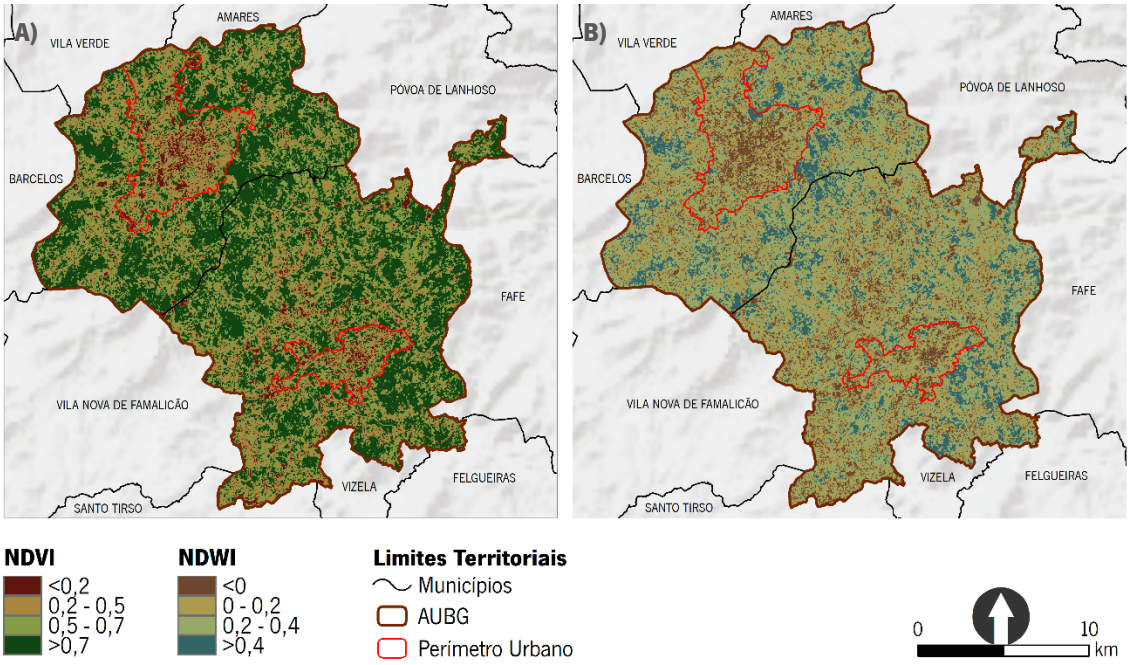


A – NDVI; B – NDWI.

Figura III-84 – Distribuição do NDVI e do NDWI na AUBG em 2010

Na última data em análise, verifica-se novamente um aumento da média de NDVI, igualando os valores médios verificados em 1999 (*vide* Apêndice VI). De facto, entre 2010 e 2016 denota-se um claro aumento da vegetação arbórea e/ou densa, e, concomitantemente, um decréscimo da vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa e do solo nu, sendo este último em maior escala. Não obstante a similaridade das medidas estatísticas, o padrão espacial de 1999 e de 2016 são claramente distintos, particularmente no que concerne ao território do interior do perímetro urbano

de Braga (Figura III-85-A). O NDWI regista também um aumento relativamente a 2010, igualando os valores médios obtidos em 2003. Ainda de salientar que 25% do território da AUBG apresenta valores de NDWI superiores a 0,35 – constituindo o terceiro quartil mais elevado de toda a série em análise (*vide* Apêndice VI). Assim sendo, 2016 surge como a data em que as ilhas de humidade assumem maior expressão, distribuindo-se um pouco por todo o território da AUBG, sobressaindo (visualmente) a sua maior fragmentação no município de Guimarães (Figura III-85-B).



A – NDVI; B – NDWI.

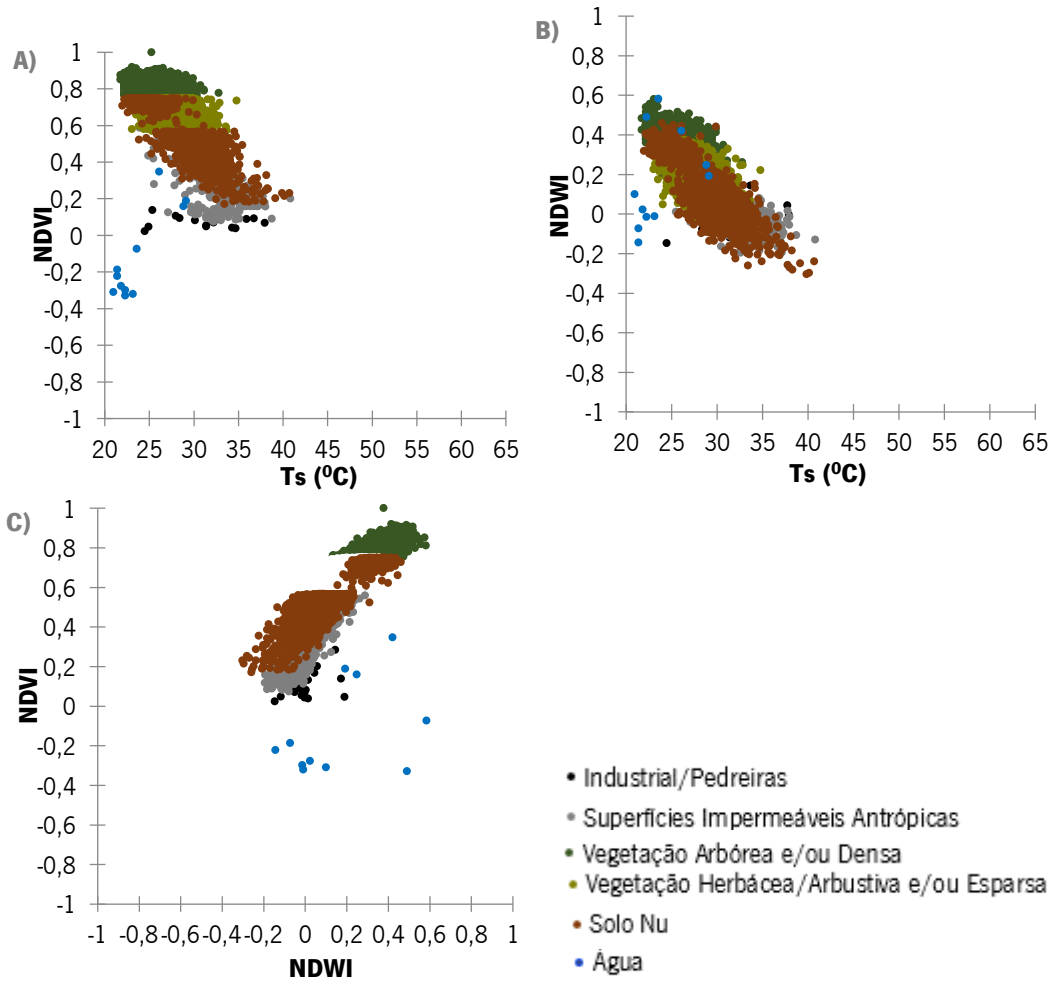
Figura III-85 – Distribuição do NDVI e do NDWI na AUBG em 2016

A despeito de os valores médios de NDVI não revelarem mudanças muito expressivas na AUBG entre 1984 e 2016, em termos espaciais a diminuição é notória, não só de 1984 para 1999, como também nos anos seguintes. Não obstante, em relação ao NDWI as mudanças são menos conspícuas do que as verificadas no NDVI (*c.f.*, Figura III-80 até Figura III-85), tal como as estatísticas descritivas ilustram (Figura III-79).

III – 3.2.2. Associação entre Ts, NDVI e NDWI

Para um entendimento mais profundo da relação entre Ts, NDVI e NDWI, bem como destes indicadores com as componentes biofísicas, recorre-se a digramas de dispersão, que evidenciam a sua associação. Numa primeira fase, comparou-se separadamente a relação entre Ts/NDVI,

Ts/NDWI e NDWI/NDVI: (i) nos dois primeiros casos observa-se uma relação negativa entre as variáveis (Figura III-86-A e B), indicando que a Ts tende a diminuir com o aumento do NDVI e do NDWI, tal como amplamente evidenciado na literatura (*e.g.*, Carlson *et al.*, 1995b; Carlson e Arthur, 2000; Wilson *et al.*, 2003b; Weng *et al.*, 2004); e, (ii) por outro lado, o diagrama de dispersão NDWI/NDVI revela uma relação positiva (Figura III-86-C), pois o conteúdo de humidade aumenta em função da quantidade de vegetação e vice-versa.



A – Diagrama de dispersão Ts/NDVI; B – Diagrama de dispersão Ts/NDWI; C – Diagrama de dispersão NDWI/NDVI.

Figura III-86 – Relação de associação entre Ts/NDVI, Ts/NDWI e NDVI/NDWI na AUBG em 1984

A correlação positiva entre o NDVI e NDWI permite extrapolar as conclusões obtidas, pelo que se recorre apenas à relação Ts/NDVI para uma análise mais detalhada das características espaciotemporais destas variáveis (Figura III.88). Este diagrama exibe em todas as datas uma forma mais próxima da trapezoidal (referida por Amiri *et al.*, 2009) do que da triangular (apontada por Gillies e Carlson, 1995).

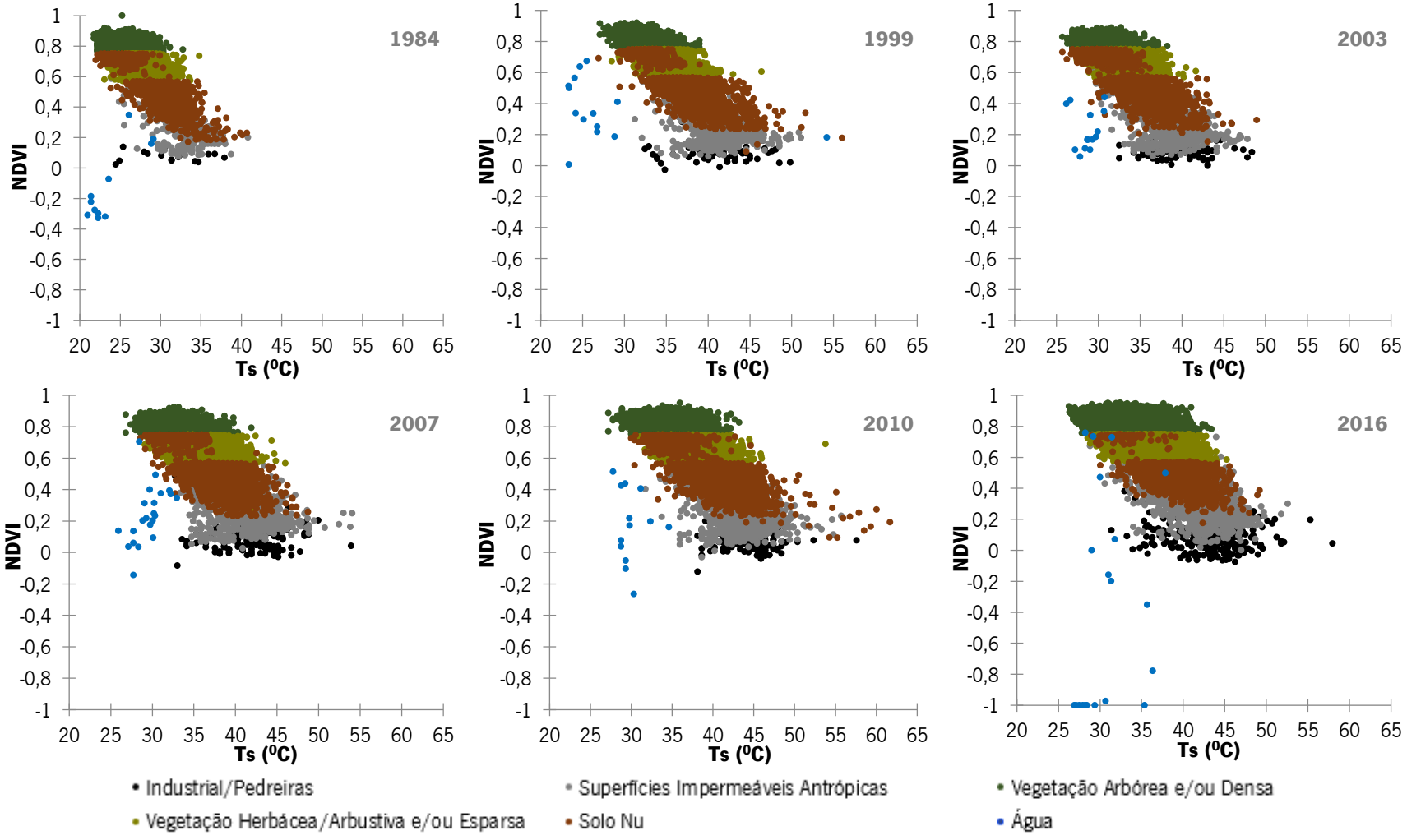


Figura III-87 – Relação de associação entre Ts/NDVI na AUBG de 1984 a 2016

Nas seis datas em análise não se observam alterações significativas no modo como as componentes biofísicas se estruturam no interior deste espaço (Figura III-87). A base pertence às componentes biofísicas urbanas (*i.e.*, industrial/pedreiras e superfícies impermeáveis antrópicas) e o topo à vegetação arbórea e/ou densa, sendo o espaço intermédio ocupado pelo solo nu e pela vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa (Figura III-87). A estruturação vertical das componentes biofísicas decorre do valor de NDVI, que é mínimo nas áreas industriais/pedreiras e máximo em áreas arborizadas. O solo nu apresenta uma oscilação significativa de NDVI em todas as datas, eventualmente decorrente da presença de alguma vegetação, ainda que em quantidade muito reduzida, ou muito seca, para ser considerada na classe de vegetação herbácea/arbustiva. A água apresenta uma grande variação no que se refere ao NDVI, mas não relativamente à Ts, contrariamente ao que acontece no solo nu (Figura III-87).

Na AUBG a margem quente (correspondente ao limite da distribuição dos valores de Ts mais elevados, perante quantidades de vegetação distintas) e a margem fresca (demarcada em função dos menores valores de Ts, em cada limiar de NDVI) encontram-se bem delineadas (Figura III-87). A exceção mais evidente prende-se com o ano de 2010, onde é notória a existência de pixéis com baixo NDVI e Ts muitíssimo elevada. A margem quente menos delineada indica uma reduzida capacidade de arrefecimento, decorrente do parco conteúdo de humidade do solo (Amiri *et al.,* 2009) – sendo esta situação típica de episódios de calor extremo, precisamente como sucede nesta data que coincide com uma onda de calor (IPMA, 2010). Neste sentido, corrobora-se o pressuposto de que a forma do diagrama é determinada pelas variações na vegetação e na humidade do solo disponível.

O diagrama de dispersão Ts/NDVI torna evidente que as superfícies impermeáveis antrópicas exibem características físicas distintas das áreas permeáveis (particularmente quando possuem vegetação), que influenciam os fluxos de massas e de energia no ambiente (Kwarteng e Small, 2010). Efetivamente, o solo quando não impermeabilizado (*i.e.*, vegetação arbórea e/ou densa, vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa e o solo nu) retém a humidade, que permite a contínua evaporação para a atmosfera, que por consequência promove uma diminuição da temperatura (Figura III-87). Por oposição, no industrial/pedreiras e nas superfícies impermeáveis antrópicas, a impermeabilização do solo promove o escoamento em detrimento da infiltração, o que minimiza a evaporação e o conteúdo de humidade – que resultam num aumento da temperatura (Figura III-87).

Do ponto de vista diacrónico sobressai, por um lado, o ano de 1984 pelos valores de Ts reduzidos e relativamente homogéneo, e, por outro, o ano de 2010, pela situação oposta. Em 2010 o solo nu atinge em alguns pontos valores Ts muito elevadas – mesmo superiores às componentes biofísicas urbanas –, que correspondem a áreas ardidas recentes (Figura III-87). Efetivamente, estes diagramas ilustram bem o aquecimento generalizado que se verificou no na AUBG entre 1984 e 2016 (Figura III-87). Este aumento é transversal a todas as componentes biofísicas, inclusive a vegetação arbórea e/ou densa, que foi delimitada em todas as imagens com base no mesmo limiar de NDVI (*i.e.,* >0,75). Além disto, o consumo de solo pelo processo de urbanização no decorrer dos 32 anos em análise fica bem expresso, com o aumento do número de pontos classificados como superfícies impermeáveis antrópicas e como industrial/pedreiras (Figura III-87).

Diferenciação entre o Interior o Exterior do Perímetro Urbano

A desagregação do diagrama de dispersão Ts/NDVI, em função da localização geográfica dos pontos – *i.e.*, interior *versus* exterior do perímetro urbano –, demonstra que as diferenças decorrentes do posicionamento face ao perímetro urbano são mais significativas do que a vinculação concelhia. Com efeito, os digramas Ts/NDVI de Braga e de Guimarães exibem uma configuração análoga em cada data (Figura III-88). No exterior do perímetro urbano verifica-se uma maior dispersão dos valores de Ts do que no interior, que inclusive se acentua de 1984 para 2016 (do ponto de vista temporal) e assume maior acuidade em Guimarães do que em Braga (em termos espaciais). Sem embrago, esta dicotomia na dispersão dos valores não é transversal ao NDVI, pois detêm uma variação semelhante nos quatro diagramas, com exceção da posição da componente biofísica água, dado o seu comportamento oscilatório e irregular nas diferentes datas em análise (Figura III-88).

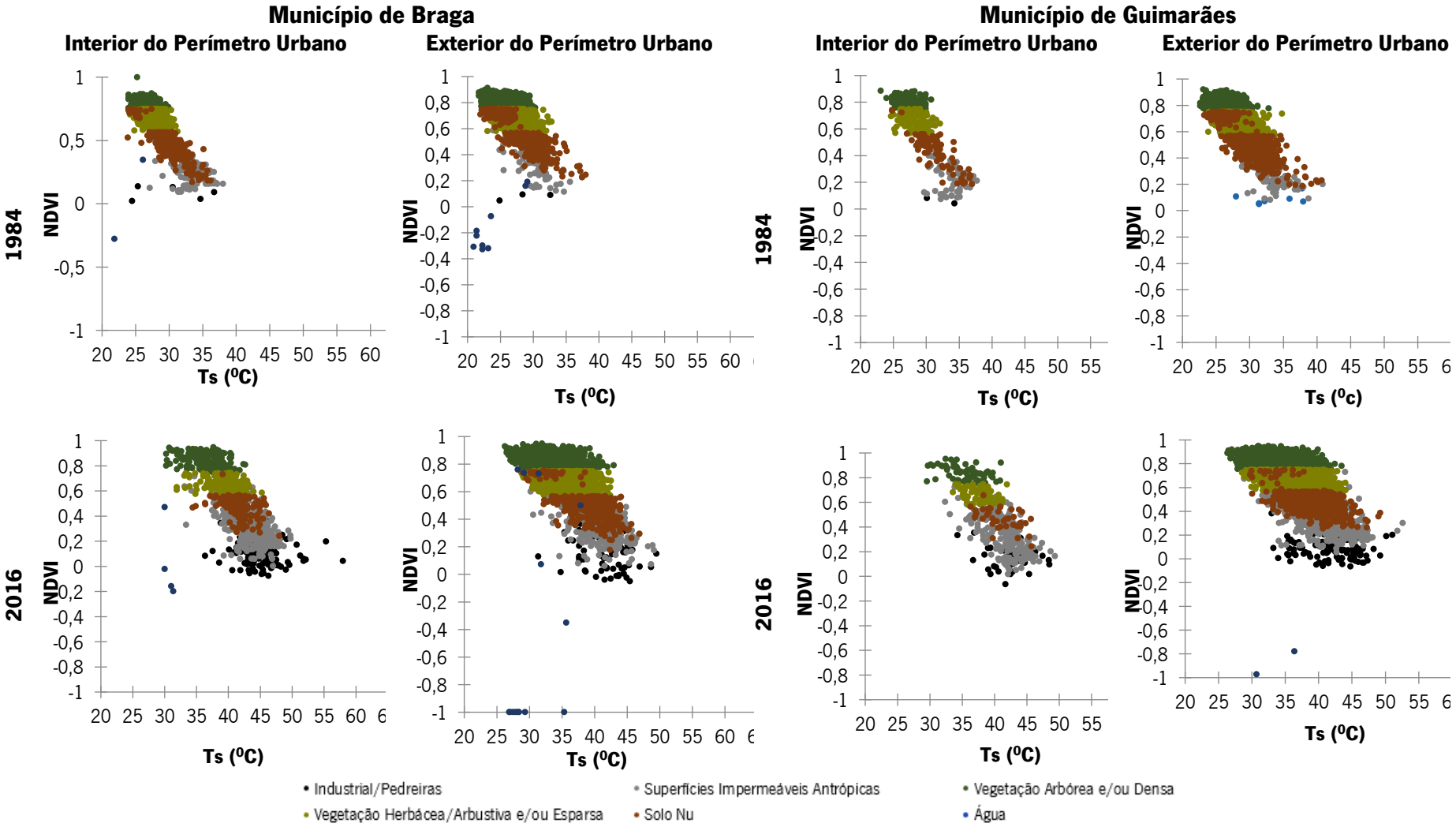


Figura III-88 – Relação de associação Ts/NDVI no interior e o exterior do perímetro urbano dos municípios de Braga e de Guimarães em 1984 e em 2016

Na estruturação vertical das componentes biofísicas sobressai uma sobreposição do solo nu com as superfícies impermeáveis antrópicas e com a vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa (Figura III-88). Assim, a primeira sobreposição decorre, em termos genéricos, da similaridade da assinatura espectral e térmica das duas componentes biofísicas (*i.e.*, reduzida presença de vegetação e valores elevados de Ts). No segundo caso, a sobreposição decorre do acentuado conteúdo de humidade do solo, como se poderá depreender pelos valores de NDVI. A situação descrita, se transversal aos dois lados desta circunscrição administrativa em 1984, deixa de o ser em 2016. Volvidos então 32 anos deixam de ser visíveis solos húmidos no interior do perímetro urbano, que no caso de Braga ainda detinham uma importância expressiva em 1984. Deste modo, em 2016 no interior do perímetro urbano permanece apenas a sobreposição do solo nu com as superfícies impermeáveis antrópicas, pelas razões referidas, que se encontram maximizadas em territórios de urbanização difusa.

Em 2016 verifica-se também uma ligeira sobreposição entre as componentes biofísicas urbanas, dado que 1984 os pontos classificados como industrial/pedreiras eram diminutos. Esta sobreposição, particularmente evidente em Guimarães, decorre da presença de áreas industriais no interior do perímetro urbano, ao contrário do que acontece em Braga (Figura III-88). De facto, em todo o território da AUBG a extensa constelação urbana patenteia bem as características do modelo territorial difuso – quer isto dizer, o tecido urbano encontra-se profundamente mesclado com campos agrícolas, áreas de inculto e/ou florestais, que apresentam uma acentuada variabilidade de cobertura vegetal (*i.e.*, valor de NDVI). Em sentido distinto, a componente biofísica industrial/pedreiras – que engloba os parques industriais, criados sob os auspícios do zonamento funcional (e, como tal, monofuncionais) e sem espaços verdes, e as pedreiras, com a rocha exposta, e sem qualquer vegetação – exibem valores de NDVI muito reduzidos. A elevada amplitude dos valores de Ts poderá advir da dicotomia exposta anteriormente, ou, ainda que mais excecionalmente, de um outro tipo de superfícies também captada nesta classe por via do seu elevado albedo – as estufas agrícolas.

III – 3.2.3. Relação Estatística de Ts, NDVI e NDWI

No seguimento da análise exploratória da relação de Ts/NDVI, Ts/NDWI e NDVI/NDWI Ts/NDVI, que fornece informação detalhada acerca das respetivas regularidades e exceções (*i.e.*, outliers),

recorre-se a métodos estatísticos confirmatórios – mormente a correlação (bivariada) de Spearman (Tabela III-21) – para determinar a significância estatística das relações.

Tabela III-21 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman entre Ts, NDVI e NDWI na AUBG entre 1984 e 2016

Coeficiente de Correlação				Coeficiente de Determinação (R^2)			
1984							
Variável	**Ts**	**NDVI**	**NDWI**	**Variável**	**Ts**	**NDVI**	**NDWI**
Ts	1			**Ts**	1		
NDVI	**-0,652**	1		**NDVI**	0,425	1	
NDWI	**-0,712**	**0,912**	1	**NDWI**	0,507	0,832	1
1999							
Variável	**Ts**	**NDVI**	**NDWI**	**Variável**	**Ts**	**NDVI**	**NDWI**
Ts	1			**Ts**	1		
NDVI	**-0,859**	1		**NDVI**	0,738	1	
NDWI	**-0,846**	**0,932**	1	**NDWI**	0,716	0,869	1
2003							
Variável	**Ts**	**NDVI**	**NDWI**	**Variável**	**Ts**	**NDVI**	**NDWI**
Ts	1			**Ts**	1		
NDVI	**-0,792**	1		**NDVI**	0,627	1	
NDWI	**-0,815**	**0,940**	1	**NDWI**	0,664	0,884	1
2007							
Variável	**Ts**	**NDVI**	**NDWI**	**Variável**	**Ts**	**NDVI**	**NDWI**
Ts	1			**Ts**	1		
NDVI	**-0,767**	1		**NDVI**	0,588	1	
NDWI	**-0,747**	**0,936**	1	**NDWI**	0,558	0,876	1
2010							
Variável	**Ts**	**NDVI**	**NDWI**	**Variável**	**Ts**	**NDVI**	**NDWI**
Ts	1			**Ts**	1		
NDVI	**-0,800**	1		**NDVI**	0,640	1	
NDWI	**-0,808**	**0,947**	1	**NDWI**	0,653	0,897	1
2016							
Variável	**Ts**	**NDVI**	**NDWI**	**Variável**	**Ts**	**NDVI**	**NDWI**
Ts	1			**Ts**	1		
NDVI	**-0,772**	1		**NDVI**	0,596	1	
NDWI	**-0,772**	**0,957**	1	**NDWI**	0,596	0,916	1

Os valores a negrito indicam que a correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral).

Os resultados da correlação de Spearman indicam que todas as variáveis se encontram correlacionadas entre si, num nível de significância (bilateral) de 0,01 (*i.e.*, p-valor <0,001), em

consonância com verificado em diversos estudos. De lembrar que, a primeira relação se encontra mais amplamente documentada (*e.g.*, Zhang *et al.,* 2009; Kumar e Shekhar, 2015; Guo *et al.,* 2015; Tran *et al.*, 2017) do que a segunda.

Na AUBG, em consonância com o exposto anteriormente, verifica-se uma correlação negativa entre Ts e o NDVI, bem como entre Ts e o NDWI (Tabela III-21). Estes resultados indicam que a Ts aumenta com a diminuição da vegetação, assim como, com a diminuição do conteúdo de humidade das superfícies. Por sua vez, a correlação positiva entre NDVI e NDWI (Tabela III-21) demonstra que, quanto maior a quantidade e densidade de vegetação (*i.e.*, maior NDVI), maior o conteúdo de humidade da superfície (*i.e.*, maior NDWI). Assim, sendo as áreas mais frescas são aquelas que apresentam maior quantidade de vegetação e de humidade, e as mais quentes correspondem à situação oposta.

Importa notar que, a relação entre Ts, NDVI e NDWI não ocorre sempre na mesma proporção (Tran *et al.*, 2017), denotando-se na AUBG algumas diferenças entre as seis datas em análise, ainda que todas as imagens retratem a mesma estação do ano (*i.e.*, o verão). De facto, o poder de explicação do NDVI e do NDWI sobre o comportamento de Ts varia aproximadamente 20% a 30%, entre 1984, data em que é menor (*i.e.*, 42,5% no caso do NDVI e 50,7% no NDWI), e 1999, quando é mais significativo (73,8% no NDVI e 71,6% no NDWI). A relação NDVI e NDWI, claramente mais forte, apresenta uma variação significativamente menor (apenas 8,4%), continuando 1984 a ser a data que detém o menor valor de correlação, e consequentemente o menor poder de explicação (*i.e.,* 83,2%). Por sua vez, 2016é a data em que esta relação é mais forte, sendo o poder de explicação de 91,6% (Tabela III-21). Numa análise mais detalhada do poder de explicação do NDVI e do NDWI sobre Ts constata-se que este, *grosso modo* análogo, vai variando ao longo das seis datas. Assim sendo, em 1984, 2003 e 2010 o NDWI detém um maior poder de explicação de Ts do que o NDVI; em 1999 e 2007 é o NDVI que se destaca; e, em 2016 o poder de explicação é exatamente o mesmo (Tabela III-21).

Na AUBG a relação entre Ts/NDVI, Ts/NDWI e NDVI/NDWI, apesar de significativa, não é linear nas diferentes datas, em consonância com o constado em outros estudos (*e.g.*, Owen *et al.*, 1995; Zhou *et al.*, 2014; Guo *et al.*, 2015; Tran *et al.,* 2017). Nesta aceção, é igualmente imprescindível identificar e documentar as particularidades da relação de Ts com o NDVI e o NDWI, em função das componentes biofísicas (*vide* Apêndice VIII). Os resultados deste procedimento demonstram que, apesar da direção da relação entre Ts e os índices espectrais se manter – *i.e.*, negativa entre

Ts/NDVI e Ts/NDWI e positiva entre NDVI e NDWI –, a intensidade desta (determinada pelo coeficiente de correlação e de determinação) sofre profundas variações dependendo da componente biofísica considerada (*vide* Apêndice VIII). Além disto, com a desagregação dos dados verifica-se uma tendência generalizada para a diminuição dos valores de correlação (*c.f.*, Tabela III-21 e Apêndice VIII).

Numa observação mais detalhada das seis datas selecionadas constata-se que as componentes biofísicas industrial/pedreiras e a água são as únicas que não apresentam uma relação significativa entre as variáveis (*i.e.*, num nível de significância (bilateral) de 0,01, e p-valor >0,001), particularmente na relação Ts/NDVI e Ts/NDWI. Tal situação pode-se dever ao reduzido número de pontos da amostra destas componentes biofísicas, decorrente da sua exígua representatividade na AUBG. De facto, no industrial/pedreiras, com o aumento da sua expressão territorial (logo, maior número de pontos na amostra) denota-se um incremento da relação estatística entre as variáveis, sendo que em 2016 – ano em que detém 380 pontos da amostra – já se observa uma relação significativa entre todas as variáveis (no entanto, o poder de explicação desta relação ainda é muito reduzido). Relativamente aos resultados obtidos para a água, por vezes até um pouco incongruentes, não se podem tecer grandes considerações, uma vez que tal pode decorrer da exígua quantidade de pontos analisados (*vide* Apêndice VIII).

Nas superfícies impermeáveis antrópicas, vegetação arbórea e/ou densa, vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa e no solo nu, a relação entre Ts/NDVI, Ts/NDWI e NDVI/NDWI é significativa em todas as datas. Todavia, o poder de explicação desta relação (determinado pelo R^2) varia significativamente, não só entre datas (como sucede no conjunto da AUBG), como também entre as diferentes componentes biofísicas em cada data (*vide* Apêndice VIII). Estes resultados corroboram a asserção anterior – acerca da ausência de linearidade desta relação – em consonância com o concluído por Tran *et al.* (2017).

Na AUBG a relação de Ts/NDVI e de Ts/NDWI detém maior poder de explicação (*i.e.*, R^2 mais elevado) no solo nu, como exceção de 2016, ano em que tal sucede nas superfícies impermeáveis antrópicas. Esta relação demonstra que a presença de vegetação (traduzida no NDVI) e conteúdo de humidade do solo (captado pelo NDWI) constituem elementos importantes na regulação da temperatura do solo. Por sua vez, a relação NDVI/NDWI é sempre mais significativa nas superfícies impermeáveis antrópicas (*vide* Apêndice VIII), indicando que nas áreas urbanas a presença de

humidade no solo se encontra relacionada com a existência de vegetação, mais do que sucede no solo nu (visto ser possível a ocorrência de focos de humidade sem a presença de vegetação).

Os valores mais baixos da relação Ts/NDVI, assim como entre NDVI/NDWI, ocorrem na vegetação arbórea e/ou densa (determinada com base no valor de NDVI superior a 0,75). Esta situação, conjuntamente com o facto desta relação ser mais elevada nas áreas com solo nu, ou com solo impermeabilizado, comprova que o NDVI satura em áreas com elevada fração de vegetação, nas quais passa a aumentar de modo não linear (Kwarteng e Small, 2010). A vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa exibe os valores mais baixos na relação Ts/NDWI (*vide* Apêndice VIII), indiciando que nesta componente biofísica a variação de Ts se encontra dependente de outros fatores para além deste (pois, ainda que a sua relação com Ts seja significativa do ponto de vista estatístico, esta detém reduzido poder de explicação – *i.e.*, baixo R^2).

III – 3.3. Assinatura Térmica das Componentes Biofísicas

A despeito de múltiplos fatores contribuírem para a variação da Ts, a extensão e distribuição das coberturas do solo (neste trabalho identificadas a partir das componentes biofísicas) assumem uma importância primordial. Efetivamente, cada componente da paisagem urbana exibe propriedades radiativas, térmicas, de humidade e aerodinâmicas únicas. Assim, tal como refere Weng *et al.* (2004), a miríade de superfícies que compõem as áreas urbanas, bem como o seu arranjo espacial, criam uma matriz ilimitada de balanços energéticos e de sistemas microclimáticos, dificultando qualquer generalização. De lembrar que, toda esta complexidade se encontra maximizada nos territórios assentes nas premissas da urbanização difusa, tal como ocorre na AUBG.

As mudanças nas componentes biofísicas não só causam alterações na abundância de vegetação e de biomassa, como também nas propriedades radiativas e térmicas. Assim, para uma compreensão mais profunda da relação entre a Ts e as componentes biofísicas é necessário investigar as respetivas assinaturas térmicas. Para tal, recorre-se à mesma amostra de 10000 pontos utilizada anteriormente. Desde já, realçar a similaridade dos valores da média e de desvio-padrão de Ts resultantes das estatísticas *pixel-by-pixel* (*vide* Apêndice IX e Apêndice V), que engloba todos os valores presentes na imagem, com os obtidos a partir da referida amostra de pontos (*vide*

Apêndice X) – confirmando, uma vez mais, que a mesma constitui uma boa representação do conjunto de dados em análise.

As seis componentes biofísicas identificadas no âmbito do presente trabalho – *i.e.,* industrial/pedreiras, superfícies impermeáveis antrópicas, vegetação arbórea e/ou densa, vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa, solo nu e água –, apresentam significativas variações de Ts, decorrente das propriedades radiativas e termodinâmicas intrínsecas. Os valores distintos de Ts média e, particularmente, o reduzido desvio-padrão (*vide* Apêndice IX e Apêndice X), atestam que estas classes apresentam uma assinatura térmica própria, quer isto dizer, exibem características homogéneas entre si e distintas entre elas. Note-se que, aquando da extração das componentes biofísicas se procurou justamente identificar áreas que em termos climáticos, particularmente no que às temperaturas de superfície diz respeito, apresentassem uma resposta semelhante.

III – 3.3.1. Características Genéricas na AUBG

Na AUBG é notória a variação de Ts mínima, Ts média e Ts máxima de cada componente biofísica entre 1984 e 2016(*vide* Apêndice IX), no entanto, o gradiente observado entre as seis componentes biofísicas não se altera (Figura III-89).

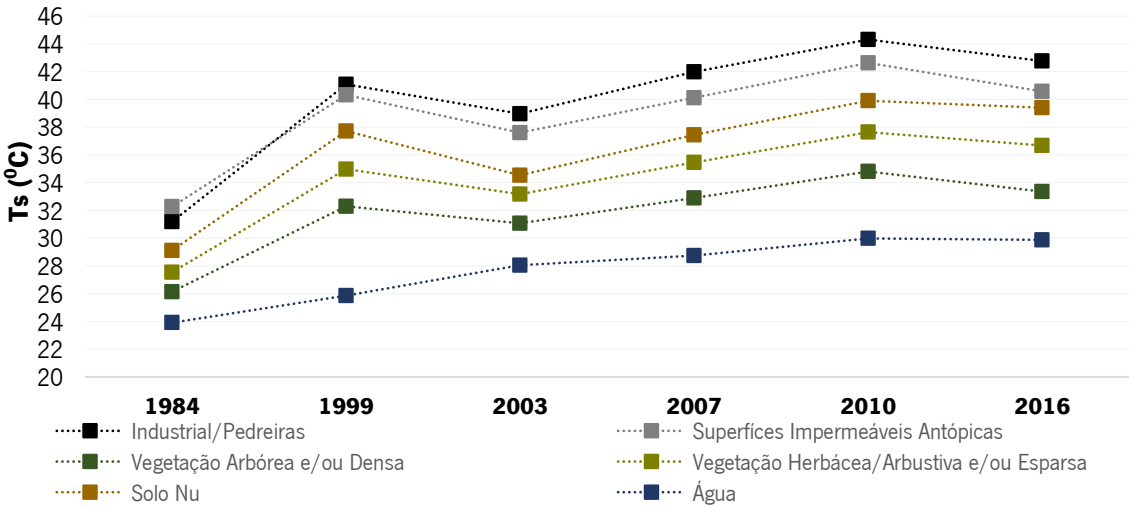


Figura III-89 – Ts média (°C) '*pixel-by-pixel*' por componente biofísica na AUBG entre 1984 e 2016

A despeito do gradiente térmico exibido pelas componentes biofísicas, observa-se uma diminuição do valor médio de Ts nas componentes biofísicas pela seguinte ordem: industrial/pedreiras,

superfícies impermeáveis antrópicas, solo nu, vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa, vegetação arbórea e/ou densa, e água (Figura III.93 e Figura III-90). Estes resultados encontram-se em concordância com os obtidos por diversos autores, como por exemplo: Weng (2001) para o Delta de Zhujiang (China) entre 1989 e 1997; ou Xiong *et al.* (2012) na cidade de Guangzhou (China) no período 1990-2009. À ordenação mencionada excetua-se apenas o ano de 1984, data em que as superfícies impermeáveis antrópicas apresentam um valor médio de Ts mais elevado do que o industrial/pedreiras (Figura III-89 e Figura III-90). De realçar que é em 2010 que todas as componentes biofísicas registam a Ts média (absoluta) mais elevada (Figura III-89).



Figura III-90 – Gradiente térmico observado nas componentes biofísicas da AUBG

A componente biofísica industrial/pedreiras apresenta a Ts média mais elevada em todas as datas, com exceção da imagem de 1984 (Figura III-89). Os valores elevados de desvio-padrão – entre 3 a 4°C (*vide* Apêndice X) – decorrem da acentuada variabilidade dos elementos que a compõem esta classe (*e.g.*, edifícios industriais, pedreiras e estufas agrícolas), em consonância com o verificado por Weng *et al.* (2004). Não obstante, nestas áreas predominam as coberturas de zinco, que apesar de refletirem uma grande quantidade de energia solar (*i.e.*, baixo albedo) têm uma baixa capacidade para emitir (*i.e.*, baixa emissividade), pelo que retêm muito calor. Deste modo, a superfície mantém-se sobreaquecida, contribuindo, possivelmente, para o aquecimento do ar nos espaços envolventes, tal como referem Ortiz e Amorim (2011). Outro fator que poderá contribuir para elevar a Ts nestes locais é a libertação de calor decorrente dos processos industriais – designado por calor antrópico –, bem como a quase total ausência de vegetação, como comprova o reduzido NDVI e NDWI (*vide* Apêndice X). Estas áreas apresentam sistematicamente uma reduzida amplitude dos valores de NDVI e de NDWI, indicando que, apesar da

heterogeneidade das características térmicas, são áreas similares do ponto de vista do conteúdo de humidade e de presença de vegetação – sendo em ambos os casos muito reduzida (*vide* Apêndice XI).

As superfícies impermeáveis antrópicas, que englobam as áreas edificadas, vias rodoviárias e parques de estacionamento asfaltados (Figura III-89), apresentam um valor de desvio-padrão de Ts inferior ao da componente biofísica industrial/pedreiras; porém, no que ao NDVI e NDWI concerne este valor é mais elevado (*vide* Apêndice X). Com efeito, verifica-se a situação oposta ao descrito anteriormente, pois estas áreas apesar de mais similares do ponto de vista térmico, são formadas por um mosaico de vegetação e de humidade do solo mais diversificado. A propósito do efeito de sombra provocado pelo edificado, Amiri *et al.* (2009) ressaltam que os sensores a bordo de satélites como o Landsat não captam as superfícies verticais, devido à sua elevada altitude em comparação com a dos edifícios, pelo que o papel deste efeito será praticamente insignificante nas variações de Ts captadas. O maior aquecimento das superfícies impermeáveis antrópicas é explicado, em grande medida, pela maior e mais prolongada transferência de calor sensível e pela menor perda de calor latente entre esta e a atmosfera urbana inferior. Todavia, o ligeiro aumento do valor médio de NDVI, se comparado com a componente biofísica industrial/pedreiras, evidencia que as superfícies impermeáveis antrópicas tendem a englobar espaços verdes nos seus interstícios, contrariamente ao que acontece naquelas áreas (*vide* Apêndice XI).

É possível estabelecer no território uma divisão entre as duas componentes biofísicas urbanas – *i.e.*, industrial/pedreiras e superfícies impermeáveis antrópicas – e as restantes não urbanas, considerando que as primeiras apresentam Ts médias mais elevadas. Esta situação comprova que a substituição de áreas naturais por materiais artificiais, onde a evaporação é muito reduzida e transpiração não se processa, promove o aumento de Ts (*vide* Apêndice X). Os solos não impermeabilizadas, descritos na literatura de um modo corrente como rurais, apresentam uma rugosidade menor, pelo que devolvem mais rapidamente a radiação solar à atmosfera, enquanto no espaço urbano esta fica retida entre o edificado por mais tempo. Estas áreas armazenam mais humidade no solo, pois nas superfícies impermeáveis antrópicas como a água não se infiltra rapidamente se perde no sistema de drenagem, pelo que o conteúdo de humidade é muito exíguo e temporário, como compravam os valores muito baixos de NDWI nas componentes biofísicas urbanas (*i.e.*, muito próximos de zero). Além disto, a morfologia urbana pode criar uma barreira aos ventos regionais (e/ou locais), que contribuem refrescar as superfícies.

De entre as componentes biofísicas não urbanas, o solo nu é a que apresenta Ts médias mais elevadas (Figura III-89). Sem embargo ao referido anteriormente para os valores médios de Ts das componentes biofísicas, importa notar que nos anos de 1999, 2003 e 2010 o valor máximo de Ts ocorre no solo nu e não e não nas componentes urbanas (*vide* Apêndice X). Assim sendo, comprova-se que em determinadas situações o solo pode atingir temperaturas mais elevadas do que as áreas urbanas, tal como constatado por Orhan *et al.* (2014). Além disto, o solo nu exibe uma grande amplitude de Ts, sendo alguns casos considerados valores extremos (*vide* Apêndice X). Esta diversidade de valores é transversal ao NDVI e do NDWI, como evidencia o desvio-padrão sistematicamente elevado nas três variáveis, bem como os respetivos diagramas de extremos e quartis (*vide* Apêndice X e Apêndice XI).

A variação de Ts média do solo nu ao longo das seis datas em estudo advém das distintas condições de humidade, nas quais a ocorrência de incêndios florestais parece deter um impacte muito significativo, como se verifica em 2010. O conteúdo de humidade presente no solo determina a sua inércia (Curran, 1985), e, por conseguinte, o seu aquecimento mais lento ou mais rápido. Assim sendo, a sua assinatura térmica ora se diferencia claramente (*i.e.*, 1999, 2007, 2010), ora se aproxima da vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa (*i.e.*, 1984, 2003) ou das superfícies impermeáveis antrópicas (*i.e.*, 2016). De facto, dada a baixa inércia térmica do solo seco, este aquece muito rapidamente – pelo que no verão a ilha de calor de superfície se espraia para estes locais. Em vista disso, quando o espaço urbano se encontra rodeado por campos agrícolas ou por desertos, pode inclusive verificar-se a situação oposta à ilha de calor – na qual as cidades se tornam ilhas de frescura ou 'oásis'. A este respeito Xian e Crane (2006) constataram que a cidade de Las Vegas (nos Estados Unidos da América) se encontrava mais fresca do que o seu entorno desértico. Tal situação, será de esperar que também aconteça no verão em cidades portuguesas, compactas e rodeadas por campos agrícolas, particularmente quando localizadas em áreas quentes e secas – como é o caso do Alentejo.

A vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa apresenta uma assinatura térmica própria, como comprova o distinto valor médio de Ts, se comparado com o solo nu ou com a vegetação arbórea e/ou densa, somado ao reduzido valor de desvio-padrão. Estas constatações são igualmente válidas no que se refere ao NDVI e ao NDWI, visto que todas as variáveis apresentam uma distribuição de valores muito concentrada em torno da mediana (*vide* Apêndice X). Não obstante, em 1984 a Ts média aproxima-se quer do solo nu quer da vegetação densa (Figura III-89), no entanto, de lembrar que nesta data que os valores apresentam uma reduzida amplitude (Figura

III-65). Por outro lado, em 2003 a assinatura térmica desta componente biofísica assemelha-se mais à do solo nu (Figura III-89). As diferenças de Ts ao longo das seis datas podem advir: (i) de distintas fases de crescimento das culturas agrícolas, que no mês de julho oscilam de estágios embrionária a intermédios; e/ou (ii) das condições de humidade do solo subjacente.

A vegetação arbórea e/ou densa, independentemente da sua origem ser mais ou menos natural, apresenta claramente os valores mais baixos de Ts (Figura III-89). A vegetação, apesar de absorver muita radiação (pois reflete pouca energia incidente), consegue reduzir a quantidade de calor armazenado através da transpiração, que promove os fluxos de calor latente em detrimento dos fluxos de calor sensível. O papel amenizador da vegetação, particularmente das áreas densamente arborizadas, na temperatura de superfície é claramente visível em todas as datas analisadas, tal como constatado por diversos autores relativamente à temperatura do ar (*e.g.*, Monteiro, 1997; Amorim, 2000). Esta constitui a componente biofísica mais homogénea da AUBG, como comprova o diminuto desvio-padrão decorrente da reduzida amplitude dos valores de Ts, NDVI e de NDWI (*vide* Apêndice X e Apêndice XI).

Por fim, relativamente aos corpos de água, os resultados obtidos devem ser interpretados com algumas reservas, atendendo à exígua dimensão espacial que possuem na AUBG. Esta componente biofísica apresenta em todas as datas as Ts médias mais baixas (*vide* Apêndice X), por via da elevada inércia térmica (Curran, 1985), bem como da transferência de energia através dos fluxos de calor latente. Com efeito, no verão a água tende a aquecer lentamente (Weng *et al.*, 2004), pelo que ao fim da manhã (cerca das 10h/11h), aquando da passagem do satélite, ainda apresenta temperaturas muito baixas. Os elevados valores do desvio-padrão observados em 1999 e 2016 (*vide* Apêndice X) poder-se-ão dever ao contágio provocado por pixéis adjacentes. Os corpos de água, juntamente com as áreas com vegetação densa, funcionam como sumidouros de calor na AUBG.

III – 3.3.2. Estudo Comparativo à Escala do Município

A análise da assinatura térmica das componentes biofísicas ao nível municipal reflete o mesmo gradiente descrito para a globalidade do território em estudo (Figura III-90). Ainda a despeito deste gradiente, de destacar que em Guimarães não se observa a troca de posição entre industrial/pedreiras com as superfícies impermeáveis antrópicas, existente na AUBG e no

município de Braga em 1984 (*vide* Apêndice XII). De um modo geral, as diferenças na assinatura térmica das componentes biofísicas localizadas em Braga e em Guimarães são deveras exíguas, pois na maior parte das datas as componentes biofísicas exibem valores médios de Ts muito semelhantes (*i.e.*, diferenças inferiores a 1ºC), particularmente no que se refere à vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa (*vide* Apêndice XII). Esta situação encontra-se em linha direta com os resultados obtidos nos valores de Ts, que exibiam igualmente uma média muito similar entre os dois municípios (*vide* Figura III-72).

As duas componentes biofísicas urbanas exibem valores similares no ano de 2007 nos dois municípios, sendo que em 1984 ambas apresentam valores mais elevados em Guimarães, enquanto em 2016 esta supremacia é detida por Braga. Em 1999, 2003 e 2007, as superfícies impermeáveis antrópicas detêm valores similares nos dois municípios, no entanto, a média do industrial/pedreiras é mais elevada em Braga. A vegetação arbórea e/ou densa exibe valores de Ts média ligeiramente inferiores em Braga nas datas de 1984, 2003, 2007 e 2010, enquanto em 1999 e 2016 este valor é igual nos dois municípios. Esta constatação vai de encontro ao facto de ser em Braga que se localizam as Ts mínimas. O solo nu apenas exibe valores mais elevados em Guimarães em 1984 e 1999, dado que nas restantes datas não se discernem diferenças na assinatura térmica desta componente biofísica entre os dois municípios (*vide* Apêndice XII).

III – 3.3.3. O Interior e Exterior do Perímetro Urbano

A análise de Ts e do NDVI em função da dicotomia do território municipal promovida pelo perímetro urbano permitiu concluir que esta circunscrição administrativa promove um ambiente térmico com características diferenciadas. De facto, também na assinatura térmica das componentes biofísicas se denota esta distinção, pois o interior do perímetro urbano exibe sempre valores médios de Ts mais elevados do que os verificados no exterior. Esta constatação, transversal aos dois municípios, encontra apenas duas exceções, ambas no município de Guimarães, mormente nos anos de 1984 e de 2010, datas em que a componente biofísica industrial/pedreiras é mais quente no exterior do perímetro do que no seu interior. Não obstante, em alguns casos a diferença do valor médio de Ts é muito pouco significativa – como se observa, a título de exemplo, em 2003, no município de Guimarães, data em que as superfícies impermeáveis antrópicas no interior do perímetro

urbano exibem um valor médio de Ts de 38,82°C, enquanto no exterior este valor é de 38,45°C (*vide* Apêndice XIII).

O gradiente térmico das componentes biofísicas descrito para a globalidade do território em estudo mantém-se com esta desagregação, salvo o facto de em algumas situações as superfícies impermeáveis antrópicas exibirem valores de Ts média mais elevados do que o industrial/pedreiras, tal como contatado anteriormente. Assim, em Braga verifica-se esta situação apenas em 1984, sendo comum tanto ao interior, como ao exterior, do perímetro urbano. Em Guimarães, verifica-se esta alteração de ordem no interior do perímetro, em quatro das seis datas em análise, designadamente em 1984, 1999, 2003 e 2010 (*vide* Apêndice XIII).

Numa análise comparativa detalhada da assinatura térmica das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de cada um dos municípios, não se vislumbra um quadro único, antes pelo contrário, pois cada data detém as suas particularidades. Deste modo, constata-se o seguinte: (i) em 1984, os valores mais elevados de todas as componentes biofísicas ocorrem no município de Guimarães, por sua vez, na data seguinte, verifica-se exatamente a situação oposta; (ii) em 2003, a Ts média do solo nu é igual nos dois municípios, o industrial/pedreiras é mais elevado em Braga, sendo as restantes componentes biofísicas mais elevadas em Guimarães; (iii) em 2007 e em 2010, as componentes biofísicas apresentam valores médios de Ts mais elevados em Guimarães, com exceção do industrial pedreiras, tal como acontecia em 2003; e, (iv) por fim, em 2016, as Ts médias mais elevadas ocorrem sempre no município de Braga, tal como acontecia em 1999 (*vide* Apêndice XIII).

Reproduzindo análise detalhada para o exterior do perímetro urbano, verifica-se que o cenário é mais homogéneo, dado que, todas as componentes biofísicas exibem valores médios de Ts mais elevados no exterior do perímetro urbano de Guimarães do que no de Braga. Sem embargo, em alguns casos a diferença de valores entre os dois municípios ser quase impercetível. A imagem de 2016 é melhor exemplo dessa situação, visto que nesta data o valor médio de Ts da componente biofísica industrial/pedreiras é de 41,79°C em Braga e de 41,72°C em Guimarães, ou a vegetação densa que em Braga detém um valor médio de 33,02°C e em Guimarães 33,27°C (*vide* Apêndice XIII).

III – 3.4. Amplitude Térmica entre as Componentes Biofísicas

A amplitude térmica entre as componentes biofísicas – mais especificamente as urbanas *versus* as não urbanas – auxiliam a compreensão da evolução de Ts ao longo dos 32 anos em estudo. Além de que, deste modo não se comparam diretamente os valores absolutos de Ts, mas sim a magnitude das diferenças (Chen *et al.*, 2006).

III – 3.4.1. Visão Geral da AUBG

A componente biofísica industrial/pedreiras (mais quente) exibe sempre amplitudes com maior magnitude com as componentes biofísicas não urbanas, se comparada com as superfícies impermeáveis antrópicas (menos quente). Em específico, as amplitudes mais elevadas ocorrem entre industrial/pedreiras e a vegetação arbórea e/ou densa, e as menores entre as superfícies impermeáveis antrópicas e solo nu, resultado da similaridade da sua assinatura térmica (Tabela III-22). Ademais, constata-se que a maior/menor magnitude ocorre em datas distintas, sendo nos anos de 2010, 2016 e 1999 que as amplitudes térmicas entre as áreas industriais e a vegetação arbórea e/ou densa são mais acentuadas (Tabela III-22), coincidindo simetricamente com os anos em que as Ts máximas registam os valores mais elevados (Tabela III-16). Estes resultados colocam em evidência os contrastes entre a vegetação e as áreas industriais se acentuaram, não obstante o aumento de Ts verificado em ambas as componentes biofísicas. Esta situação encontra-se diretamente replicada na vegetação herbácea/arbustiva e ou esparsa, mas não no solo nu (Tabela III-22). As amplitudes mais acentuadas com o solo nu ocorrem em 2003, 2010 e 2007, enquanto as menores se registam em 1984 e 2016, precisamente as datas em que esta componente biofísica detém menor representatividade na AUBG.

Tabela III-22 – Amplitude térmica entre as componentes biofísicas na AUBG entre 1984 e 2016

Data	IND/VD	IMP/VD	IND/VHA	IMP/VHA	IND/SOLO	IMP/SOLO
1984	5,64	6,17	4,20	4,73	2,50	3,03
1999	8,96	8,06	6,30	5,39	3,46	3,56
2003	8,39	6,71	6,24	4,56	4,81	3,13
2007	8,85	7,34	6,44	4,93	4,35	2,84
2010	9,54	7,99	6,88	5,34	4,50	2,96
2016	9,49	7,34	6,50	4,35	3,38	1,23

Componentes biofísicas: IND – industrial/pedreiras; IMP – superfícies impermeáveis antrópicas; VD – vegetação área e/ou densa; VHA – vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa; e, SOLO – solo nu.

Em 2003, data com a Ts média mais baixa (exceção feita a 1984), observa-se a maior amplitude entre as áreas industriais/pedreiras e o solo exposto, indicando que perante condições de calor mais moderado se verifica uma diminuição de Ts tanto nas componentes biofísicas urbanas, como nas permeáveis. Todavia, este impacto parece ser maior no solo nu, pois como detém baixa inércia térmica necessita de maior quantidade de calor para aquecer – calor este, que não estava disponível em 2003, pelo menos até à hora de captura da imagem. Por seu turno, a menor amplitude entre o industrial/pedreiras e as restantes componentes biofísicas ocorre em 1984, coincidindo com a data em que se observa a menor dispersão dos valores de Ts na AUBG (Tabela III-22).

Não obstante as superfícies impermeáveis antrópicas exibirem menores amplitudes térmicas com as componentes biofísicas permeáveis do que o verificado no industrial/pedreiras, estes valores são mais expressivos em 1999, seguindo-se 2010 (Tabela III-22). Deste modo, depreende-se que sob condições de calor muito elevado, as superfícies impermeáveis antrópicas são menos sobreaquecidas do que o industrial/pedreiras, contribuindo para tal o facto de nestas áreas subsistirem alguns espaços verdes, como comprova o valor mais elevado de NDVI. Relativamente às amplitudes com menor magnitude, estas ocorrem em datas distintas, sendo que à vegetação densa aplica-se o referido anteriormente a propósito dos contrastes desta componente biofísica industrial/pedreiras. As menores amplitudes relativamente à vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa e ao solo nu registam-se em 2016 (Tabela III-22). Realçar que, a amplitude verificada entre as superfícies impermeáveis antrópicas e o solo nu em 2016 constitui a menor de todo o intervalo temporal em análise, coincidindo com a data em que esta componente biofísica detém menor representatividade na AUBG.

III – 3.4.2. Análise Comparativa por Município

Ao nível municipal, as amplitudes entre as componentes biofísicas urbanas e não urbanas refletem o mesmo gradiente já expresso no conjunto da AUBG, tal como sucedia com a assinatura térmica. Relativamente ao ano em que as amplitudes registam menores valores em cada uma das componentes biofísicas de notar que, o município de Braga reproduz exatamente o quadro observado na AUBG. Todavia, a mesma situação não se verifica em Guimarães, onde apenas coincide o facto de a menor amplitude térmica entre as superfícies impermeáveis antrópicas e o solo nu ocorrer em 2016 (*c.f.*, Tabela III-22, Tabela III-23 e Tabela III-24). Por outro lado, em

Guimarães já se verifica uma maior coincidência nos anos em que as componentes biofísicas registam as amplitudes mais significativas – excetuando-se apenas o referente ao solo nu. Em Braga, apesar de nem sempre se observar uma transposição direta dos anos, quando tal não acontece é porque a data que a assume a preponderância é aquela que na AUBG se encontrava na segunda posição – muitas das vezes com valores idênticos (*c.f.*, Tabela III-22, Tabela III-23 e Tabela III-24).

Tabela III-23 – Amplitude térmica entre as componentes biofísicas no município de Braga entre 1984 e 2016

Data	IND/VD	IMP/VD	IND/VHA	IMP/VHA	IND/SOLO	IMP/SOLO
1984	4,05	5,99	2,53	4,47	1,20	3,14
1999	9,57	8,19	6,98	5,60	4,23	2,86
2003	9,46	7,12	7,12	4,78	5,86	3,52
2007	9,86	7,61	7,27	5,02	5,21	2,96
2010	10,21	8,37	7,49	5,66	5,10	3,26
2016	10,31	7,74	7,28	4,71	4,08	1,51

Tabela III-24 – Amplitude térmica entre as componentes biofísicas no município de Guimarães entre 1984 e 2016

Data	IND/VD	IMP/VD	IND/VHA	IMP/VHA	IND/SOLO	IMP/SOLO
1984	6,84	6,50	5,41	5,06	3,33	2,99
1999	8,24	7,97	5,52	5,26	2,60	2,33
2003	7,08	6,38	5,16	4,46	3,56	2,85
2007	8,03	7,24	5,71	4,91	3,55	2,75
2010	8,91	7,70	6,39	5,18	3,98	2,77
2016	8,51	7,03	5,55	4,07	2,49	1,01

Em termos comparativos, é no município de Braga (Tabela III-23) que se registam – invariavelmente – as amplitudes térmicas mais elevadas (Tabela III-24), como se depreendia da dicotomia térmica entre o interior e o exterior do perímetro urbano ou dos valores do desvio-padrão de Ts (Tabela III-18).

III – 3.4.3. Interior *versus* o Exterior do Perímetro Urbano

No município de Braga as amplitudes térmicas entre componentes biofísicas urbanas e as permeáveis são, em geral, mais elevadas no interior do perímetro urbano do que no seu exterior (Tabela III-25 e Tabela III-26). De facto, é no interior do perímetro urbano que em Braga se registam os valores médios de Ts mais elevados quer no industrial/pedreiras, quer nas superfícies impermeáveis antrópicas. Assim, embora também se verifique um aumento médio de Ts nas componentes biofísicas permeáveis, tal ocorre sempre em proporções inferiores, daí que as amplitudes se dilatem. No âmbito das exceções mencionadas, destacar o facto de em 2010 as amplitudes mais pronunciadas do industrial/pedreiras e das superfícies impermeáveis antrópicas com o solo nu ocorreram fora do perímetro urbano (Tabela III-25 e Tabela III-26). Com isto depreende-se que, os solos no interior do perímetro urbano se encontram mais compactados e sem humidade, pelo que exibem valores de Ts mais elevados que amenizam as diferenças térmicas (*vide Apêndice XIII*)

Tabela III-25 – Amplitude térmica entre as componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Braga entre 1984 e 2016

Data	IND/VD	IMP/VD	IND/VHA	IMP/VHA	IND/SOLO	IMP/SOLO
1984	3,86	6,11	2,77	5,01	0,16	2,40
1999	9,27	7,90	7,38	6,00	3,81	2,44
2003	9,36	7,16	7,43	5,24	4,28	2,08
2007	9,26	7,13	7,26	5,13	4,54	2,41
2010	9,00	7,68	7,09	5,77	3,45	2,12
2016	8,53	6,62	5,83	3,92	3,26	1,35

Componentes biofísicas: IND – industrial/pedreiras; IMP – superfícies impermeáveis antrópicas; VD – vegetação área e/ou densa; VHA – vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa; e, SOLO – solo nu.

Tabela III-26 – Amplitude térmica entre as componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Braga entre 1984 e 2016

Data	IND/VD	IMP/VD	IND/VHA	IMP/VHA	IND/SOLO	IMP/SOLO
1984	3,15	4,32	1,59	2,76	0,86	2,02
1999	6,95	6,82	4,27	4,14	1,90	1,77
2003	6,90	5,55	4,57	3,22	3,90	2,55
2007	8,00	6,13	5,37	3,51	3,60	1,74
2010	8,80	7,37	6,07	4,64	4,13	2,69
2016	8,77	6,62	5,77	3,62	2,78	0,63

Componentes biofísicas: IND – industrial/pedreiras; IMP – superfícies impermeáveis antrópicas; VD – vegetação área e/ou densa; VHA – vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa; e, SOLO – solo nu.

Em algumas datas o valor das amplitudes verificadas no interior e no exterior do perímetro de Braga são muito similares, ou mesmo iguais, como acontece em 2016, com exceção das que envolvem o solo nu. A despeito de esta componente biofísica apresentar invariavelmente as menores amplitudes em relação às componentes biofísicas urbanas, com esta desagregação espacial esta diferença quase desaparece, sendo inferior a 1°C em 1984, por comparação com o industrial/pedreiras, e em 2016 relativamente às superfícies impermeáveis antrópicas – sendo ambas as situações comuns ao interior e exterior do perímetro urbano (Tabela III-25 e Tabela III-26).

No município de Guimarães, contrariamente ao verificado em Braga, as amplitudes mais acentuadas ocorrem, por regra, no exterior do perímetro urbano. As exceções mencionadas consubstanciam-se nas superfícies impermeáveis antrópicas, mais especificamente: (i) em 1984, apenas em relação à vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa; (ii) em 1999, relativamente às três componentes biofísicas permeáveis; e, (iii) em 2003 e 2007 em relação à vegetação arbórea e/ou densa e à vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa. Por sua vez, se atentarmos apenas às amplitudes com o industrial/pedreiras verifica-se que estas são reiteradamente mais elevadas no exterior do perímetro urbano. Posto isto, é apenas nos anos de 2010 e de 2016 que todas as amplitudes calculadas são mais elevadas no exterior do perímetro urbano (Tabela III-27 e Tabela III-28).

Tabela III-27 – Amplitude térmica entre as componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Guimarães entre 1984 e 2016

Data	IND/VD	IMP/VD	IND/VHA	IMP/VHA	IND/SOLO	IMP/SOLO
1984	4,89	6,09	3,95	5,15	0,82	2,02
1999	7,54	7,79	5,07	5,33	2,32	2,58
2003	6,70	7,32	4,47	5,10	1,87	2,49
2007	7,56	7,40	4,85	4,70	2,63	2,48
2010	6,92	7,36	4,16	4,60	1,78	2,22
2016	6,85	6,16	4,52	3,83	1,35	0,66

Componentes biofísicas: IND – industrial/pedreiras; IMP – superfícies impermeáveis antrópicas; VD – vegetação área e/ou densa; VHA – vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa; e, SOLO – solo nu.

No contexto específico dos municípios de Braga e de Guimarães (como sucede em geral na AUBG), o solo nu exibe uma Ts média semelhante à das componentes biofísicas urbanas, sendo em algumas datas a diferença inferior a 1°C (Tabela III-27 e Tabela III-28). Efetivamente, à medida que a escala de análise vai abrangendo cada vez parcelas mais restritas do território da AUBG esta

diferença parece esbater-se, particularmente nos anos de 1984 quando comparada com o industrial/pedreiras e em 2016 se comparada com as superfícies impermeáveis antrópicas.

Tabela III-28 – Amplitude térmica entre as componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Guimarães entre 1984 e 2016

Data	IND/VD	IMP/VD	IND/VHA	IMP/VHA	IND/SOLO	IMP/SOLO
1984	7,13	6,32	5,67	4,86	3,73	2,92
1999	8,16	7,73	5,45	5,02	2,53	2,10
2003	7,04	5,95	5,14	4,06	3,64	2,55
2007	7,79	6,85	5,50	4,56	3,42	2,48
2010	9,08	7,47	6,59	4,98	4,24	2,63
2016	8,45	6,88	5,49	3,92	2,45	0,88

Componentes biofísicas: IND – industrial/pedreiras; IMP – superfícies impermeáveis antrópicas; VD – vegetação área e/ou densa; VHA – vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa; e, SOLO – solo nu.

Numa perspetiva temporal, e comparando os dois municípios, verifica-se que no interior do perímetro urbano de Braga, em 1984 as amplitudes entre as componentes biofísicas apresentam valores muitos reduzidas, porém, nas datas seguintes estes acentuam-se claramente, para em 2016 darem novamente indícios de estar a enfraquecer (Tabela III-25). No exterior do perímetro urbano de Braga, em 1984 as amplitudes são igualmente reduzidas, no entanto, e diferentemente do que sucede no interior do perímetro urbano, não é 2016 que se registam os valores mínimos, mas sim em 2010 (Tabela III-26). Por sua vez, em Guimarães não discerne uma tendência evolutiva nem no interior, nem no exterior do perímetro urbano, exibindo as amplitudes térmicas valores deveras oscilatórios (Tabela III-27 e Tabela III-28).

Por fim, com base nos procedimentos efetuados para determinar as amplitudes máximas verificadas em cada um dos municípios, decorrente da bipartição do território municipal pelo perímetro urbano, verifica-se que os valores de Ts média mais elevados das componentes biofísicas urbanas, ocorrem geralmente no interior do perímetro urbano, enquanto os valores mais baixos das componentes biofísicas não urbanas se registam no seu exterior (Tabela III-29 e Tabela III-30). Estas constatações, transversais ao município de Braga e de Guimarães, registam somente duas exceções, precisamente neste último município, uma vez que 1984 e em 2010 o valor mais elevado do industrial/pedreiras ocorre no exterior do perímetro urbano de Guimarães e não no seu interior (Tabela III-29 e Tabela III-30).

Tabela III-29 – Levantamento dos valores médios de Ts mais elevados nas componentes biofísicas urbanas e dos valores mais baixos nas componentes biofísicas permeáveis, no município de Braga em função da bipartição do território pelo perímetro urbano, entre 1984 e 2016

Data	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu
1984	30,36	32,60	25,49	27,05	27,79
1999	42,66	41,29	31,90	34,58	36,95
2003	41,27	39,07	30,37	32,71	33,37
2007	43,53	41,40	32,28	34,90	36,67
2010	45,20	43,87	34,14	36,86	38,81
2016	44,94	43,03	33,02	36,02	39,01

Os valores sombreados a verde foram retirados do exterior do perímetro urbano enquanto os valores a cinzento foram retirados do interior do perímetro urbano.

Tabela III-30 – Levantamento dos valores médios de Ts mais elevados nas componentes biofísicas urbanas e dos valores mais baixos nas componentes biofísicas permeáveis, no município de Guimarães em função da bipartição do território pelo perímetro urbano, entre 1984 e 2016

Data	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu
1984	33,5	33,4	26,37	27,83	29,77
1999	41,04	41,30	32,42	35,13	38,05
2003	38,82	39,45	31,41	33,31	34,81
2007	42,27	42,11	33,17	35,46	37,54
2010	44,28	44,18	35,21	37,69	40,05
2016	42,33	41,64	33,27	36,23	39,27

Os valores sombreados a verde foram retirados do exterior do perímetro urbano enquanto os valores a cinzento foram retirados do interior do perímetro urbano.

Numa outra perspetiva, o levantamento dos valores médios de Ts mais baixos das componentes biofísicas permeáveis e dos valores mais elevados nas componentes biofísicas urbanas evidencia de modo claro que, tanto em Braga como em Guimarães, as principais ilhas de frescura se encontram no exterior do perímetro. Ao passo que, os principais *hotspots* coincidem sempre com o perímetro urbano em Braga (Tabela III-29 e Tabela III-30), mas não em Guimarães, uma vez que grande parte do parque industrial se localiza no território exterior a esta circunscrição.

Considerando as amplitudes máximas calculadas para cada um dos municípios em análise verifica-se que estas são visivelmente mais acentuadas em Braga (Tabela III-31 e Tabela III-32),

tal como a análise ao nível concelhio já tinha evidenciado (Tabela III-23 e Tabela III-24). Ainda assim de sublinhar que, com este procedimento se obtém os valores mais expressivos das amplitudes térmicas, tanto em Braga como em Guimarães, sendo que nem no conjunto da AUBG se observa amplitudes tão acentuadas (Tabela III-22), comprovando que existem claras diferenças térmicas entre o interior e o exterior do perímetro urbano.

Tabela III-31 – Amplitude térmica máxima entre as componentes biofísicas no interior e no exterior do perímetro urbano de Braga entre 1984 e 2016

Data	IND/VD	IMP/VD	IND/VHA	IMP/VHA	IND/SOLO	IMP/SOLO
1984	4,86	7,11	3,30	5,55	2,57	4,81
1999	10,76	9,39	8,09	6,71	5,72	4,34
2003	10,90	8,70	8,56	6,36	7,89	5,70
2007	11,25	9,12	8,62	6,49	6,86	4,73
2010	11,06	9,74	8,34	7,01	6,39	5,06
2016	11,92	10,01	8,92	7,01	5,93	4,02

Componentes biofísicas: IND – industrial/pedreiras; IMP – superfícies impermeáveis antrópicas; VD – vegetação área e/ou densa; VHA – vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa; e, SOLO – solo nu.

Tabela III-32 – Amplitude térmica máxima entre as componentes biofísicas no interior e no exterior do perímetro urbano de Guimarães entre 1984 e 2016

Data	IND/VD	IMP/VD	IND/VHA	IMP/VHA	IND/SOLO	IMP/SOLO
1984	7,13	7,03	5,67	5,57	3,73	3,63
1999	8,62	8,87	5,91	6,17	2,99	3,25
2003	7,41	8,04	5,52	6,14	4,01	4,64
2007	9,10	8,95	6,81	6,65	4,73	4,57
2010	9,08	8,97	6,59	6,48	4,24	4,13
2016	9,06	8,37	6,10	5,41	3,06	2,37

Componentes biofísicas: IND – industrial/pedreiras; IMP – superfícies impermeáveis antrópicas; VD – vegetação área e/ou densa; VHA – vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa; e, SOLO – solo nu.

III – 3.5. Assinatura Térmica dos Modos de Crescimento Urbano

A parte da análise da evolução de Ts na AUBG entre 1984 e 2016, bem como na definição da assinatura térmica das componentes biofísicas (que, por sua vez, possibilita o cálculo das amplitudes), considera-se de igual modo imprescindível o conhecimento do comportamento térmico dos diferentes modos de crescimento urbano – *i.e.*, colmatação, contiguidade e dispersão.

Em Portugal, estes estudos não existem (ou não são conhecidos), e mesmo em termos internacionais são exíguos (*e.g.*, Tran *et al.*, 2014). Neste sentido, procede-se ao cruzamento da informação sobre o modo de crescimento urbano na AUBG, obtido a partir do LEI (Liu *et al.*, 2010), com Ts para determinar a respetiva assinatura térmica, à semelhança do efetuado para as seis componentes biofísicas extraídas. Os resultados demonstram que existem diferenças térmicas entre a colmatação, a contiguidade e a dispersão urbana na AUBG, bem como entre Braga e Guimarães no que se refere à assinatura térmica de cada um dos modos (*c.f.*, Tabela III-33 e Tabela III-34).

Tabela III-33 – Assinatura térmica (°C) dos três modos de crescimento urbano no município de Braga entre 1984 e 2016

Modo de Crescimento	1999	2003	2007	2010	2016
Disperso	37,66	33,75	37,54	40,24	36,27
Contiguidade	39,73	36,20	38,26	40,95	38,64
Colmatação	41,67	37,71	39,55	42,21	40,81

Tabela III-34 – Assinatura térmica (°C) dos três modos de crescimento urbano no município de Guimarães entre 1984 e 2016

Modo de Crescimento	1999	2003	2007	2010	2016
Disperso	38,26	36,10	37,89	40,47	37,00
Contiguidade	39,58	36,71	38,75	41,25	38,68
Colmatação	41,05	37,27	40,53	43,01	40,33

A colmatação urbana é modo que exibe a média de Ts mais elevada, ao passo que o crescimento disperso o que detém o menor valor (Tabela III-33 e Tabela III-34). Esta situação, transversal a Braga e a Guimarães nas cinco datas em análise, pode decorrer de duas situações: primeira, os segmentos urbanos classificados como colmatação encontram-se rodeados por Ts elevadas, típicas das superfícies impermeáveis antrópicas, que potenciam o aumento da carga térmica; segunda, as edificações dispersas, permanecem rodeados por componentes biofísicas permeáveis mais frescas que não potenciam o seu aumento, como podem inclusive contribuir para o seu arrefecimento, nomeadamente através das brisas que se formam devido à diferença de temperatura, e logo de pressão (Oke, 1984). Além disto, de salientar que o crescimento disperso na AUBG se encontra, em geral, associado a habitações unifamiliares, que são ladeadas por pequenos talhões agrícolas, hortas ou jardins – que não sendo os tradicionais espaços verdes urbanos públicos – em termos climáticos desempenham igualmente um papel muito importante,

como comprovam os resultados. O crescimento urbano em contiguidade exibe valores médios de Ts intermédios (Tabela III-33 e Tabela III-34), considerando que nas suas imediações incluem as duas situações descritas.

A assinatura dos modos de crescimento urbano na AUBG (Figura III-91), em consonância com os obtidos por Tran *et al.* (2017) para a cidade de Hanoi no Vietname, demonstram que a contínua supressão dos espaços *vacantes* nos interstícios do tecido construído contribui para o aquecimento do núcleo urbano, com implicações notórias no conforto bioclimático destes espaços, bem como na saúde humana. Ao mesmo tempo fornece indicações de que o crescimento disperso, se bem planeado e ordenado, poderá constituir uma alternativa a considerar no incremento de tecido urbano – pelo menos no que ao ambiente térmico superficial diz respeito, pois muito outros aspetos deverão ser ponderados.

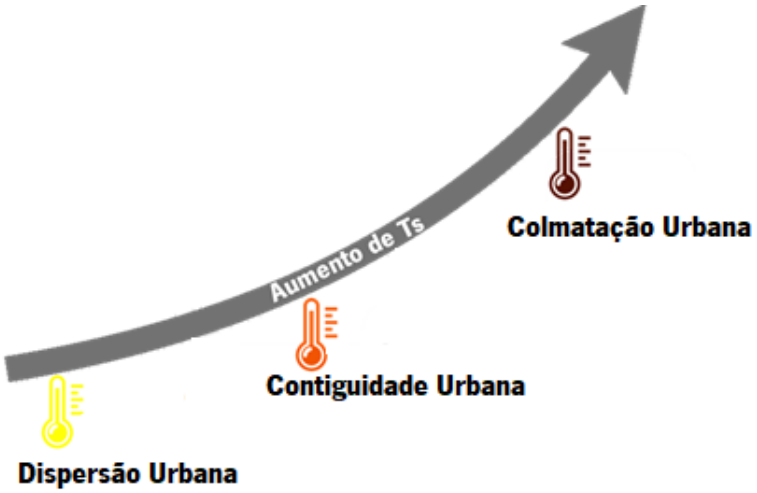


Figura III-91 – Gradiente térmico dos modos de crescimento urbano verificados na AUBG

Numa perspetiva comparativa entre os dois municípios – ainda que os valores médios de Ts de cada modo de crescimento urbano nunca sejam muito distintos (Tabela III-33 e Tabela III-34)–, sobressai o facto de em Guimarães o crescimento disperso deter em todas as datas Ts mais elevadas do que Braga. A explicação para esta situação reside nas peculiaridades do processo de urbanização difusa em Guimarães, dado que neste município, mais do que em Braga, se verifica não só o dispersar das habitações por todo território concelhio, como também da indústria – associado (como demonstrado anteriormente) a valores de Ts muito elevados. A colmatação urbana apresenta valores de Ts mais elevados em Braga em 1999, 2003 e 2016, enquanto o crescimento em contiguidade somente em 1999 é que detém valores mais elevados neste município (Tabela III-33 e Tabela III-34).

III – 4. As Mudanças no Ambiente Térmico

"Timely and accurate change detection of Earth´s surface feature provides the foundation for a better understanding of the relationship and interactions between human and natural phenomena in order to better manage and use resources".
|Lu *et al.*, 2011, p.273|

A comparação direta dos valores de Ts entre diferentes datas não é correta (Xiong *et al.*, 2012; Meng *et al.*, 2014; Fang, 2015; Rasul *et al.*, 2017), dado que podem variar substancialmente em função das condições atmosféricas que antecedem a passagem do satélite (entre outros fatores). Uma das formas de ultrapassar esta limitação, e tornar comparável as imagens de Ts entre diferentes datas, prende-se com a normalização dos valores, nomeadamente em função do mínimo e do máximo verificado em cada imagem. A temperatura de superfície normalizada (Ts*), que varia entre 0 e 1, não corresponde a um valor absoluto de Ts, mas sim do grau em que as áreas se aproximam das condições de frescura ou das condições de calor.

III – 4.1. Evolução Cronogeográfica

Entre 1984 e 2016 ocorrem profundas transformações no território da AUBG – fruto do acentuado processo de crescimento urbano –, que se consubstanciaram em modificações no ambiente térmico (Figura III-92); concorrendo igualmente para estas alterações as implicações das condições meteorológicas e das oscilações nas componentes biofísicas permeáveis.

Os núcleos urbanos centrais de Braga e de Guimarães destacam-se claramente pela continuidade espacial dos valores elevados de Ts*, sendo notório o aumento da sua dimensão espacial, decorrente da colmatação urbana dos espaços intersticiais e do crescimento em contiguidade com o tecido edificado pré-existente – particularmente no município de Braga (Figura III-92). No território vimaranense para lá das Ts* elevadas no interior do perímetro urbano, emerge – em todas as datas – uma estrutura rizomática colossal, caracterizada de igual modo por valores elevados, que com o aumento da altitude vão, ainda que gradualmente, cedendo lugar aos valores mais baixos de Ts*. Não obstante o comportamento deverás oscilatório deste rizoma, denota-se a sua ampliação no decorrer das três décadas em estudo. De facto, uma das principais diferenças no ambiente térmico de Guimarães, assim como de Braga, advém da maior ou menor presença de Ts* medianas, que efetuam a transição entre as áreas quentes e as frescas (Figura III-92).

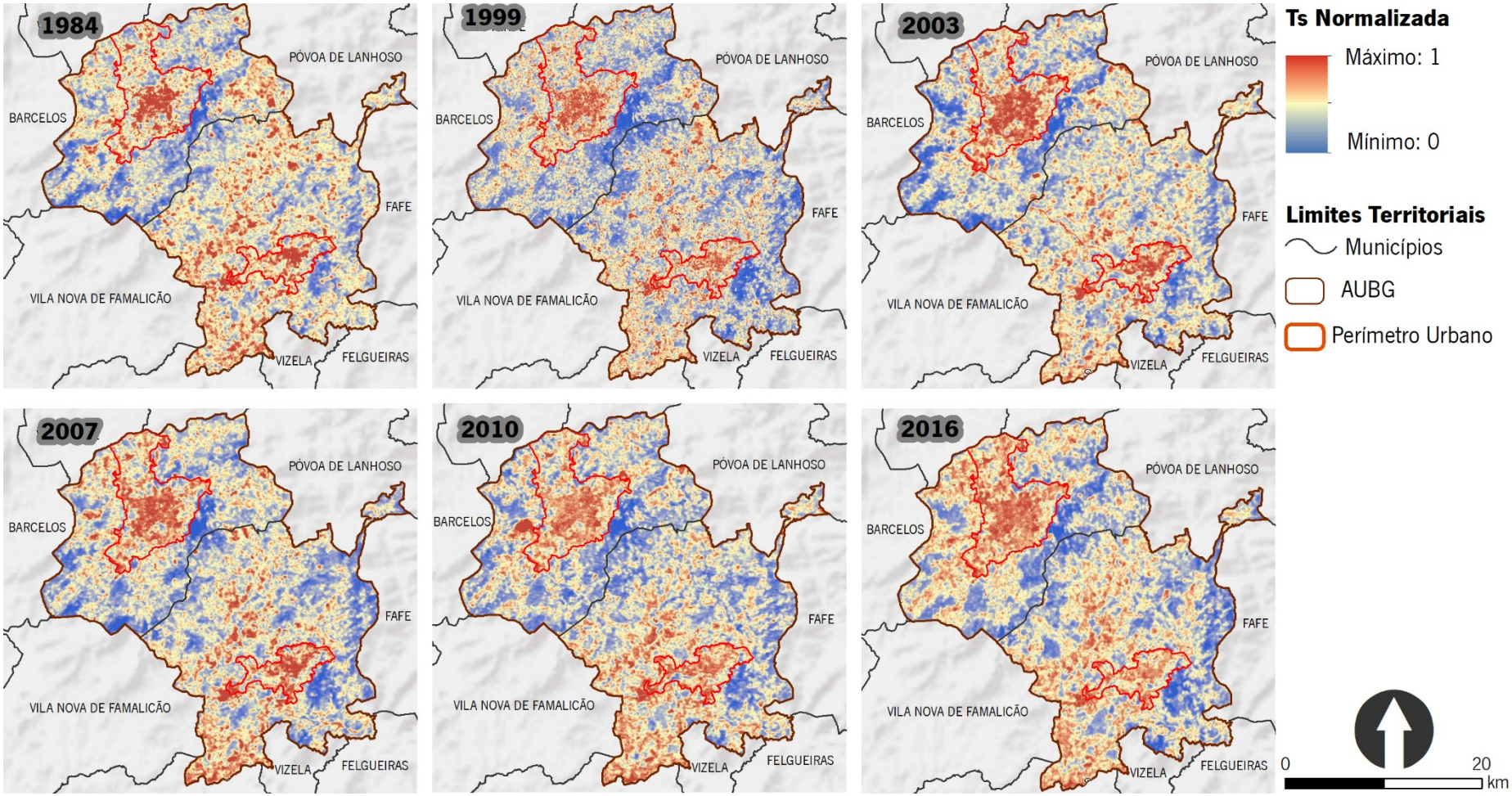


Figura III-92 – Ts* na AUBG entre 1984 e 2016

III – 4.1.1. Variação Bitemporal

A imagem de mudança bitemporal de Ts* permite escrutínio pormenorizado das mudanças no ambiente térmico ocorridas entre duas datas consecutivas, com base na diferença matemática *pixel-by-pixel*. Neste cômputo específico importa notar que o aumento de Ts* ocorre nos locais que – no contexto geral do território – surgem mais quentes na segunda data (por comparação com a primeira); e, que a diminuição de Ts* se verifica nas áreas que – no contexto geral do território – aparecem mais frescas na segunda data (por comparação com a primeira).

No primeiro intervalo considerado – 1984 a 1999 – verifica-se uma diminuição de Ts* no núcleo central da cidade de Braga e de Guimarães, porém nas áreas adjacentes (em direção ao limite do perímetro urbano) é notório o seu aumento (Figura III-93). Considerando o especificado anteriormente, a diminuição de Ts* nestes núcleos não indica que em 1999 estas áreas detêm um valor de Ts (absoluto; °C) mais elevado do que o verificado em 1984, mas sim que em 1984 – no contexto geral da AUBG – estes locais se encontravam mais próximos das condições de calor (*i.e.*, mais próximas de 1) do que o verificado em 1999. Esta situação advém da existência de 'outros pontos quentes' na AUBG para além dos dois núcleos centrais, precisamente aqueles onde se registam os aumentos de Ts*. Seguindo o mesmo raciocínio, estes aumentos traduzem os locais que se afastaram das condições de frescura que detinham em 1984, e, por consequência, se aproximam em 1999 das condições de calor.

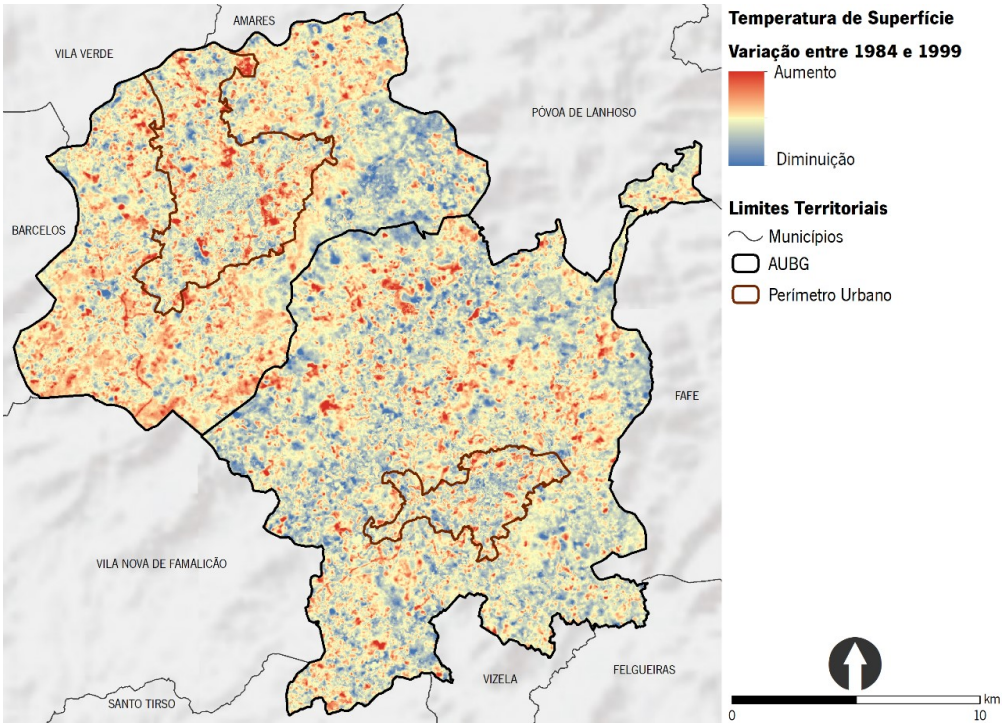


Figura III-93 – Variação de Ts* entre 1984 e 1999

Em Braga os aumentos de Ts* entre 1984 e 1999 concentram-se na coroa limítrofe do núcleo central pré-existente, ainda que extravasem claramente o limite do perímetro urbano. Em Guimarães verifica-se uma coroa similar de áreas que aquecem, sendo que no exterior do perímetro urbano os aumentos se concentram no setor Norte do município. Ademais, destacam-se pela sua linearidade os locais onde se verifica a abertura de novas vias rodoviárias na AUBG (Figura III-93).

Entre 1999 e 2003 a porção do território da AUBG em que não se verificam mudanças de Ts* é claramente superior ao intervalo 1984-1999. Diferentemente do verificado no hiato anterior, denotam-se aumentos de Ts* nos núcleos genéticos de Braga e de Guimarães, claramente mais expressivos junto ao limite que demarca o perímetro urbano. Uma vez mais sobressaem – pela sua linearidade – os aumentos decorrentes da abertura de novos eixos viários, nomeadamente os de alta velocidade como é o caso da A11, que liga Braga a Guimarães. As parcas reduções de Ts* concentram-se no limite Norte do município de Guimarães, e no caso bracarense no setor Oeste (Figura III-94) – onde se verifica um reforço das condições de frescura.

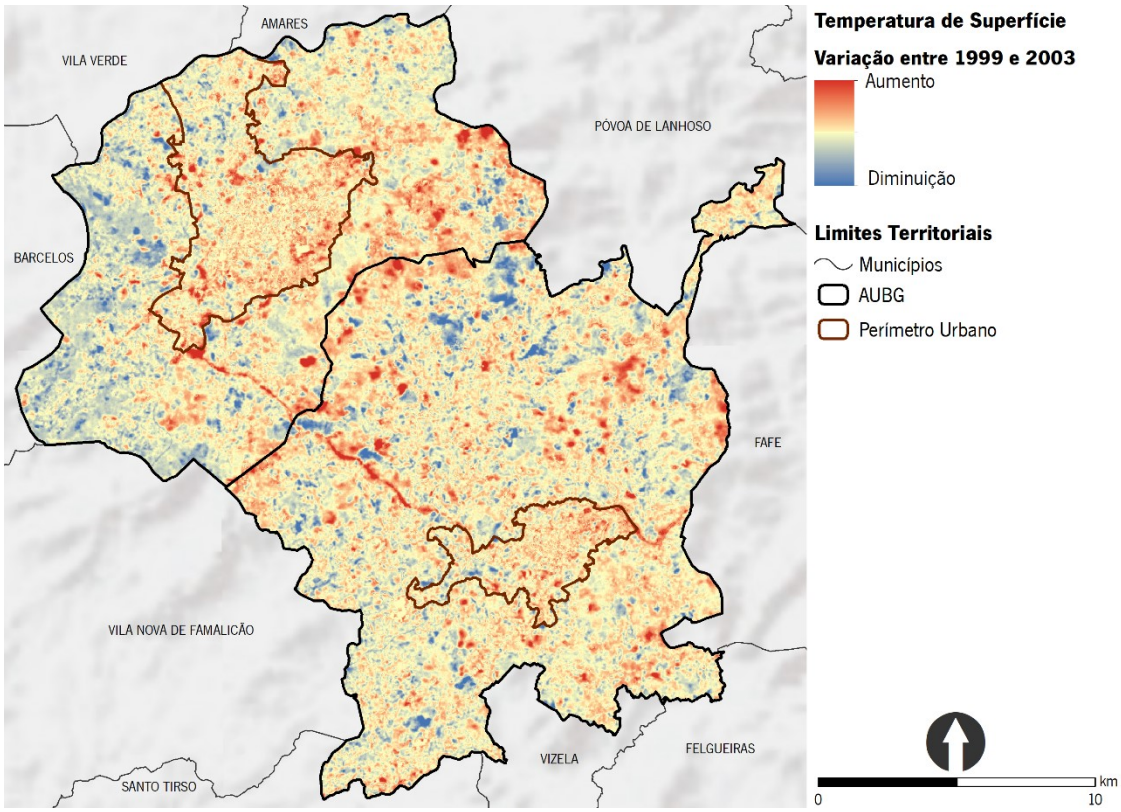


Figura III-94 – Variação de Ts* entre 1999 e 2003

Nos 4 anos que separam as imagens de 2003 e de 2007 pela primeira vez os dois centros urbanos exibem um comportamento ligeiramente diferenciado, dado que em Braga se verifica uma diminuição (e manutenção) de Ts*, enquanto em Guimarães ocorre um aumento (e manutenção). Ademais, são igualmente visíveis os aumentos que decorrem da ampliação da rede viária, mormente no setor Sul/Sudeste do município de Guimarães. Ao mesmo tempo, nos terrenos onde a A11 foi implantada constata-se uma marcada diminuição de Ts* (Figura III-95), indicando que em 2003 se aproximava muito mais das condições de calor do que em 2007 (devido à existência de outros pontos muito mais quentes). Esta informação em conjunto informa que as mudanças bitemporais do ambiente térmico – *i.e.*, aumentos e diminuições – repercutem em grande medida as alterações na estrutura urbana dos municípios de Braga e de Guimarães.

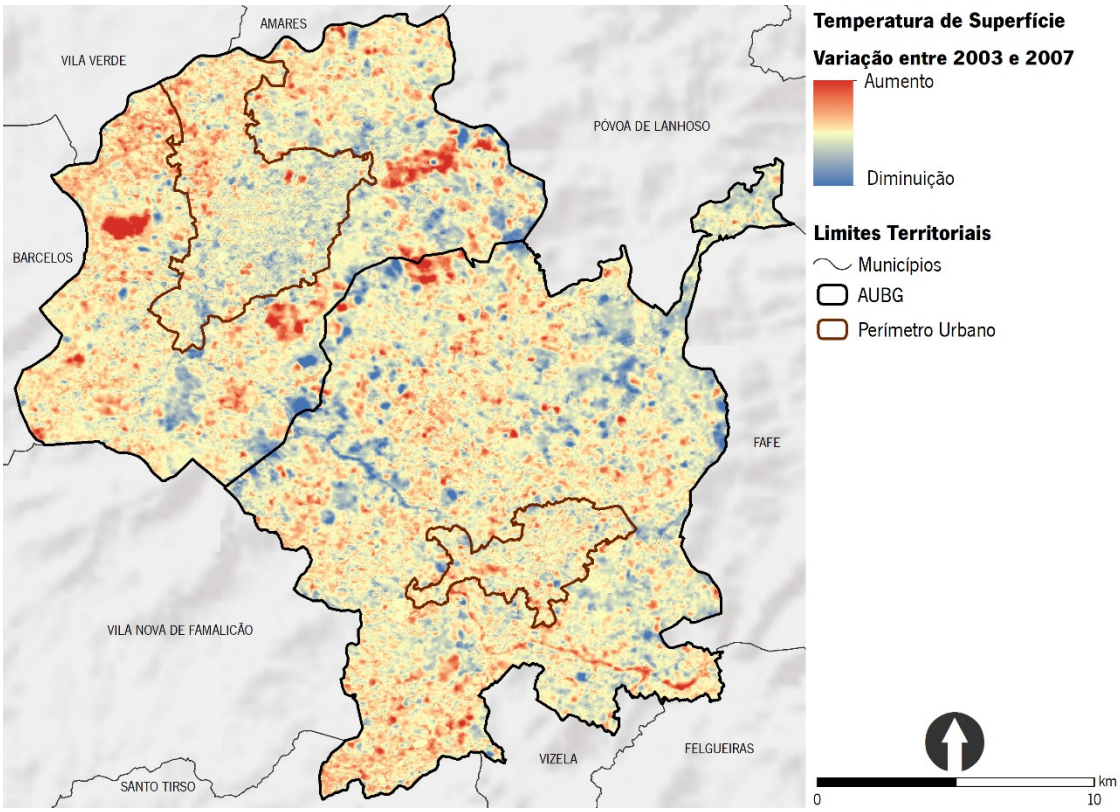


Figura III-95 – Variação de Ts* entre 2003 e 2007

Ademais, entre 2003 e 2007 sobressaem pela sua extensão espacial quatro *clusters* de aumentos de Ts*, dos quais apenas um se localiza em Guimarães, mais especificamente junto ao limite com o município de Braga. No território bracarense, estes *hotspots* desenvolvem-se no exterior do perímetro urbano, mormente a Oeste, Sul e Este desta circunscrição (Figura III-95).

Na comparação da imagem de mudança bitemporal de 2007-2010 com a de 2003-2007, sobressai logo a relação inversa das alterações de Ts* na AUBG – visto os aumentos mais notórios em 2003-2007 serem, tal-qualmente, os que em 2007-2010 exibem as descidas mais significativas. Deste modo, coloca-se que em evidência que as variações no ambiente térmico se encontram em clara dependência das características de cada imagem, sendo por efeito de situações transitórias (Figura III-96). No interior do perímetro urbano bracarense, assim como no vimaranense, observa-se uma diminuição generalizada de Ts*, fruto da existência em 2010 de áreas muitos quentes no limite Oeste desta circunscrição em Braga, onde se observam os maiores aumentos de Ts* (Figura III-96).

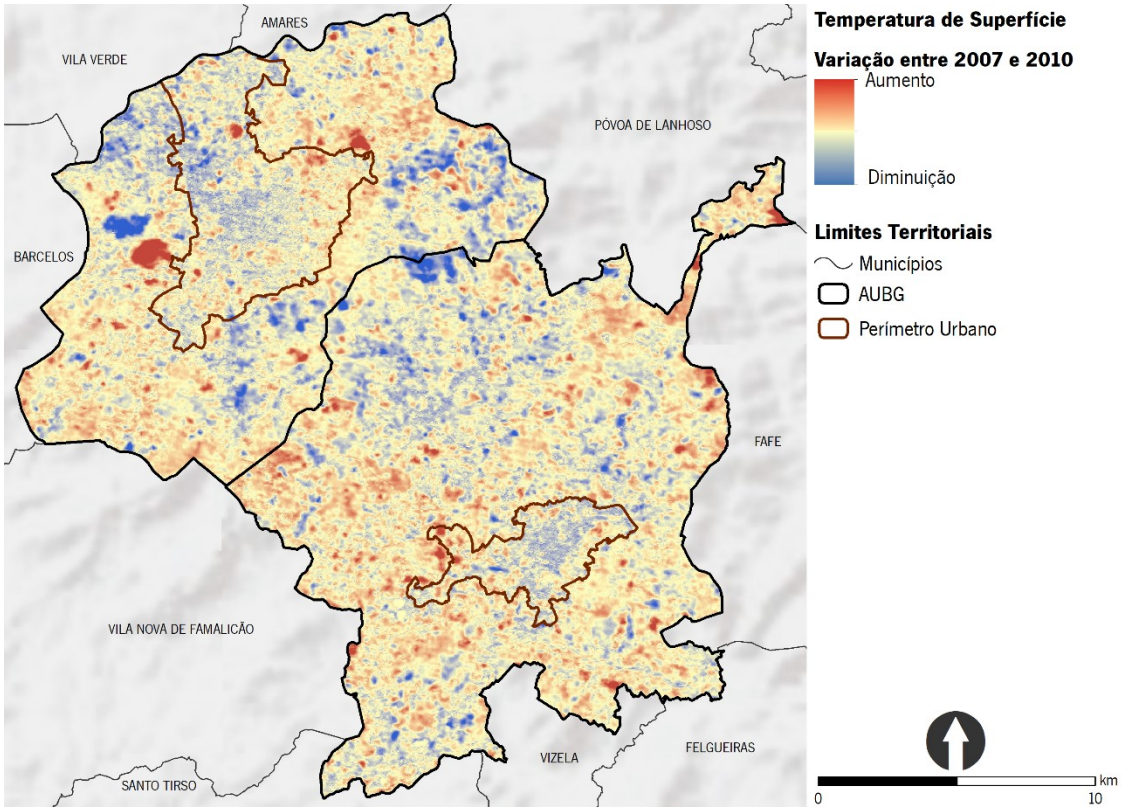


Figura III-96 – Variação de Ts* entre 2007 e 2010

Retomando as asserções efetuadas para os intervalos 2003-2007 e 2007-2010, também entre 2010 e 2016 as principais diminuições de Ts* coincidem com os locais onde no intervalo anterior se tinham experienciado aos aumentos mais significativos. De facto, a justaposição das imagens 2003-2007, 2007-2010 e 2010-2016 demonstra – de modo explícito – que grandes aumentos de Ts são sucedidos de grandes diminuições (Figura III-97).

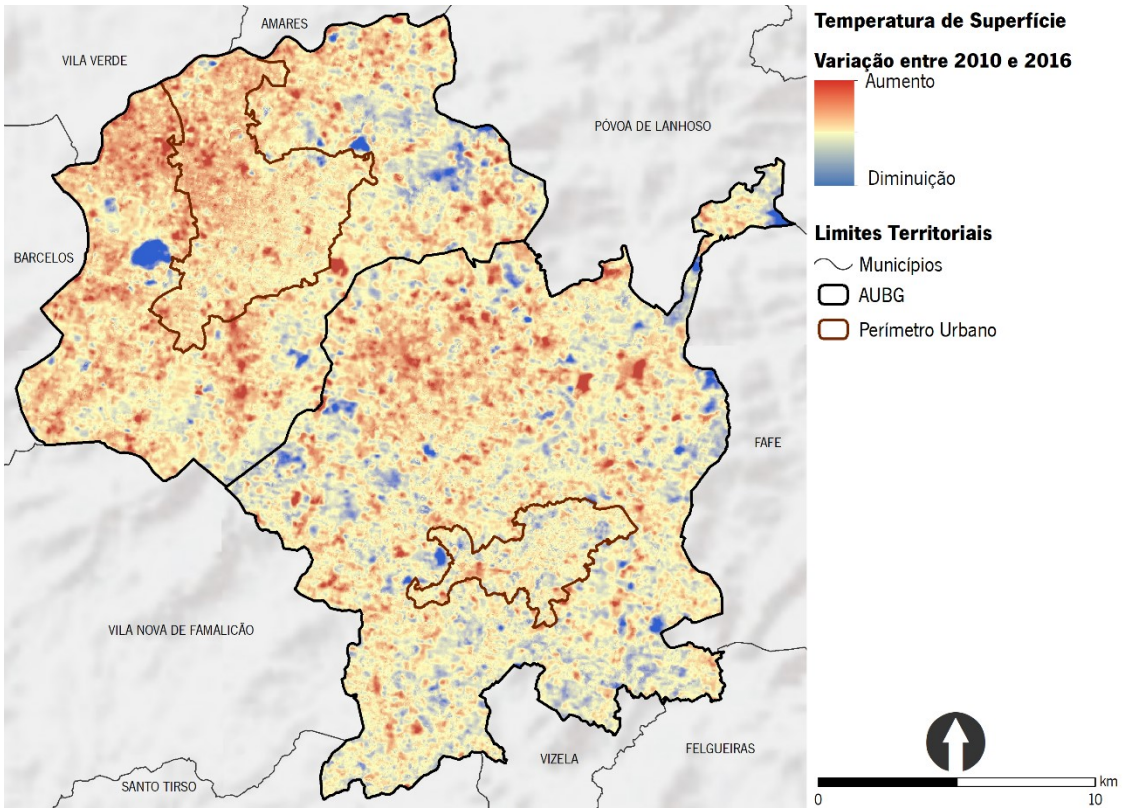


Figura III-97 – Variação de Ts* entre 2010 e 2016

Entre 2010 e 2016 o território contido no interior do perímetro urbano de Braga e de Guimarães exibe uma tendência de mudança ligeiramente diferenciada, dado que em Guimarães não se registam variações significativas de Ts*, ao passo que em Braga os aumentos são evidentes. Estes aumentos extravasam claramente esta circunscrição administrativa, com particular destaque para o setor Oeste do município bracarense. Por sua vez, em Guimarães os aumentos mais expressivos concentram-se no setor Norte (Figura III-97).

Da análise transversal das cinco imagens bitemporais de mudanças ressalta o comportamento oscilatório que os núcleos centrais de Braga e de Guimarães exibem, marcado por diminuições de Ts* seguido de aumentos (Figura III-98), decorrentes das modificações verificadas nestas áreas, mas sobretudo no território envolvente.



Figura III-98 – Síntese do comportamento térmico dos núcleos centrais de Braga e de Guimarães

Em síntese, quando consideradas as variações de Ts* de modo integrado (*i.e.*, com base na média dos valores de variação), individualiza-se o núcleo genético da cidade de Braga e de Guimarães, onde ocorre uma diminuição de Ts*. Nas áreas adjacentes verifica-se exatamente a situação oposta, sendo aí se concentrando-se aí os aumentos mais expressivos de Ts*. No restante território vimaranense verifica-se uma profunda mescla dos locais com aumentos e com diminuição de Ts*; ao passo que em Braga parece haver uma divisão mais binário do território, embora desigualmente repartida, dado que apenas o quadrante Sudeste regista uma diminuição de Ts* (Figura III-99).

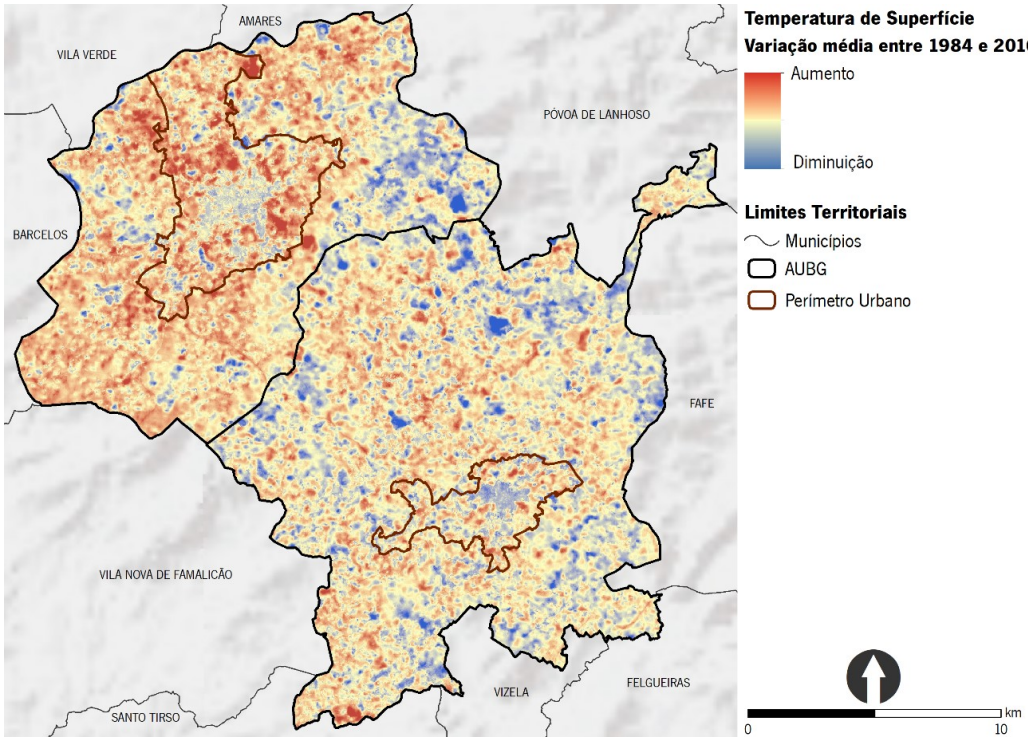


Figura III-99 – Média das variações de Ts* na AUBG entre 1984 e 2016

III – 4.1.2. Proposta de Classificação do Ambiente Térmico

A classificação de Ts* em função dos limiares utilizados por Xiong *et al.* (2012) e por Fang (2015), que traduzem áreas com características homogéneas do ponto de vista do ambiente térmico, permite perceber em cada data – numa perspetiva comparativa – quais as áreas mais frescas e as mais quentes. Em detalhe as cinco classes propostas são: 0 a 0,2 – áreas de frescura acentuada; 0,2 a 0,4 – áreas de frescura moderada; 0,4 a 0,6 – áreas medianas; 0,6 a 0,8 – áreas de calor moderado; e, 0,8 a 1 – áreas de calor acentuado (Figura III-100).

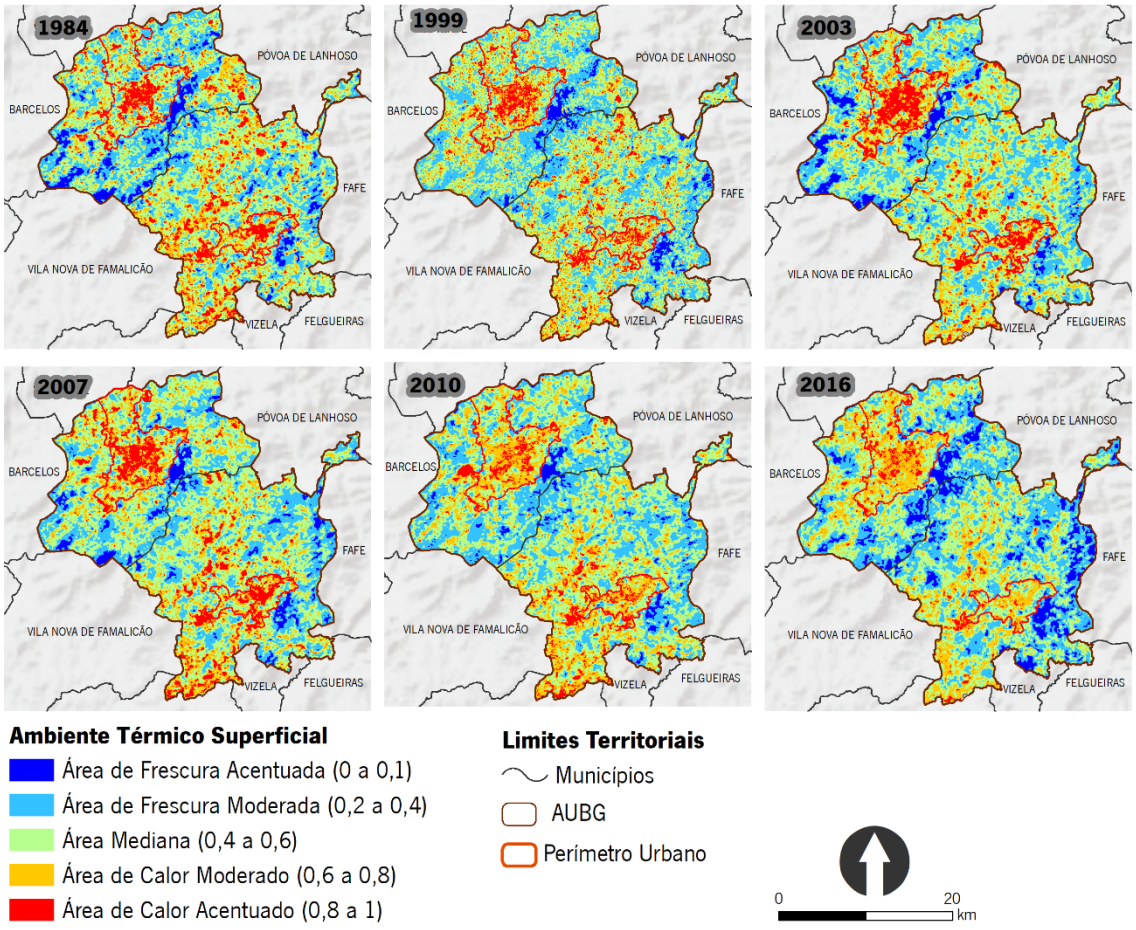


Figura III-100 – Evolução do ambiente térmico da AUBG entre 1984 e 2016, com base na classificação de Ts* proposta por Xiong *et al.* (2012)

Os núcleos urbanos de Braga e de Guimarães exibem em todas as datas um ambiente térmico marcado pelo calor moderado ou mesmo acentuado. Por seu turno, os interflúvios densamente florestados, correspondem às áreas de frescura, mais acentuada. No restante território da AUBG verifica-se uma ampla variação na classificação no ambiente térmico, salvo alguns pontos que, particularmente em Guimarães, aparecem invariavelmente como áreas de calor (Figura III-100).

Estas asserções tornam-se ainda mais explícitas quando aplicada a mesma classificação do ambiente térmico à média dos valores de Ts* verificados entre 1984 e 2016 (Figura III-101).

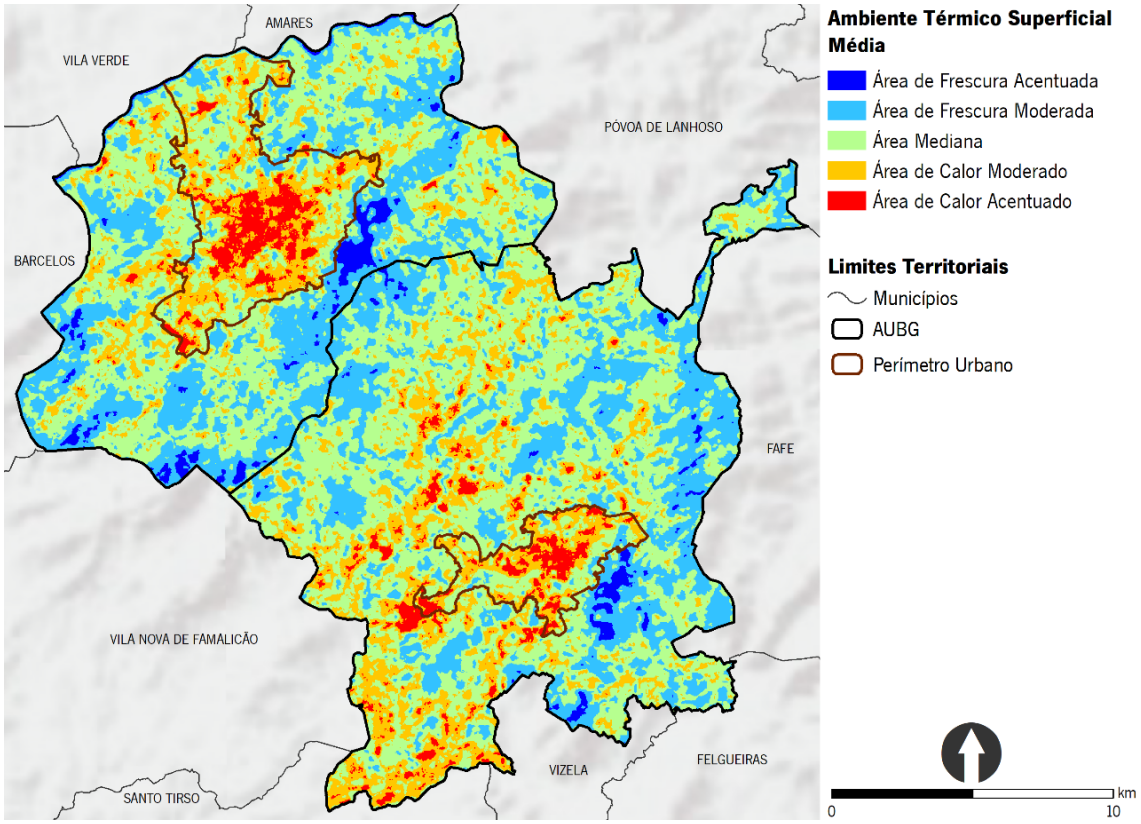


Figura III-101 – Síntese do ambiente térmico na AUBG entre 1984 e 2016, com base na classificação proposta por Xiong *et al.* (2012)

À parte das caraterísticas genéricas transversais a todas as datas, sobressai o comportamento oscilatório do ambiente térmico, sendo que nenhuma das classes exibe uma tendência evolutiva clara (Figura III-102). Esta situação afasta-se claramente dos resultados obtidos por Xiong *et al.* (2012), que demonstram um aumento linear das classes de calor moderado e acentuado na cidade Guangzhou (China) entre 1990 e 2009; ou por Fang (2015) que encontrou o mesmo cenário entre 2000 e 2013 em Dangshan (China).

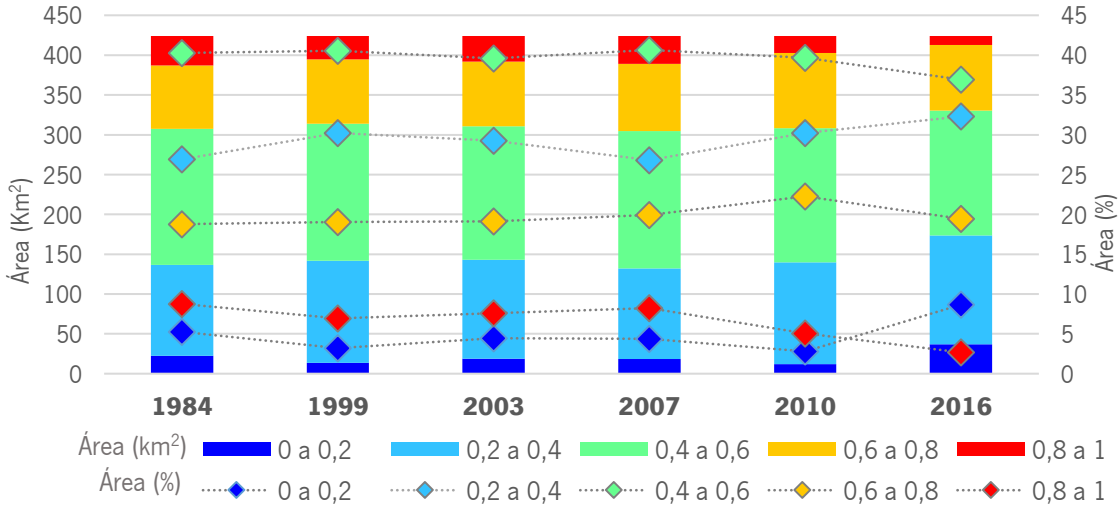


Figura III-102 – Representatividade (%) das classes ambiente térmico na AUBG entre 1984 e 2016, segundo a classificação proposta por Xiong *et al.* (2012)

As datas com a Ts (absolutas) mais elevadas (*i.e.*, 2010 e 2016) são – paradoxalmente – as que apresentam menor área sob efeito de calor acentuado (Figura III-102). Efetivamente, tal como referido aquando da normalização de Ts, observa-se que a existência de pontos extremamente quentes em 2010 (*i.e.*, uma área ardida recente) leva a que o restante território (ainda que muito quente) pareça consideravelmente mais fresco e, como tal, é englobado na classe de calor moderado ou na classe mediana. Por oposição, em 1984, como a globalidade do território apresentava Ts baixas, o centro urbano de Braga e de Guimarães aprece como uma área de calor acentuado, e não moderado como sucede em 2010 ou 2016 (Figura III-100).

Atendendo ao exposto, denota-se que esta metodologia, apesar de proporcionar resultados interessantes noutros estudos, apresenta severas limitações, dado que é afetada pela distribuição dos valores de Ts. Ainda que neste trabalho os valores discrepantes tenham sido excluídos aquando da normalização de Ts, a sua influência continua a refletir-se nesta classificação do ambiente térmico. Com efeito, para um maior entendimento das mudanças no ambiente térmico na AUBG entre 1984 e 2016 revela-se imperativo a inclusão de outros métodos de análise.

III – 4.2. Caracterização do Processo de Mudança

Atendendo às limitações que a classificação do ambiente térmico utilizada por Xiong *et al.* (2012) e por Fang (2015) apresenta na AUBG, recorre-se à metodologia proposta por Chen *et al.* (2016). Os pressupostos deste método assentam na classificação de Ts – porém, diferentemente do proposto pelos autores, não se consideram os valores absolutos (ºC), mas sim os normalizados em função do máximo e do mínimo não discrepante. Assim sendo, os valores de Ts* foram divididos em cinco classes, tendo como referência limiares definidos em função da média e do desvio-padrão de cada imagem.

Na caracterização do processo de mudança do ambiente térmico da AUBG começa-se por analisar o padrão espacial de Ts* ao longo das seis datas em análise, após a aplicação dos limiares propostos por Chen *et al.* (2016), bem como a representatividade espacial de cada categoria de Ts*. Em seguida, determina-se a direção de mudança que as classes do ambiente térmico exibem entre cada par de datas, com o intuito de determinar os ganhos e perdas de carga térmica ocorridos. Neste seguimento procede-se à quantificação das mudanças, mormente os grandes aumentos, as grandes diminuições, enquadrando-se o restante território por defeito nas pequenas variações. Por fim, com recurso à estatística *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I) sintetiza-se a tendência espacial de mudança do ambiente térmico.

III – 4.2.1. Padrão Espacial

O padrão espacial do ambiente térmico da AUBG – decorrente da categorização de Ts* proposta por Chen *et al.* (2016) – corrobora as ilações anteriores, que os núcleos centrais de Braga e de Guimarães constituem as áreas mais quentes (e, por isso, integradas na categoria de temperatura elevada ou muito elevada), e que estas se foram expandindo no decorrer dos 32 anos abarcados. Sem embargo, denota-se igualmente a presença da categoria de Ts* elevadas e muito elevadas no exterior destes núcleos, bem como do perímetro urbano (Figura III-103). Do ponto de vista espacial, o gradiente térmico observado é marcado por uma transição suave (embora mais ou menos ampla) entre as áreas mais quentes e as mais frescas. Neste seguimento, a categoria de Ts* muito elevada é ladeada de uma fina coroa de Ts* elevada (sem embargo à reduzida largura, estende-se significativamente no espaço), seguindo-se a categoria de Ts* mediana, que se espraia por todo o território, até ao ponto em que cede lugar à Ts* baixa. Por fim, a categoria de Ts* muito

baixa, à semelhança da muito elevada, emerge na paisagem pela sua agregação e confinamento espacial (Figura III-103). Esta descrição encontra-se muito próxima da efetuada a propósito da classificação do ambiente térmico baseada na classificação proposta por Xiong *et al.* (2012).

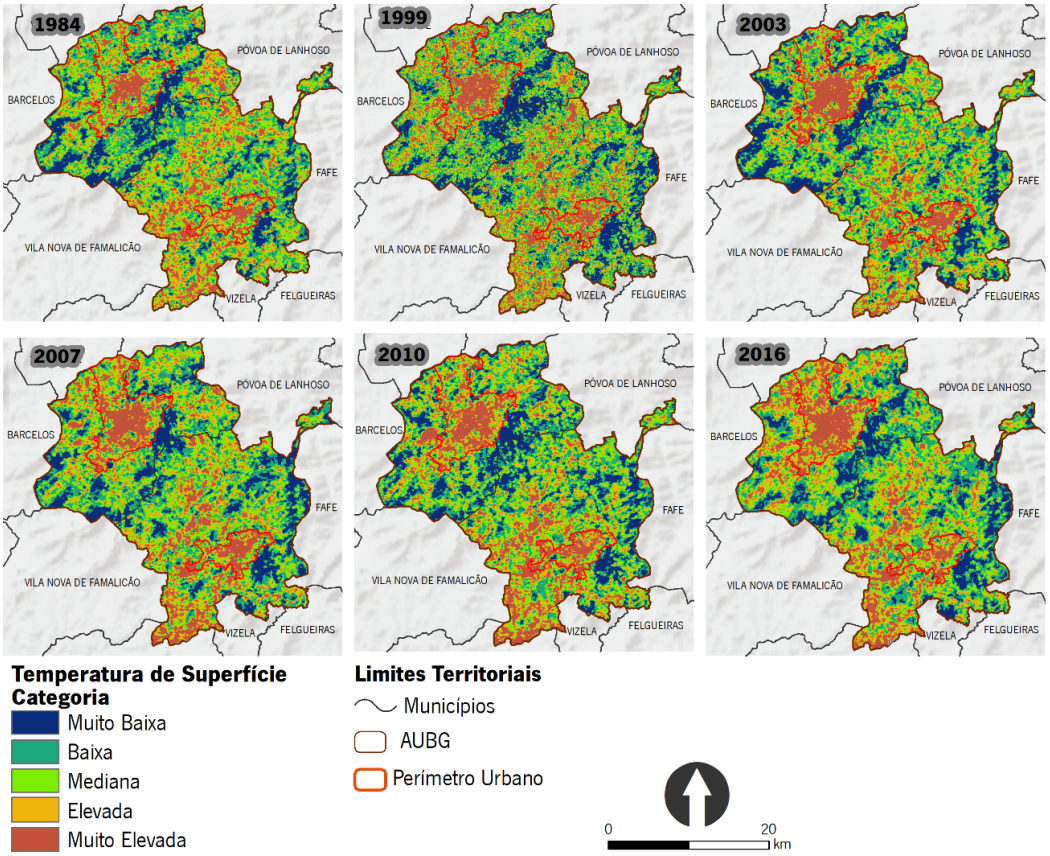
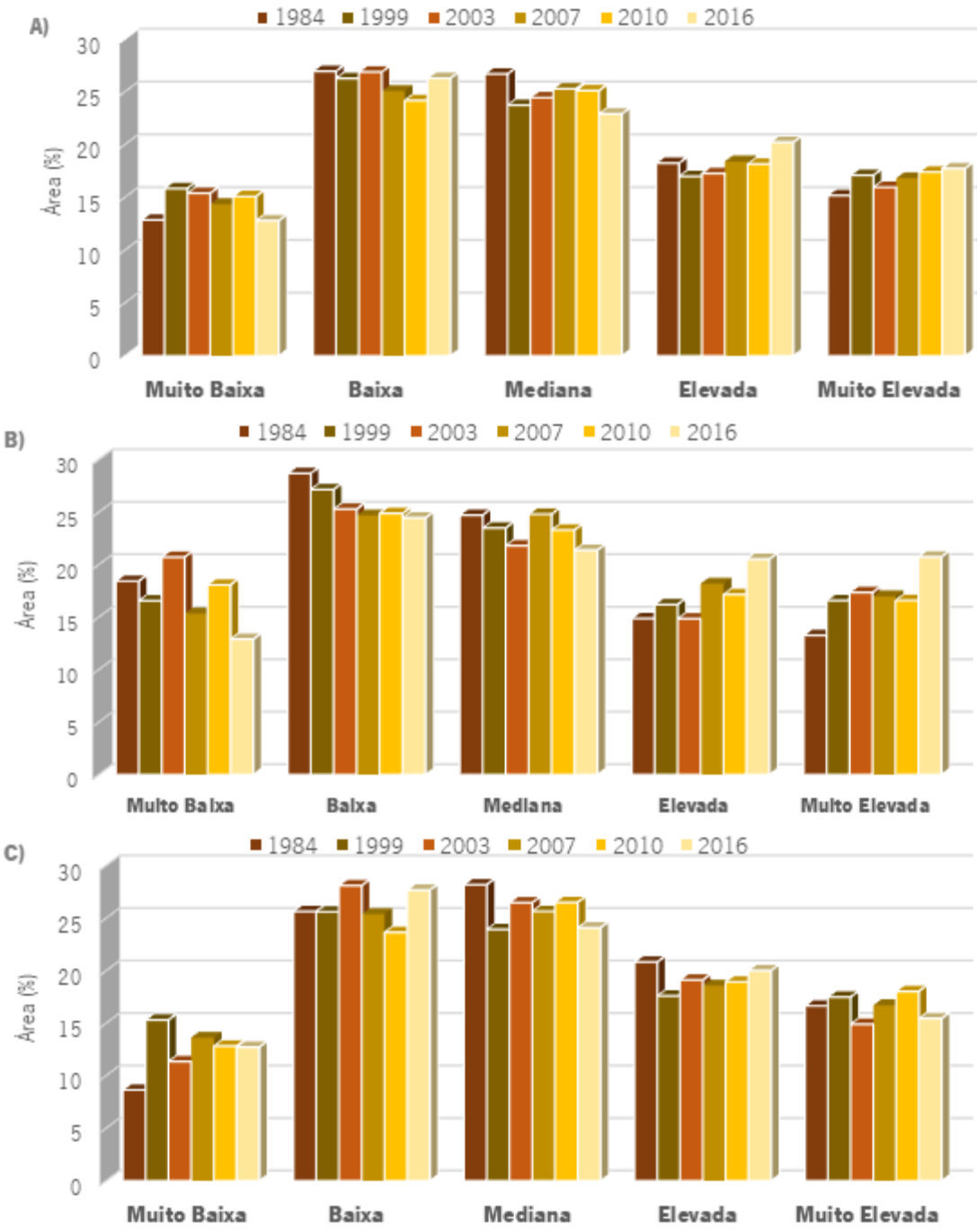


Figura III-103 – Evolução do ambiente térmico na AUBG entre 1984 e 2016, com base na categorização de Ts* proposta por Chen *et al.* (2016)

A representatividade espacial das cinco categorias de Ts* não evidenciam variações muito expressivas ao longo das seis décadas em análise. Ainda assim, e considerando a AUBG de modo integrado, verifica-se que as categorias baixa e mediana são as que ocupam maior extensão espacial, sendo a percentagem de território ocupado sempre superior a 20%, facto alcançado pela categoria de Ts* elevada em 2016 (Figura III-104). Nas seis imagens analisadas de destacar os seguintes anos: (i) 1984 por concentrar, ao mesmo tempo, a maior representatividade espacial da categoria mediana e a menor da categoria muito elevada; (ii) 1999, no qual se verifica a maior extensão espacial da categoria muito baixa e a menor da categoria elevada; e (iii) 2016, que acumula em simultâneo a maior representatividade espacial das categorias elevada e muito elevada, e as menores das categorias muito baixa e mediana. O ano de 2003 apresenta a maior representatividade espacial da categoria baixa, cujo menor valor ocorre em 2010. Posto isto, notar

que a maior representatividade das categorias de Ts* mais baixas ocorre nas primeiras datas em estudo, enquanto nas classes mais elevadas tal sucede nas duas últimas datas (Figura III-104), evidenciando um aquecimento da AUBG.



A) AUBG; B) Município de Braga; C) Município de Guimarães.

Figura III-104 – Representatividade (%) das categorias de Ts* na AUBG entre 1984 e 2016, definidas pelos limiares propostos por Chen *et al.* (2016)

Uma análise detalhada revela que nas datas de 1984, 1999 e 2010 as classes de Ts* mais baixas preponderam em Braga. Em 2003 e 2007 este município acumula a maior representatividade espacial das duas categorias de Ts* mais extremas– *i.e.*, muito baixa e muito elevada. De facto, somente em 2016 é que em Guimarães a porção do território ocupado pela categoria de Ts* muito baixa é maior do que em Braga (Figura III-104). Outro aspeto relevante, é facto de a classe mediana ser – em todas as datas – mais representativa em Guimarães do que em Braga, sendo efetivamente a única categoria em que tal acontece (Figura III-104). A explicação para esta situação poderá residir na maior dispersão territorial das categorias de Ts *mais elevadas em Guimarães – decorrente do modelo territorial difuso – que a classe mediana tende a ladear (Figura III-103).

III – 4.2.2. Direção

Para desvendar a origem das alterações verificadas no ambiente térmico da AUBG recorre-se à matriz de transição, que traduz a natureza das mudanças (*i.e.*, de quê, para quê?), sintetizando a todas as combinações possíveis. Sem embargo, esta técnica permite, em primeira instância, a divisão do território entre o que muda e o que permanece estável, em referência ao sistema de classificação em análise. Por conseguinte, o agrupamento binário dos dados da matriz – *i.e.,* estável e não estável – revela uma tendência para a estabilização do território, dado que a partir do intervalo 2007-2010 o território estável passa a deter maior importância do que o não estável (Tabela III-35). Esta estabilidade encontra-se associada em grande medida à categoria de Ts* baixa, visto ser a categoria que detém em todas datas a maior percentagem de território estável (à exceção de 2007-2010, embora a diferença seja particamente insignificante). Em sentido distinto, a categoria de Ts* elevada detém, de modo sistemático, a menor percentagem de território estável (Tabela III-35), podendo esta situação se encontrar associada às características térmicas do solo nu.

Relativamente às mudanças nas categorias de Ts* constata-se que a troca direta entre categorias mais extremas – *i.e.*, muito baixa para muito elevada ou muito elevada para muito baixa – ocorre em porções quase insignificantes do território da AUBG. Concretizando, a mudança da categoria muito elevada para muito baixa (claramente benéfica) é em todas as datas inferior a 0,25% do território; a passagem da categoria muito baixa para muito elevada (deveras problemática) nunca é superior a 0,31% do território. Nesta lógica, as mudanças entre as categorias elevada para muito

baixa, bem como no sentido inverso, são igualmente reduzidas, sendo raras as vezes que ultrapassam os 0,5% do território (Tabela III-35).

Tabela III-35 – Matriz de transição das mudanças nas categorias de Ts* na AUBG, definidas pelos limiares propostos por Chen *et al.* (2016), por intervalos bitemporais (1984-2016)

A) Categoria	Muito Baixa	Baixa	Mediana	Elevada	Muito Elevada	Total
Muito Baixa	**7,31**	3,74 (↑)	1,11 (↑)	0,42 (↑)	0,31 (↑)	12,88
Baixa	5,78 (↓)	**10,70**	6,09 (↑)	2,70 (↑)	1,70 (↑)	26,97
Mediana	2,03 (↓)	7,71 (↓)	**8,73**	5,09 (↑)	3,13 (↑)	26,70
Elevada	0,58 (↓)	3,18 (↓)	5,63 (↓)	**5,10**	3,77 (↑)	18,26
Muito Elevada	0,16 (↓)	0,95 (↓)	2,19 (↓)	3,69 (↓)	**8,20**	15,19
Total	15,86	26,29	23,75	17,00	17,11	**100**

B) Categoria	Muito Baixa	Baixa	Mediana	Elevada	Muito Elevada	Total
Muito Baixa	**8,73**	4,96 (↑)	1,32 (↑)	0,55 (↑)	0,29 (↑)	15,86
Baixa	4,72 (↓)	**11,50**	6,83 (↑)	2,20 (↑)	1,04 (↑)	26,29
Mediana	1,26 (↓)	6,48 (↓)	**9,22**	5,04 (↑)	1,75 (↑)	23,75
Elevada	0,45 (↓)	2,46 (↓)	4,88 (↓)	**5,91**	3,30 (↑)	17,00
Muito Elevada	0,24 (↓)	1,49 (↓)	2,21 (↓)	3,58 (↓)	**9,58**	17,11
Total	15,40	26,89	24,46	17,28	15,97	**100**

C) Categoria	Muito Baixa	Baixa	Mediana	Elevada	Muito Elevada	Total
Muito Baixa	**8,76**	4,72 (↑)	1,20 (↑)	0,43 (↑)	0,30 (↑)	15,40
Baixa	4,06 (↓)	**12,30**	7,79 (↑)	2,18 (↑)	0,56 (↑)	26,89
Mediana	1,04 (↓)	5,72 (↓)	**10,53**	5,84 (↑)	1,33 (↑)	24,46
Elevada	0,38 (↓)	1,71 (↓)	4,49 (↓)	**6,90**	3,80 (↑)	17,28
Muito Elevada	0,14 (↓)	0,65 (↓)	1,27 (↓)	3,07 (↓)	**10,84**	15,97
Total	14,37	25,09	25,30	18,41	16,83	**100**

D) Categoria	Muito Baixa	Baixa	Mediana	Elevada	Muito Elevada	Total
Muito Baixa	**8,45**	4,48 (↑)	1,06 (↑)	0,20 (↑)	0,18 (↑)	14,37
Baixa	4,44 (↓)	**11,43**	7,19 (↑)	1,45 (↑)	0,58 (↑)	25,09
Mediana	1,46 (↓)	6,08 (↓)	**11,09**	5,34 (↑)	1,32 (↑)	25,30
Elevada	0,51 (↓)	1,68 (↓)	4,84 (↓)	**7,65**	3,75 (↑)	18,41
Muito Elevada	0,24 (↓)	0,52 (↓)	0,95 (↓)	3,54 (↓)	**11,59**	16,83
Total	15,10	24,19	25,12	18,18	17,42	**100**

E) Categoria	Muito Baixa	Baixa	Mediana	Elevada	Muito Elevada	Total
Muito Baixa	**7,88**	5,40 (↑)	1,29(↑)	0,36 (↑)	0,16 (↑)	15,09
Baixa	3,84 (↓)	**12,37**	5,69 (↑)	1,83 (↑)	0,46 (↑)	24,19
Mediana	0,76 (↓)	6,95 (↓)	**10,48**	5,77 (↑)	1,16 (↑)	25,12
Elevada	0,17 (↓)	1,10 (↓)	4,51	**8,57**	3,83 (↑)	18,18
Muito Elevada	0,15 (↓)	0,47 (↓)	0,95	3,71	**12,14**	17,42
Total	12,80	26,29	22,92	20,24	17,74	**100**

Intervalo temporal: A) – 1984-1999; B) 1999-2003; C) 2003-2007; D) – 2007-2010; e, E) 2010-2016.
Carga térmica: ↓ - diminuição e ↑ - aumento.

As mudanças mais significativas nas categorias de Ts* prendem-se, regra geral, com trocas entre categorias próximas, sobressaindo as seguintes alterações: de mediana para baixa, entre 1984-2004 e 2010-2016, de baixa para mediana, entre 1999-2003, 2003-2007 e 2007-2010 (Tabela III-35). Uma análise detalhada da matriz de transição das mudanças de Ts* demonstra que os ganhos e perdas de cada categoria são transversais aos cinco intervalos em análise. Sintetizando as principais perdas em cada categoria do seguinte modo: de muito baixa para baixa; de baixa para mediana; de mediana para baixa; de elevada para mediana; e de muito elevada para elevada. Em igual sentido, os ganhos advêm: na muito baixa da baixa; na baixa da mediana; na mediana da elevada; na elevada da mediana; e na muito elevada da elevada.

Adicionalmente, diferenciou-se a natureza das mudanças em função da carga térmica – mormente, aumentos e diminuições –, que se situam em lados diametralmente opostos da matriz (Tabela III-35). Nos cinco intervalos temporais em análise somente num – 1999-2003 – é que os aumentos não superam as diminuições (do ponto de vista percentual), ainda que as diferenças sejam deveras exíguas, designadamente 27,29% nos aumentos *versus* 27,77% nas diminuições (Figura III-105).

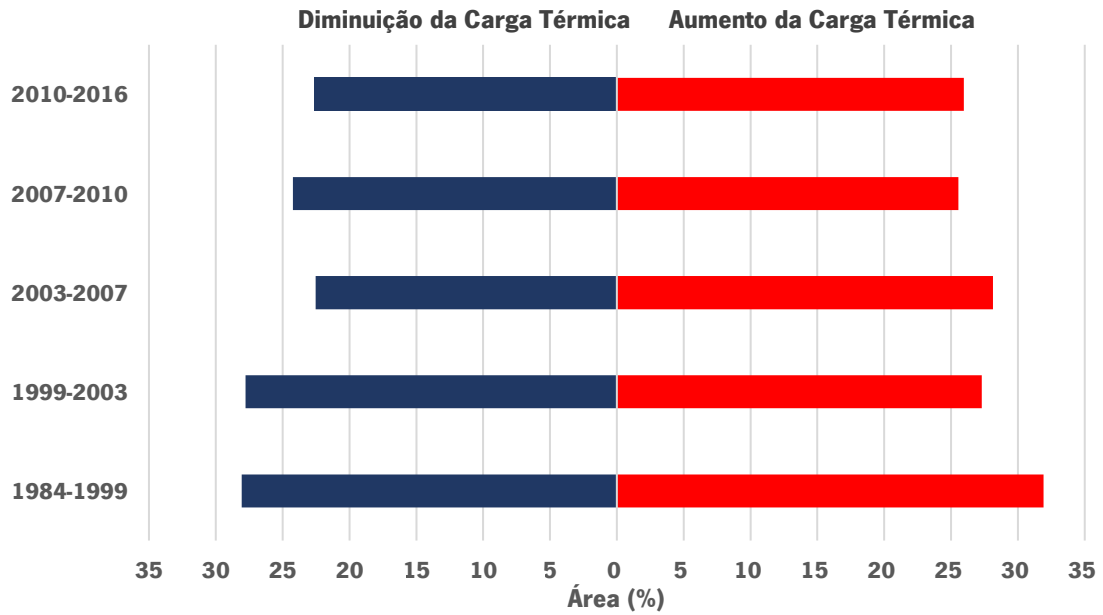


Figura III-105 – Aumentos e diminuições da carga térmica na AUBG entre 1984 e 2016

No intervalo 1984-1999 regista-se a maior proporção de território da AUBG que sofre um incremento da carga térmica, sendo mesmo este o único período em que esse valor é superior a 30%. Concomitante, decorrente do facto de este ser o intervalo com menor percentagem de

território estável, registam-se igualmente os maiores valores de território no qual ocorre uma diminuição da carga térmica (*i.e.*, 28,05%). Por outro lado, no intervalo 2003-2007 registam-se as diferenças percentuais mais significativas entre o território que sofre aumentos da carga térmica e aquele onde se verificam diminuições, dado que neste intervalo registam-se aumentos em 28,14% da AUBG, enquanto as diminuições ocorrem em apenas 22,53% do território.

III – 4.2.3. Magnitude

Para quantificar a magnitude das mudanças no ambiente térmico da AUBG entre 1984 e 2016 recorre-se, uma vez mais, à metodologia proposta por Chen *et al.* (2016), assente na técnica de diferenciação de imagens, e tendo como referência a imagem de Ts* categorizada (Figura III-103), porém convertida em valores numéricos. Considerando a diversidade de resultados possíveis na diferenciação de imagens, optou-se por agrupar as mudanças verificadas no ambiente térmico em grandes tendências – designadamente grandes aumentos, grandes diminuições e pequenas variações – que ressalta os locais onde a magnitude foi mais acentuada.

Em consonância com a informação reportada pela matriz de transição (Tabela III-35), denota-se que uma vasta parte do território da AUBG não exibe mudanças no ambiente térmico, ou então quando estas ocorrem são de reduzida magnitude. Este facto, transversal aos cinco intervalos temporais analisados, acentuou-se entre 1984 e 2016 (Figura III-106). Assim, quanto maior a metamorfose do território de permeável para impermeável, mais este se torna imutável do ponto de vista do ambiente térmico superficial. Estes resultados indiciam que as superfícies impermeáveis antrópicas exibem um comportamento térmico mais homogéneo do que o território permeável, uma vez que os valores de Ts destas áreas se encontram dependentes, entre outros aspetos, da densidade e altura da vegetação e das condições de humidade do solo. De lembrar que, estes fatores são fortemente influenciados pelas condições meteorológicas que antecedem a captura das imagens de satélite, entre outros fatores.

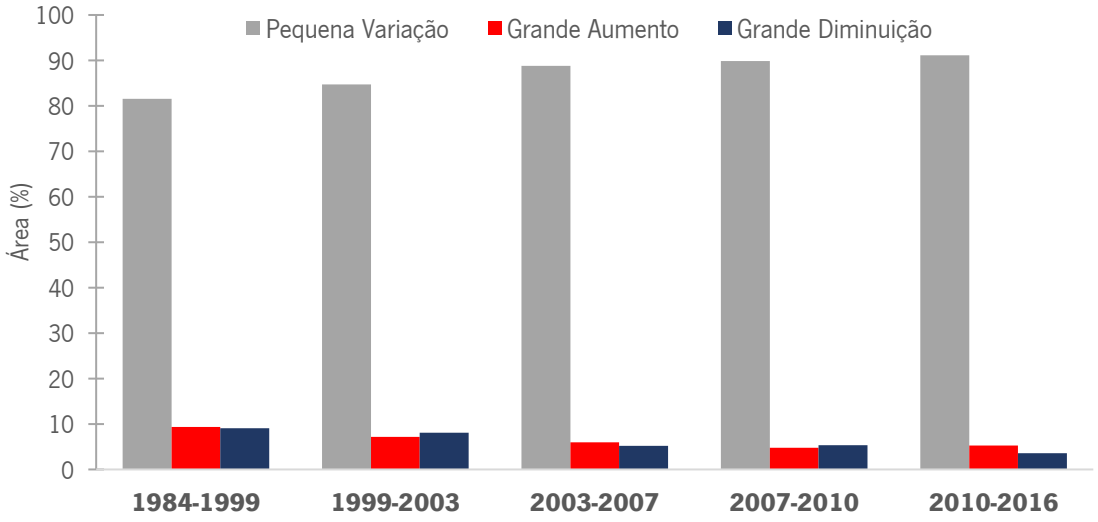
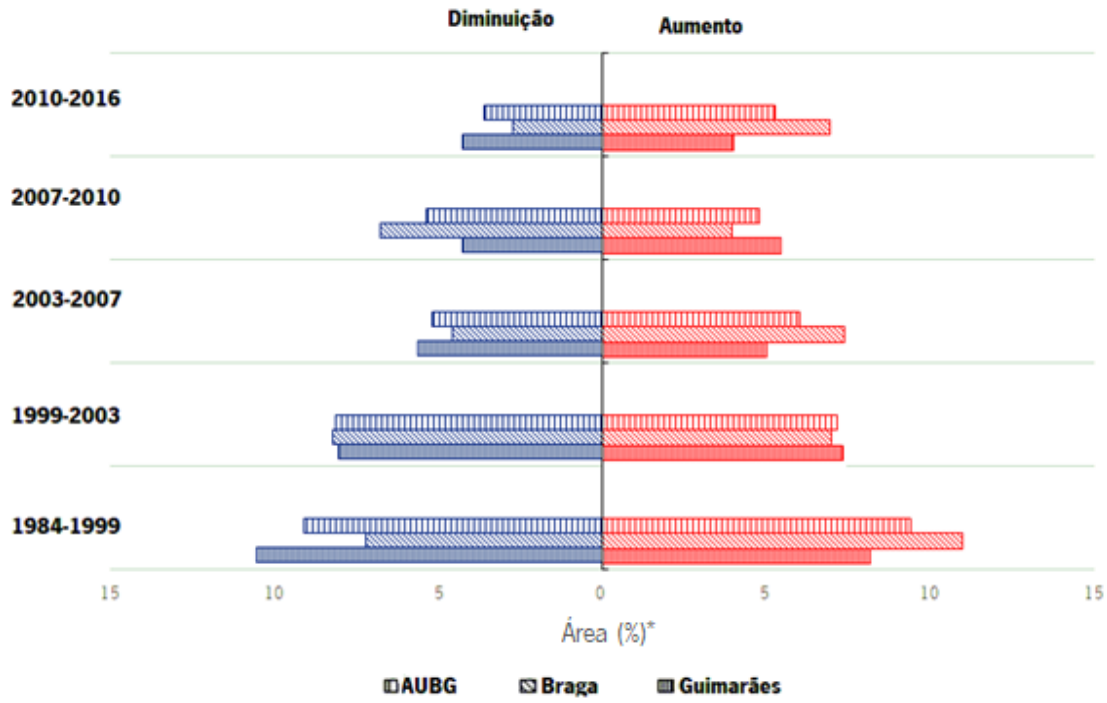


Figura III-106 – Repartição espacial (%) das grandes tendências de mudanças no ambiente térmico da AUBG entre 1984 e 2016

Colocando de parte o território onde as mudanças no ambiente térmico decorrem de pequenas variações, e focando apenas nos grandes aumentos e nas grandes diminuições constata-se, em função do exposto anteriormente, que estes afetam sucessivamente menor percentagem do território da AUBG, bem como de cada um dos municípios, se considerados de modo individual (Figura III-107).



*Percentagem de área determinada em função da área total da AUBG e de cada um dos municípios.

Figura III-107 – Repartição espacial (%) dos grandes aumentos e das grandes diminuições no ambiente térmico da AUBG e dos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Numa perspetiva comparativa do município de Braga com o de Guimarães, constata-se que nos anos em que as diminuições afetam menos território num município, corresponde exatamente aos anos em que se verificam os maiores aumentos no outro. Assim, nos intervalos 1984-1999, 2003-2007 e 2010-2016, as grandes diminuições são mais expressivas em Guimarães, enquanto os grandes aumentos sobressaem em Braga. Por sua vez, denotando uma sucessão linear, nos intervalos 1999-2003 e 2007-2010 verifica-se a situação oposta (Figura III-107).

À espacialização da informação das mudanças do ambiente térmico, agrupada em grandes tendências (Chen *et al.*. 2016), sobrepôs-se o ponto central dos aumentos e diminuições, que partir do seu centro gravítico, sintetiza o padrão espacial de mudança verificado em cada intervalo temporal. Vale reforçar uma vez mais que, esta medida de tendência central foi calculada para os dois municípios de modo individual.

No hiato temporal 1984-1999 denota-se no município de Braga uma clara disjunção espacial das mudanças no ambiente térmico, no sentido Oeste-Este, concentrando-se os grandes aumentos no primeiro setor e as grandes diminuições no segundo. No interior do perímetro urbano ocorre um aumento generalizado da Ts*, excetuando-se apenas o território onde se encontra implantado o núcleo genético da cidade de Braga (Figura III-108), como constatado anteriormente. Por sua vez, em Guimarães, as mudanças distribuem-por todo o território concelhio, encontrando-se profundamente mesclada as áreas de aumentos com a aquelas onde se verifica uma diminuição acentuada. A sobreposição do ponto central dos grandes aumentos, com o das grandes diminuições, comprova exatamente essa situação. Sem embrago, os grandes aumentos de Ts* são mais significativos no Norte do município, se comparado com o Sul. No interior do perímetro urbano, os aumentos concentram-se no limite Este desta circunscrição, nas áreas adjacentes ao centro histórico da cidade de Guimarães (Figura III-108).

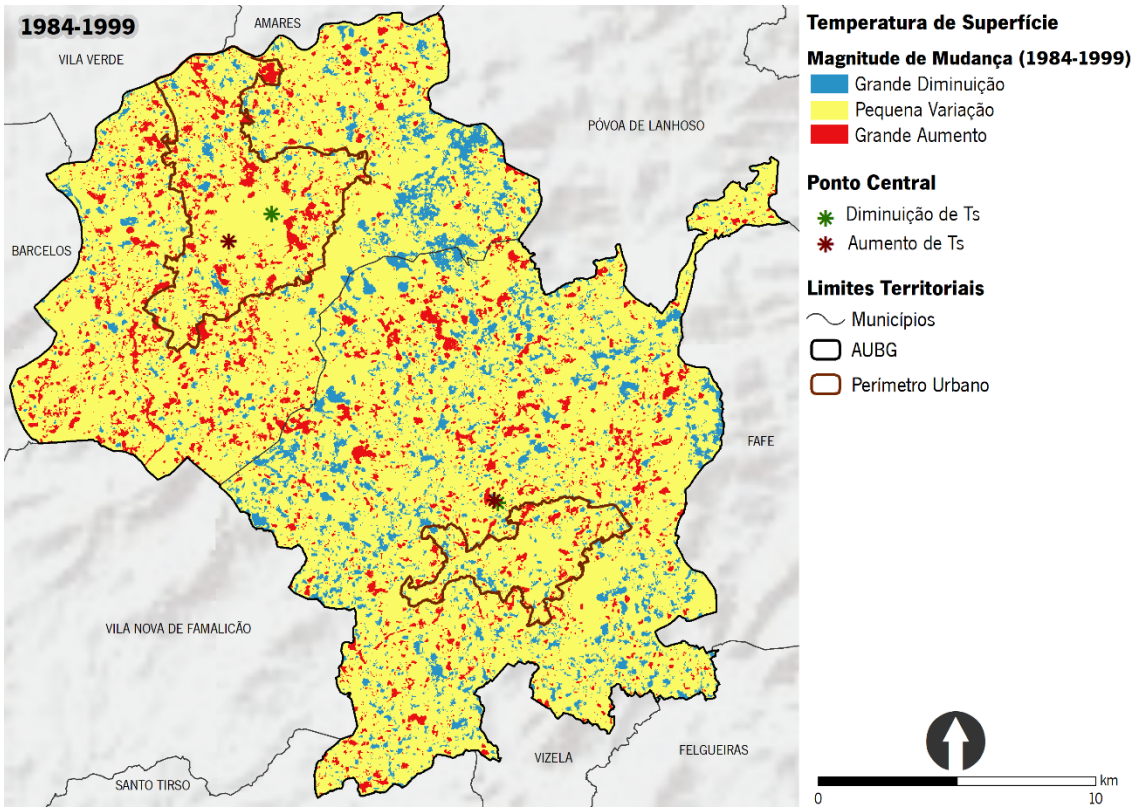


Figura III-108 – Magnitude de mudança de Ts na AUBG entre 1984 e 1999

De 1999 para 2003 observa-se em Braga, como no hiato 1984-1999, uma disjunção espacial das mudanças do ambiente térmico, no entanto, a concentração espacial dos grandes aumentos e das grandes diminuições encontram-se inversamente localizada. Com efeito, é no setor Este do município bracarense que se concentram os aumentos, enquanto no setor Oeste se observa um alívio da carga térmica. No interior do perímetro urbano, os aumentos de Ts* foram compelidos para o limite desta demarcação administrativa, seguindo o alargamento do tecido urbano do *corpus* canónico da cidade (Figura III-109). Ao mesmo tempo, em Guimarães continua a verificar-se um padrão mesclado das grandes mudanças no ambiente térmico, ainda que neste intervalo seja ligeiramente menos intrincado, por causa da maior representatividade e dimensão espacial das áreas com grandes diminuições. Ainda que os aumentos de Ts* ocorridos no setor Este do território vimaranenses detenham maior importância para o posicionamento do centroide, é a Oeste que se sobressai o elemento visual de maior impacte, decorrente da abertura da A11 (asserção transversal ao município de Braga). No interior do perímetro urbano de Guimarães, o padrão de mudanças é similar ao relatado em Braga, ainda que neste caso os aumentos se encontrem confinados ao limite Oeste da circunscrição – coincidindo precisamente com os territórios adjacentes ao centro histórico da cidade de Guimarães (Figura III-109).

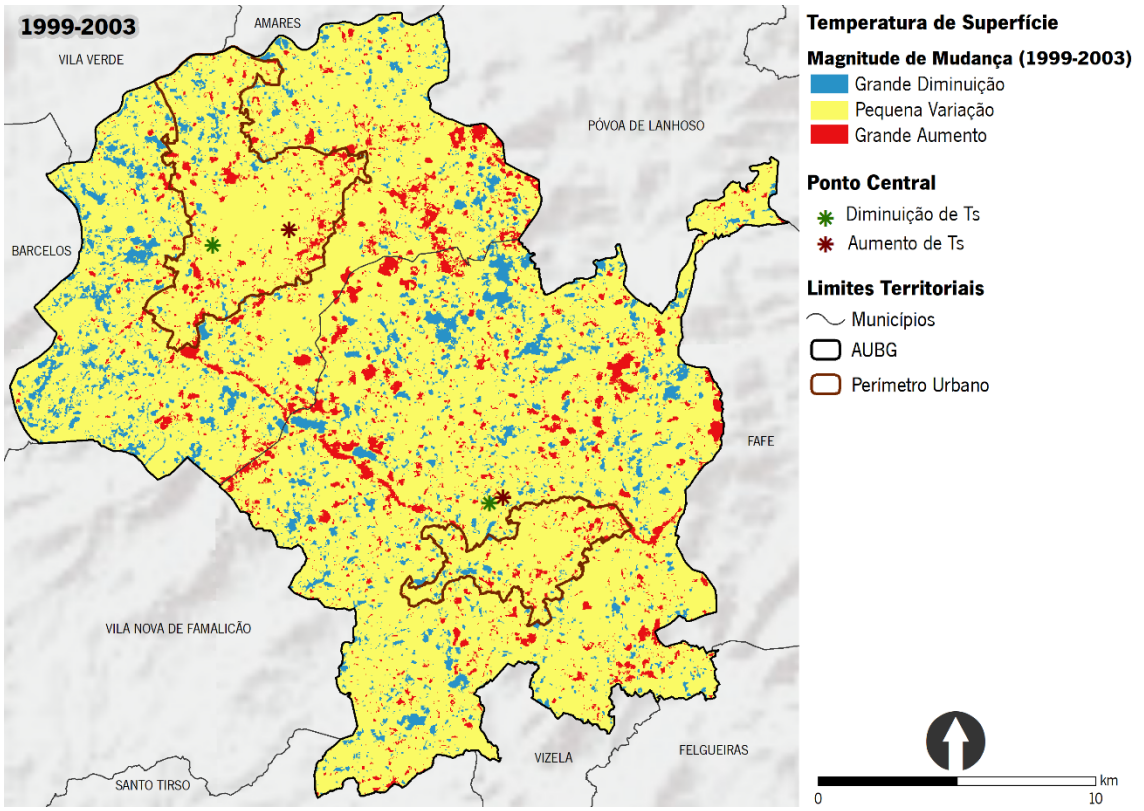


Figura III-109 – Magnitude de mudança de Ts na AUBG entre 1999 e 2003

Em Braga, apesar do afastamento dos centroides dos grandes aumentos e das grandes diminuições ocorridas no ambiente térmico no intervalo 2003-2007 sugerir uma dualidade na sua repartição, na realidade observa-se a intercalação dos dois tipos de mudança. Ainda assim, os aumentos com maior magnitude sobressaem, pela sua continuidade espacial, no quadrante Noroeste do município. Por sua vez, as diminuições assumem maior relevo no setor Sul do município, junto ao limite com Guimarães. Os centroides sintetizam, de modo mais claro, os padrões de mudanças verificados no interior do perímetro urbano, posto que os aumentos se concentram a Norte e as diminuições a Sul (Figura III-110).

Diferentemente do verificado nos dois intervalos analisados anteriormente, em Guimarães no período 2003-2007 os centroides dos grandes aumentos e das grandes diminuições verificadas no ambiente térmico afastam-se significativamente. Assim, ainda que estas as mudanças se distribuam por todo o território, denota-se em termos espaciais (e com o auxílio dos pontos centrais) que as diminuições de Ts* têm maior representatividade no setor Norte do que Sul, pois neste último preponderam os aumentos. No interior do perímetro urbano, o padrão de mudança encontra-se em consonância com a disjunção espacial presente nos centroides dos grandes aumentos e das grandes diminuições, tal como sucede em Braga (Figura III-110).

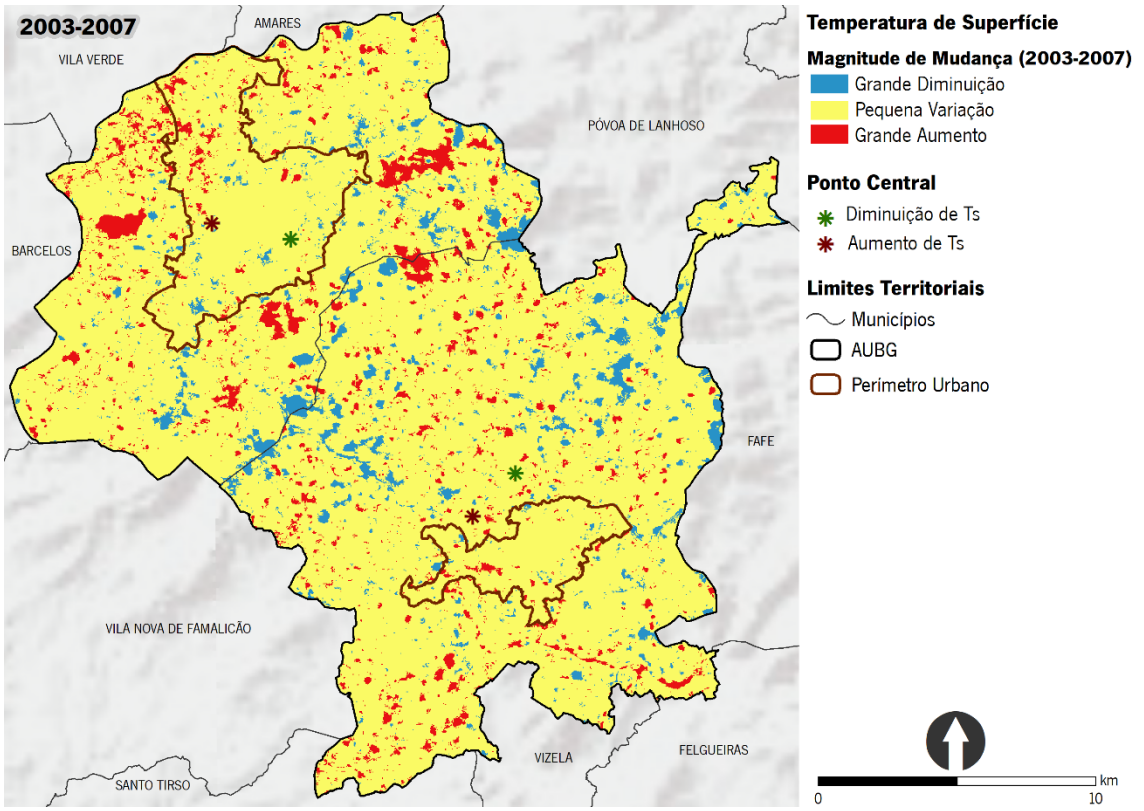


Figura III-110 – Magnitude de mudança de Ts na AUBG entre 2003 e 2007

No município Bracarense é no intervalo 2007-2010 que os centroides dos grandes aumentos e das grandes diminuições verificadas no ambiente térmico apresentam maior proximidade, uma vez que ocorrem mudanças nos dois sentidos em todo o território. Não obstante, o padrão espacial aproxima-se do verificado no interlúdio anterior, ainda que tal decorra da notória inversão da localização territorial dos grandes aumentos e grandes diminuições de Ts*, como a análise anterior já tinha deixado patente. Efetivamente, esta inversão é transversal ao padrão verificado no interior do perímetro urbano, bem como à posição geográfica dos centroides calculados para as diferenças de maior magnitude (Figura III-111). Em sentido oposto, em Guimarães constata-se uma divisão mais clara do território. Assim, os grandes aumentos de Ts* ancoram-se no limite Oeste do perímetro urbano, ao passo que, as grandes diminuições de Ts ocorrem maioritariamente no setor Norte do concelho, estendendo-se inclusive para o território a Sul do município de Braga, até encontrarem a delimitação do perímetro urbano bracarense (Figura III-111).

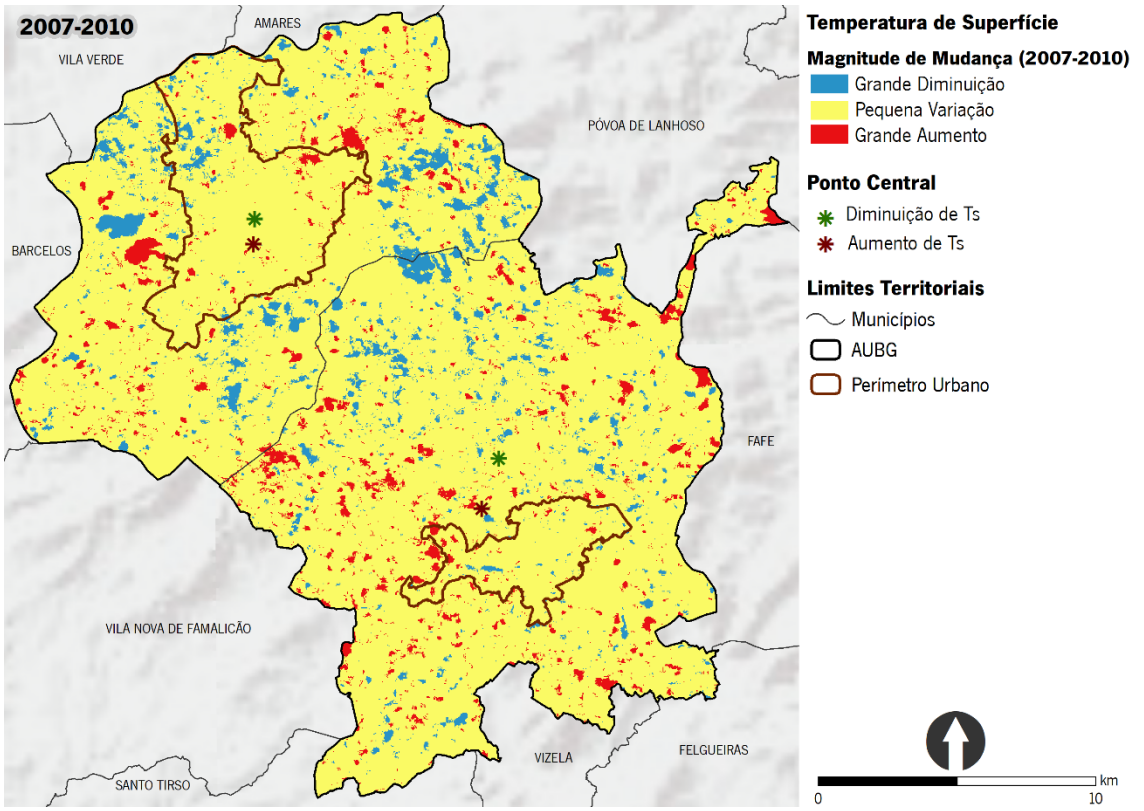


Figura III-111 – Magnitude de mudança de Ts na AUBG entre 2007 e 2010

No último intervalo em análise (2010-2016) os grandes aumentos e grandes diminuições de Ts* localizam-se no caso de Braga em setores do município diametralmente opostos – como bem patenteia o respetivo centro gravítico. Ainda assim, a repartição territorial das mudanças é deveras desigual, pois as diminuições (apesar de mais significativas percentualmente) confinam-se *grosso modo* na parte Este do município, onde limita com o município da Póvoa de Lanhoso; por sua vez, as parcelas com grandes aumentos de Ts* emergem no restante território. A par desta visão geral, sobressai ainda uma mancha territorial contida, porém extensa, onde se verifica uma grande diminuição de Ts*. Esta área coincide – quase simetricamente – com os limites onde no intervalo anterior se tinha registado um grande aumento de Ts*. No setor Norte do perímetro urbano sobressaem importantes aumentos de Ts*, precisamente onde anteriormente se tinha verificado, de igual modo, uma diminuição (Figura III-112).

No município de Guimarães os centroides das mudanças no ambiente térmico entre 2010 e 2016 refletem de modo evidente o gradiente espacial das mudanças de Ts, atendendo a que os aumentos se concentram a Norte do perímetro urbano, ao passo que as diminuições se distribuem de modo mais amplo no território, embora com especial incidência no Sul. Com efeito, e relativamente ao padrão espacial descrito anteriormente, observa-se uma inversão dos locais que

registam, respetivamente, os aumentos e as diminuições no ambiente térmico com maior magnitude (Figura III-112), como constatado em diversas situações.

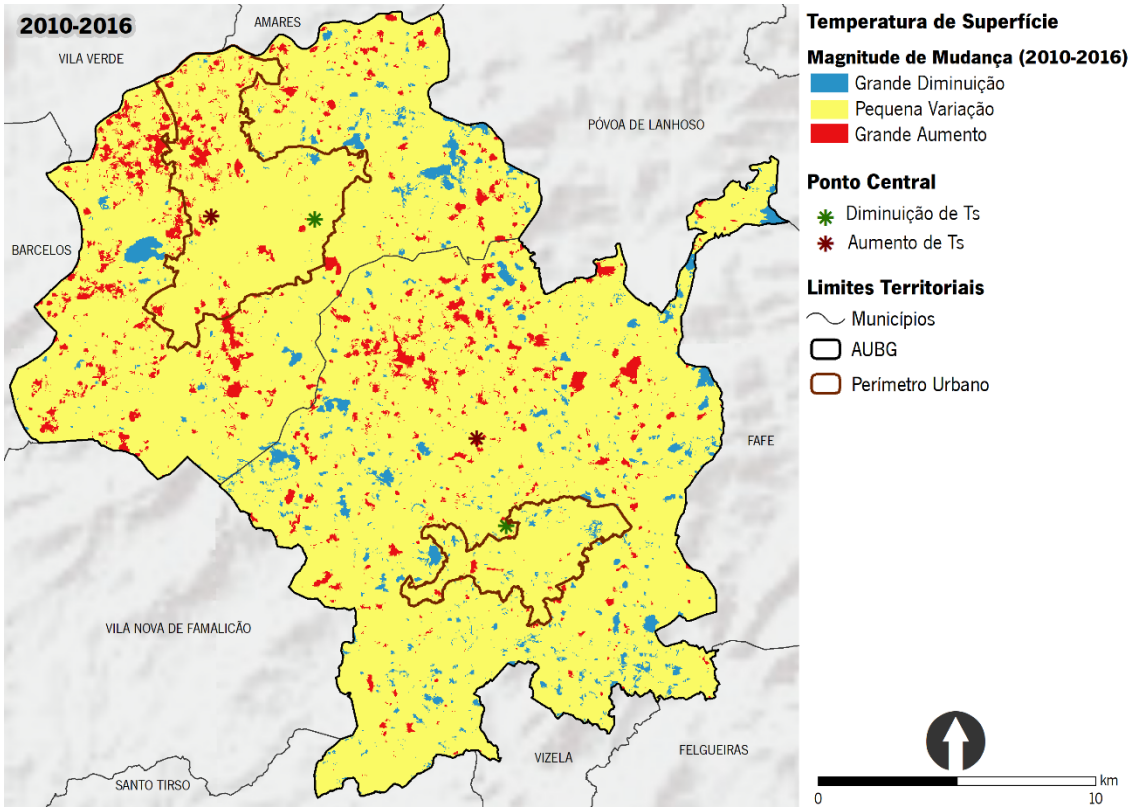


Figura III-112 – Magnitude de mudança de Ts na AUBG entre 2010 e 2016

III – 4.2.4. Tendência Espacial

A realidade urbana atual é extremamente complexa, dado que "a extensão, a fragmentação, o contraste e a contradição dominam sobre qualquer ideia de conjunto, que apenas se vislumbra de uma imagem de satélite ou de uma estatística" (Domingues, 2015b, p.27). Efetivamente, a urbanização difusa, principal processo responsável pela conversão irreversível das componentes biofísicas na AUBG entre 1984 e 2016, promoveu um aumento da complexidade da paisagem térmica. O 'ruído' decorrente desta complexidade obscura a tendência geral de mudança no ambiente térmico, como evidencia a análise anterior – útil na compreensão das particularidades locais.

Para determinar a tendência espacial de mudança no ambiente térmico da AUBG nos 32 anos em estudo, recorre-se à análise de clusters, que fornece uma numa visão mais generalizada, e em certa medida mais abstrata, deste processo (numa lógica similar ao efetuado para o crescimento

urbano, aquando da análise do processo de urbanização, no *software* TerrSet). O intuito deste procedimento é identificar os padrões – estatisticamente significativos – das alterações do ambiente térmico entre duas datas, considerando que a mente humana é boa a encontrar padrões, mesmo quando estes não são significativos do ponto de vista estatístico.

Em concreto aplica-se a estatística *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I), que permite identificar quatro tipo de padrões, nomeadamente: os clusters *High-High*, que correspondem a *hotspots*, os clusters *Low-Low,* que traduzem os *coldspots*, e os *outliers High-Low* e *Low-High*, que se assemelham a 'ilhas' de calor e de frescura, respetivamente. A estes padrões, soma-se um outro, denominado *Not Significative*, que traduz os locais onde não ocorre associação espacial. Esta abordagem permite contextualizar as mudanças de Ts com as verificadas no seu entorno geográfico. Ademais, como salientam Majumdar e Biswas (2016),

> "*LST condition of an urban landscape is not homogeneous rather fluctuating over space and time and thus cannot be interpreted as significant or process driven unless verified statistically*" (p.60).

A aplicação da análise de *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I) à imagem de mudança do ambiente térmico entre 1984-1999 – a uma escala de 264m (valor devolvido pelo *Incremental Spatial Autocorrelation*) – evidencia a simples generalização dos padrões analisados anteriormente (*c.f.*, a Figura III-113 com a Figura III-93 e com Figura III-108).

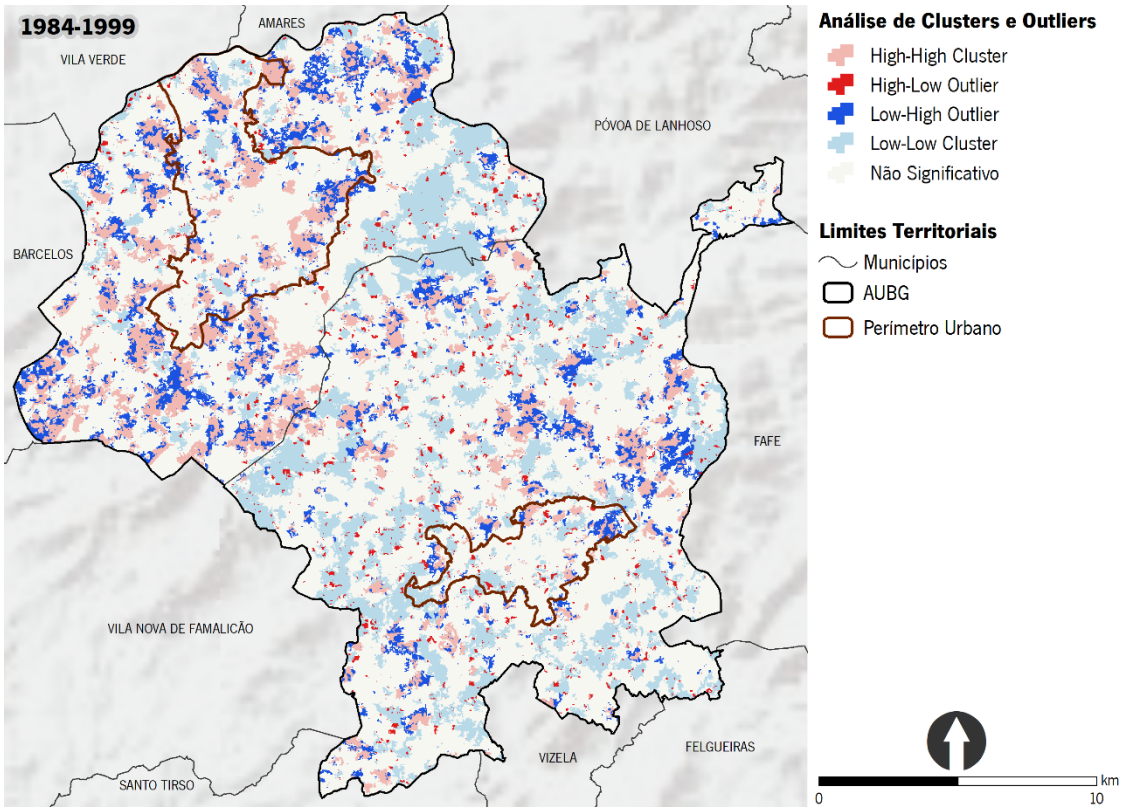
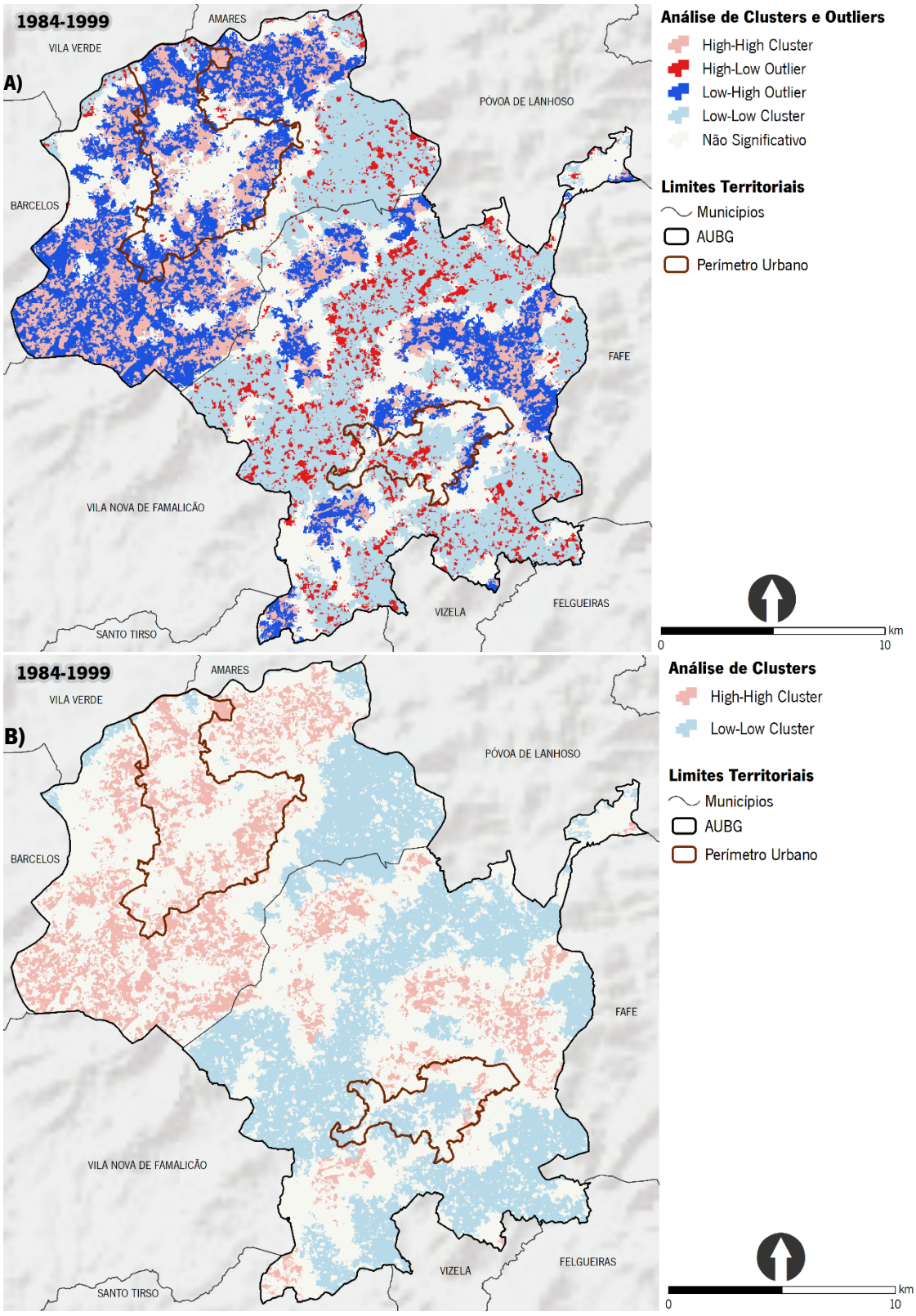


Figura III-113 – Associação espacial (a 264m) das mudanças do ambiente térmico na AUBG entre 1984 e 1999

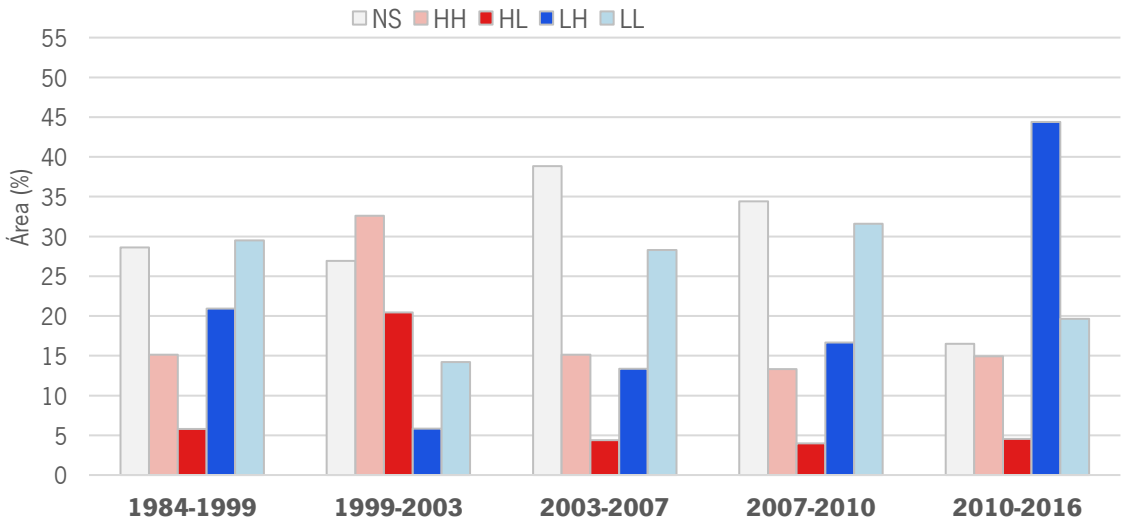
Dada a simples agregação do padrão de mudança observado a 264m optou-se por uma escala de análise mais ampla – *i.e.*, os 1000m – de modo a captar os processos de mudança do ambiente térmico que se refletem à escala local (Oke, 1987). De facto, na AUBG, tal como constatado por Majumdar e Biswas (2016), os padrões observados a distâncias menores (264m) tendem a repetir-se a escalas mais amplas (1000m), embora com fronteiras mais suaves, dada a maior dimensão e continuidade das manchas (*c.f.*, Figura III-113 e Figura III-114-A).



Análise estatística *Cluster e Outlier* (Anselin Local Moran's I): A – Clusters e *Outliers*; B – Clusters.

Figura III-114 – Associação espacial das mudanças do ambiente térmico na AUBG entre 1984 e 1999

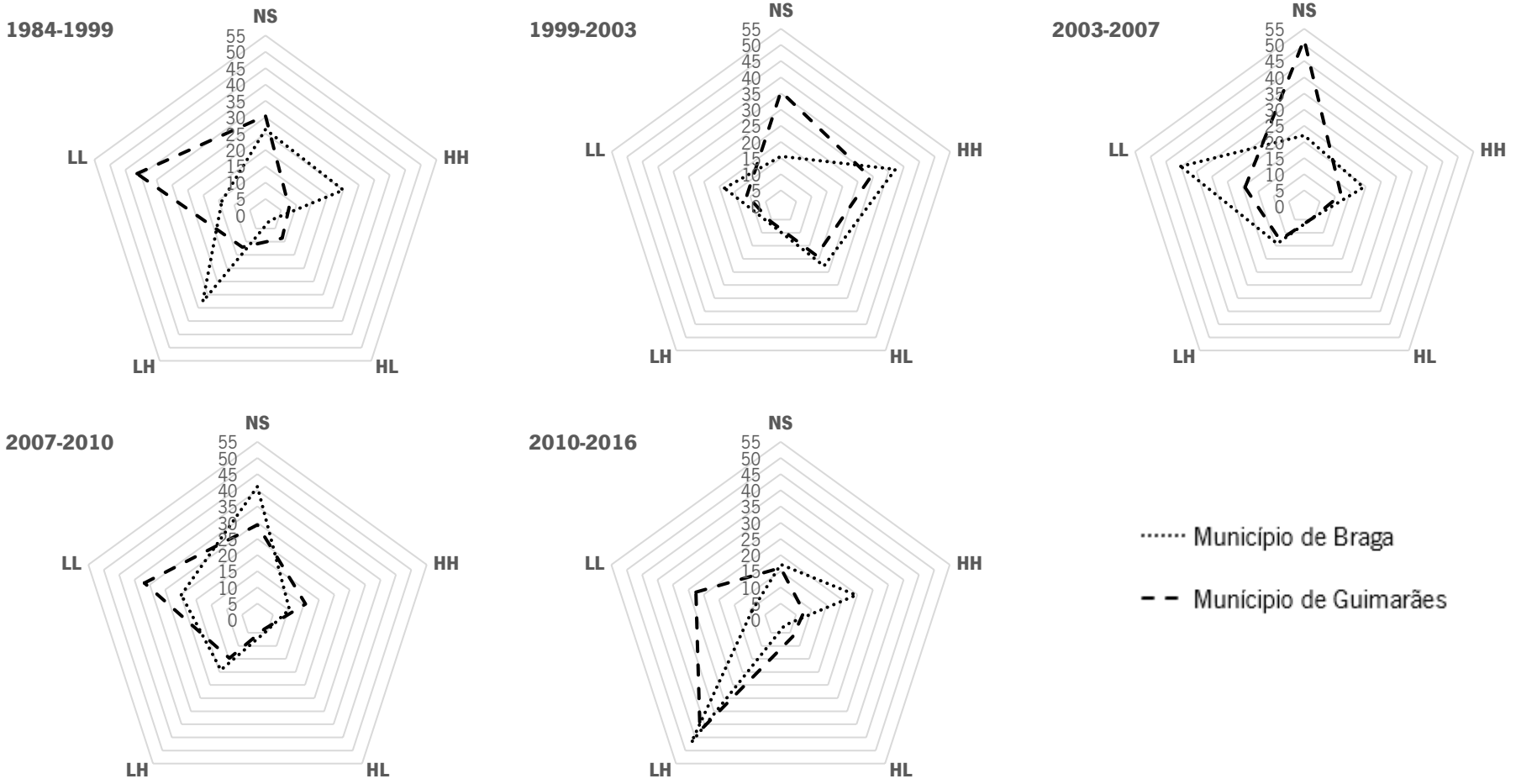
No conjunto da AUBG, e considerando a escala de análise de 1000m, não se observa uma evolução linear da representatividade de nenhuma das classes resultantes da análise de *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I), reforçando uma vez mais o comportamento oscilatório do ambiente térmico entre 1984 e 2016. A classe do não significativo é a que assume, em geral, maior representatividade espacial, constituindo somente exceções os intervalos temporais 1999-2003 e 2010-2016. Do ponto de vista dos clusters, os *Low-Low* são sempre mais representativos do que os *High-High*, salvo entre 1999-2003. Por sua vez, os *outliers* seguem a mesma tendência, dado que os *Low-High* preponderam sobre os *High-Low*, exceto no intervalo mencionado anteriormente. Com efeito, e seguindo a lógica de Majumdar e Biswas (2016), denota-se um maior agrupamento espacial das áreas que arrefecem, traduzidas nos clusters *Low-Low* e nos outliers *Low-High*, por comparação com aquelas que aquecem, consubstanciadas nos clusters *High* e nos outliers *High-Low* (Figura III-115).



Análise estatística *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I): NS – Não significativo; HH – clusters *High-High;* HL – *outliers High-Low;* LL – clusters *Low-Low, LH – outliers Low-High*.

Figura III-115 – Representatividade (%) das classes decorrentes da análise estatística *Cluster* e Outlier (Anselin Local Moran's I) na AUGB entre 1984 e 2016

Do ponto de vista comparativo, constata-se que a porção de território englobado na classe não significativo – *i.e.*, o território onde não se verifica associação espacial – assume maior preponderância em Guimarães nos três primeiros intervalos temporais em análise (*i.e.,* 1984-1999, 1999-2003 e 2003-2007), e em Braga nos dois últimos (*i.e.,* 2007-2010 e 2010-2016), descortinando-se em seguida o padrão que levou a esta alteração.



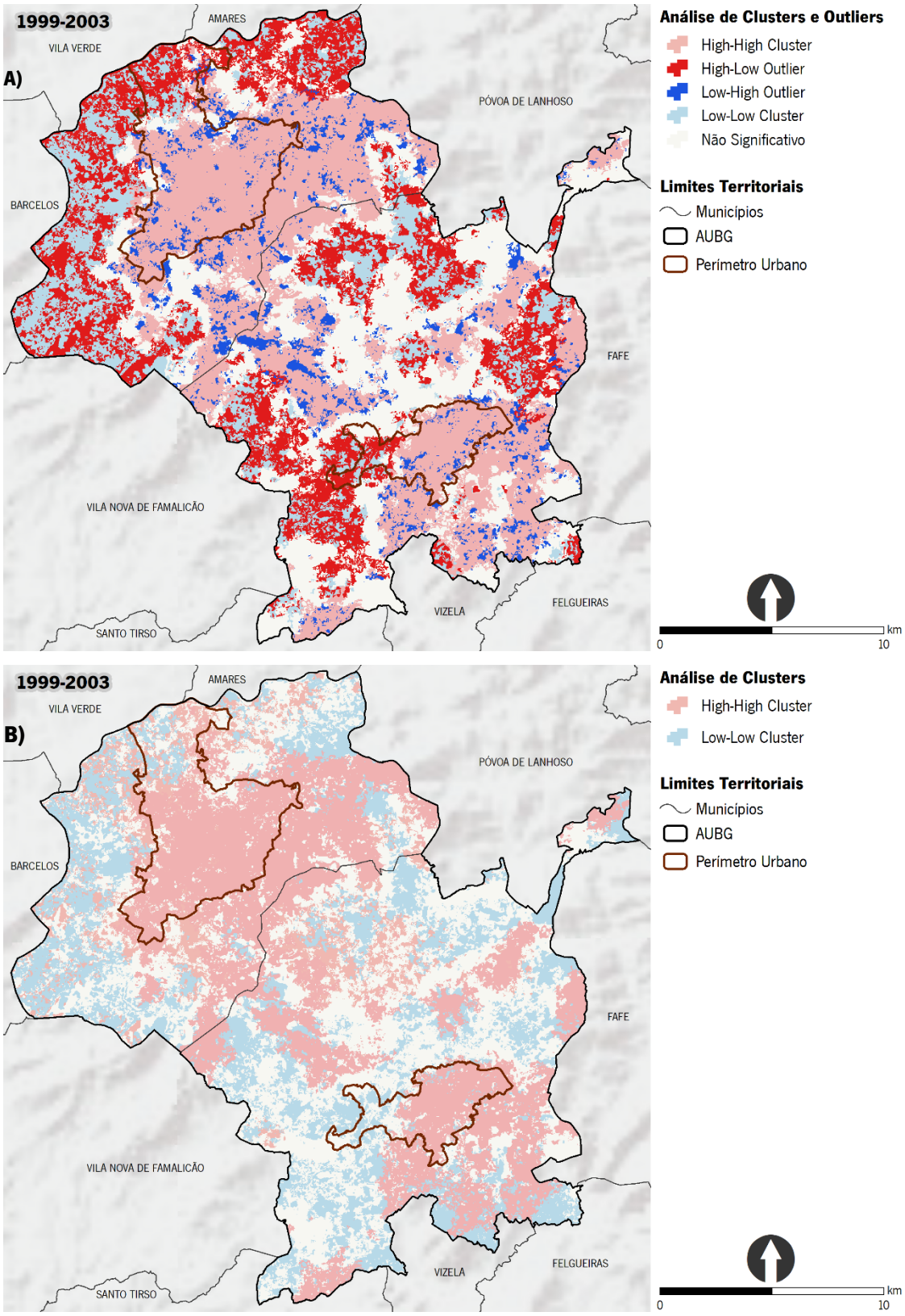
Análise estatística *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I): NS – Não significativo; HH – clusters *High-High;* HL – *outliers High-Low;* LL – clusters *Low-Low, LH – outliers Low-High*.

Figura III-116 – Representatividade e (%) das classes decorrentes da análise estatística *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I) nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Os clusters *High-High* detêm sempre maior representatividade em Braga, constituindo o intervalo 2007-2010 a única exceção, período em que os aumentos são mais significativos em Guimarães (*vide* Figura III-107). Por sua vez, os clusters *Low-Low* são preponderantes ora em Guimarães (*i.e.*, 1894-1999, 2007-2010 e 2010-2016), ora em Braga (1999-2003 e 2003-2007). Os *outliers High-Low* apresentam uma distribuição mais variável do que os *Low-High*, que são mais representativos em Braga. Assim, os *outliers High-Low* detêm maior representatividade espacial em Guimarães nos intervalos de 1984-1999 e 2010-2016 e em Braga nos que se localizam no interlúdio (Figura III-116).

Numa análise mais pormenorizada, no intervalo 1984-1999 constata-se um aquecimento mais contínuo no município de Braga, por comparação com Guimarães (Figura III-114-A&B), considerando a importância que os clusters *High-High* (25,03%) (*vide* Apêndice XIV). Em Braga as áreas com arrefecimento mais contínuo confinam-se ao extremo Este do município, na interseção com a Póvoa de Lanhoso e com Guimarães, enquanto as que aquecem se distribuem pelo restante território – com exceção clara ao núcleo central, que não exibe nenhuma tendência de associação espacial. Contrariamente, em Guimarães, verifica-se um arrefecimento generalizado do território, inclusive no interior do perímetro urbano, salvo pequenas manchas nos seus terrenos limítrofes que aquecem fruto do avanço da urbanização a partir do núcleo central em direção à Penha (tal como sucede em Braga ao longo da encosta sagrada).

No hiato 1999-2003 ocorre um aquecimento generalizado da AUBG (Figura III-117-A&B), pois tanto em Braga como em Guimarães os clusters de valores elevados detêm maior importância do que os de valores baixos. Ademais, em Braga a percentagem de território abarcada por cada uma destas categorias de cluster é mais significativa do que em Guimarães. Em detalhe, em Braga os clusters *High-High* ocupam 37,21% do território, enquanto em Guimarães o respetivo valor é de 29,07%; por sua vez, os clusters de valores baixos abarcam 18,34% do município bracarense, enquanto em Guimarães englobam apenas 11,07% do território (*vide* Apêndice XIV). Deste modo, sobressaem uma vez mais o carácter mais contrastado do ambiente térmico de Braga. Em Guimarães, à parte do território que não exibe nenhuma tendência de associação espacial (que constitui mais do que o dobro verificado em Braga), e do que sofreu aumentos (ainda que como referido anteriormente, o seu valor seja inferior a Braga), a presença de áreas que aquecem mas que continuam a rodeadas de áreas que arrefecem (*i.e.*, outliers *High-Low*), detêm uma importância significativa – cerca de 20% do território. Constituindo, na realidade, o período e local em que assumem maior preponderância (*vide* Apêndice XIV).

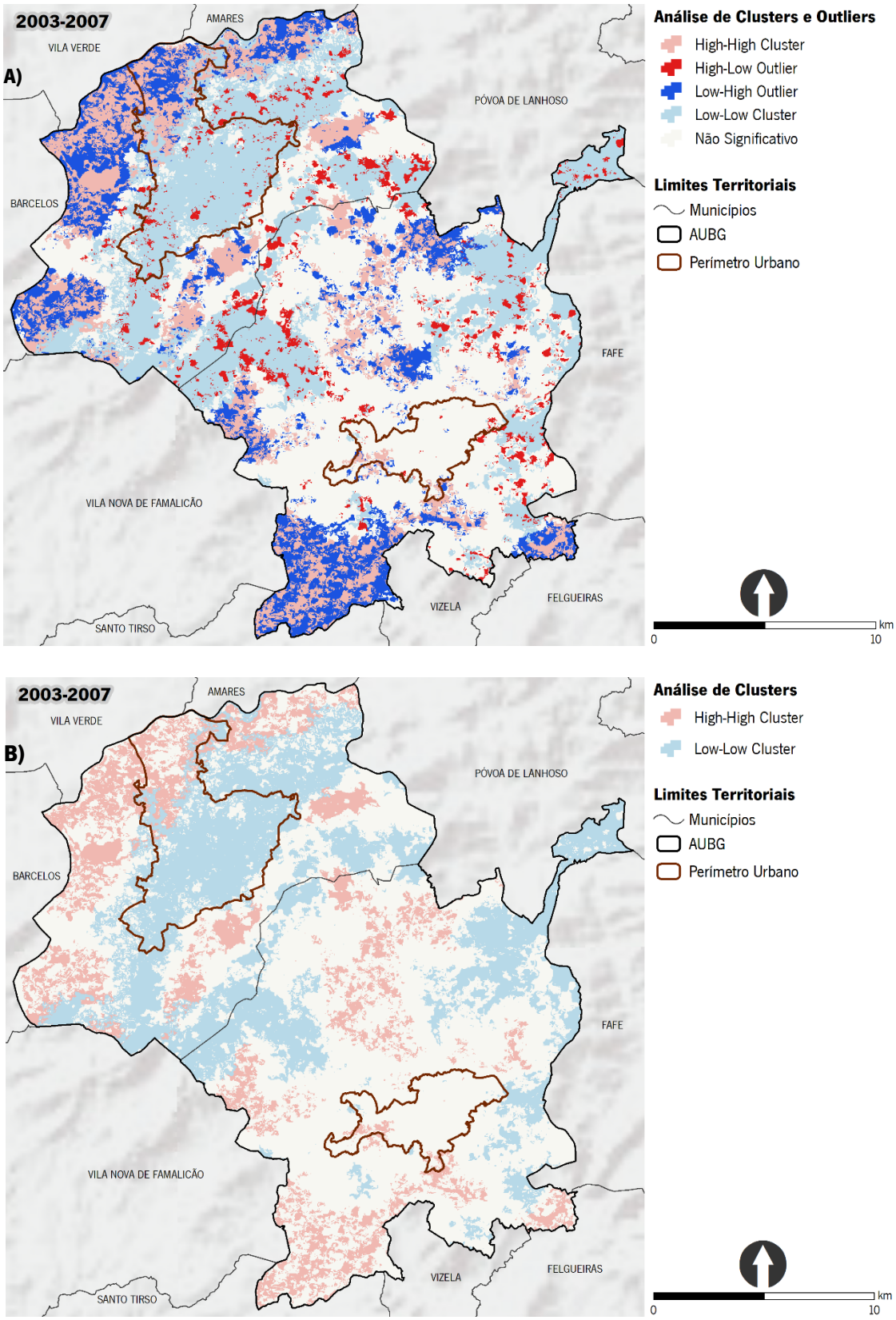


Análise estatística *Cluster e Outlier* (Anselin Local Moran's I): A – Clusters e *Outliers*; B – Clusters.

Figura III-117 – Associação espacial das mudanças do ambiente térmico na AUBG entre 1999 e 2003

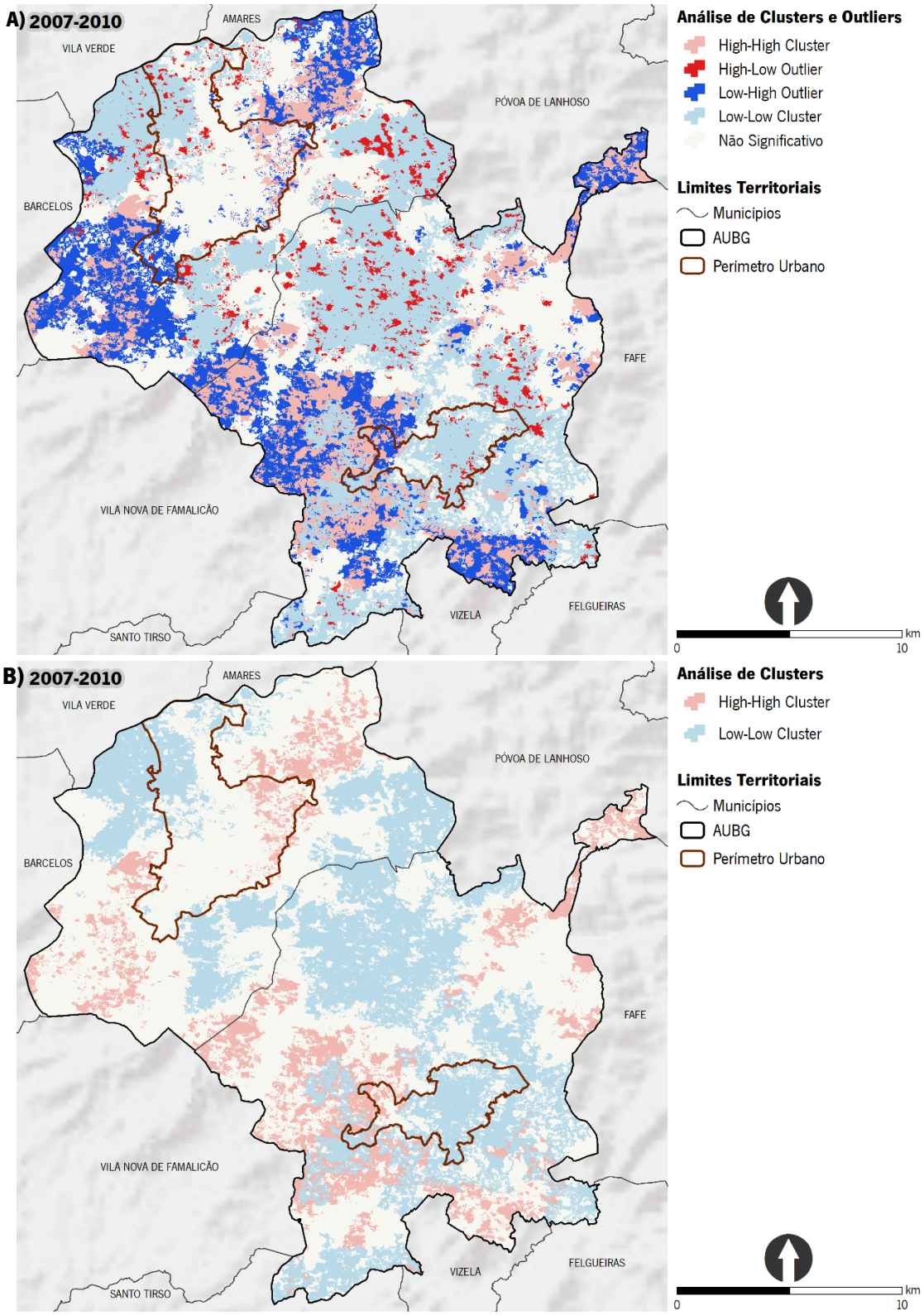
No intervalo 2003-2007 destaca-se em primeira instância o facto de mais de metade do território vimaranense não exibir nenhuma tendência de associação espacial no que concerne às mudanças do ambiente térmico (*vide* Apêndice XIV). Por consequência, as classes de associação espacial – mormente os clusters – detêm maior representatividade espacial no município de Braga, assim como os *outliers Low-High.* Assim sendo, apenas os *outliers High-Low* são mais significativos em Guimarães, ainda que a diferença valores seja ínfima (4,42% *versus* 4,38% em Braga). Do ponto de vista espacial, sobressai, contrariamente ao observado nos períodos analisados anteriormente, o arrefecimento generalizado de todo o território do perímetro urbano de Braga, bem como de vastas áreas no seu exterior. Por sua vez, os aquecimentos estatisticamente mais significativos ocorrem nas áreas limítrofes do município, particularmente as situadas a Norte, como indicava o centroide dos grandes aumentos (*c.f.*, Figura III-110 e Figura III-118A&B). Em Guimarães, verifica-se uma distribuição intercalada das áreas que sofrem uma aquecimento, com as experienciaram um arrefecimento, sobressaindo as primeiras a Norte e a Sudoeste do perímetro urbano, e as segundas a Nordeste e a Oeste deste (Figura III-118A&B), seguindo uma vez mais o padrão sintetizado pelo ponto central dos grandes aumentos e grandes diminuições (*vide* Figura III-110).

O hiato temporal 2007-2010, o mais curto em análise, constitui o único em que o território sem qualquer associação espacial do ponto de vista da análise estatística *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I) apresenta maior expressão em Braga (nomeadamente, com 41,14% contra os 29,32% de Guimarães). Com efeito, as restantes categorias de agrupamento decorrentes desta análise exibem maior representatividade espacial em Guimarães, destacando-se particularmente, os clusters de valores baixos (*i.e., Low-Low*)e os de valores elevados (*i.e., High-High*), que pela primeira vez superam os verificados em Braga (*vide* Apêndice XIV). Importa notar que, as áreas que arrefecem exibem um maior agrupamento espacial do que as áreas que aquecem, como comprova a preponderância da área ocupada pelos clusters *Low-Low,* sob a dos clusters *High-High*, sendo a área detida pela primeira tipologia o dobro da verificada na segunda (*vide* Apêndice XIV) em ambos os municípios (Figura III-119). Espacialmente, e adotando uma perspetiva comparativa, em Braga sobressai a intercalação das áreas que aquecem e arrefecem – como a proximidade dos centroides fazia antever (*c.f.*, Figura III-111 e Figura III-119) – apenas quebrada pelas áreas sem associação espacial; ao passo que em Guimarães é por demais evidente o arrefecimento ambiente térmico, mesmo dentro do perímetro urbano (Figura III-119).



Análise estatística *Cluster e Outlier* (Anselin Local Moran's I): A – Clusters e *Outliers*; B – Clusters.

Figura III-118 – Associação espacial das mudanças do ambiente térmico na AUBG entre 2003 e 2007



Análise estatística *Cluster e Outlier* (Anselin Local Moran's I): A – Clusters e *Outliers*; B – Clusters.

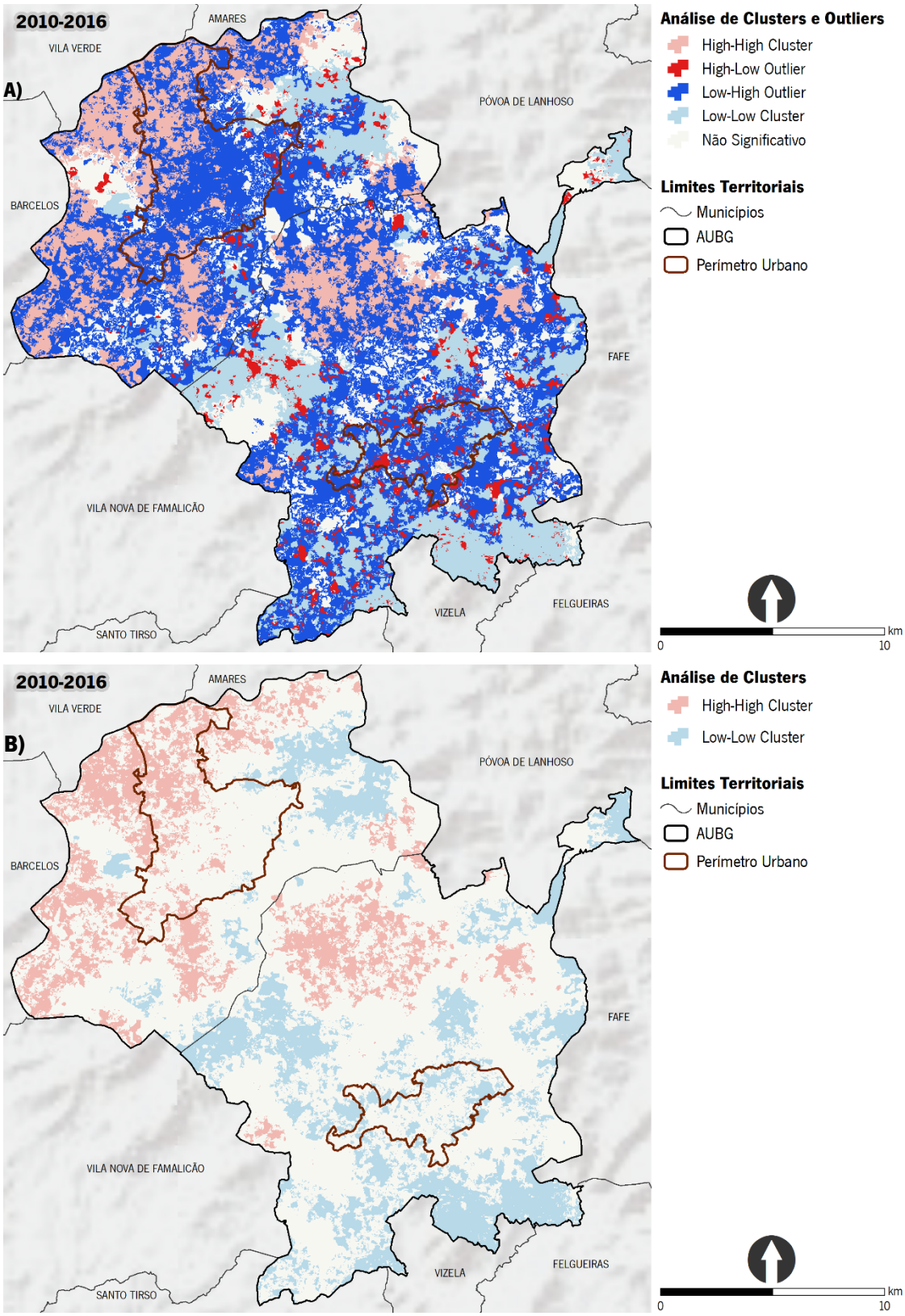
Figura III-119 – Associação espacial das mudanças do ambiente térmico na AUBG entre 2007 e 2010

Em último, no lapso 2010-2016 a proporção de território da AUBG onde não ocorre um agrupamento dos valores de mudança do ambiente térmico é a mais reduzida de todos os

intervalos temporais analisados (16,5%). Esta situação apesar de transversal a Guimarães (com 16%), não é a Braga (17,1%), dado que os valores mais reduzidos da categoria não significativo ocorrem no hiato 1999-2003 (15,6%), como notado anteriormente (*vide* Apêndice XIV). No período 2010-2016 os aumentos térmicos mais significativos ocorrem em Braga, como comprova a maior representatividade dos clusters *High-High* (especificamente 24,6% por comparação com aos 7,6% de Guimarães). Os clusters de arrefecimento (*i.e., Low-Low*) são mais evidentes em Guimarães, sendo a percentagem de território abrangida por esta classe de 27,5%, enquanto em Braga é de apenas 9,3% (*vide* Apêndice XIV). Em termos estatísticos é neste período que se verificam os aumentos mais expressivos em Braga, e as diminuições mais significativas em Guimarães (*vide* Figura III-107). Em Braga sobressai ainda, pela dimensão espacial, os *outliers Low-High* – que traduzem as áreas que apesar de terem arrefecido, se encontram rodeadas por outras que aqueceram.

Ao nível do padrão espacial, sobressi a capacidade revelada pelos centroides (*i.e.*, grandes aumentos e grandes diminuições) apresentados anteriormente aquando da análise da magnitude das variações de Ts em sintetizar o padrão espacial de mudança do ambiente térmico do município de Braga e de Guimarães entre 2010 e 2016 (*c.f.*, Figura III-111 e Figura III-120). Reforçar que, ambos os municípios exibem uma clara disjunção espacial, porém assimétrica, entre o território que sofre um aquecimento e aquele que arrefece (Figura III-120).

Recapitulando e sumariando, a análise de *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I) coloca em evidência que na AUBG as áreas que arrefecem tendem a apresentar um padrão mais clusterizado do que aquelas que aquecem, como comprova a preponderância espacial dos clusters *Low-Low* sob os *High-High*. Em virtude disso, é mais frequente o arrefecimento de áreas entre as que aquecem (*i.e.*, *outliers Low-High*), do que o oposto (*i.e.*, *outliers High-Low*).



Análise estatística *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I): A – Clusters e *Outliers*; B – Clusters.

Figura III-120 – Associação espacial das mudanças do ambiente térmico na AUBG entre 2010 e 2016

III – 4.3. Contrastes Térmicos de Vizinhança

Após o escrutínio das mudanças do ambiente térmico da AUBG, procura-se agora perceber a evolução dos contrastes de Ts na envolvente próxima. Este procedimento, realizado com base na Ts* (que possibilita a comparação multitemporal dos valores), é repetido para três áreas de análise, cuja designação adotada decorre do número de pixéis considerados nos cálculos (*vide* Figura II-26): bairro 3x3 (abarca 9 pixéis); o bairro 7x7 (engloba 49 pixéis); e o bairro 11x11 (121 pixéis). A este respeito importa clarificar que, contrastes reduzidos decorrem da presença de valores próximos de Ts* (podendo ser elevados ou baixos) e que contrastes acentuados se devem à interspersão dos valores de Ts*.

Os contrastes térmicos de vizinhança, invés de confirmar as asserções anteriores referentes ao aumento da dispersão dos valores de Ts na AUBG e das amplitudes térmicas entre as componentes biofísicas urbanas e não urbanas na AUBG, coloca em evidência a situação oposta. Efetivamente, entre 1984 e 2016 é patente a diminuição dos contrastes de Ts*, independentemente da escala de análise considerada (Tabela III-36). Esta diminuição ocorre de modo linear, com exceção de 1999 que exibe (em todas as escalas) valores médios de contraste mais elevados do que os observados em 1984 (Tabela III-36). Esta situação pode-se dever a questões técnicas relacionadas com as especificidades do sensor, uma vez que a imagem de 1999 é única que foi captada pelo Landsat ETM+.

Tabela III-36 – Média dos contrastes de Ts* na AUBG entre 1984 e 2016

Ano	Bairro 3x3	Bairro 7x7	Bairro 11X11
1984	0,15	0,33	0,45
1999	0,17	0,36	0,47
2003	0,12	0,28	0,39
2007	0,12	0,26	0,38
2010	0,11	0,28	0,35
2016	0,10	0,25	0,34

Com o aumento da dimensão da escala de análise (*i.e.*, 8 100m^2, 44 100m^2 e 108 900m^2) verifica-se um incremento sistemático dos contrastes de Ts*. Ainda assim, notar que a diminuição dos valores entre 1984 e 2016 se vai acentuando com o aumento de dimensão da área de análise – *i.e.*, 0,05 no bairro 3x3, 0,008 no bairro 7x7 e 0,11 no bairro 11x11 (Tabela III-36). Atendendo à

linearidade dos resultados exibidos nas três escalas espaciais, nas análises subsequentes optou-se por não considerar a escala intermédia (*i.e.*, bairro 7x7).

Ao nível municipal não se observam diferenças significativas entre Braga e Guimarães, tal como alguns resultados anteriores já evidenciavam. De facto, quando considerado o bairro 3x3 é apenas em 1999 que os contrastes médios são ligeiramente mais elevados em Guimarães do que em Braga. No bairro 11x11 os valores diferem ligeiramente, sendo – comparativamente – mais baixos em Guimarães em 1984 e 2010, e em Braga em 1999 (Tabela III-37).

Tabela III-37– Média dos contrastes de Ts* nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Ano	Bairro 3x3		Bairro 11x11	
	Braga	**Guimarães**	**Braga**	**Guimarães**
1984	0,15	0,15	0,47	0,46
1999	0,17	0,18	0,47	0,49
2003	0,12	0,12	0,40	0,40
2007	0,12	0,12	0,39	0,39
2010	0,11	0,11	0,37	0,36
2016	0,10	0,10	0,35	0,35

A classificação dos contrastes de Ts*, em função de limiares comuns, permite traçar, de modo mais detalhado, a sua evolução temporal; porém, considerando as diferenças dos valores obtidos no bairro 3x3 e no bairro 11x11, adotaram-se limiares distintos para cada uma das escalas. Aplicados estes limiares, sobressai, em primeira instância, a similaridade da área ocupada por cada classe nos municípios de Braga e no de Guimarães, detendo a média da AUBG uma boa capacidade de representação, especialmente no bairro 3x3 (Tabela III-38 e Tabela III-39).

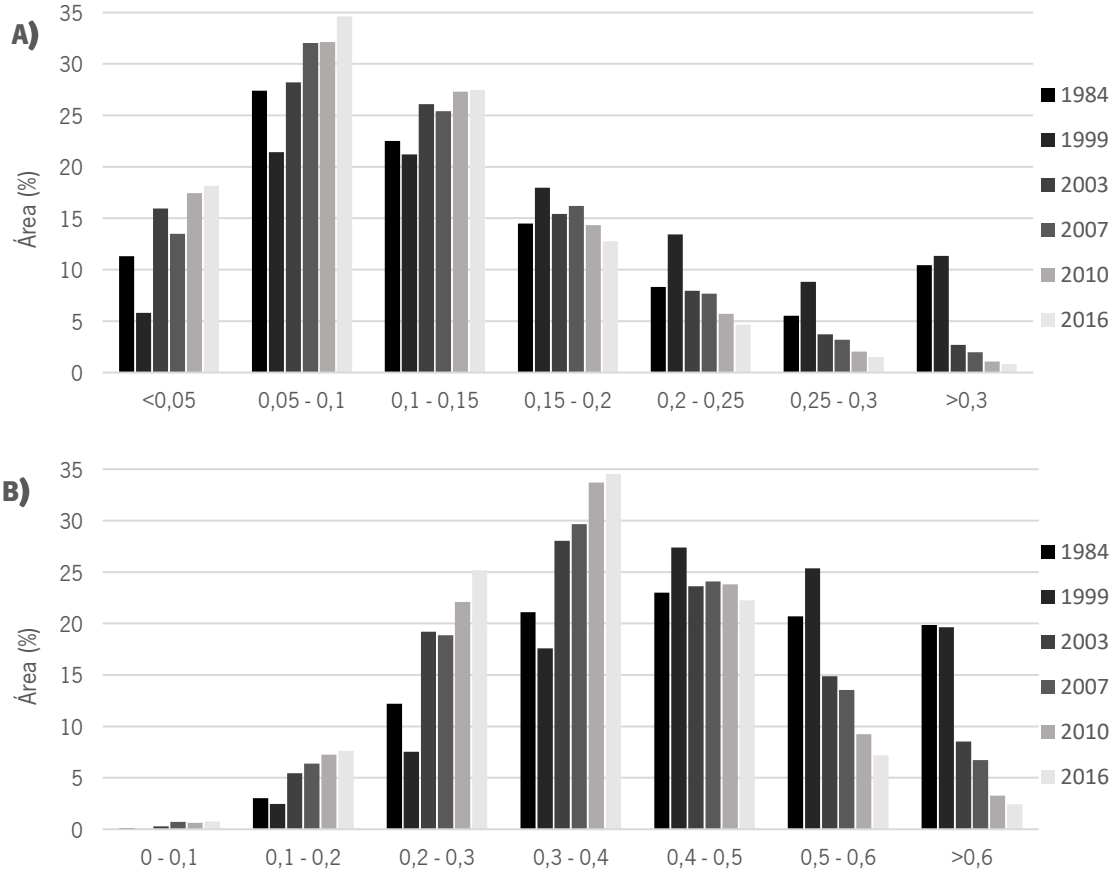
Tabela III-38 – Evolução dos contrastes de Ts*, em função do bairro 3x3, na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Intervalo	1984			1999			2003			2007			2010			2016		
	AUBG	BRG	GMR	AUBG	BRG	GMR	AUBG	BRG	GMR	AUBG	BRG	GMR	AUBG	BRG	GMR	AUBG	BRG	GMR
<0,05	11,36	11,31	11,39	5,06	5,79	4,51	16,00	15,95	16,03	14,18	13,50	14,70	17,10	17,43	16,84	17,74	18,15	17,44
0,05 – 0,10	27,29	27,39	27,22	21,08	21,43	20,81	29,74	28,20	30,92	32,68	32,04	33,17	33,43	32,14	34,41	34,99	34,63	35,27
0,10 – 0,15	23,13	22,52	23,59	21,42	21,21	21,57	26,40	26,09	26,64	24,49	25,42	23,78	27,10	27,30	26,95	27,44	27,47	27,41
0,15 – 0,20	14,54	14,48	14,59	17,93	17,98	17,90	14,51	15,41	13,82	15,60	16,19	15,15	14,08	14,33	13,88	12,99	12,76	13,17
0,20 – 0,25	8,26	8,33	8,21	13,44	13,44	13,45	7,37	7,95	6,93	7,55	7,68	7,46	5,50	5,69	5,35	4,71	4,65	4,76
0,25 – 0,30	5,36	5,52	5,24	8,87	8,82	8,91	3,44	3,71	3,23	3,30	3,20	3,37	1,89	2,03	1,78	1,50	1,52	1,48
>0,3	10,06	10,44	9,77	12,19	11,33	12,84	2,54	2,69	2,42	2,19	1,96	2,37	0,91	1,07	0,79	0,62	0,81	0,47

Tabela III-39 – Evolução dos contrastes de Ts*, em função do bairro 11x11, na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Intervalo	1984			1999			2003			2007			2010			2016		
	AUBG	BRG	GMR	AUBG	BRG	GMR	AUBG	BRG	GMR	AUBG	BRG	GMR	AUBG	BRG	GMR	AUBG	BRG	GMR
<0,1	0,10	0,13	0,08	0,04	0,06	0,01	0,27	0,43	0,15	0,72	0,91	0,58	0,61	1,02	0,30	0,76	0,93	0,62
0,1 – 0,2	3,01	3,33	2,78	2,45	2,91	2,09	5,45	5,52	5,40	6,39	5,34	7,19	7,27	7,43	7,15	7,62	8,00	7,33
0,2 – 0,3	12,19	12,48	11,98	7,53	8,09	7,10	19,21	18,73	19,57	18,87	19,29	18,55	22,10	21,94	22,21	25,19	25,84	24,69
0,3 – 0,4	21,12	20,80	21,36	17,58	19,06	16,45	28,03	27,32	28,58	29,66	30,23	29,22	33,72	32,20	34,87	34,54	32,85	35,83
0,4 – 0,5	23,00	21,88	23,85	27,38	29,19	26,00	23,62	23,54	23,69	24,10	24,36	23,91	23,82	23,49	24,06	22,26	21,79	22,62
0,5 – 0,6	20,70	19,45	21,65	25,38	24,33	26,18	14,87	15,20	14,62	13,53	12,80	14,09	9,23	9,77	8,83	7,20	7,44	7,01
>0,6	19,87	21,93	18,30	19,65	16,35	22,17	8,54	9,26	8,00	6,72	7,07	6,46	3,26	4,15	2,58	2,44	3,16	1,89

No bairro 3x3, os sete limiares definidos agregam-se em três tendências de evolução relativamente à área ocupada entre 1984 e 2016: (i) as classes <0,05, 0,05–0,1 e 0,1–0,15 (*i.e.,* as mais baixas) exibem um aumento, embora este não seja perfeitamente linear ao longo das seis datas; (ii) a classe 0,15–0,2 (*i.e.,* intermédia) individualiza-se dado o seu comportamento irregular entre 1984 e 2016; e (iii), as classes 0,2–0,25, 0,25–0,3 e >0,3 (*i.e.,* as mais elevadas) apresentam uma diminuição, ainda mais evidente nas duas últimas datas. Não obstante, não se pode deixar de enfatizar que 1999 constitui uma clara exceção às tendências explicitadas, uma vez que tem um comportamento contrário (ou seja, verifica-se uma diminuição da representatividade das classes de menor contraste em detrimento do aumento das mais acentuadas). Em vista disso, 1999 é a data com os contrastes médios mais acentuados, tanto na AUBG, como em cada um dos municípios que a formam (Figura III-121-A). Por força desta exceção, observa-se uma mudança muito acentuada dos contrastes locais entre esta data e as subsequentes.



A) – Bairro 3x3; B) Bairro 11x11

Figura III-121 – Evolução dos contrastes de Ts*, em função do bairro 3x3 e do 11x11, na AUBG entre 1984 e 2016

No bairro 11x11, os limiares definidos agrupam-se igualmente em três tendências evolutivas relativamente à área ocupada entre 1984 e 2016, embora a repartição das classes não seja tão equitativa como acontecia anteriormente. Assim, ao longo das seis datas em análise as classes <0,1, 0,1–0,2, 0,2–0,3 e 0,3–0,4 (*i.e.,* as mais baixas) exibem ganhos de área; a classe 0,4–0,5 (*i.e.,* intermédia-alta) demonstra um comportamento regular, ocupando cerca de 1/4 do território; e, por último, as classes 0,5–0,6 e >0,6 (*i.e.,* as mais elevadas) apresentam uma diminuição. Como sucedia no bairro 3x3, também a esta escala o ano de 1999 constitui uma clara exceção às tendências mencionadas (Figura III-121-B).

Considerando o bairro 3x3 e 11x11 de modo integrado denota-se que ambas as escalas exibem um padrão evolutivo semelhante, decorrente do aumento da representatividade espacial das classes que congregam os menores valores de contraste de Ts*, em detrimento das classes com contrastes mais acentuados. Na prática, verifica-se uma diminuição dos pixéis que apresentam valores de Ts* distintos dos que lhe são adstritos. Deste modo, no decorrer dos 32 anos escrutinados ocorre um enfraquecimento dos contrastes de vizinhança de Ts*, lembrando que – de modo paradoxal –, a dispersão dos valores de Ts na AUBG se acentuaram. Com efeito, depreende-se desta análise que as áreas com as características térmicas mais contrastadas se encontram cada vez mais afastadas no território.

Ainda a despeito de os municípios de Braga e de Guimarães não exibiram diferenças significativas no que se refere à representatividade espacial dos limiares definidos paras os contrastes de vizinhança, importa (ainda que de modo resumido) identificar algumas especificidades. Assim, no bairro 3x3 as classes com os contrastes mais elevados assumem maior importância em Braga nos anos de 1984, 2003, 2007 e 2010, sendo que 1999 e 2016 se verifica a situação oposta. Por sua vez, as classes que agregam os menores contrastes de Ts* exibem um comportamento muito irregular (Tabela III-38). Por sua vez, no bairro 11x11 a classe de menor contraste de Ts* detém sistematicamente maior importância espacial no município de Braga do que em Guimarães. Esta situação – com maior/menor oscilação – é transversal às restantes classes de menor contraste, lembrando que a análise cronogeográfica de Ts (tendo em consideração os seus valores absolutos) evidenciava que município de Braga detinha, no seu conjunto, características térmicas mais díspares. Seguindo a mesma linha de raciocínio, o município de Guimarães caracteriza-se por contrastes térmicos de vizinhança medianos, decorrentes da redução da interspersão de Ts* observável nas primeiras datas (Tabela III-39)

III – 4.3.1. Evolução do Padrão

Após a abordagem quantitativa da evolução temporal dos contrastes térmicos de vizinhança, em seguida o foco prende-se com o seu arranjo espacial em cada uma das seis datas, para as duas escalas espaciais – o bairro 3x3, cuja dimensão da área de análise é ligeiramente inferior a 1ha, e o bairro 11X11, com uma área 10 vezes superior.

Bairro 3x3

No bairro 3x3, em 1984, os núcleos urbanos centrais da cidade de Braga e de Guimarães emergem no contexto do restante território, por exibirem contrastes de Ts* substancialmente elevados. Não obstante, em Guimarães sobressaem igualmente outros pequenos aglomerados, como é o caso de Pevidém (Figura III-122). Ao mesmo tempo, os valores homogéneos de Ts* – apesar de dispersos por todo o território – é nos topos que assumem maior expressão.

Volvidos 15 anos, os elevados contrastes de Ts* verificados nos núcleos centrais perdem representatividade, fruto do avançar da urbanização e dos acréscimos de carga térmica daí decorrentes; porém, alastrando para os terrenos limítrofes dos referidos núcleos. O espaço interior do perímetro urbano de Braga e de Guimarães exibe contrastes de Ts* medianos a elevados, ao passo que no restante território da AUBG é notório o incremento dos 'bairros' com contrastes medianos/elevados – consequentemente, as áreas com reduzidos contrastes retraem-se aos topos densamente florestados (Figura III-122). Com efeito, se considerarmos os valores médios, 1999 é a data que exibe os contrastes mais acentuados de Ts* (Tabela III-38).

Em 2003, denota-se uma diminuição brusca dos contrastes térmicos de vizinhança em todo o território da AUBG – com particular destaque para os núcleos centrais de Braga e de Guimarães, ou termos mais grosseiros a generalidade do território abarcado pelo perímetro urbano de cada município. Mesmo assim, estas áreas continuam a deter contrastes mais elevados do que o território extrínseco a esta delimitação administrativa, particularmente em Braga, visto que em Guimarães a urbanização, de carácter mais difuso, continua a promover a interspersão de Ts*. À parte disto, ressalta – pelos acentuados contraste de Ts* na vizinhança – a construção da A11, que patenteia bem o papel do crescimento urbano na promoção das diferenças de Ts*, dadas as dissimilaridades na assinatura térmica das componentes biofísicas permeáveis preexistentes e as urbanas que lhes sucedem (Figura III-122).

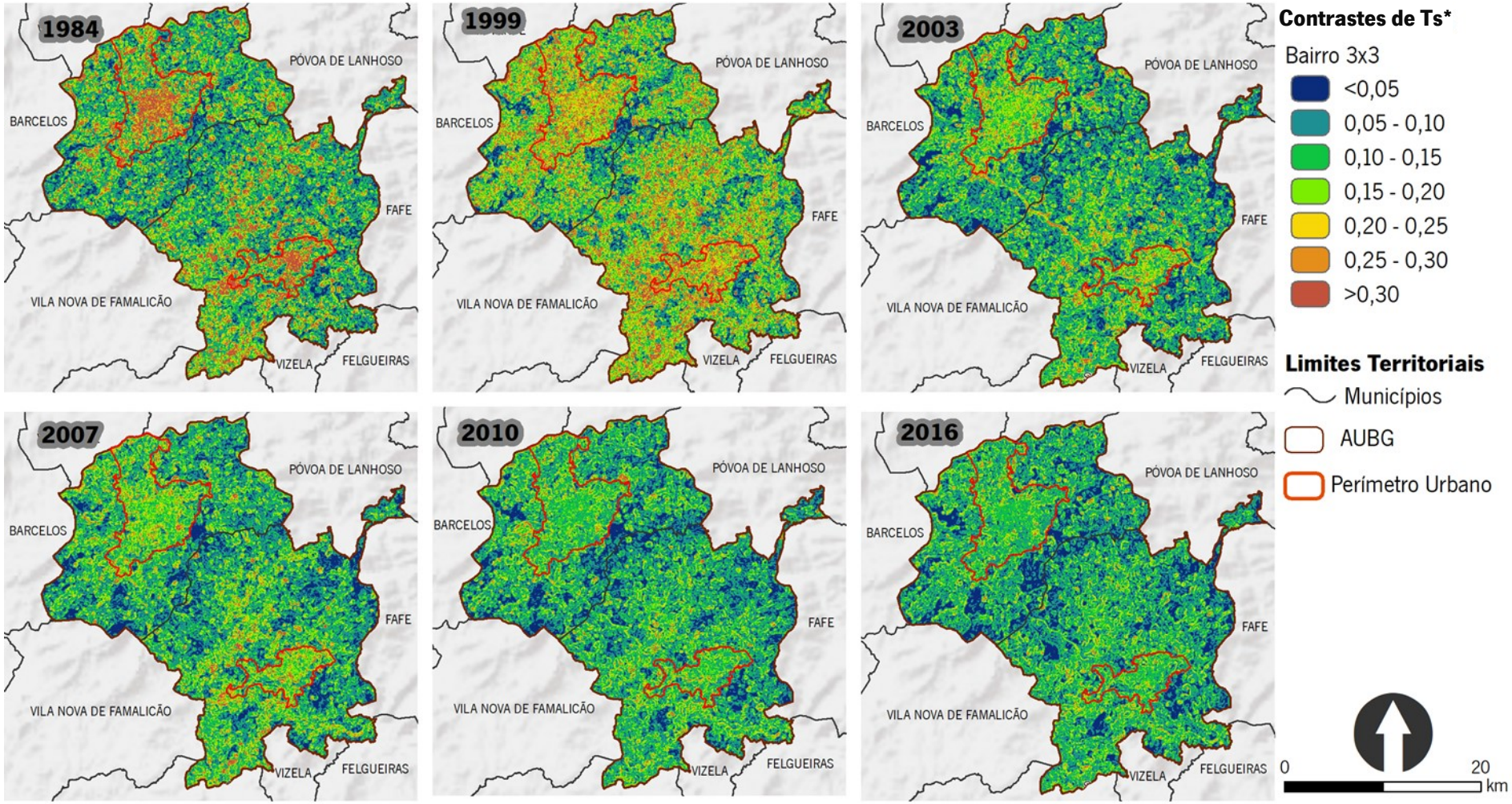


Figura III-122 – Evolução dos contrastes de Ts*, em função do bairro 3x3, na AUBG entre 1984 e 2016

Como se depreendia da análise dos valores médios dos contrastes de vizinhança de Ts* (Tabela III-38), o padrão espacial de 2007 assemelha-se ao de 2003. Ainda assim, importa individualizar duas situações: por uma lado, os elevados contrastes junto do eixo da A11 deixam de se verificar; e, por outro, os contrastes decorrentes da urbanização ganham destaque (Figura III-122).

Em 2010, denota-se sobretudo a diminuição dos contrastes de vizinhança de Ts*. Não obstante, os bairros com contrastes muito acentuados (*i.e.*, >0,2) sobresseem junto ao limite Oeste do perímetro urbano de Braga, pela configuração espacial, próxima da circular; este anel, que circunda um terreno com contrastes medianos (*i.e.*, 0,15–0,20), decorre de um incêndio florestal. Em vista disso, esta área similar entre si, distingue-se da envolvente próxima, como comprova a interface de contrastes elevados (Figura III-122).

Por fim, em 2016 são notórios os baixos contrastes de Ts* (Figura III-122), decorrentes da quase total ausência de áreas com contrastes acentuados (*i.e.,* 0,25-0,3 e >0,3), e da expressão (a maior de toda a série analisada) dos locais com contrastes reduzidos (*i.e.,* <0,05).

Bairro 11x11

O cálculo dos contrastes térmicos de vizinhança a partir de uma área de análise de maior dimensão (*i.e.*, com cerca de 10ha) determina, não só valores médios mais elevados (*c.f.*, Tabela III-38 e Tabela III-39), como também padrões espaciais distintos dos escrutinados anteriormente (*c.f.*, Figura III-122 e Figura III-123).

No bairro 11x11, em 1984, os núcleos urbanos correspondentes às cidades de Braga e de Guimarães deixam de constituir um *hotspot* no que se refere aos contrastes de Ts*, como acontecia no bairro 3x3 – que pelo contrário sobressem pela homogeneidade dos valores. A esta escala de análise os bairros com maiores contrastes localizam-se no limite do perímetro urbano, ainda que extravasem claramente esta delimitação administrativa, nos dois municípios (Figura III-123). Curiosamente, no que respeita exclusivamente aos núcleos centrais, é de realçar que os mapas 3x3 e 11x11 parecem constituir um negativo um do outro (*c.f.*, Figura III-122 e Figura III-123). Assim, apesar de em 1984 os aglomerados urbanos exibirem um mosaico de áreas quentes e frescas numa escala de grande proximidade (cerca de 1ha), num contexto de vizinhança mais lato estes individualizam-se como uma área homogénea (pela análise anterior sabe-se de Ts elevadas).

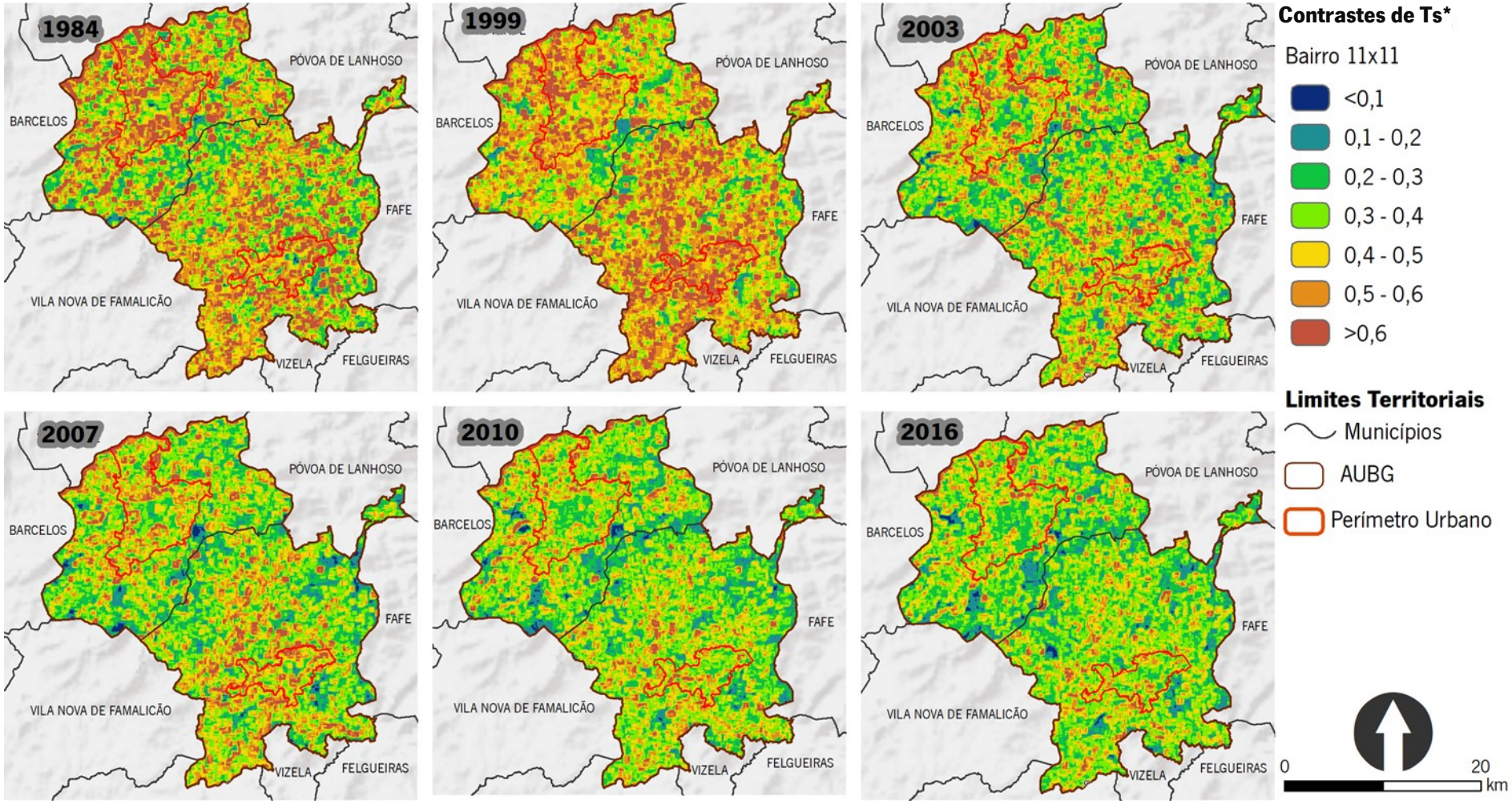


Figura III-123 – Evolução dos contrastes de Ts*, em função do bairro 11x11, na AUBG entre 1984 e 2016

Em 1999, como anteriormente constatado, aumentam os locais com contrastes de Ts* elevados, destacando-se particularmente as áreas de fundo de vale no município de Guimarães. Além disto, parte do centro urbano de Braga e de Guimarães perde a homogeneidade nas características de Ts* verificadas em 1984 (Figura III-123).

Decorridos 4 anos, marcados pelo intenso crescimento urbano, assiste-se a um decréscimo generalizado dos contrastes de Ts*. A este respeito notar que, o território adjacente ao rio Cávado (no limite do município de Braga com o de Vila Verde) deixa de exibir os contrastes térmicos acentuados bem patentes nas datas anteriores; ademais, nas datas seguintes estas diferenças de Ts* continuarão a esbater-se. Ainda assim, entre as 'cidades' de Braga e de Guimarães e o limite dos respetivos perímetros urbanos subsistem locais com contrastes de Ts* elevados (como sucede no bairro 3x3). De igual modo, são manifestas as diferenças térmicas decorrentes da abertura de novos eixos viários – no caso específico a A11, que constitui a exceção mais visível à tendência geral do território.

Em 2007, a igualdade dos valores médios dos contrastes térmicos de vizinhança relativamente 2003, reflete-se de igual modo na similaridade dos padrões espaciais – excetuando-se, visivelmente, o troço da A11, menos contrastado em relação ao território envolvente (Figura III-123).

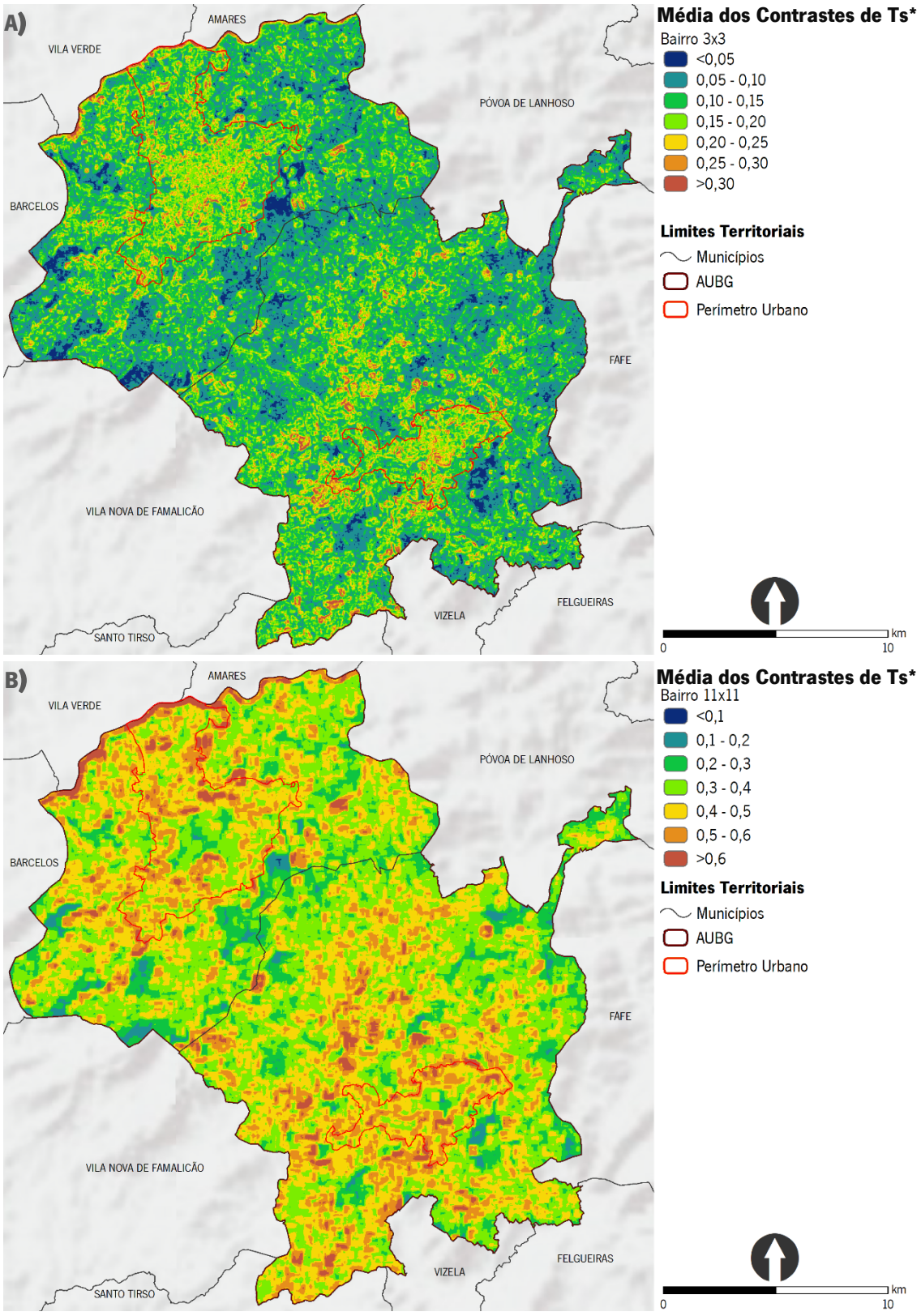
A tendência para a diminuição dos contrastes de vizinhança do ambiente térmico prossegue em 2010. Para tal, contribui o facto de os centros urbanos, em particular, e o interior do perímetro urbano, em geral, exibirem (cada vez de modo mais claro) valores de Ts* mais homogéneos. Ainda assim, Braga destaca-se pela dimensão do seu núcleo genético. No restante território da AUBG, os pequenos núcleos urbanos continuam a deter características de Ts* distintas das áreas adjacentes, sendo esta situação mais evidente nesta escala do que na 3x3 (que à data traduz uma paisagem térmica mais uniforme). Numa perspetiva restrita, importa ainda considerar os elevados contrastes de Ts* decorrentes do incêndio florestal no limite Oeste do perímetro urbano de Braga, reforçando-se as asserções anteriores, mormente a similaridade do seu interior e a discrepância nas áreas de interface (Figura III-123).

Por último, em 2016 observam-se os contrastes do ambiente térmico mais reduzidos, como sucede também no bairro 3x3. No interior do perímetro urbano de Braga e de Guimarães os bairros com contrastes térmicos elevados confinam-se às áreas limítrofes desta demarcação. No restante território, seguindo o alinhamento viário, do qual irrompem as edificações, permanecem

igualmente os contrastes de Ts* elevados, consequência interspersão das superfícies impermeáveis e permeáveis, particularmente as que possuem vegetação arbórea e/ou densa. Ao mesmo tempo, dada a importância que esta componente biofísica assume nesta data, sobressaem os reduzidos contrastes de Ts nos topos (Figura III-123). Posto isto, decorridos 32 anos com intensos processos de crescimento urbano verifica-se numa visão sumária: reduzidos contrastes térmicos de vizinhança nos dois nos dois núcleos centrais, assim como nos topos; porém, nas áreas que medeiam estes dois extremos, a urbanização difusa continua a desencadear acentuados contrastes térmicos.

III – 4.3.2. Síntese Cronogeográfica

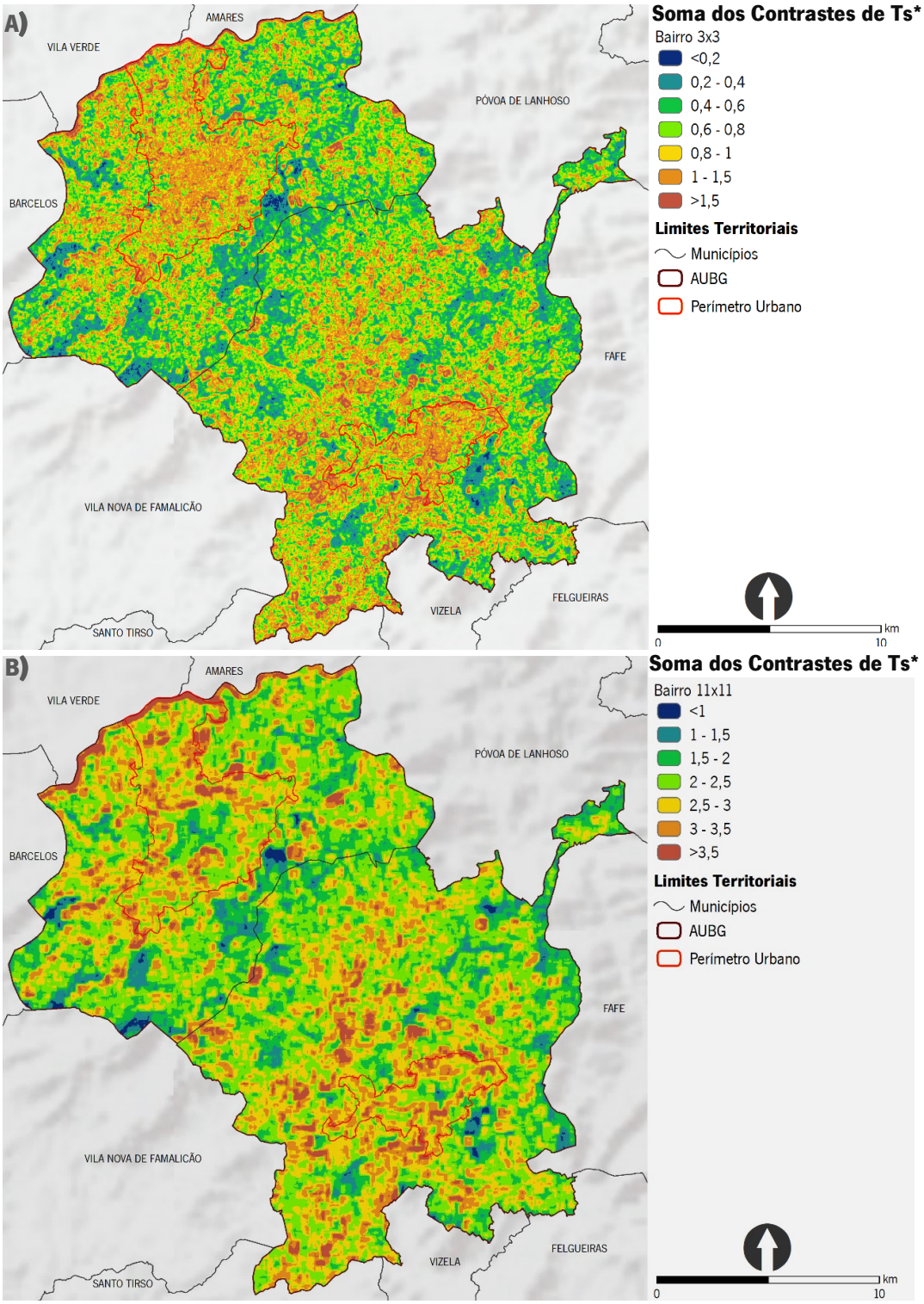
Após a análise do padrão espacial do bairro 3x3 e do bairro 11x11 em cada uma das seis datas, procura-se sintetizar a sua evolução num único mapa, tendo como referência o valor médio dos contrastes de vizinhança (Figura III-124). Na observação simultânea das duas escalas de análise sobressaem duas grandes diferenças: por um lado, os centros urbanos de Braga e de Guimarães surgem mais contrastados a escalas mais amplas; por sua vez, as áreas com vegetação são claramente mais homogéneas a escalas mais reduzidas. Nas áreas de urbanização difusa e nas margens do Rio Cávado, o aumento da escala de análise – ou seja, a passagem do bairro 3x3 para o bairro 11x11 – promove uma dilatação dos contrastes térmicos no território. Estes resultados demonstram que o aumento do número de pixéis considerados no cálculo da amplitude de Ts* (que mede os contrastes) amplia espacialmente o efeito dos pontos mais quentes ou mais frescos – visto que, passam a estar na área de influência de um maior número de pixéis. Justificando, deste modo, a existência de contrastes médios de Ts* mais elevados no bairro 11x11, bem como uma maior representatividade das classes mais elevadas, por comparação ao observado no bairro 3x3.



A) – Bairro 3x3; B) Bairro 11x11

Figura III-124 – Média dos contrastes de Ts*, em função do bairro 3x3 e do 11x11, na AUBG entre 1984 e 2016

Concomitante à média dos contrastes de Ts* entre 1984 e 2016, sintetizou-se também o padrão espacial dos 32 anos em análise a partir da soma dos valores. Se no bairro 11x11 o padrão espacial da média dos contrastes e o resultante soma é pariforme, o mesmo não sucede no bairro 3x3. A esta escala, são notórias as diferenças (Figura III-125), que importa reter.



A) – Bairro 3x3; B) Bairro 11x11

Figura III-125 – Soma dos contrastes de Ts*, em função do bairro 3x3 e do 11x11, na AUBG entre 1984 e 2016

A partir da soma dos valores dos contrastes de Ts* conclui-se que os bairros com os contrastes mais acentuados se encontram organizados numa espécie de filigrana, que corresponde à rede viária, em torno da qual se desenvolveram os núcleos habitacionais, comerciais ou industriais. Esta metáfora, tantas vezes utilizada para descrever a urbanização difusa, não é percetível em nenhum dos mapas apresentados anteriormente, demonstrando que não é fruto de nenhum período específico, mas sim da sedimentação das várias camadas que compõem este modelo territorial. Ademais, como a metáfora sugere, o padrão deixa de ser percetível com o aumento de dimensão da escala de análise, como sucede no bairro 11X11 (Figura III-125). Esta informação, conjuntamente evidenciado a propósito da construção da A11 em 2003, suporta a assunção de que os contrastes térmicos de vizinhança mais elevados tendem a ocorrer junto das novas áreas de interface urbano-permeável (Figura III-125).

Por fim, importa ainda aludir às áreas mais elevadas da AUBG que exibem sistematicamente contrastes térmicos de vizinhança muito reduzidas (*vide* Figura III-122 até à Figura III-125). Esta questão, por demais evidente em todos os mapas apresentados, patenteia bem a homogeneidade das suas características térmicas, decorrente da preponderância da componente biofísica vegetação arbórea e/ou densa.



IV.

EFEITO CLIMÁTICO DA URBANIZAÇÃO DIFUSA NA AUBG

"A Geografia, física ou humana, concedeu sempre especial importância à interpretação de dissimetrias, descontinuidades ou discordâncias, reveladoras de combinações mal ajustadas de estruturas diferentes, de funções orientadas em sentidos diversos, donde resultam formas complexas que nem sempre se deixam ordenar por modelos teóricos".

|Orlando Ribeiro, 1994, p.170|

Parte IV – EFEITO CLIMÁTICO DA URBANIZAÇÃO DIFUSA NA AUBG

"Cities are perhaps the most dramatic expressions of the transformations of natural environment by the hand of humans".
| Gluch e Ridd, p.87 |

CONTEXTUALIZAÇÃO

O crescimento urbano é um fenómeno transversal a todo o globo (Netzband e Jürgens, 2010), não constituindo Portugal – e, particularmente, os municípios de Braga e de Guimarães – uma execeção. No decorrer do processo de urbanização o território permeável, com maior ou menor cobertura vegetal é convertido em superfícies impermeáveis antrópicas. O aumento da carga térmica decorrente desta modificação detém profundas implicações ecológicas (Roth, 1989, 2013), que se manifestam da escala local à global (Weng, 2011) – requerendo a sua compreensão uma abordagem holística e integrada do território. Apesar de existirem numerosos estudos acerca do efeito climático da urbanização compacta e densa, são diminutos os que se centram em áreas urbanas de pequena/média dimensão e/ou com densidade de construção menor (Gunawardena *et al.,* 2017; Zhou *et al.,* 2019) – como sucede em grande parte do território de Braga e de Guimarães, em virtude do secular processo de urbanização difusa. Neste sentido, o principal aporte desta investigação reside na determinação do efeito climático da urbanização difusa – antecipando-se uma acentuada complexidade térmica, decorrente da mescla das componentes biofísicas, com assinaturas térmicas muito distintas. Concomitantemente, também as variações do ambiente térmico ao longo do dia ou perante um evento de calor extremo (que consubstanciam no 'hoje' o cenário climático projetado para o futuro) – ainda debilmente conhecidas – são investigadas, para um entendimento cabal do campo térmico da urbanização difusa. Atendendo ao atual contexto de alterações climáticas, a aplicação de medidas estruturais para a sua mitigação e adaptação é imperativo, sob pena de não terem sucesso. Neste quadro, as áreas urbanas constituem palco de atuação privilegiado, uma vez que por concentrarem a maioria da população e das atividades económicas, acumulam a dupla posição de 'indutoras' e 'sofredoras' destas alterações (Alcoforado e Marques, 2016). E, para finalizar, como salienta Roth (2013), a eficácia destas medidas depende em primeira instância do conhecimento das características climáticas locais.

IV – 1. Dicotomia do Ambiente Térmico

"Urbanization and UHI have impacts that range from local to global scales, and cities are an important component of global environmental research".
| Roth, 2013, p.143 |

Atendendo à complexidade da paisagem térmica dos municípios de Braga e de Guimarães, potenciada pelo acentuar do processo de urbanização difusa, procura-se individualizar as áreas onde nas seis datas em análise (*i.e.,* 1984, 1999, 2003, 2007, 2010 e 2016) se verificaram as situações extremas do ambiente térmico – *i.e.*, de aquecimento (ilhas de calor) e de arrefecimento (ilhas de frescura). De facto, para Ribeiro (1995) o estudo geográfico deve conduzir à delimitação de áreas e exprimi-las por meio de mapas, podendo este processo ser prévio à investigação (*e.g.*, a seleção da área de estudo) ou decorrer da sua realização, como sucede com a delimitação das ilhas de calor e de frescura de superfície na AUBG.

IV – 1.1. Individualização da(s) Ilha(s) de Calor

A ilha de calor urbano tradicionalmente determinada pela diferença de temperatura do ar entre a cidade (mais quente) e o campo (mais fresco), é nesta investigação delineada a partir dos valores de Ts captados pelo Landsat – quer isto dizer, decorre das diferenças térmicas das superfícies diretamente expostas ao satélite (*vide* Figura I-30). A delimitação das áreas que exibem ilha de calor na AUBG é efetuada a partir de limiares de Ts, definidos em função da média e do desvio-padrão de cada data (Ma *et al.*, 2009; Guha *et al.*, 2018). Por não requerer a visão dicotómica do território em urbano (cidade) e não urbano (campo), este método afasta-se das abordagens tradicionais (empregues nos estudos assentes na temperatura do ar). Efetivamente, dada a mescla dos usos do solo (e por inerência das componentes biofísicas) nestes municípios, associada ao secular processo de urbanização difusa, esta cisão torna-se deveras complexa. Importa esclarecer que, este método constitui *per si* uma forma de normalização de Ts, pelo que se opta por utilizar novamente os valores absolutos (*i.e.*, em graus celsius), que facultam uma visão mais direta da evolução da intensidade da ilha de calor de superfície (ICS) na AUBG entre 1984 e 2016.

O conhecimento da intensidade e da extensão da ilha de calor na AUBG, bem como das suas causas, é fundamental para a definição de medidas de mitigação e de adaptação no cenário atual de alterações climáticas coerentes com as características do território, uma vez que este fenómeno

varia significativamente no tempo e no espaço (Alcoforado *et al.,* 2014). Como referem Kwarteng e Small (2010), "*the dynamics of the heat islands are a function of the time, meteorological conditions, local and urban characteristics, and consequently, could be unique for particular urban area*" (p.277). Neste sentido, é imprescindível sua constante monitorização.

Ainda no contexto de alterações climáticas, está previsto um incremento da intensidade da ilha de calor, sendo que segundo o IPCC (2013) algumas cidades já atingiram os níveis de aquecimento previstos para 2100; bem como, um aumento das ondas calor, que potenciam ainda mais este fenómeno dada a sua relação sinergética (Chrysoulakis *et al.*, 2014). O facto de a ilha de calor promover modificações climáticas locais, enquanto é potenciada pelas alterações climáticas globais, reforça a importância da adoção de medidas de mitigação e de adaptação das alterações climáticas nos espaços urbanos.

IV – 1.1.1. Intensidade

A intensidade da ilha de calor é determinada pela diferença de temperatura verificada no binómio cidade/campo, urbano/rural, superfícies impermeáveis antrópicas/superfícies permeáveis – quer isto dizer, resulta da oposição da paisagem humanizada (por regra, mais quente) àquela que permanece mais natural (e mais fresca), seja qual for a escala, método ou designação adotada para descrever esta dualidade. Assim sendo, importa notar que a intensidade da ilha de calor se encontra profundamente dependente das condições de humidade (que, por sua vez, determinam a temperatura) das áreas rurais. Antes de mais de lembrar que, a análise anterior da amplitude térmica entre as componentes biofísicas urbanas e as não urbanas (a diversas escalas espaciais), e entre o interior e o exterior do perímetro urbano de cada um dos municípios, deixou bem patente o contributo do processo de urbanização para o aquecimento do ambiente térmico da AUBG.

A diferença entre o valor máximo e mínimo de Ts considerados não discrepantes no conjunto da série de dados traduz – em termos latos – a evolução da intensidade da ilha de calor na AUBG. Deste modo, exclui-se o impacte dos valores extremos, decorrente de situações isoladas e excecionais, já escrutinadas anteriormente. Efetivamente, na AUBG entre 1984 e 2016 denota-se uma tendência para o aumento da intensidade da ilha de calor, registando-se as diferenças de maior magnitude nos anos de 2016 e 2010 (Tabela IV-1). Numa outra perspetiva, em tentativa de analogia com a intensidade da ilha de calor na atmosfera Urbana Inferior, decorrente da

temperatura do ar, será de esperar que esta apresente valores mais baixos (em alguns graus), posto que a variação de Ts é mais acentuada do que a do ar, sendo por isso que a ilha de calor de superfície adquire contornos mais delineados e com maior intensidade (Klock *et al.*, 2012).

Tabela IV-1 – Intensidade da ilha de calor de superfície (ºC) considerando os valores de Ts não discrepantes na AUBG entre 1984 e 2016

Data	Mínimo (ºC)	Máximo (ºC)	Diferença (ºC)
1984	21,74	33,09	11,32
1999	26,27	45,12	18,85
2003	25,73*	41,96	16,23
2007	26,81	45,08	18,27
2010	27,20*	50,00	22,18
2016	26,27*	50,14	23,87

*Nos anos de 2003, 2010 e 2016 o valor mínimo da série não é um valor discrepante.

Prosseguindo na mesma lógica, a diferença entre a Ts média das áreas sob efeito da ilha de calor superfície (após a aplicação dos limiares supramencionados) e as áreas não classificadas como tal, traduz resultados análogos aos anteriores. Sem embargo, de notar que ambas as áreas (*i.e.*, com e sem ilha de calor) sofrem um incremento de Ts média entre 1984 e 2016. Este aumento, *grosso modo* linear, apresenta duas exceções, pois 1999 e 2010 exibem Ts médias mais elevadas do que as datas subsequentes (Tabela IV-2), como constatado aquando da evolução de Ts na AUBG (*vide* Tabela III-16). Chen *et al.* (2006) obtiveram resultados similares para o Delta do Rio das Pérolas (China), dado que apesar de percetível a tendência linear de aumento da intensidade da ilha de calor de superfície entre 1990 e 2000, verificaram que esta era mais elevada em 1990 do que em 1994. De acordo com os referidos autores, tal poder-se-á dever mudanças nas condições da vegetação e/ou nas culturas agrícolas, bem como nas condições de humidade do solo. De igual modo, Ma *et al.* (2009, 2010) também não encontraram uma tendência perfeitamente linear no aumento da magnitude da ilha de calor na cidade de Guangzhou (China) entre 1990 e 2005.

Tabela IV-2 – Diferença da média de Ts (°C) nas áreas com ICS e sem ICS na AUBG entre 1984 e 2016

Ano	Sem ICS (°C)	Com ICS (°C)	Diferença (°C)
1984	26,45	30,70	4,26
1999	33,84	40,09	6,26
2003	32,26	37,79	5,53
2007	34,27	40,55	6,28
2010	36,31	43,41	7,09
2016	34,65	42,05	7,40

A comparação dos resultados do presente estudo com os obtidos por Guha *et al.* (2018) para as cidades de Nápoles e de Florença (Itália) – que tem por base a mesma metodologia para a delimitação da ilha de calor de superfície, e utilizada igualmente imagens Landsat do mês de julho de 2016 –, demostra que na AUBG a intensidade da ilha de calor é consideravelmente mais elevada. O valor médio de Ts das áreas classificadas como ilha de calor superficial nas duas cidades italianas era apenas 3°C mais elevado do que o restante território, no entanto, na AUBG em 2016 esta diferença é de mais de 7°C, lembrando que na AUBG em 1984 o referido valor já era de 4°C (Tabela IV.2). De facto, em 2016 na AUBG a Ts média das áreas com efeito de ilha de calor, bem como a das áreas sem efeito da ilha de calor, é mais elevada do que em Florença e Nápoles, sendo a diferença entre a AUBG e as cidades italianas mais significativa no primeiro caso. Em detalhe, a Ts média das áreas com ilha de calor na AUBG é de 42,05°C enquanto em Nápoles o valor é de 35,24°C e em Florença de 34,84°C. No restante território da AUBG a Ts média é de 34,65°C, em Nápoles é de 31,93°C e em Florença de 31,71°C.

Park (1987) alerta para o facto de as áreas urbanas localizadas em vales, como o é caso do núcleo central de Braga e de Guimarães (e também de Florença), poderem exibir uma ilha de calor com maior magnitude. Todavia, contrariamente até ao que seria de esperar, a AUBG exibe uma ilha de calor de superfície com maior intensidade do que Florença (e do que Nápoles, embora esta possua uma localização espacial muito distinta, e como tal, seja menos comparável). A justificação para esta discrepância de valores – dada a similaridade da posição topográfica e da data de captura das imagens – poderá residir nas condições meteorológicas anteriores à passagem do Landsat, que tal como referido anteriormente desempenham um papel crucial no desenvolvimento espacial e na intensidade da ilha de calor de superfície (Chen *et al.*, 2006; Martin *et al.*, 2014). Ainda assim, de ressalvar que o estudo de Guha *et al.* (2018) se baseia na análise de uma única data,

e a análise ambiente térmico – particularmente do ponto de vista quantitativo – deve assentar em mais do que uma imagem, de modo a despistar situações esporádicas ou excecionais.

Ainda num ponto de vista comparativo com o trabalho realizado por Guha *et al.* (2018), de notar que estes autores encontraram nas cidades de Nápoles e de Florença valores de desvio-padrão de Ts mais elevados nas áreas classificadas como ilha de calor, do que nas áreas sem efeito de ilha de calor; porém, na AUBG esta situação apenas ocorre nas primeiras datas (*i.e.*, 1984, 1999, 2003, 2007), dado que em 2010 e 2016 são as áreas que não estam sob efeito da ilha de calor que exibem valores de Ts mais heterogéneos (*vide Apêndice XV* e Apêndice XIV).

Para descrever de modo quantitativo a variação de Ts entre diferentes locais, Xiong *et al.* (2012) propuseram um índice regional de amplitude da temperatura (traduzido de *regional temperature range index*), determinado - em analogia com a amplitude diurna – pela diferença entre o valor máximo e mínimo de Ts verificado num dado local. Para a interpretação deste índice, os autores baseiam-se na hipótese teórica de que o seu aumento ao longo do tempo poderá ser encarado como indicativo de uma tendência de aquecimento do ambiente térmico (como indica a diminuição da amplitude diurna). Nesta aceção, valor mais elevado do índice regional de amplitude da temperatura implica uma maior possibilidade de mudança de Ts e uma ilha de calor de maior intensidade.

A aplicação do índice regional da temperatura à AUBG, em função da bipartição do território decorrente da aplicação dos limiares de Ts que determinam a ilha de calor, ilustra bem que este é substancialmente mais elevado nas áreas sob efeito de ilha calor de superfície, tal como alertam Xiong *et al.* (2012). Além disto, apesar de se verificar em ambas as áreas um amento deste índice, este é claramente mais expressivo nas áreas sob efeito da ilha de calor – sendo em 2016 a diferença entre o ponto mais fresco e o mais quente de quase 21°C (Tabela IV-3). Esta tendência encontra-se em consonância com os resultados obtidos por Xiong *et al.* (2012) na cidade de Guangzhou (China) entre 1990 e 2009.

Tabela IV-3 – Amplitude (ºC) de Ts nas áreas com ICS e sem ICS na AUBG entre 1984 e 2016

Ano	Sem ICS (ºC)	Com ICS (ºC)
1984	9,08	13,61
1999	16,42	18,71
2003	11,34	17,80
2007	15,27	22,15
2010	15,82	22,35
2016	14,09	20,71

Com a utilização de diversos indicadores para determinar a intensidade da ilha de calor procura-se capturar este fenómeno nas suas múltiplas facetas. Assim, de notar que os resultados de todos os procedimentos corroboram o aquecimento claro do ambiente térmico superficial na AUBG, decorrente do incremento das temperaturas máximas, assim como também das temperaturas mínimas. De facto, como alerta o relatório da EEA (2012a), "*the observed increasing trend in land surface temperature worldwide is the most obvious aspect of anthropogenic climate change*" (p.51).

IV – 1.1.2. Extensão

A par do aumento da intensidade da ilha de calor de superfície na AUBG entre 1984 e 2016, verifica-se igualmente um incremento linear da sua extensão espacial, como comprova o R^2 de 0,89 (Figura IV-1). Efetivamente, verifica-se um aumento de 7,5% do território da AUBG que se encontra sob o efeito da ilha de calor, visto que passa de 24,7% em 1984 para 32,02% em 2016. Esta constatação é apenas transversal ao município de Braga (R^2 de 0,83), dado que em Guimarães não se discerne uma tendência temporal (Figura IV-1). Importa lembrar que estes resultados veem reforçar – uma vez mais – as asserções anteriores.

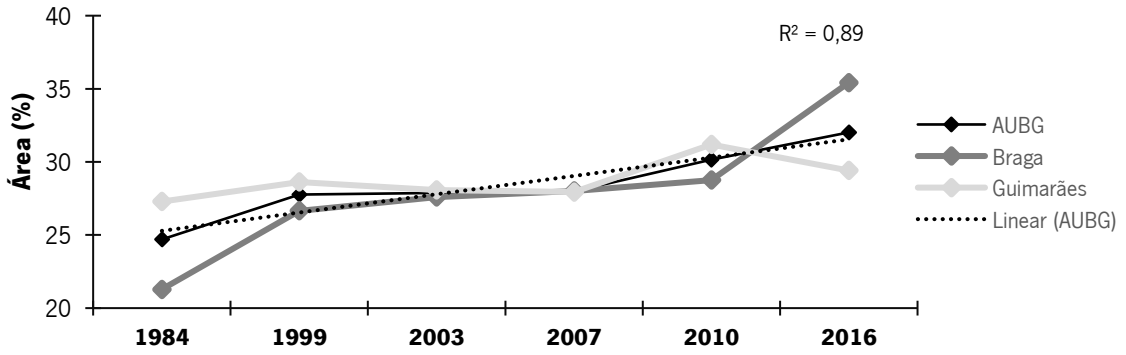


Figura IV-1 – Extensão espacial (%) da ilha de calor de superfície na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

No município de Braga o território sob efeito da ilha de calor passa de 21,29% em 1984 para 35,42% em 2016, correspondendo a um incremento 14,13% (Figura IV-1). Este valor é idêntico ao obtido por Guha *et al.* (2018) nas cidades italianas de Florença e de Nápoles, igualmente para julho de 2016. Por seu turno, em Guimarães não é 2016 que a ilha de calor assume maiores proporções, mas sim no ano de 2010 – data em que ocupa 31,19% do território concelhio (Figura IV.1).

Em termos comparativos a ilha de calor de superfície é mais expressiva em Guimarães do que em Braga nos anos de 1984, 1999, 2003 e 2010; em 2007 reparte-se de modo equitativo entre os dois municípios; e, somente em 2016 assuem maior representatividade em Braga (Figura IV-1). Numa análise temporal detalhada, constata-se que Guimarães e Braga partem de valores distintos (*i.e.*, 27,29% e 21,29%, respetivamente), registando-se em ambos os municípios um aumento da área em 1999, apesar de este ser mais expressivo em Braga. De 1999 para 2003, Braga mantém a tendência, porém em Guimarães verifica-se um decréscimo, e, com efeito, pela primeira vez os dois municípios apresentam uma percentagem do território afetado pela ilha de calor similar. Na data seguinte, os dois municípios repetem a tendência descrita anteriormente, pelo que em 2007 a proporção de território afetado pela ilha de calor é igual nos dois municípios (*i.e.*, 28,01% em Braga e 27,94% em Guimarães). Em 2010, fruto das Ts elevadas verificadas em toda a AUBG, ambos os municípios registam um aumento no território considerado ilha de calor. Em 2016 Braga regista novamente um aumento da área ocupada pela ilha de calor (que de 28,76% passa para 35,42%), ao passo que Guimarães exibe uma diminuição, e pela primeira vez a proporção de território afetado pela ilha de calor é inferior à verificada no município vizinho, como acima mencionado (Figura IV-1).

IV – 1.1.3. Diferenciação Urbano/Não Urbano

Na análise da ilha de calor de superfície um dos aspetos fundamentais a ter em consideração é que esta não afeta exclusivamente as áreas urbanas (neste trabalho entendidas como as superfícies impermeáveis de origem antrópica), dado que em locais com solo exposto ou com vegetação rasteira muito seca a Ts atinge igualmente valores muito elevados. Em algumas situações – *e.g*, logo após a ocorrência de um incêndio florestal –, as áreas permeáveis podem registar Ts mais elevadas do que o tecido urbano, como ficou bem patente aquando da determinação da assinatura térmica das componentes biofísicas da AUBG. Nesta aceção, no

território sob efeito de ilha de calor procura-se distinguir se este tem uma ocupação *dita* urbana, determinada pela união das *layers* industrial/pedreiras e superfícies impermeáveis antrópicas, ou não urbana, composta pelas restantes componentes biofísicas.

Na AUBG o território não urbano contribui significativamente para a formação da ilha de calor de superfície (Tabela IV-4), ainda que de 1984 para 2016 se verifique um decréscimo muito significativo do contributo destas áreas, que em 2016 detêm quase metade da proporção de 1984 (*i.e.*, passam de 82,95% para 39,48% do território sob efeito da ilha de calor). Em detrimento, verifica-se um aumento da representatividade das áreas urbanas de 17,85% para 60,52% – ou seja, a sua representatividade mais que triplica (Tabela IV-4) –, consequência do intenso processo de urbanização verificado em Braga e Guimarães nestes 32 anos.

Ao considerar os dois municípios em estudo de modo individual, constata-se que o contributo do território não urbano para a formação da ilha de calor de superfície é mais expressivo em Guimarães do que em Braga, ao longo de todas as datas em análise (Tabela IV-4). Residindo nesta questão, senão na totalidade, pelo menos parte da explicação para a ausência de uma tendência temporal da evolução da extensão espacial da ilha de calor de superfície neste município (lembrando que as componentes biofísicas permeáveis apresentam uma ocupação espacial e um comportamento térmico deveras oscilatório).

Como verificado no conjunto da AUBG, ambos os municípios apresentam uma tendência clara para a diminuição da importância das áreas não urbanas sob o efeito de ilha de calor nos 32 anos em estudo. Ainda assim, esta diminuição é ligeiramente mais expressiva em Guimarães do que em Braga. De realçar que é apenas em 2016 que o contributo das áreas urbanas para a formação da ilha de calor de superfície da AUBG é mais importante do que o das áreas não urbanas, situação somente transversal ao município de Guimarães, atendendo a que em Braga estas assumem primazia com o advento do novo milénio (Tabela IV-4).

Focando a atenção apenas no território não urbano da AUBG, verifica-se que proporção deste afetada pela ilha de calor de superfície regista uma diminuição quase linear entre 1984 e 2016, visto que em 2010 se verifica uma ligeira inversão nesta tendência (Tabela IV-5). Estes resultados indicam que o território urbanizado terá sido aquele que mais contribuía para o efeito da ilha de calor, lembrando que a componente biofísica mais exaurida entre 1984 e 2016 foi precisamente aquela que detém maior carga térmica – *i.e.*, o solo nu.

Tabela IV-4 – Repartição (%) da ilha de calor de superfície entre o território urbano e não urbano na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Ano	AUBG		Braga		Guimarães	
	Urbano	Não Urbano	Urbano	Não Urbano	Urbano	Não Urbano
1984	17,05	82,95	20,44	79,56	15,03	84,97
1999	37,03	62,97	39,76	60,24	35,09	64,91
2003	46,69	53,31	52,03	47,97	42,68	57,32
2007	47,96	52,04	53,67	46,33	43,59	56,41
2010	48,56	51,44	55,63	44,37	43,59	56,41
2016	60,52	39,48	61,63	38,37	59,49	40,51

Tabela IV-5 – Proporção (%) das áreas não urbanas sob o efeito de ilha de calor na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Ano	AUBG		Braga		Guimarães	
	Com ICS	Sem ICS	Com ICS	Sem ICS	Com ICS	Sem ICS
1984	21,51	78,49	17,90	82,10	24,21	75,79
1999	20,00	80,00	18,59	81,41	21,04	78,96
2003	17,79	82,21	16,40	83,60	18,80	81,20
2007	17,55	82,45	16,06	83,94	18,63	81,37
2010	19,16	80,84	16,18	83,82	21,33	78,67
2016	17,50	82,50	19,23	80,77	16,23	83,77

Tabela IV-6 – Proporção (%) do tecido urbano sob o efeito de ilha de calor na AUBG e nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Ano	AUBG		Braga		Guimarães	
	Com ICS	Sem ICS	Com ICS	Sem ICS	Com ICS	Sem ICS
1984	88,75	11,25	80,62	19,38	96,62	3,38
1999	82,08	17,92	77,77	22,23	85,88	14,12
2003	78,88	21,12	74,49	25,51	83,36	16,64
2007	78,71	21,29	78,33	21,67	79,03	20,97
2010	76,70	23,30	75,69	24,31	77,63	22,37
2016	69,80	30,20	74,48	25,52	65,85	34,15

Ao reproduzir a análise anterior para o tecido urbano, paradoxalmente, também a proporção deste que não se encontra sob o efeito da ilha de calor regista um aumento (Tabela IV-6). De facto, em 1984 apenas 11,25% do tecido urbano da AUBG não se encontrava sob o efeito da ilha de calor de superfície, ao passo que em 2016 este valor passou para 30,20%. Esta situação transversal aos dois municípios, assume maior acuidade em Braga, com exceção da última data em análise. Em 2016, a proporção de território vimaranense considerado urbano que não estava sob o efeito da ilha de calor é de 34,15%, enquanto em 1984 era de apenas 3,38%. Por sua vez, em Braga este valor consideravelmente mais elevado em 1984 (*i.e.*, 19,38%) regista um menor incremento nestes 32 anos, sendo de 25,52% em 2016 (Tabela IV-6).

IV – 1.1.4. Configuração

As ilações obtidas anteriormente indicam que a adição de tecido urbano na AUBG contribui de modo claro para o aumento da ilha de calor de superfície entre 1984 e 2016, no entanto – e de modo paradoxal – em alguns locais não se verifica essa situação (Tabela IV-7). Neste sentido, procura-se com base na representação espacial da ilha de calor identificar e analisar essas especificidades territoriais.

Tabela IV-7 – Síntese das mudanças na ilha de calor de superfície da AUBG entre 1984 e 2016

	Território Sem ICS	**Território Com ICS**
Urbano	Aumenta	Aumenta
Não Urbano	Diminui	Diminui
Total da AUBG	Diminui	Aumenta

Em 1984 regista-se a menor proporção de território da AUBG sob efeito de ilha de calor (24,70%), sendo esta determinada maioritariamente pelas áreas não urbanizadas (*vide* Apêndice XVI), que se distribuem por todo o território (Figura IV-2). O tecido urbano encontra-se quase na sua totalidade sob efeito da ilha de calor, pois o que não contribui para a sua formação detém uma importância ínfima – apenas 1% em Braga (*vide* Apêndice XVI), que espacialmente sobressai no interior do perímetro urbano (Figura IV-2).

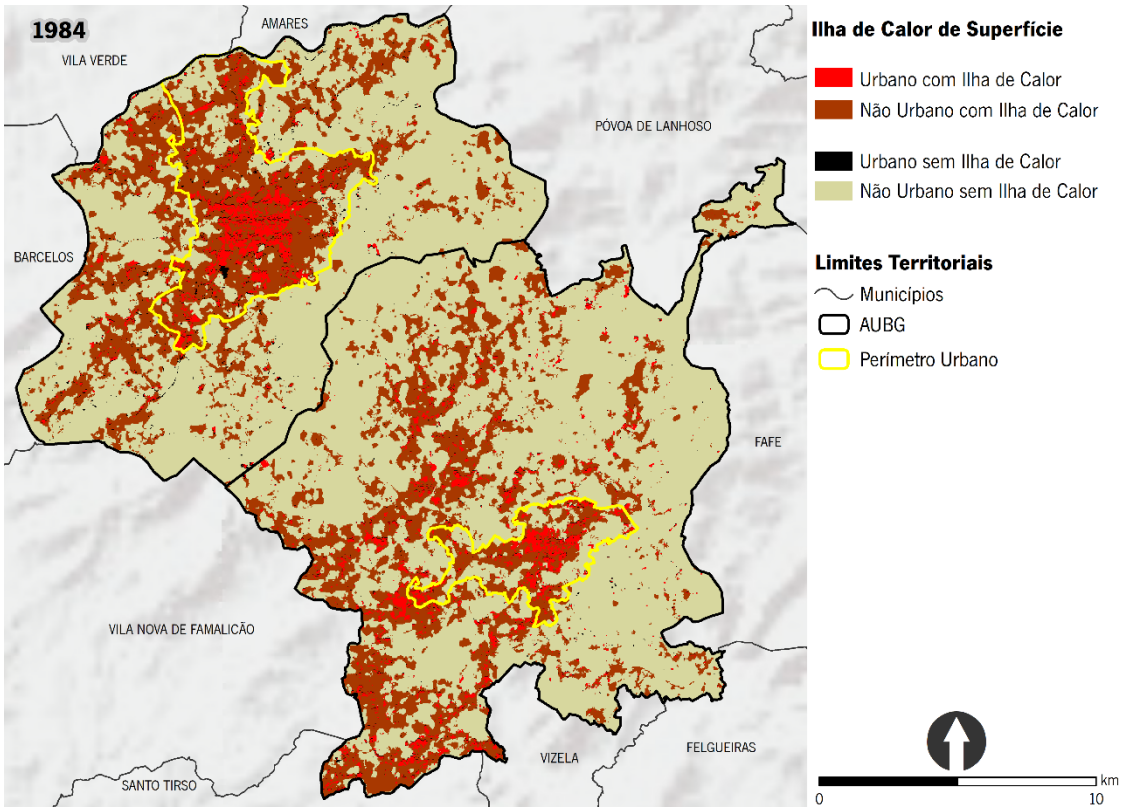


Figura IV-2 – Ilha de calor de superfície na AUBG em 1984

Volvidos 15 anos, em 1999 regista-se um incremento de 3% do território da AUBG sob efeito da ilha de calor, no entanto, a proporção que coincide com o tecido urbano aumenta 6% (*vide* Apêndice XVI). Concomitantemente, verifica-se também um aumento da expressão do tecido classificado como urbano que não se encontra sob o efeito da ilha de calor, que corresponde, em grande medida, a pedreiras localizadas junto à interseção dos município de Braga, Guimarães e Vila Nova de Famalicão, bem como as existente no setor Norte de Guimarães (Figura IV-3).

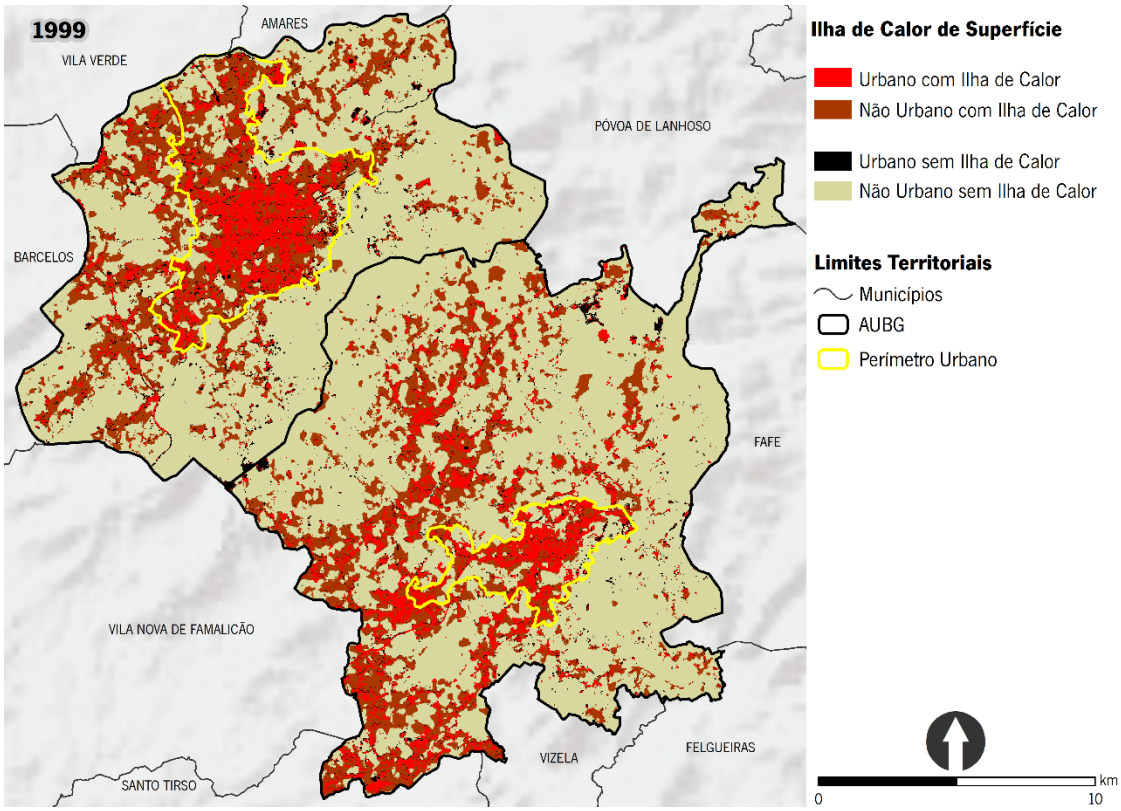


Figura IV-3 – Ilha de calor de superfície na AUBG em 1999

Em 2003, comparativamente a 1999, a mudança mais significativa decorre do acréscimo de tecido urbano sob efeito de ilha de calor, sendo esta situação mais flagrante em Braga do que em Guimarães (Figura IV-4). Efetivamente, em Braga a partir desta data o contributo do tecido urbano para a formação da ilha de calor passa a ser mais importante do que o do território não urbanizado (*vide* Apêndice XVI). Concomitantemente, o aumento da proporção solo urbanizado que não se encontra sob efeito de ilha de calor também assume maior expressão no município bracarense (*vide* Apêndice XVI). Em termos espaciais estas áreas coincidem com as vias rodoviárias e locais onde a urbanização assume características marcadamente difusas, sobressaindo o quadrante Sudoeste deste município (Figura IV-4).

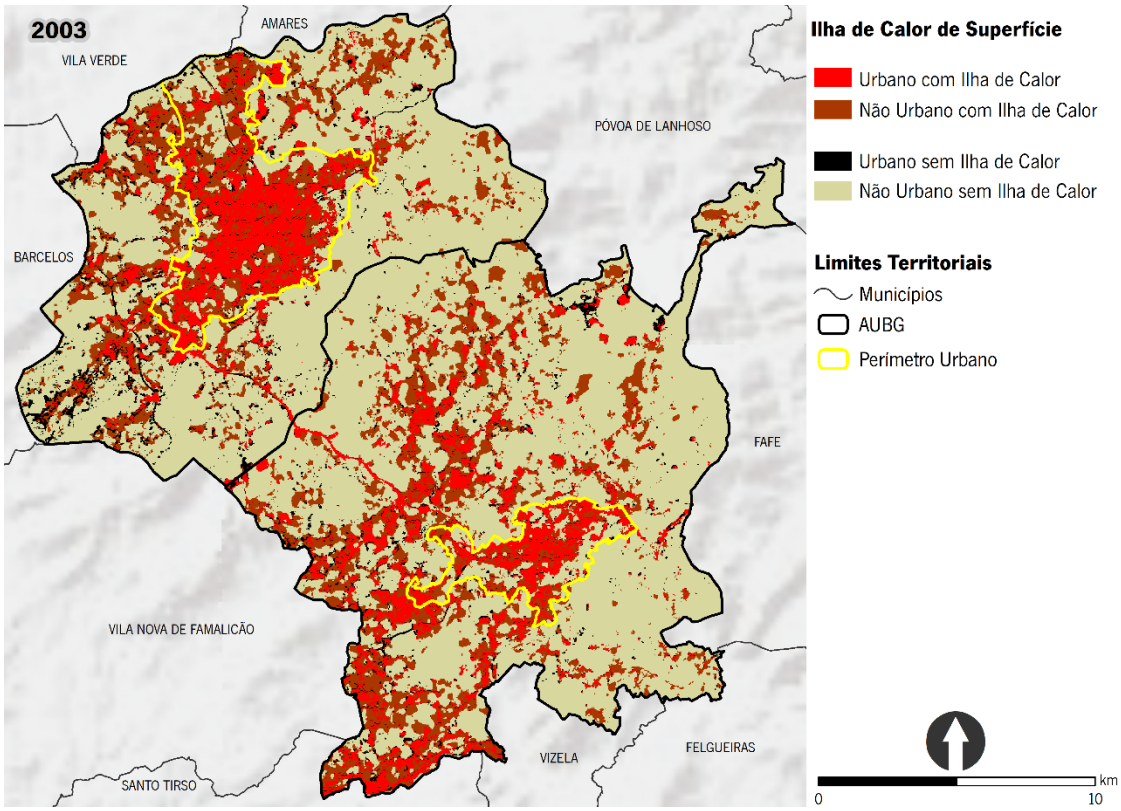


Figura IV-4 – Ilha de calor de superfície na AUBG em 2003

Decorridos 4 anos, em 2007 não se observam mudanças significativas na AUBG – pelo menos em termos percentuais (*vide* Apêndice XVI). Ainda assim, de notar que as áreas urbanas que não se encontram sob o efeito da ilha de calor, apesar de diminuírem em Braga (embora de modo quase impercetível), aumentam ligeiramente em Guimarães, tornando-se mais evidente espacialmente (Figura IV-5).

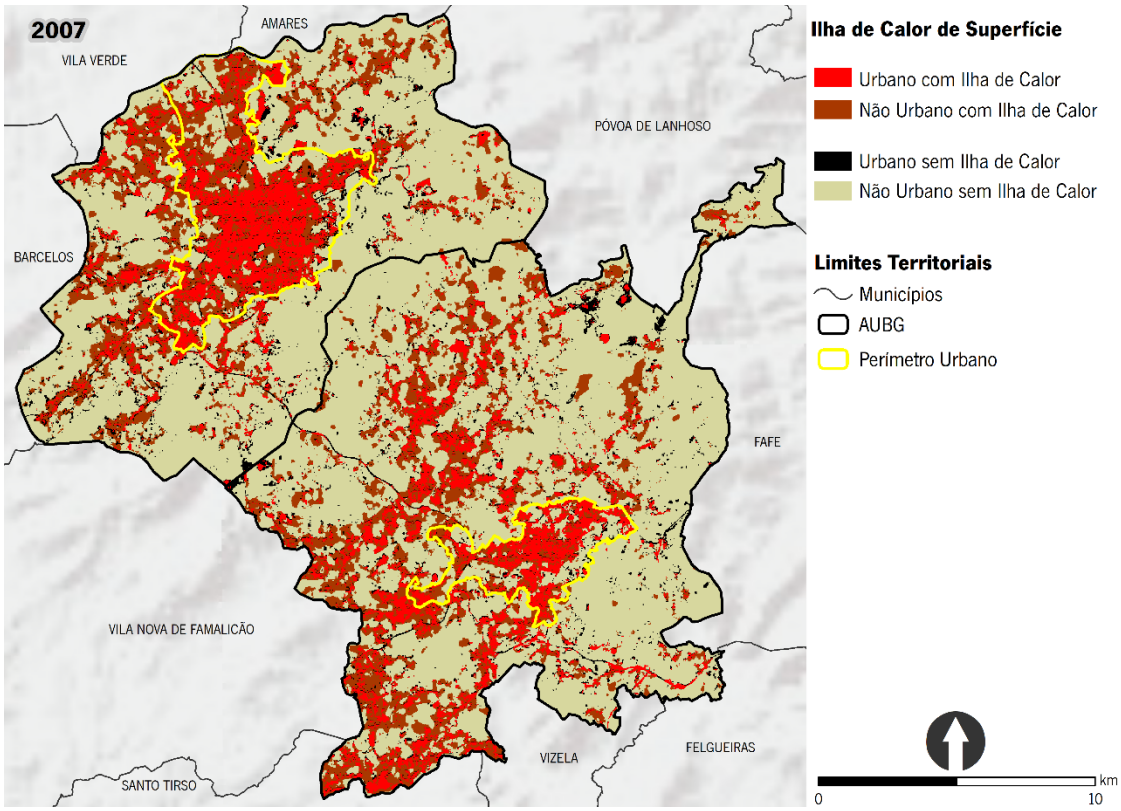


Figura IV-5 – Ilha de calor de superfície na AUBG em 2007

Em 2010 verifica-se a distribuição mais equitativa da ilha de calor superfície entre o tecido urbano e não urbano na AUBG. Contrariamente ao observado nos intervalos temporais analisados anteriormente, de 2007 para 2010 verifica-se um aumento da proporção do território da AUBG não urbanizado que se encontra sob o efeito da ilha de calor, contribuindo para tal apenas os aumentos verificados no município de Guimarães (*vide* Apêndice XVI). Não obstante, em Braga junto ao perímetro urbano sobressai – pela dimensão espacial – uma mancha de território não urbanizado que se encontra sob efeito da ilha de calor (Figura IV-6)

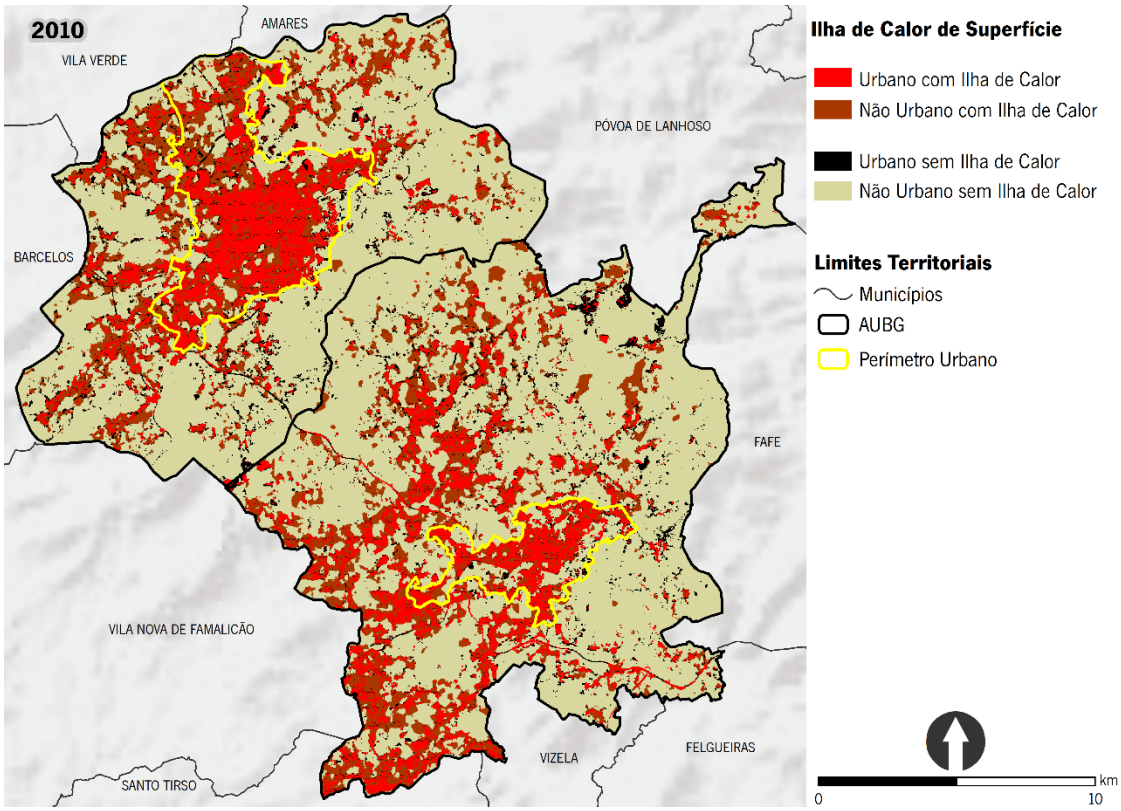


Figura IV-6 – Ilha de calor de superfície na AUBG em 2010

Em 2016 a ilha de calor detém a maior amplitude espacial de toda a série histórica em análise, e pela primeira vez no conjunto da AUBG o território urbano detém maior contributo para a formação da ilha de calor do que as áreas não urbanas. Esta situação decorre do aumento do tecido urbano sob efeito de ilha de calor nos dois municípios, sendo apenas nesta data que o tecido urbano vimaranense detém maior importância do que o não urbano na formação da ilha de calor (*vide* Apêndice XVI). Além disto, verifica-se igualmente neste município um aumento muito significativo do tecido urbano que não se encontra sob efeito da ilha de calor, que pela primeira vez também é mais significativo do que em Braga (Figura IV-7).

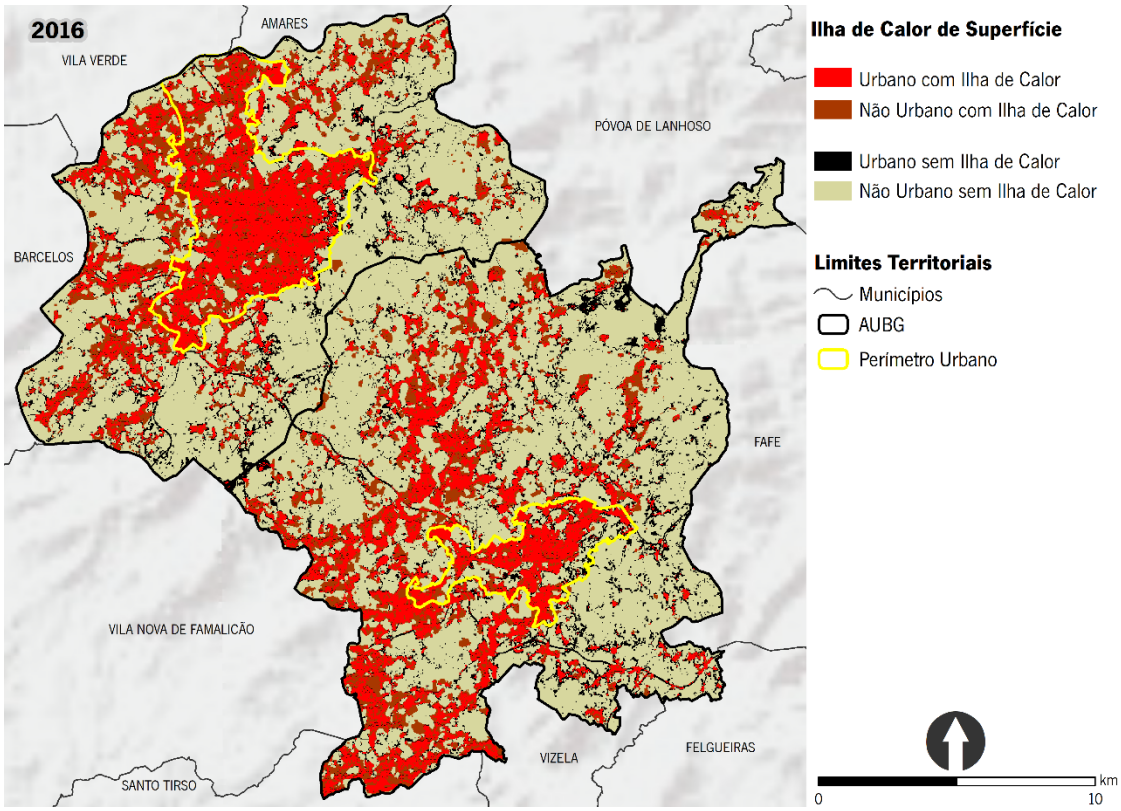


Figura IV-7 – Ilha de calor de superfície na AUBG em 2016

Ao longo das seis datas em que se repartem os 32 anos em análise sobressai o carácter dinâmico da ilha de calor de superfície na AUBG, particularmente no território permeável, demonstrando que este se encontra sujeito a significativas variações no ambiente térmico. O tecido urbano exibe um padrão mais estável, no entanto com o aumento da sua extensão data após data, o seu padrão vai-se tornando mais complexo e interconectado. Estes resultados encontram-se em concordância com os obtidos por Martin *et al.* (2015), pois apesar de utilizarem igualmente apenas imagens Landsat do verão (*i.e.*, junho e julho), e captadas perante situações de céu limpo e sem vento, a extensão espacial da ilha de calor de superfície também oscilava entre datas.

Concluindo, os territórios decorrentes da urbanização com carácter mais difuso, bem como as vias rodoviárias, parecem não constituir pontos suficientemente quentes para a formação da ilha de calor de superfície, pois tal apenas se verifica quando ocorre a densificação *in loco* da construção. Efetivamente, Qiao *et al.* (2014) corroboram que "*at the same urban scale, a more compacted urban form indicated more severe UHI*" (p. 7).

IV – 1.2. Formação da(s) Ilha(s) de Frescura

As áreas que desencadeiam a formação de ilhas de frescura de superfície foram delimitadas com recurso a dois procedimentos distintos: por um lado, a partir de Ts, adotando-se como premissa o limiar inverso do que constitui a ilha de calor; e, por outro, tendo por base o NDVI – índice espectral mais utilizado na monitorização da vegetação –, que segundo Acero *et al.* (2013) permite identificar os locais com elevada capacidade de arrefecimento evaporativo. De facto, a vegetação determina os fluxos energéticos da superfície terrestre (Ma *et al.,* 2010), pois, além de promover a absorção da radiação solar, dissipa a energia, a partir da evapotranspiração (calor latente), em vez de a transformar em energia calorífica (calor sensível, como ocorre nas superfícies impermeáveis). Com efeito, "*green cover area has been identified to the most significant urban planning factor to urban thermal environment*" (Zhao *et al.*, 2011, p.1182).

IV – 1.2.1. Dinâmica Espaciotemporal

As ilhas de frescura de superfície delimitadas a partir de Ts e do NDVI exibem um padrão espacial similar, dominado pela presença de áreas frescas nos topos mais elevados e florestados, como é caso da Penha em Guimarães, e dos Três Sacromontes localizados no interflúvio que efetua a divisão entre o município de Braga e o de Guimarães (Figura IV-8, Figura IV-9). À parte destas áreas, as seis datas em análise exibem um comportamento muito volátil – profundamente relacionado com a distribuição das componentes biofísicas permeáveis – *i.e.*, vegetação arbórea e ou densa, vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa e o solo nu (*vide* Figura III-5, Figura III-8, Figura III-11, Figura III-12, Figura III-14 e Figura III-16). De notar ainda no interior do perímetro urbano de Braga e de Guimarães, a reduzida presença das ilhas de frescura de superfície, bem como o seu decréscimo entre 1984 e 20116.

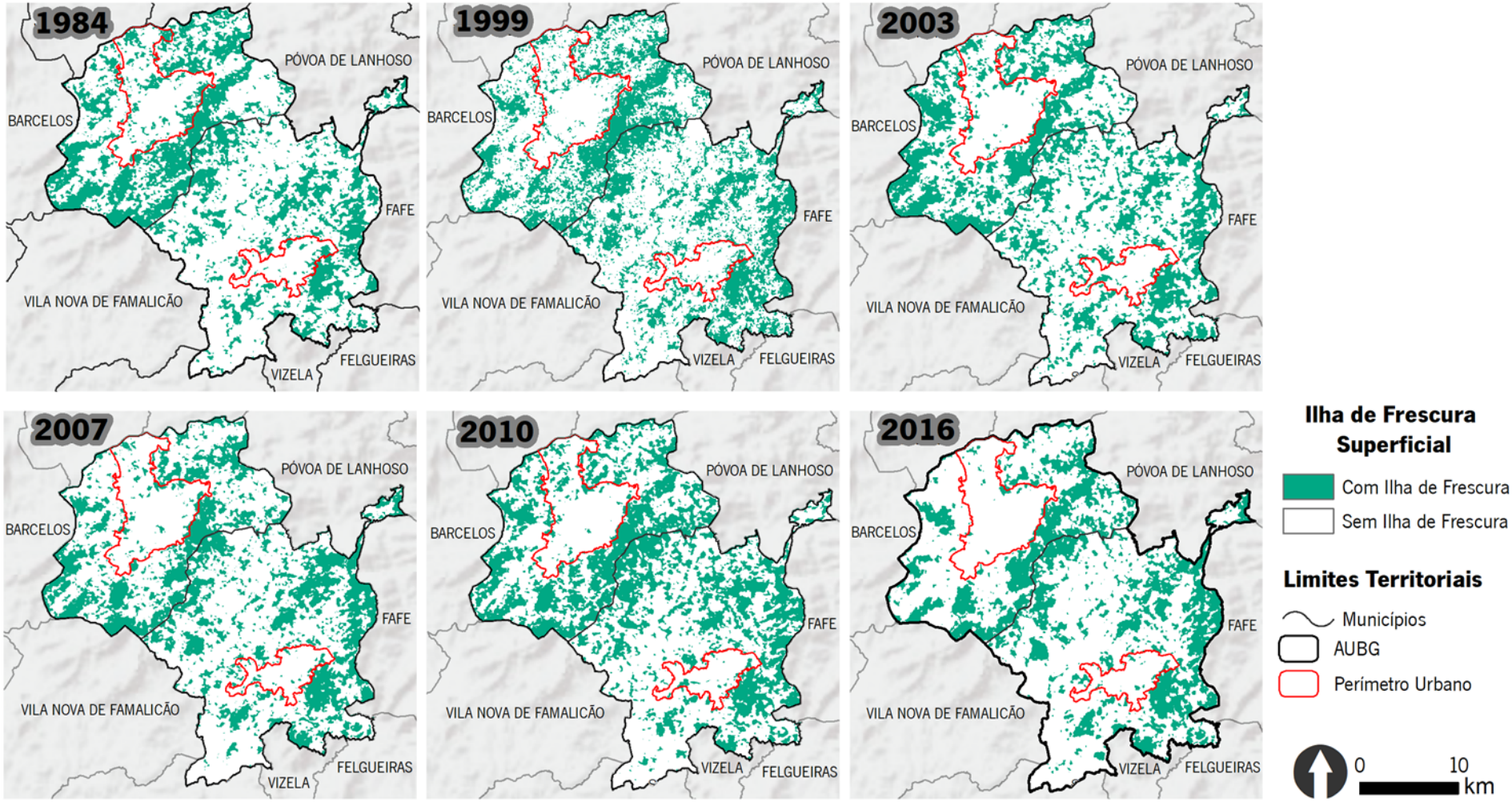


Figura IV-8 – Ilha de frescura de superfície em função de Ts na AUBG entre 1984 e 2016

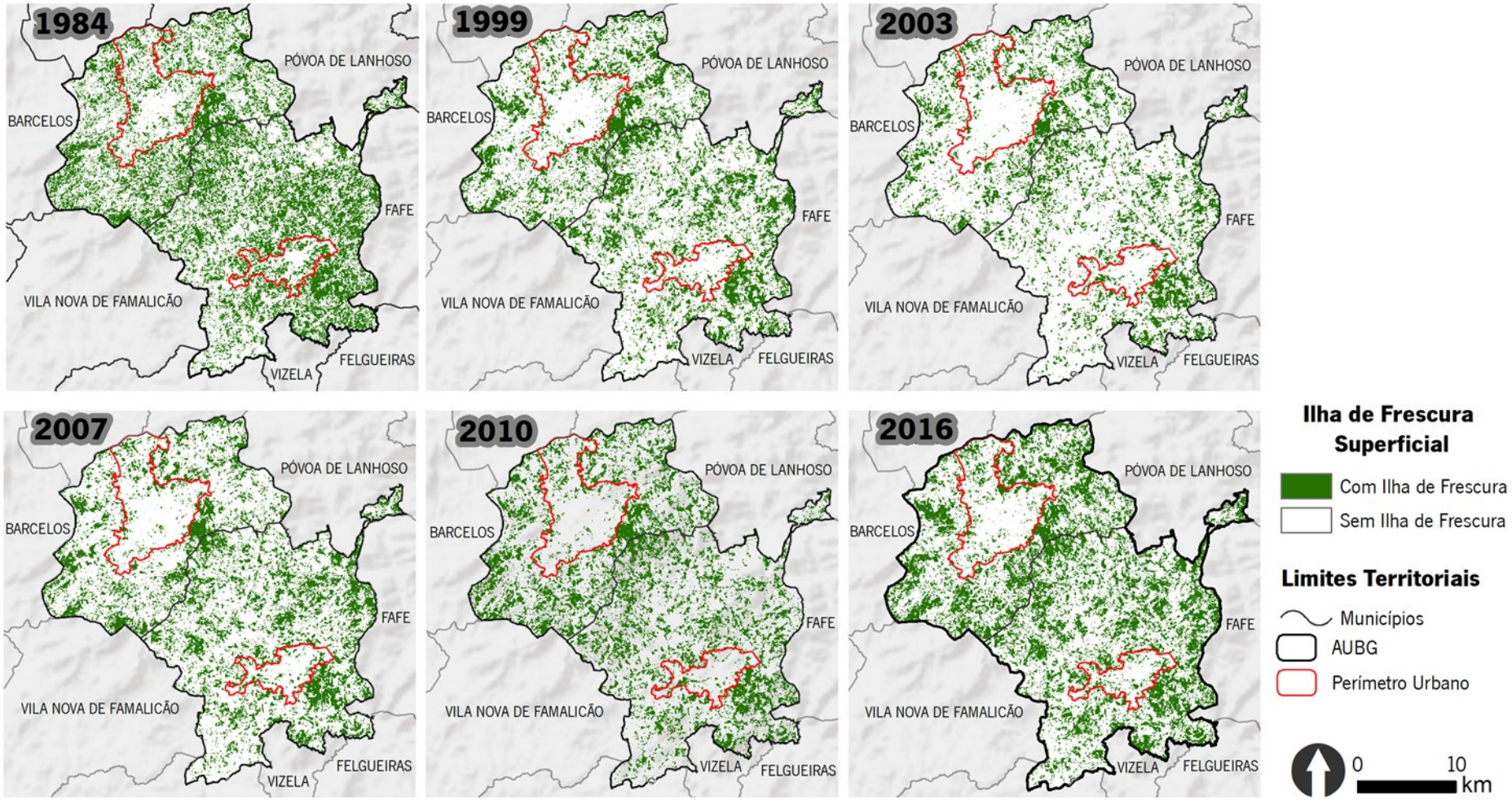
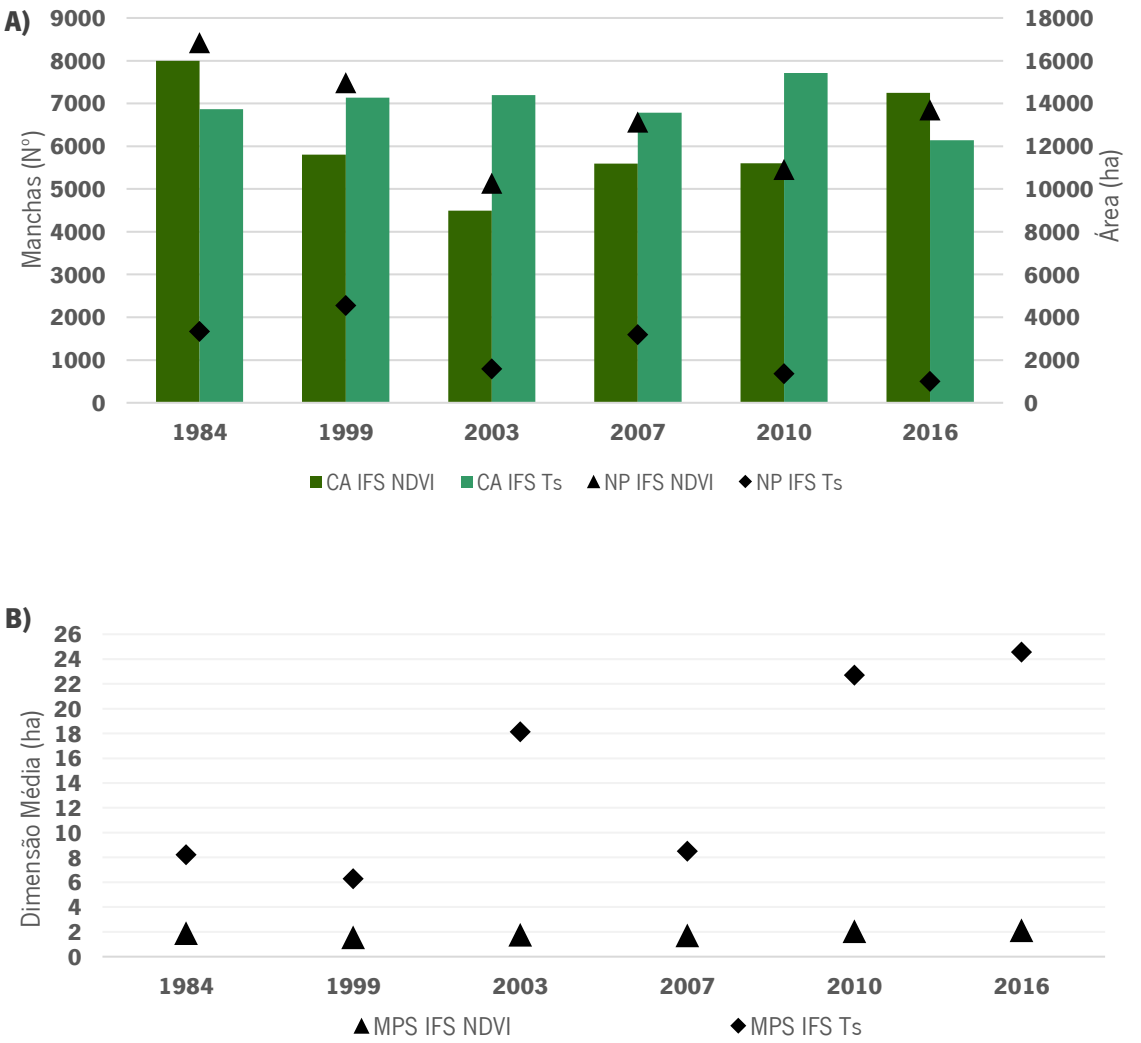


Figura IV-9 – Ilha de frescura de superfície em função do NDVI na AUBG entre 1984 e 2016

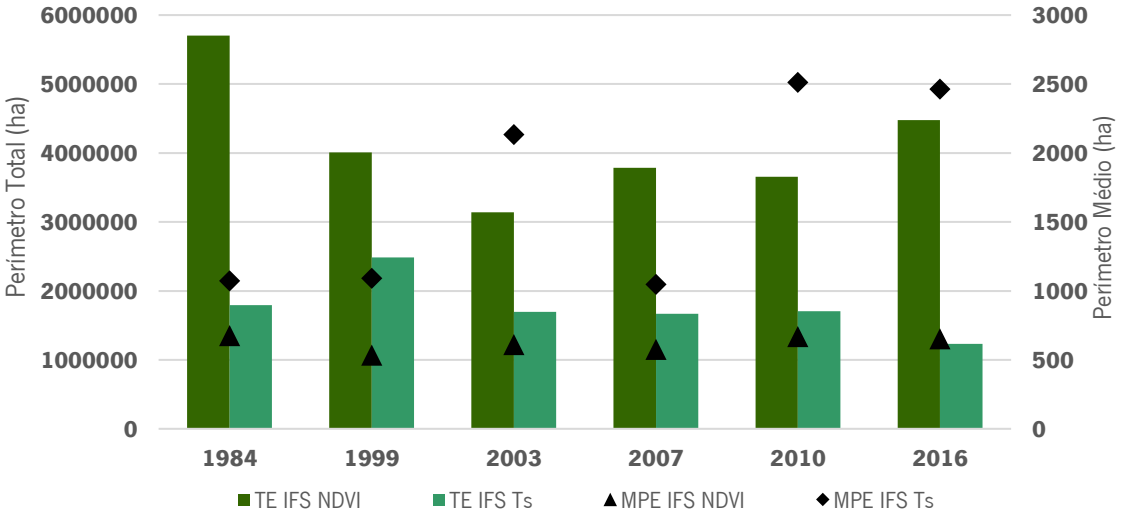
A área ocupada pela ilha de frescura de superfície difere em função do método utilizado na sua delimitação, sendo mais elevada no caso do NDVI em 1984 e em 2016, e na Ts nas restantes datas (Figura IV-10-A). Ademais, como percetível numa análise visual mais detalhada, a ilha de frescura do NDVI é composta por um maior número de manchas (de menor dimensão), enquanto a ilha de frescura de Ts ocorre de modo menos segmentado no território, como comprova a maior dimensão média das manchas (Figura IV-10).



CA IFS NDVI – área ocupada pela ilha de frescura de superfície do NDVI; CA IFS Ts – área ocupada pela ilha de frescura de superfície de Ts; NP IFS NDVI – número de manchas da ilha de frescura de superfície do NDVI; NP IFS Ts – número de manchas da ilha de frescura de superfície de Ts; MPS IFS NDVI – dimensão média das manchas da ilha de frescura de superfície do NDVI; MPS IFS Ts – dimensão média das manchas da ilha de frescura de superfície de Ts.

Figura IV-10 – Número, área (ha) e dimensão média (ha) das manchas da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG entre 1984 e 2016

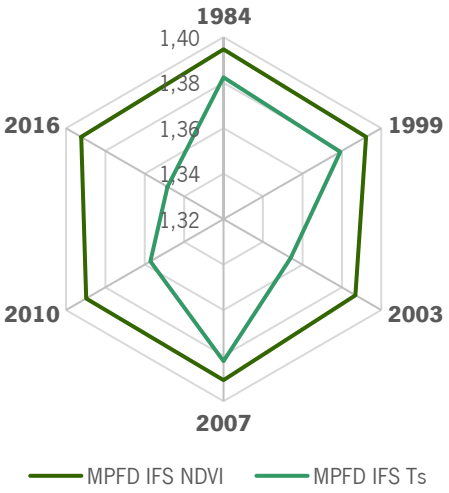
A menor dimensão das manchas da ilha de frescura do NDVI traduz-se num valor mais elevado do perímetro total, quando comparadas com as manchas da ilha de frescura de Ts – ainda que, a primeira detenha um perímetro médio consideravelmente mais baixo do que a segunda (Figura IV-11).



TE IFS NDVI – perímetro total das manchas da ilha de frescura de superfície do NDVI; TE IFS Ts – perímetro total das manchas da ilha de frescura de superfície De Ts; MPE IFS NDVI – perímetro médio das manchas da ilha de frescura de superfície do NDVI; MPE IFS Ts – perímetro médio das manchas da ilha de frescura de Ts.

Figura IV-11 – Perímetro total (ha) e médio (ha) das manchas da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG entre 1984 e 2016

Seguindo uma perspetiva diacrónica, fica bem patente a relação positiva entre o número de machas da ilha de frescura de superfície do NDVI, a área que este ocupa e o perímetro total (Figura IV-10 e Figura IV-11) – denotando que o aumento de áreas frescas decorre da adição de manchas de pequena dimensão. Por conseguinte, a ilha de frescura do NDVI exibe em todas as datas uma forma mais complexa do que a ilha de frescura de Ts, como comprova o valor mais elevado da dimensão fractal média (Figura IV-12).



MPFD IFS NDVI – dimensão fractal média das manchas da ilha de frescura de superfície de Ts; MPFD IFS Ts – dimensão fractal média das manchas da ilha de frescura de superfície do NDVI.

Figura IV-12 – Dimensão fractal média das manchas da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG entre 1984 e 2016

Na ilha de frescura de Ts sobressai a relação inversa entre o número de manchas e a sua dimensão média (Figura IV-10). Assim, a adição de áreas de frescura não decorre da existência de um maior número de manhas, mas sim do aumento da sua dimensão (Figura IV-11). Esta situação redunda em formas menos complexas, como demonstra o menor valor da dimensão fractal das manchas (Figura IV-12).

Numa abordagem individual dos municípios denota-se que em Guimarães a proporção de território classificado como ilha de frescura com base no NDVI é mais elevado em 1984 e em 2016, enquanto nas restantes datas é a ilha de frescura de Ts que assume primazia. No caso de Braga esta situação apenas é transversal ao ano de 2016 (Tabela IV-4).

Tabela IV-8 – Proporção (%) do território da AUBG e dos municípios de Braga e de Guimarães sob efeito da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI entre 1984 e 2016

Ano	Área (%)					
	AUBG		Braga		Guimarães	
	IFS Ts	IFS NDVI	IFS Ts	IFS NDVI	IFS Ts	IFS NDVI
1984	32,38	37,68	39,86	33,90	26,69	40,55
1999	33,65	27,34	35,26	26,70	32,42	27,83
2003	33,94	21,19	38,41	21,57	30,55	20,90
2007	31,99	26,40	32,65	23,17	31,48	28,86
2010	36,39	26,39	40,04	27,63	33,62	25,45
2016	28,95	34,12	28,11	33,70	29,57	34,43

IFS Ts – ilha de frescura de superfície determinada com base em Ts; IFS NDVI – ilha de frescura de superfície determinada com base no NDVI.

Adotando uma perspetiva comparativa entre os dois municípios, constata-se que a representatividade da ilha de frescura do NDVI assume maior preponderância ora em Guimarães (*i.e.*, 1984, 1999, 2007 e 2016), ora em Braga (*i.e.*, 2003 e 2010). Por sua vez, a ilha de frescura de Ts assume sempre maior expressão em Braga, com exceção do ano de 2016. Esta situação corresponde precisamente ao inverso do verificado na ilha de calor de superfície, que só não detém maior proporção de área em Guimarães precisamente no ano de 2016 (*vide* Figura IV-1).

IV – 1.2.2. Mecanismos Subjacentes

Do cruzamento das *layers* da ilha de frescura de superfície de Ts com a da ilha de frescura do NDVI nas seis datas em análise é possível retirar as seguintes ilações (Tabela IV-9): (i) a proporção de território onde se verifica a coincidência da ilha de frescura de Ts com a do NDVI é mais elevada em Braga, com exceção dos anos de 2007 e de 2016; (ii) a ilha de frescura de Ts sem o NDVI apenas não é mais elevada em Braga no ano de 2016; (iii) a ilha de frescura do NDVI sem Ts regista uma situação oposta à anterior; e, (iv) por fim, em ambos os municípios a ilha de frescura de Ts sem o NDVI é mais elevada do que a do NDVI sem Ts nas datas em que a ilha de frescura de Ts é mais representativa do que a do NDVI (*i.e.*, 1999, 2003, 2007 e 2010), pois nas datas em que a ilha de frescura do NDVI é mais elevada (*i.e.*, 1984 e 2016) ocorre o oposto.

O quadro descrito – *i.e.*, as sobreposições e as diferenças (*vide* Apêndice XVII) – evidenciam que os mecanismos subjacentes à formação de cada um dos tipos de ilha de frescura de superfície são distintos. Neste sentido, impõem-se duas questões prementes: primeira, em que situações as áreas com vegetação arbórea e/ou densa não constituem ilhas frescura superficial de Ts? (*i.e.,* ilha de frescura de NDVI sem Ts); e segunda, quais as áreas que não tendo valores elevados de NDVI desencadeiam a formação de ilhas de frescura de superfície de Ts? (*i.e.,* ilha de frescura de Ts sem NDVI). Antes de proceder à resposta destas questões importa notar que, a coincidência da ilha de frescura de Ts e do NDVI ocorre maioritariamente nos topos florestados, como é o caso dos Três Sacromontes e da Penha, ou de outras áreas localizadas nos terrenos limítrofes dos municípios em estudo (*vide* Apêndice XVII).

Tabela IV-9 – Distribuição da ilha de frescura (%) de Ts e do NDVI nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

1984

Município	Ts e NDVI	Ts (sem NDVI)	NDVI (sem Ts)	Nenhuma
Braga	21,75	18,10	12,21	47,94
Guimarães	19,10	7,60	21,45	51,84

1999

Município	Ts e NDVI	Ts (sem NDVI)	NDVI (sem Ts)	Nenhuma
Braga	21,83	13,41	4,93	59,83
Guimarães	21,68	10,76	6,15	61,41

2003

Município	Ts e NDVI	Ts (sem NDVI)	NDVI (sem Ts)	Nenhuma
Braga	17,47	20,91	4,13	57,49
Guimarães	15,28	15,28	5,63	63,82

2007

Município	Ts e NDVI	Ts (sem NDVI)	NDVI (sem Ts)	Nenhuma
Braga	17,08	15,55	6,05	61,31
Guimarães	19,35	12,15	9,51	58,99

2010

Município	Ts e NDVI	Ts (sem NDVI)	NDVI (sem Ts)	Nenhuma
Braga	23,65	16,37	4,05	55,93
Guimarães	19,12	14,51	6,32	60,05

2016

Município	Ts e NDVI	Ts (sem NDVI)	NDVI (sem Ts)	Nenhuma
Braga	20,80	7,30	13,06	58,84
Guimarães	21,92	7,67	12,52	57,89

As áreas com ilha de frescura de Ts sem NDVI surgem nos espaços intersticiais das manchas onde se verifica a sobreposição das duas situações (*vide* Apêndice XVII). Em geral, estas áreas correspondem a rocha nua, vegetação mais esparsa ou de porte arbustivo, que por deterem um valor de NDVI mais baixo são incluídas na vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa, ou então a minúsculos segmentos urbanos, decorrentes do processo de dispersão urbana. No contexto da metodologia proposta por Acero *et al.* (2013) estas áreas exibem um potencial de arrefecimento mediano. A par disto, denota-se ainda o aparecimento deste tipo de ilha de frescura ao longo do leito do rio Cávado, pois no caso do Ave (de menor dimensão) esta situação oscila consideravelmente em função do caudal do rio e/ou da existência de vegetação na galeria ripícola.

As áreas com ilha de frescura do NDVI, mas que exibem valores de Ts mais elevados do que o limiar definido, ocorrem (*vide* Apêndice XVII): por um lado, nas áreas de transição da ilha de

frescura de Ts e NDVI para os locais sem qualquer tipo de ilha de frescura – como sucede nas bordas das manchas florestais ou dos campos agrícolas; e, por outro, em locais com elevado valor de NDVI mas que se encontram ladeados por áreas urbanas, pelo que correspondem a remanescências florestais ou agrícolas, ou então a espaços verdes urbano, que dada a sua exígua dimensão não promovem uma descida significativa dos valores de Ts (para serem considerados ilha de frescura segundo os limiares definidos).

Finalizando, salvo as particularidades intrínsecas a cada cena, o padrão espacial das ilhas de frescura de superfície de Ts e de NDVI – sintetizado na Figura IV-13 – é transversal às seis datas em estudo (*vide* Apêndice XVII). Os resultados obtidos reforçam a importância do arrefecimento da superfície decorrente evapotranspiração, porém colocam em evidencia que este mecanismo se encontra dependente não só da estrutura vertical da vegetação, como também da sua densidade e configuração espacial. Efetivamente, Xie *et al.* (2013) constataram que a Ts exibe uma correlação positiva com a fragmentação e a complexidade das manchas de vegetação, uma vez que potenciam o contacto com superfícies mais quentes (*e.g.*, tecido urbano ou campos agrícolas com solo exposto) que – por via da transmissão de energia – influenciam a sua temperatura. Esta questão – *i.e.,* diversidade e fragmentação das manchas – aplica-se de igual modo às superfícies impermeáveis antrópicas, como verificado anteriormente e bem descrito por Xie *et al.* (2013): "*increasing the aggregation and dominance of impervious patches enhanced the warming effect of the impervious surface*" (p.882).

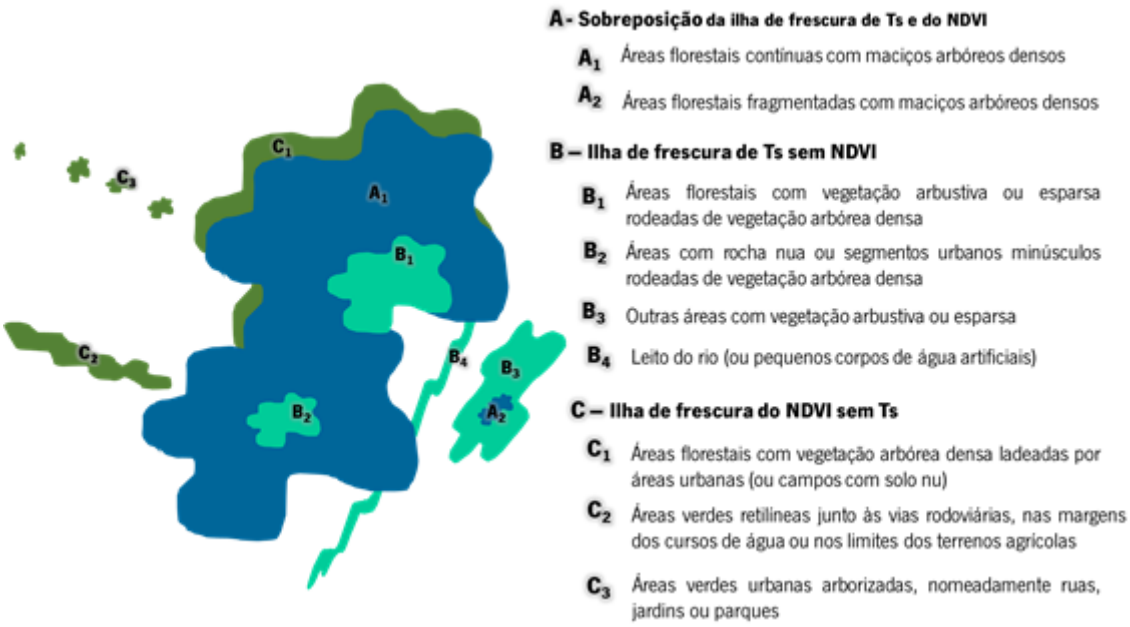


Figura IV-13 – Síntese do padrão espacial das ilhas de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG

IV – 2. Efeito do Processo de Urbanização Difusa no Ambiente Térmico

"La ciudad constituye la forma más radical de transformación del paisaje natural, pues su impacto no se limita a cambiar la morfología del terreno, sino que además modifica las condiciones climáticas y ambientales".
|García, 1996, p. 253|

A relação entre as coberturas/usos do solo – no presente trabalho inferidas a partir das componentes biofísicas – com Ts têm sido amplamente utilizadas para determinar o impacto da urbanização no ambiente térmico (*e.g.*, Amiri *et al.*, 2009; Weng e fu, 2016). Efetivamente, os resultados anteriores evidenciam de modo claro que o processo de crescimento urbano que a AUBG experienciou entre 1984 e 2016 acarretou profundas mudanças nas componentes biofísicas, que se repercutiram de modo direto no padrão térmico superficial. Assim sendo, partindo da triangulação da informação escrutinada anteriormente (em específico, (i) as mudanças bitemporais nas componentes biofísicas, (ii) a imagem de diferença de Ts* entre cada par de datas, e, (iii) a distribuição espacial de Ts* e da fração de vegetação em cada data) torna-se possível determinar as alterações do ecossistema que desencadearam os aumentos mais significativos de Ts nos 32 anos em análise. Esta informação é fundamental para o planeamento e ordenamento do território, uma vez que traduz de modo explicito as consequências ambientais da apropriação antrópica do território, com particular destaque para o processo de urbanização.

IV – 2.1. Resposta às Mudanças nas Componentes Biofísicas

Os aumentos mais expressivos de Ts* na AUBG decorrem sistematicamente como consequência dos consumos de solo pela urbanização (*vide* Apêndice XVIII), nomeadamente por via das seguintes conversões: (i) de vegetação arbórea e/ou densa para industrial/pedreiras; (ii) de vegetação arbórea e/ou densa para superfícies impermeáveis antrópicas; (iii) de vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa em industrial/pedreiras; (iv) de vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa para superfícies impermeáveis antrópicas; (v) de solo nu para industrial/pedreiras; e, (vi) de solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas (Figura IV-14). Neste quadro reforça-se o impacto que o consumo de áreas com vegetação, particularmente com vegetação arbórea e/ou densa, tem sobre o ambiente térmico. Esta alteração consubstancia-se num aquecimento

generalizado da AUBG, claramente mais evidente quando as novas estruturas urbanas apresentam características espectrais típicas das coberturas industriais.



Figura IV-14 – Gradiente do aumento de Ts em função dos consumos de solo pela urbanização na AUBG

Fu e Weng (2016) conduziram uma análise similar para a Área Metropolitana de Atlanta entre 1984 e 2011, porém muito mais desagregada em termos temporais, que lhes permitiu concluir que neste território se verificou um aquecimento no ambiente térmico superficial de 1,8ºC por década. O mesmo estudo evidencia que as mudanças mais acentuadas decorrem da conversão de floresta (composta por espécies de folha permanente) para tecido urbano de média densidade. Por sua vez, o incremento da densidade – *i.e.*, de média para elevada – nas áreas urbanas não desencadeou mudanças significativas no caso de Atlanta, dado que exibem características térmicas similares. Ademais, os resultados obtidos indicam que as alterações de Ts causadas pela conversão de áreas permeáveis em urbanas foram sempre superiores às causadas pelo reforço da densificação do tecido urbano e que qualquer consumo de solo pela urbanização desemboca no futuro aumento de Ts.

IV – 2.1.1. No Município de Braga

Particularizando no município de Braga, a conversão de vegetação arbórea e/ou densa em áreas industriais/pedreiras, bem como em superfícies impermeáveis antrópicas, apresenta os aumentos de Ts* mais expressivos entre 2007 e 2010 (0,41 e 0,27, respetivamente). De notar que, no intervalo 2003-2007 a mudança de vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa para industrial/pedreiras desencadeou um incremento de Ts* maior (0,28) do que o consumo de vegetação arbórea e/ou densa pelas superfícies impermeáveis antrópicas (0,25). Outra variação no gradiente enunciado (Figura IV-14), ocorre entre 1999-2003, hiato em que a transformação de

solo nu em industrial/pedreiras desencadeia aumentos de Ts* mais significativos (0,15) do que a passagem de vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa para superfícies impermeáveis antrópicas (0,13). Por fim, relativamente à passagem do solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas, constata-se que entre 2007 e 2010 esta modificação não se traduz em nenhuma modificação de Ts*, já de 2010 para 2016, assiste-se inclusive a uma pequena diminuição desta – decorrente do facto de em 2010 o solo se encontrar com temperaturas muito elevadas (*vide* Apêndice XVIII).

Algumas oscilações nas componentes biofísicas – de carácter mais efémero – desencadearam subidas de Ts* mais significativas do que os consumos de solo pelo processo de urbanização. Esta situação é particularmente evidente quando se observa a perda de vegetação arbórea ou arbustiva em detrimento do solo nu, que ocorre no município de Braga entre 1984-1999 (Figura IV-15).

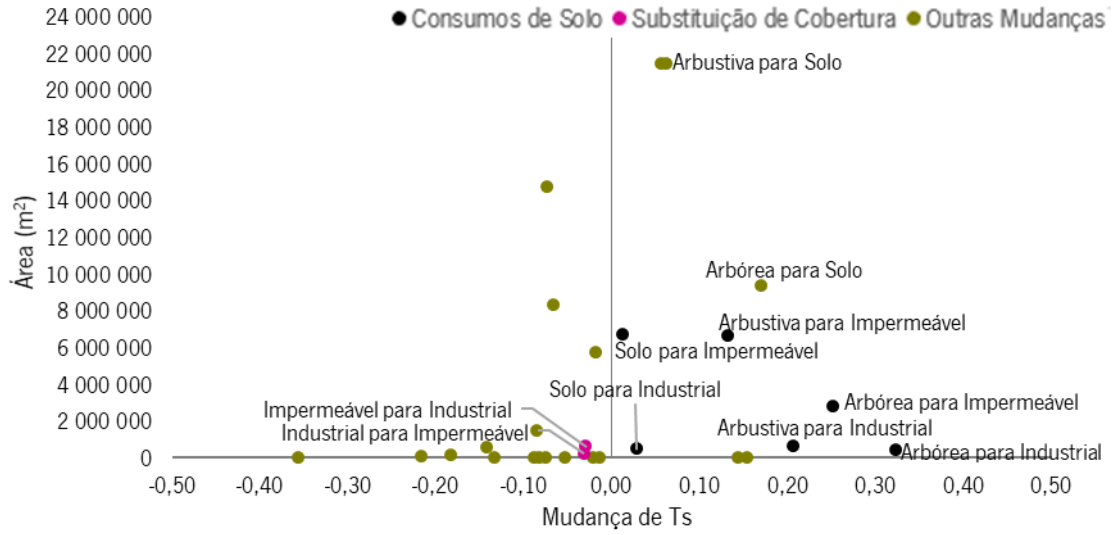


Figura IV-15 – Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 1984 e 1999

No intervalo 1999-2003 a substituição de vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa por solo nu desencadeia um aumento de Ts* mais significativo do que a perda de vegetação arbórea e/ou densa (Figura IV-16). Tal situação poderá encontrar justificação nas características do solo nu em que se converteram, nomeadamente o seu conteúdo de humidade.

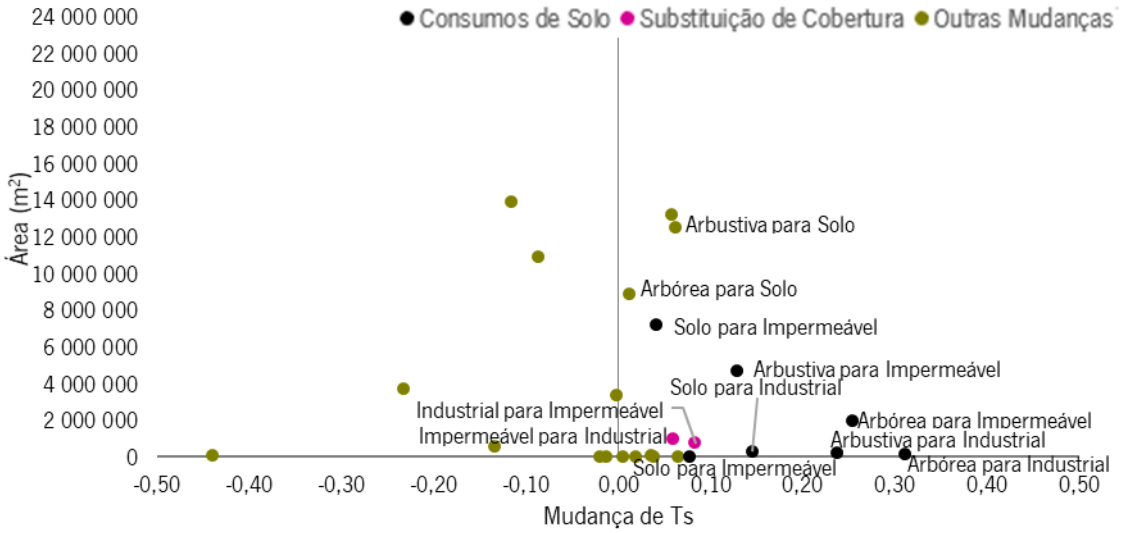


Figura IV-16 – Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 1999 e 2003

Entre 2003 e 2007 a passagem de vegetação arbórea e/ou densa para solo nu acarreta aumentos de Ts* maiores do que o consumo de vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa pelas superfícies impermeáveis antrópica e do que a perda de solo para o crescimento urbano em geral. Ao mesmo tempo, a passagem de vegetação arbustiva para solo nu traduziu-se num incremento de Ts* mais significativo do que o consumo desta componente biofísica pelas superfícies impermeáveis antrópicas (Figura IV-17).

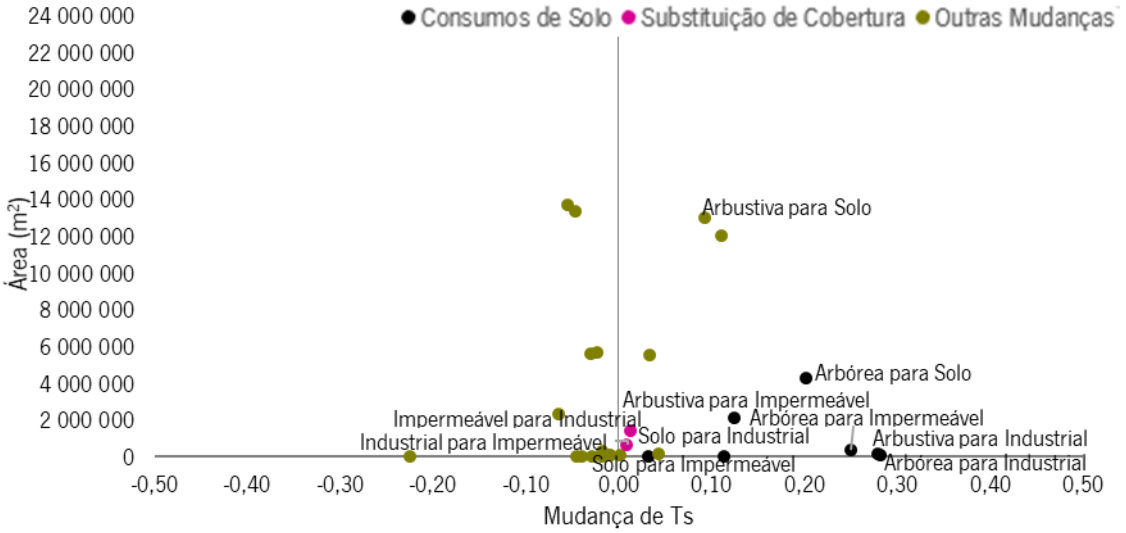


Figura IV-17 – Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 2003 e 2007

No hiato 2007-2010 verifica-se a mesma situação descrita no intervalo 1984-1999, no entanto, a magnitude da mudança decorrente dos consumos de solo nu é menor. Além de que a conversão de solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas regista, ao contrário do verificado no primeiro

intervalo temporal em análise, uma diminuição de Ts* (-0,01), apesar de muito ligeira (Figura IV-18).

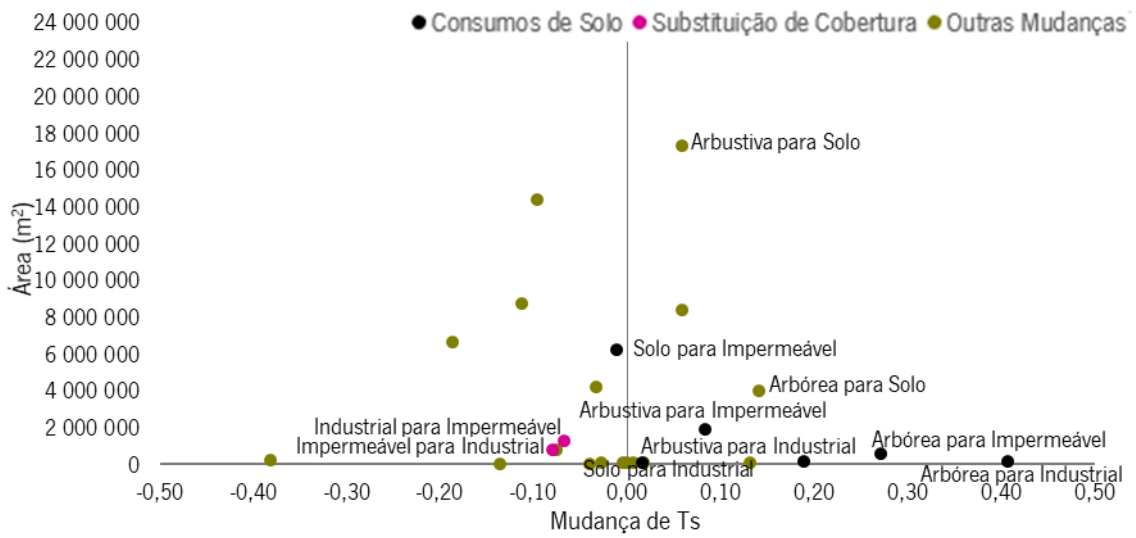


Figura IV-18 – Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 2007 e 2010

No último período em análise, o aumento de Ts* mais significativo decorre da perda de vegetação arbórea e/ou densa para dar lugar ao solo nu, sendo apenas neste intervalo que os aumentos mais significativos de Ts* não decorrem do consumo da vegetação mais profusa pela componente biofísica industrial/pedreiras (Figura IV-19).

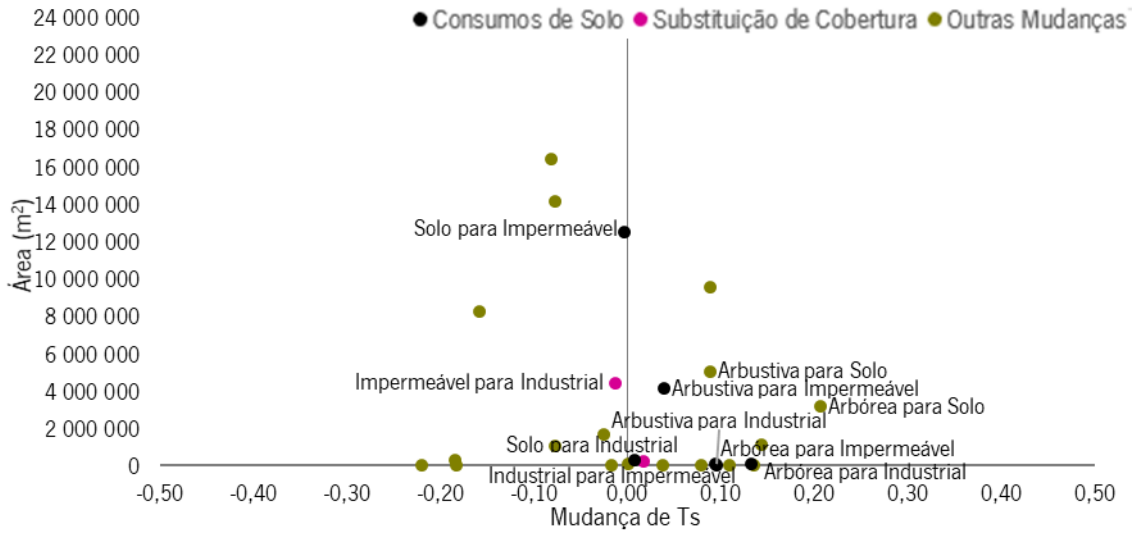


Figura IV-19 – Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 2010 e 2016

IV – 2.1.2. No Município de Guimarães

O gradiente térmico dos aumentos de Ts* em função do consumo de solo pela urbanização (Figura IV-14) é transversal a Guimarães, encontrando aliás neste município menos exceções do que as verificadas em Braga. Os aumentos mais significativos de Ts* decorrem do consumo de vegetação arbórea e/ou densa e de vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa pelo processo de urbanização – quer por via das áreas industriais/pedreiras, quer das superfícies impermeáveis – ocorrem no intervalo temporal 1999-2003. A perda de solo nu em detrimento do industrial/pedreiras traduziu-se nos aumentos de Ts* mais expressivos no hiato 2003-2007 (0,12), ao passo que o consumo desta componente biofísica pelas superfícies impermeáveis antrópicas origina os incrementos mais significativos de Ts* entre 1999-2003 (0,05). Não obstante, é importante salientar que a perda de solo nu para a urbanização na maior parte dos intervalos temporais não se consubstanciou num aumento de Ts*. Efetivamente, entre 1984-1999, 2007-2010 e 2010-2016 o consumo de solo nu, tanto pelo industrial/pedreiras, como pelas superfícies impermeáveis antrópicas, resultou numa diminuição de Ts*, sendo esta particularmente expressiva no primeiro período mencionado (*vide* Apêndice XVIII). Com efeito, entende-se que o solo nu exaurido pela urbanização apresentava na data anterior à sua conversão valores de Ts* consideravelmente elevados, possivelmente devido à sua compactação e ausência de humidade, com vista à instalação de estruturas urbanas.

Em consonância com o referido para o município de Braga, também em Guimarães se constata que algumas oscilações entre as componentes biofísicas permeáveis – mormente, a perda de áreas com vegetação – desencadeiam incrementos de Ts* mais expressivos do que os consumos de solo nu pelo crescimento urbano. Entre 1984-1999, apesar de a troca de vegetação arbórea e/ou densa por solo nu não se traduzir em nenhuma variação de Ts (0,00), os consumos de solo nu pelo industrial/pedreiras e pelas superfícies impermeáveis antrópicas desencadeiam – em sentido oposto à tendência geral – uma diminuição de Ts* (Figura IV-20), como referido.

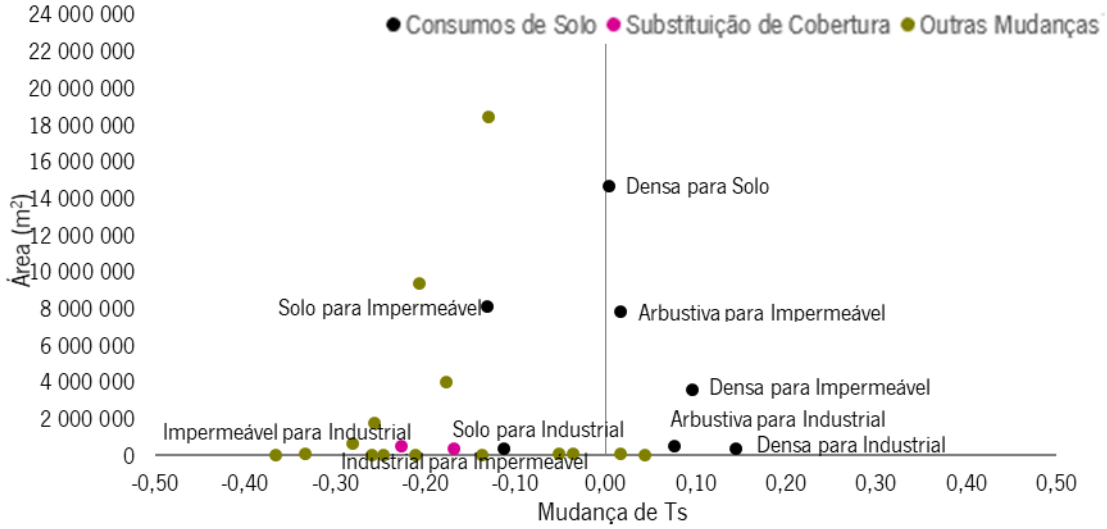


Figura IV-20 – Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 1984 e 1999

No hiato 1999-2003 a mudança de vegetação arbórea e/ou densa para solo nu traduz-se num aumento de Ts* mais expressivo do que os consumos de solo nu pela urbanização. No caso da herbácea/arbustiva e/ou esparsa o aumento de Ts* apenas é mais elevado se comparado com o consumo de solo nu pelas superfícies impermeáveis antrópicas (Figura IV-21).

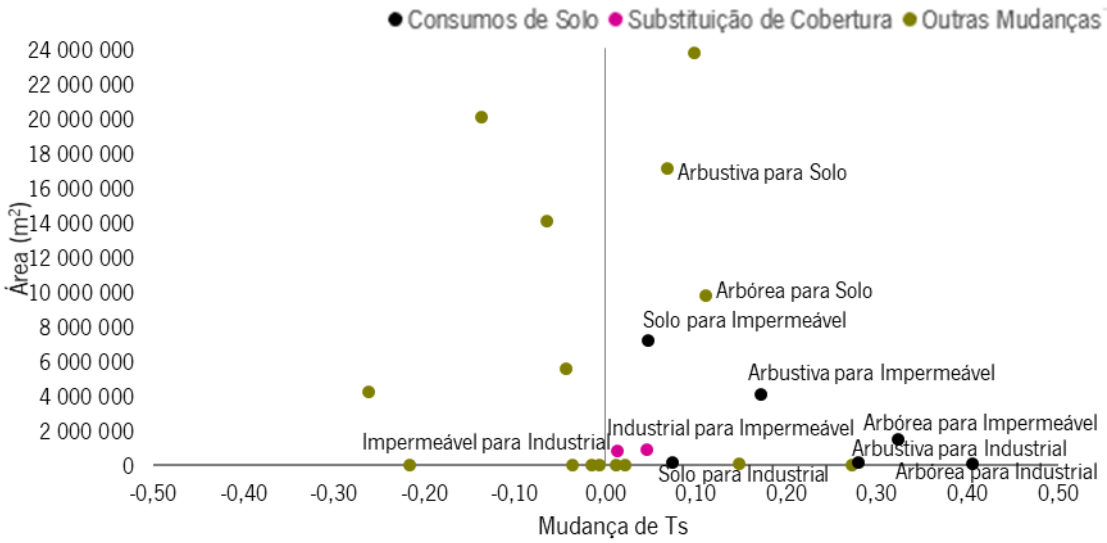


Figura IV-21 - Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 1999 e 2003

Entre 2003 e 2007 verifica-se uma situação análoga à verificada no período 1999-2003, no entanto, neste intervalo os aumentos de Ts* são menos expressivos (Figura IV-22).

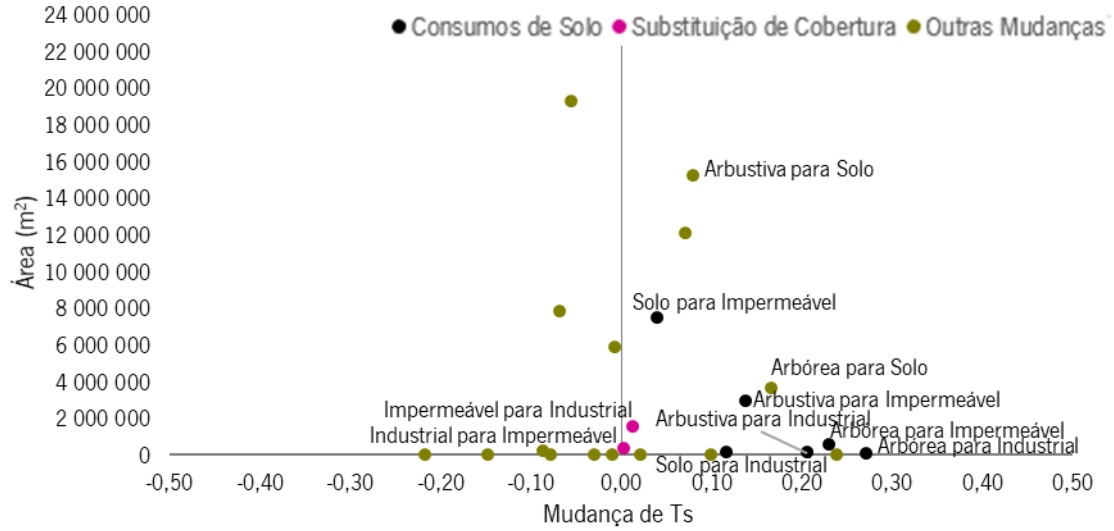


Figura IV-22 - Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 2003 e 2007

No intervalo 2007-2010 os aumentos de Ts* decorrentes da mudança de vegetação arbórea e/ou densa para solo nu são mais elevados do que aqueles que decorrem do consumo de vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa e de solo nu pela urbanização. Ademais, a substituição de vegetação rasteira por solo nu originou aumentos de Ts* mais elevados do que conversão desta componente biofísica em superfícies impermeáveis, assim como os consumos de solo nu pelas duas componentes biofísicas urbanas. Neste último caso, as mudanças nas componentes biofísicas consubstanciaram-se – contrariamente ao que queria de esperar – numa diminuição de Ts* (Figura IV-23).

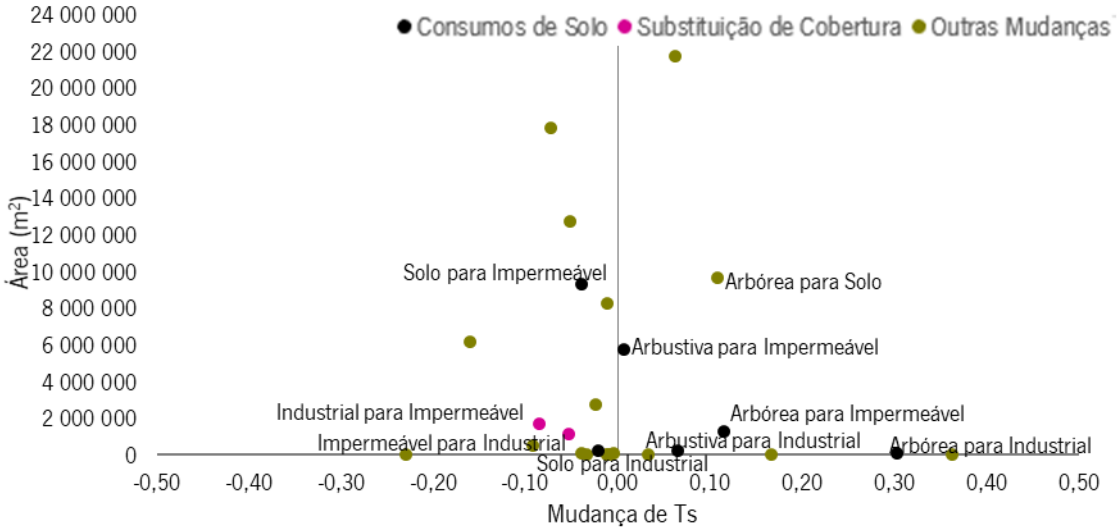


Figura IV-23 – Aumentos e diminuições de Ts* em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 2007 e 2010

Por fim, entre 2010 e 2016 o aumento de Ts* mais expressivo decorre da passagem de vegetação arbórea e/ou densa para solo nu, tal como sucede em Braga (Figura IV-24). Ademais, a mudança de vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa para solo nu traduz-se num incremento mais significativo de Ts* do que aquele que resulta dos consumos desta componente biofísica e do solo nu pelo processo de urbanização. Ainda assim, tanto a passagem de vegetação arbustiva para impermeável, como os consumos de solo nu, originam uma diminuição de Ts* (Figura IV.18).

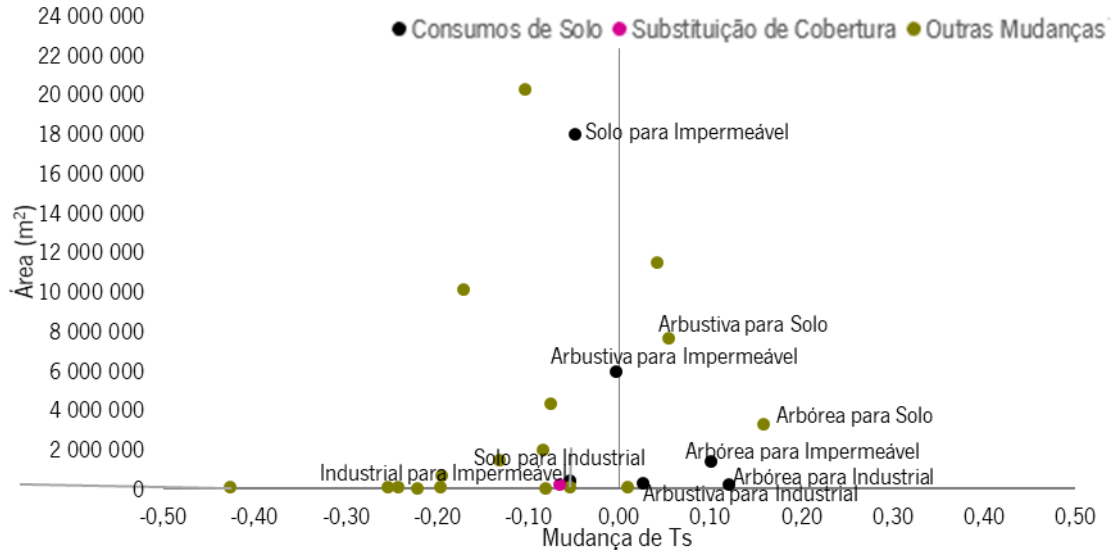


Figura IV-24 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 2010 e 2016

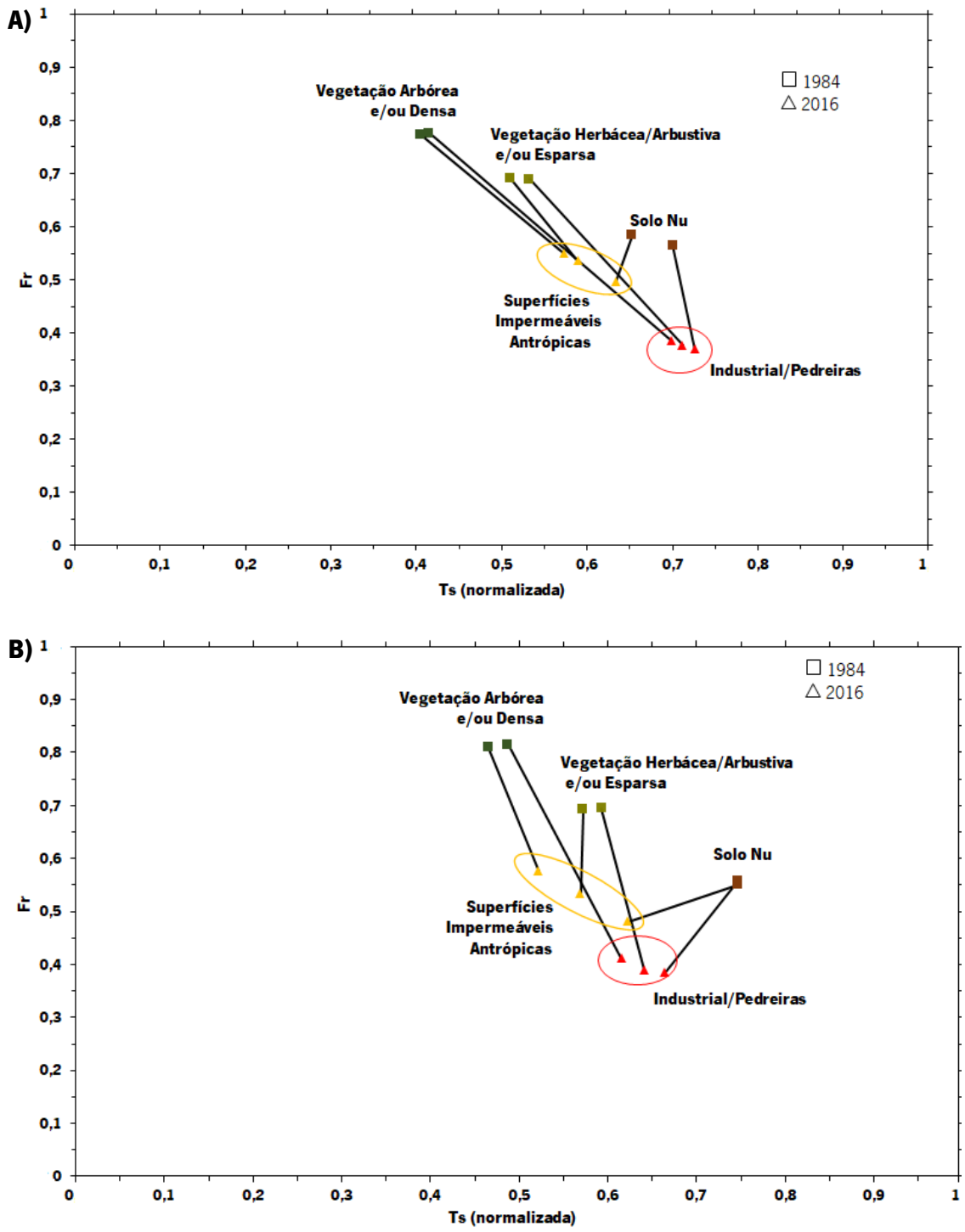
A análise global destes resultados atesta bem que a mudança da cobertura do solo, nomeadamente a passagem de áreas com vegetação (mormente nas áreas em que esta é mais profusa) para áreas urbanas é um dos principais fatores responsáveis pelo aquecimento do ambiente térmico superficial, e com efeito, pela promoção da ilha de calor de superfície. Estes resultados encontram-se uma vez mais em consonância com os obtidos em outros estudos congéneres (*e.g.*, Chen *et al.*, 2016).

IV – 2.2. Trajetória de Mudança no Espaço TVX

O *Thermal Vegetation Index* (ou espaço TVX) assenta na visualização simultânea, num diagrama de dispersão, da temperatura de superfície normalizada (Ts*) e de um índice de vegetação, no caso específico a fração de vegetação (Fr), determinada com base no NDVI. Assim, considerando

que as propriedades das superfícies – sintetizadas nos valores de Ts* e de Fr – determinam a sua localização no TVX, as mudanças nas condições biofísicas de cada pixel, e em específico as decorrentes do processo de urbanização, podem ser traçadas neste diagrama multitemporal de Ts*/Fr. Em concreto, determinam-se os efeitos térmicos do processo de urbanização de Braga e de Guimarães nos 32 anos analisados a partir da trajetória temporal das mudanças de vegetação arbórea e/ou densa, vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa e de solo nu para superfícies impermeáveis antrópica e para industrial/pedreiras no seio do espaço TVX 1984-2016. A dimensão dos vetores quantifica a magnitude da mudança associada a cada tipo de modificação nas componentes biofísicas (Figura IV-25 A&B).

Na AUBG as áreas exauridas no decorrer do processo de urbanização verificado entre 1984 e 2016 deslocaram-se de 'vegetação fresca' para 'impermeável quente', com implicações diretas nas condições ecológicas do território (Wilson *et al.,* 2003). A conversão de vegetação arbórea e/ou densa em industrial/pedreiras evidencia um notável aumento de Ts* e a perda de Fr, enquanto a conversão de solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas determinou as mudanças de Ts* com menor amplitude, não sendo o mesmo transversal ao Fr. As restantes conversões das componentes biofísicas detêm posições intermédias (Figura IV-25 A&B), em consonância com referido anteriormente. Assim, apesar da vegetação arbórea e/ou densa constituir a componente biofísica menos exaurida com o crescimento urbano de Braga e de Guimarães (*vide* Tabela III-4), esta determina as mudanças mais preocupantes nas condições climáticas superficiais. Em sentido oposto, o solo nu – a componente biofísica mais depauperada (*vide* Tabela III-4) – impões mudanças menos drásticas, fruto da proximidade da assinatura térmica com as áreas urbanas (*vide* Tabela III-22).



A) Município de Braga; B) Município de Guimarães.

Figura IV-25 – Trajetória temporal no espaço TVX das componentes biofísicas exauridas pelo processo de urbanização dos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

No geral, os pixéis que foram urbanizados migraram das condições de frescura para as condições de calor, decorrendo esta trajetória eliminação de vegetação em áreas florestais ou nos campos agrícolas (Figura IV-25 A&B). Assim, com o sedimentar do processo de urbanização difusa os pixéis

vão perdendo as suas características originais, pelo que se deslocam diagonalmente, convergindo nas condições de calor (canto inferior direito do espaço TVX) – comprovando que a urbanização detém um papel claro na degradação do ambiente térmico. Sem embargo, a promoção da arborização nas áreas urbanas pode controlar o avanço dos pixéis em direção às condições de calor, podendo inclusive promover a sua migração no sentido inverso, em direção às condições de frescura (Amiri *et al.*, 2009).

Na análise das trajetórias no seio do espaço TVX sobressaem algumas particularidades decorrentes das especificidades do modelo territorial da urbanização difusa exibido pela AUBG. Desde logo, as diferenças de Ts* e de Fr observadas no tecido urbano (*i.e.*, superfícies impermeáveis antrópicas e industrial/pedreiras), tanto em Braga, como em Guimarães. De facto, em Guimarães (mais do que em Braga), as superfícies impermeáveis antrópicas (mais do que o industrial/pedreiras) exibem características distintas de Ts* (mais do que de Fr). Esta diferença advém das diferentes densidades de construção e do modo de crescimento urbano (*vide* Tabela III-33 e Tabela III-34) – pelo que existência em Guimarães (mais do que em Braga) de uma urbanização muito mais dispersa no território (vide Figura III-62), onde a habitação ou as vias rodoviárias permanecem ladeadas por vegetação arbórea (dos povoamentos florestais) ou rasteira (da agricultura) favorece a existência de áreas urbanas com Ts* mais baixas do que em Braga. Curiosamente, em 1984 em Guimarães o solo nu exibia Ts* mais elevadas do que as verificadas nas superfícies impermeáveis antrópicas e no industrial/pedreiras em 2016 – ainda assim, é notória a perda de fração de vegetação após a urbanização. Com efeito, a magnitude do vetor de mudança depende tanto das características das componentes biofísicas na sua origem, como das condições no destino.

IV – 2.2.1. Incerteza na Dinâmica do Espaço TVX

Como observado a migração dos pixéis promovida pela urbanização é captada pelos vetores no espaço TVX (Figura IV-25 A&B). Em teoria, o comprimento dos vetores de mudança deveria ser interpretado como a magnitude das mudanças em relação às condições pré-existentes. Contudo, na realidade estes incluem, para além das mudanças nas condições das superfícies fruto da alteração da cobertura (e uso) do solo, uma certa quantidade de ruído intrínseca a cada cena, decorrente de variações interanuais e intra-anuais. Por conseguinte, revela-se imprescindível determinar a incerteza envolvida neste processo. Neste estudo a incerteza é controlada a partir do

ruído verificado entre cada cena – consubstanciado na magnitude do vetor de mudança das áreas que permanecem estáveis (*i.e.,* sem alteração na classificação das componentes biofísicas).

O cálculo ao nível do pixel da magnitude dos vetores de mudança (Figura IV-26), em função da posição inicial e final de Ts* e de Fr no espaço TVX, permite extrair o valor médio e o desvio-padrão associado à permanência das componentes biofísicas permeáveis – nomeadamente, vegetação arbórea e/ou densa, vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa –, bem como da sua conversão em superfícies impermeáveis antrópicas ou em industrial/pedreiras (*vide* Apêndice XIX), para os municípios de Braga e de Guimarães em cada intervalo temporal em análise.

A comparação dos resultados obtidos na AUBG com os de Amiri *et al.* (2009), cujo trabalho constitui o referencial metodológico, não suportam na totalidade as considerações tecidas pelos autores. Assim, Amiri *et al.* (2009) referem que intervalos temporais mais longos tendem a exibir valores de desvio-padrão da magnitude de mudança dos vetores mais elevados do que os intervalos curtos, no entanto, nos municípios em estudo não se verifica essa situação, sendo múltiplos os casos em que o valor do desvio-padrão exibido nos intervalos temporais intermédios supera claramente o observado entre 1984 e 2016 (*vide* Apêndice XIX). Não obstante, e em consonância com os autores supramencionados, o desvio-padrão da magnitude do vetor de mudança associado às áreas que mantêm a classificação nas componentes biofísicas é sempre mais elevado no intervalo temporal 1984-2016 (*vide* Apêndice XIX). Ainda em acordo, o desvio-padrão das áreas estáveis (que funcionam como ponto de controlo) não sofre grandes flutuações no decorrer dos seis intervalos temporais (*vide* Apêndice XIX), suportando a ideia de Amiri *et al.* (2009) de que este valor se encontra relacionado com a componente de ruído, decorrente da variação natural entre as cenas.

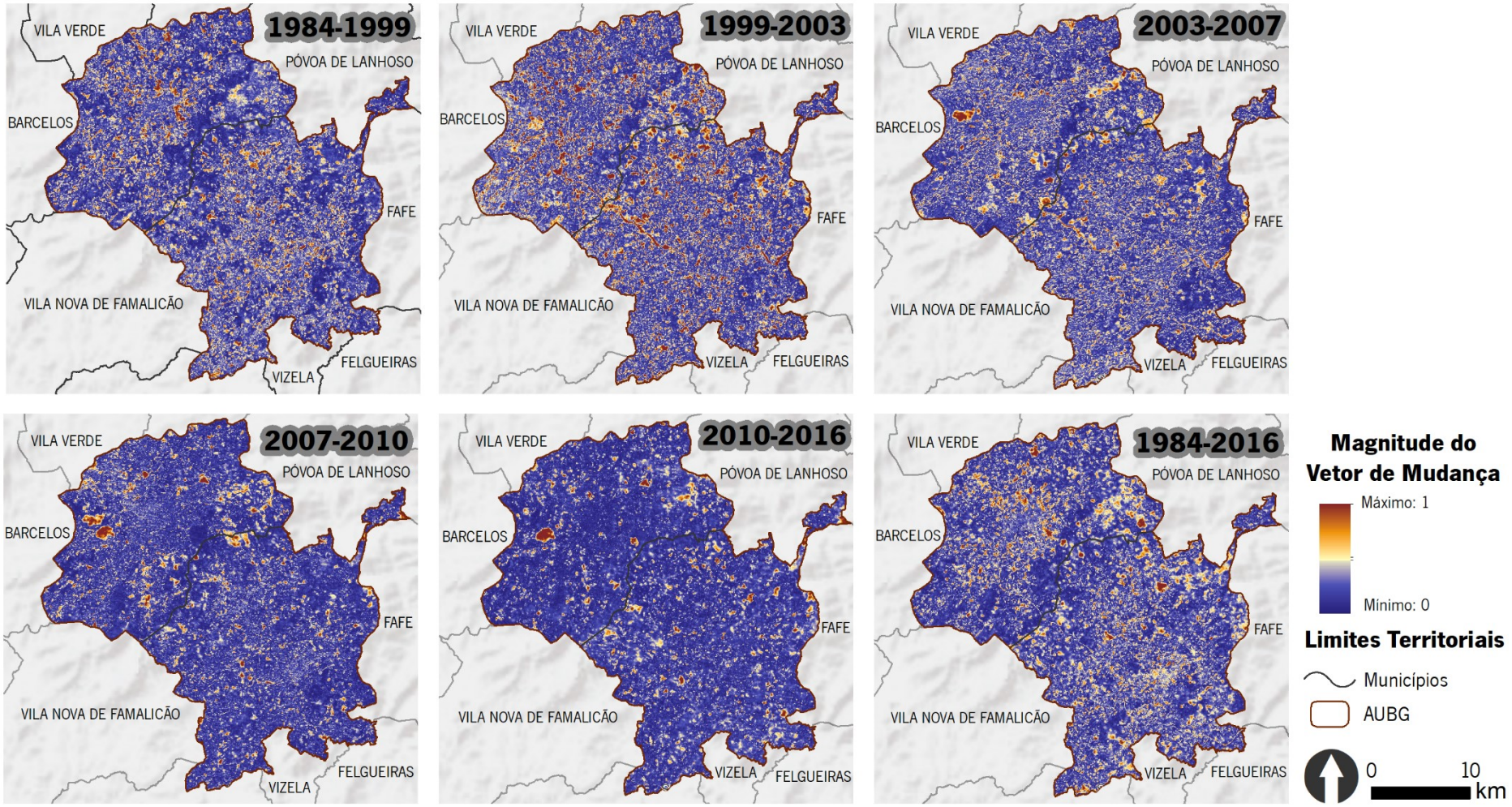


Figura IV-26 – Magnitude do vetor de mudança *pixel-by-pixel* na AUBG entre 1984 e 2016

De acordo com Amiri *et al.* (2009), a magnitude mais reduzida dos vetores de mudança das áreas onde a classificação das componentes biofísicas permanece estável, por comparação com o valor de magnitude das áreas onde se verifica uma conversão, confere um grau de incerteza mais baixo. Por seu turno, quando a magnitude do vetor de mudança das áreas estáveis excede o valor observado nas áreas exauridas pela urbanização significa que estas não sofreram mudanças significativas, apesar de a análise de trajetórias o indiciar. A partir da aplicação destes pressupostos aos resultados obtidos para os municípios de Braga e de Guimarães constata-se o predomínio da primeira situação, independentemente do número de anos abarcado no intervalo temporal – *i.e.*, 3, 4, 6, 15 ou 32 anos (*vide* Apêndice XIX). Quer isto dizer, o processo de urbanização, por adição de áreas industriais/pedreiras ou superfícies impermeáveis antrópicas, acarretou mudanças de Ts* e de Fr mais significativas do que a incerteza envolvida neste processo de análise.

Sem embargo, em Braga e Guimarães verificam-se algumas exceções ao mencionado, igualmente transversais aos distintos intervalos temporais, porém confinadas à passagem do solo nu para industrial/pedreiras em 2003-2007 e para superfícies impermeáveis antrópicas nos intervalos 2003-2007, 2007-20102, 2010-2016 – ao qual ainda acresce em Guimarães o intervalo 1984-2016 (*vide* Apêndice XIX). Estes resultados indicam que a Ts* (ou seja, o valor de temperatura do solo nu por comparação com o restante território) tende a sofrer oscilações temporais muito acentuadas, que em alguns casos se sobrepõem às decorrentes da sua conversão para tecido urbano. Efetivamente, e considerando que Ts* se trata de um valor de modelizado (e não absoluto) é possível que a conversão do solo nu para urbano promova uma diminuição da carga térmica (de notar uma vez mais que se estão a analisar valores normalizados, e como tal relativos), por comparação aos valores exibidos na data anterior. Esta situação encontra-se bem patente no espaço TVX 1984-2016 de Guimarães (Figura IV-25-B)

IV – 2.2.2. Incerteza *pixel-by-pixel* na Dinâmica do Espaço TVX

Para evidenciar a incerteza envolvida na estimação dos efeitos de cada tipo de conversão do solo em Ts* e Fr utilizou-se como limiar o valor da magnitude de mudança associada aos vetores das componentes biofísicas que permaneceram estáveis (*vide* Apêndice XIX). Assim, de acordo com Amiri *et al.* (2009), nas áreas onde a magnitude de mudança é maior do que o limiar, as alterações de Ts* e Fr decorrem efetivamente do processo de urbanização; por oposição, nas áreas onde a

magnitude de mudança é menor do que limiar, as mudanças de Ts* e Fr podem advir do ruído inerente à incerteza envolvida neste processo. Neste sentido, este método apresenta melhores resultados para intervalos temporais amplos, uma vez as mudanças a curto-prazo se podem dever a variações efémeras, como o estado fenológico da vegetação ou o tipo de cultura agrícola (Amiri *et al.*, 2009).

A aplicação dos limiares de controlo aos mapas com a magnitude do vetor de mudança evidencia espacialmente os locais onde o ruído mais contribuiu para que áreas fossem rotuladas como modificadas por via do crescimento urbano aquando da análise da trajetória, apesar de na realidade as mudanças de Ts* e de Fr poderem advir das variações intrínsecas a cada cena. A perda de vegetação, tanto arbórea e/ou densa como herbácea/arbustiva e/ou esparsa, para o crescimento urbano de Braga e de Guimarães, por via da adição de novas áreas industriais/pedreiras ou de superfícies impermeáveis antrópicas acarreta mudanças drásticas nas condições biofísicas locais, que vão claramente para além da incerteza intrínseca a esta análise. Por sua vez, as mudanças decorrentes da conversão de solo nu em industrial/pedreiras, mas muito particularmente em superfícies impermeáveis antrópicas, envolve um grau de incerteza muito elevado em grande parte do território, "*because they belonged to the same cluster and shared similar characteristics"* (Amiri *et al.,* 2009, p.2616).

Em suma, os resultados obtidos para na AUBG suportam as seguintes conclusões de Amiri *et al.* (2009): (i) que apesar do esforço para reduzir a variabilidade natural entre as imagens, tornando-as mais comparáveis através da normalização dos valores, os resultados continuam a envolver alguma incerteza, pelo que nem todas as mudanças do ambiente térmico se devem ao processo de urbanização; e, (ii) que o grau de incerteza das mudanças é dependente da classe em que está inserido, pelo que é necessário tratar esta questão de modo individual para cada classe (ou seja, não se podem utilizar como pontos de controlo os valores de toda imagem).

IV – 2.3. Implicações do Modo de Crescimento Urbano

Na AUBG, independentemente do modo como se processou o crescimento urbano, a adição de superfícies impermeáveis antrópicas e de áreas industriais/pedreiras contribui para o incremento da carga térmica, como corroboram igualmente outros autores (*e.g.*, Fu e Weng, 2016). Em vista

disso, procede-se ao cruzamento do modo de crescimento urbano – *i.e.*, colmatação, contiguidade e dispersão – com a variação de Ts*, para identificar as tipologias que determinam as mudanças no ambiente térmico mais expressivas, à semelhança do efetuada anteriormente para as componentes biofísicas.

Como seria de esperar, entre 1984 e 2016 os três modos de crescimento desencadeiam um aumento da carga térmica na AUBG. Não obstante, de ressalvar as seguintes exceções em que tal não se verifica: entre 1984 e 1999, em Braga e em Guimarães, na colmatação do tecido urbano, e, entre 2010 e 2016, em Guimarães no que se refere ao crescimento por contiguidade e à colmatação urbana (Tabela IV-10). Estas exceções estarão relacionadas com as características térmicas das componentes biofísicas predecessoras (*e.g.,* presença de solo seco ou muito compactado) ou com as diferenças climáticas entre cenas. Estas constatações reforçam a importância da similaridade das imagens térmicas na determinação do efeito climático da urbanização.

Tabela IV-10 – Aumentos e diminuições de Ts* em função do modo de crescimento urbano nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 1999

Intervalo Temporal	Disperso		Contiguidade		Colmatação	
	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães
1984-1999	0,11	0,07	0,13	0,05	-0,01	-0,07
1999-2003	0,05	0,16	0,14	0,14	0,11	0,08
2003-2007	0,07	0,10	0,08	0,08	0,03	0,08
2007-2010	0,08	0,11	0,09	0,06	0,02	0,01
2010-2016	0,02	0,02	0,02	-0,02	0,01	-0,04

O contributo de cada um dos três modos de crescimento urbano para o aquecimento do ambiente térmico assume proporções distintas em Braga e em Guimarães. Assim, em Braga os aumentos mais significativos de Ts* decorrem, primordialmente, do crescimento urbano por contiguidade, seguindo-se o crescimento por dispersão e, por fim, com uma importância mais reduzida a colmatação. Atente-se, entre 1999 e 2003 a colmatação urbana em Braga desencadeia aumentos de Ts* mais significativos do que o crescimento disperso. No conjunto dos cinco intervalos temporais em análise, os aumentos de Ts* mais expressivos ocorrem entre 1984-1999, sob a égide do crescimento por contiguidade e por dispersão, e entre 1999-2003, por via da contiguidade e da colmatação do tecido urbano. Nos intervalos 2003-2007 e 2007-2010, o

crescimento urbano por contiguidade e por dispersão desencadearam aumentos menores do que os verificados anteriormente (Tabela IV-10).

Em Guimarães é o crescimento por dispersão que promove os aumentos de Ts* mais notórios, seguindo-se a contiguidade, e, por fim, tal como em Braga, a colmatação urbana. Os incrementos mais significativos no ambiente térmico ocorrem com o advento do novo milénio, mais especificamente nos intervalos 1999-2003, 2003-2007 e 2007-2010, sob os auspícios do crescimento disperso (Tabela IV-10).

O crescimento urbano por dispersão desencadeia sistematicamente maiores aumentos de Ts* em Guimarães do que em Braga, sendo o intervalo 1984-1999 a única exceção a esta situação, visto que entre 2010-2016 assume uma importância igual nos dois municípios. O crescimento em contiguidade com o tecido urbano pré-existente promove aumentos de Ts* mais significativos em Braga do que em Guimarães, apesar de nos intervalos 1999-2003 e 2003-2007 a magnitude do incremento ser igual nos dois municípios. A colmatação urbana, tal como a contiguidade, é em Braga que promove os aumentos mais significativos de Ts*, verificando-se no intervalo 2003-2007 a única exceção a esta situação (Tabela IV-10).

Assim sendo, como referem Arthur-Hartranft *et al.* (2003):

> "*individual land-use decisions become integrated into meso-climatic zones that mirror the form of urban development, but rarely is the theory that regional planner can 'control the meso-climate of broad zones of the city' put into practice*" (p.385).

IV – 3. RITMO DIÁRIO DO AMBIENTE TÉRMICO

"The land surface temperature spatial variability over the diurnal cycle is evident. The images reveal contrasting daytime and night-time heat island patterns, reflecting different day and night rates of heating and cooling between urban and suburban areas".

| Dousset *et al.*, 2011, p.317 |

Demonstrado que o processo de crescimento urbano ocorrido nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 desencadeou aumentos notórios na carga térmica, em seguida traça-se o ritmo diário da temperatura de superfície (Ts), com o intuito de compreender do ambiente térmico da urbanização difusa em diferentes momentos do dia. Dadas as limitações de resolução temporal do Landsat – *i.e.*, de 16 dias de revisitação e apenas uma captura diária a meio da manhã –, recorre-se ao sensor MODIS, transportado pelos satélites Terra e Aqua, que captura o padrão térmico do território em estudo diariamente, em quatro horários distintos: 01:30, 10:30, 13:30 e 22:30, aproximadamente. A análise sequencial das imagens MODIS permite descortinar o ciclo diário de Ts, ainda que estas medições não traduzam os valores correspondentes ao máximo solar (altura em que se verifica a maior temperatura do ar), nem ao período de maior arrefecimento (e, menores valores de temperatura do ar).

Opta-se por analisar as mesmas datas utilizadas aquando da seleção das imagens Landsat – nomeadamente os dias 11 de julho de 2003, 06 de julho de 2007, 30 de julho de 2010 e 14 de julho de 2016 (*vide* Tabela II-1) – por atenderem ao mesmo período do ano e exibirem uma situação sinótica comum, como anteriormente referido. Sem embargo, ressalvar dois aspetos: o primeiro, é que não que é possível estudar as duas primeiras datas da série histórica (22 de julho de 1984 e 09 de julho de 1999), uma vez que o lançamento dos satélites Terra e Aqua é posterior; o segundo, prende-se com a adição da imagem do satélite MODIS-Aqua referente às 01:30 do dia seguinte – de modo a completar o ciclo diário de aquecimento e arrefecimento. Todavia, aquando da passagem do satélite a 12 de julho de 2003 e a 15 de julho de 2016 a existência de muita nebulosidade no território da AUBG impede a utilização das imagens. De facto, em 2016 a presença de nebulosidade já era visível às 22:30, pelo que alguns dos pixéis já se encontram sem informação – com efeito, nas horas seguintes esta situação parece acentuar-se ainda mais.

Decorrente das limitações de resolução espacial do MODIS (por comparação com o Landsat), esta análise foca-se obrigatoriamente mais nas variações regionais (entendidas como sinónimo de

mesoclimáticas), do que nas particularidades intraurbanas, escrutinadas anteriormente. O pixel de aproximadamente 1km² do MODIS não permite discernir (ou pelo menos não de modo imediato) o efeito climático decorrente do aumento da urbanização – relembre-se que este ocorre de modo marcadamente difuso. Ademais, o arquivo MODIS não abarca o período 1984 a 2003, que acumula mais de 50% do total de crescimento urbano verificado nos 32 anos em estudo (*vide* Tabela III-6), e, concomitantemente, coincide com os maiores ganhos proporcionais de área urbana (*vide* Tabela III-7).

Em concreto, a partir do mosaico de áreas quentes e frescas existente em cada horário do MODIS, bem como da identificação das áreas onde se registam as principais diferenças (*i.e.*, amplitudes térmicas), procura-se contribuir para o entendimento das variações diárias do ambiente térmico superficial da AUBG (*vide* Apêndice XXI), bem como dos fatores que desencadeiam estas mudanças. Ao mesmo tempo, esta investigação fornece indicações sobre a pertinência e utilidade de cada horário de observação do satélite para a realização de estudos sobre o fenómeno da ilha de calor, uma vez que a grande maioria se foca no horário da manhã (como efetuado anteriormente neste trabalho) ou no da noite.

IV – 3.1. Ciclo Diário de Ts

A Ts varia significativamente ao longo do dia (Dousset *et al.*, 2011), sendo possível a partir do padrão térmico captado pelo MODIS em quatro horários – *i.e.*, 01:30 (de madrugada), 10:30 (meio da manhã), 13:30 (início da tarde) e 22:30 (início da noite) – determinar o ciclo diário de aquecimento e arrefecimento das superfícies na AUBG.

IV – 3.1.1. Evolução Horária

A análise dos valores de Ts nos quatro momentos do dia captados pelo MODIS demonstra que as temperaturas mínimas, médias e máximas mais baixos ocorrem à 01:30, ao passo que a situação oposta ocorre 12 horas depois, às 13:30. A meio da manhã (10:30) e ao início da noite (22:30) verificam-se situações intermédias, ainda que no primeiro caso as Ts sejam sempre mais elevadas (Tabela IV-11).

Tabela IV-11 – Estatísticas descritivas de Ts (°C) *pixel-by-pixel* na AUBG entre 2003 e 2016

Estatística	2003				2007				2010					2016				
	01:30	10:30	13:30	22:30	01:30	10:30	13:30	22:30	01:30	01:30	10:30	13:30	22:30	01:30	01:30	10:30	13:30	22:30
Observações (nº)	634	634	634	634	634	634	634	634	634	634	634	634	634	634	634	634	634	634
Valores faltantes (nº)	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	4	21	1	0	76
Mínimo	15,85	25,61	30,31	17,33	14,13	30,15	33,33	19,11	16,25	15,89	32,63	35,05	21,31	18,71	12,05	27,65	33,17	13,87
Máximo	19,81	32,61	40,65	20,21	18,31	35,97	43,55	22,43	19,93	21,75	37,27	45,75	24,95	22,79	17,73	34,17	43,99	21,59
Amplitude	3,96	7,00	10,34	2,88	4,18	5,82	10,22	3,32	3,68	5,86	4,64	10,70	3,64	4,08	5,68	6,52	10,82	7,72
1° Quartil	16,85	29,05	33,14	18,09	15,91	31,76	35,97	19,85	17,61	17,65	33,85	39,03	22,11	19,89	14,17	29,65	36,23	18,19
Mediana	17,19	29,53	34,03	18,31	16,43	32,37	37,09	20,19	17,89	18,41	34,59	40,05	22,43	20,21	14,97	30,55	37,39	19,33
3° Quartil	17,63	30,17	34,83	18,53	16,85	33,23	38,45	20,51	18,25	19,55	35,59	41,09	22,91	20,71	15,83	31,39	39,29	20,20
Média	17,30	29,41	34,07	18,36	16,41	32,52	37,28	20,22	17,95	18,57	34,70	40,10	22,55	20,34	14,92	30,62	37,75	18,88
Variância	0,41	1,35	2,46	0,22	0,49	1,20	3,44	0,26	0,25	1,52	1,29	2,89	0,50	0,45	1,22	1,40	4,23	3,22
Desvio-Padrão	0,64	1,16	1,57	0,47	0,70	1,09	1,85	0,51	0,50	1,23	1,14	1,70	0,71	0,67	1,11	1,18	2,06	1,80
Coeficiente de Variação	0,04	0,04	0,05	0,03	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,07	0,03	0,04	0,03	0,03	0,07	0,04	0,05	0,10

O valor mínimo de Ts registado às 10:30 é sempre superior máximo verificado à 01:30. No horário seguinte tal não se verifica, ainda assim em 2003, 2007 e 2016 três terços do território da AUBG exibem às 10:30 Ts mais baixas do que a mínima registada às 13:30, ao passo que 2010 este valor decresce para 50%. Às 22:30 o valor máximo de Ts é inferior ao mínimo registado às 13:30, sendo esta situação igual no hiato 22:30-01:30, disponível apenas para 2007 e 2010 (Tabela IV-11).

A variação sequencial os valores médios de Ts é transversal aos diferentes anos analisados (Tabela IV-11) – evidenciando que satélite Terra capta os momentos diários de transição, ao passo que o Aqua retrata as situações extremas (Figura IV-27), ainda que estas não correspondam efetivamente ao período de maior aquecimento ou arrefecimento diário (Schwarz *et al.*, 2011).

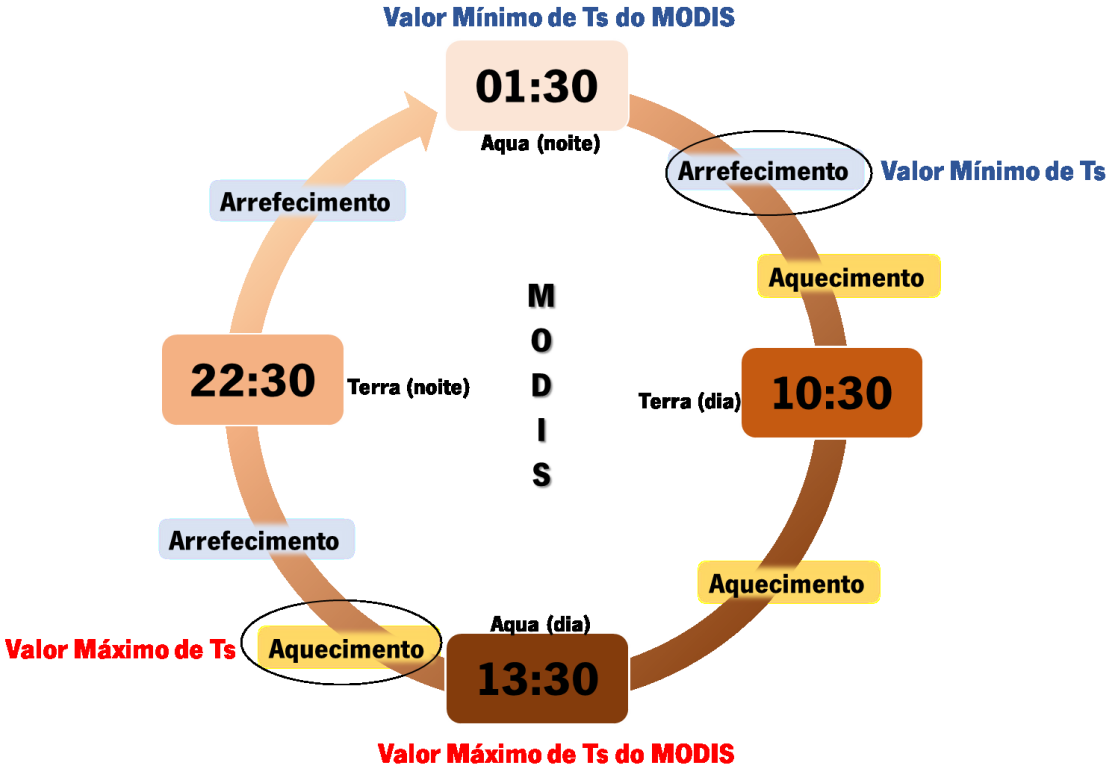
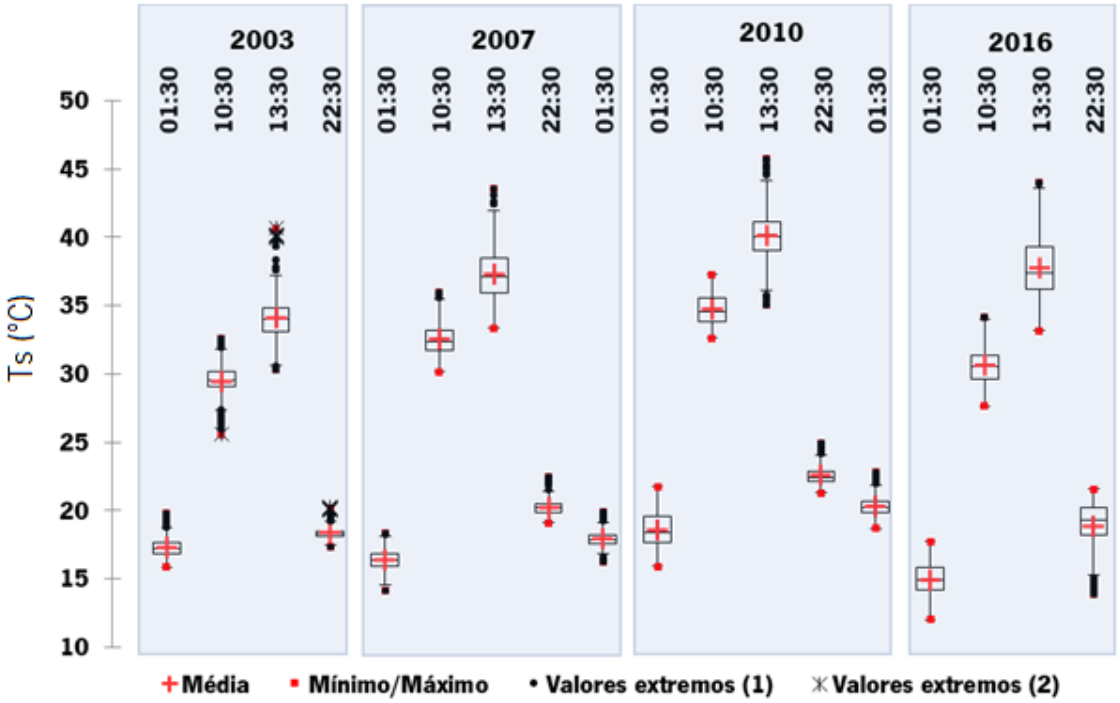


Figura IV-27 – Ritmo diário de Ts captado nas imagens MODIS

A maior dispersão dos valores de Ts ocorre às 13:30, coincidindo com o período de maior calor. Esta situação advém da existência de pontos muito quentes, que estatisticamente são considerados valores extremos, por serem discrepante do restante conjunto de dados. Segue-se o horário das 10:30, embora com uma dispersão dos valores relativamente mais baixa (Figura IV-28). No período noturno, verificam-se diferenças mais reduzidas nas amplitudes de Ts, sendo

às 22:30 que esta diferença assume menor valor (Figura IV-28). A única exceção a esta situação prende-se com a imagem da 22:30 relativa a 2016, que apresenta um desvio-padrão muito elevado (1,80), no entanto, este resultado pode-se encontrar muito deturpado dada a ausência de informação em 12% dos pixéis da imagem (*i.e.*, 76 em 634).



Limite inferior = x(i), sendo que {x(i)-[Q1-1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q1-1,5 (Q3-Q1). Limite superior = x(i), sendo que {x(i)-[Q3+1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q3+1,5 (Q3-Q1) em que, Q1=1.° quartil; Q3=3.°quartil. São considerados valores anómalos, aqueles que se localizam fora do intervalo]Q1-3 (Q3-Q1; Q3+3 (Q3-Q1)[— representados por •; e os que se localizam nos intervalos [Q1-3 (Q3-Q1); Q1-1,5 (Q3-Q1)] ou [Q3+1,5 (Q3-Q1); Q3+3 (Q3-Q1)] — representados por Ж.

Figura IV-28 – Caixa de Bigodes de Ts (°C) *pixel-by-pixel* na AUBG entre 2003 e 2016

A maior dispersão dos valores de Ts (Figura IV-28) – consubstanciada no desvio-padrão – coincide com os horários em que se verificam as diferenças (*i.e.*, entre o máximo e mínimo) mais acentuadas de temperatura entre os diversos materiais que constituem o território da AUBG (Tabela IV-11). Com efeito, estes valores corroboram os resultados de diversos estudos que indicam que durante a noite os valores de Ts tendem a ser mais homogéneos do que durante o dia (*e.g.*, Roth *et al.,* 1989; Nichol, 2005; Sun *et al.*, 2018). De facto, perante a radiação solar direta os materiais com menor inércia térmica tendem a distinguir-se enquanto *hotspots* (muitas das vezes *outliers* estatísticos) – esta situação claramente observada nas imagens Landsat por

volta das 10h/11h (*vide* Figura III-65), no caso do MODIS, apesar de visível a este horário, sobressai ainda mais às 13:30 – quando as superfícies estão ainda mais quentes (Figura IV-28).

Às 22:30 verifica-se a menor dispersão dos valores de Ts na AUBG, pelo que este não constitui um bom horário para distinguir a miscelânea de materiais que compõe a superfície deste território. Eventualmente, este horário do MODIS encontrar-se-á muito próximo do *thermal crossover* (Nichol, 2005) – fenómeno que ocorre quando a assinatura do infravermelho de duas superfícies adjacentes se torna indistinguível (Retief *et al.*, 2003). De acordo com os autores anteriores, esta situação acontece duas vezes por dia, e ainda que varie significativamente em função das características dos objetos (*e.g.*, propriedades térmicas, orientação em relação ao Sol, condições climáticas e atmosféricas), sucede preferencialmente nos horários com reduzida iluminação: ao final da madrugada e ao início da noite. Estes resultados corroboram igualmente que a intensidade da ilha de calor de superfície é mais elevada durante o dia, quando se verifica a maior dilatação dos valores de Ts (Roth *et al.,* 1989; Hung *et al.,* 2006; Klock *et al.,* 2012).

Nos anos de 2007 e de 2010, únicas datas em que se encontra disponível a imagem MODIS relativa às 01:30 do dia seguinte à captura do Landsat, percebe-se que as condições de calor se continuaram a agravar na AUBG, cifrando-se o aumento da carga térmica próxima dos 2°C (Tabela IV-12). Ambas as imagens apresentam um valor de desvio-padrão mais reduzido do que o verificado 24 horas antes, sendo inclusive mais baixo do que o observado às 22:30 do dia anterior. Continuando na lógica da diferença de temperatura, uma análise mais detalhada demonstra que os aumentos mais significativos ocorrem não no valor máximo de Ts, mas sim no mínimo. Para evitar que esta constatação fosse enviesada pelo facto de se tratarem de valores únicos – e, inclusive *outliers* do ponto de vista estatístico (Figura IV-28) – repetiu-se o mesmo procedimento tendo como referência os valores do 1° e do 3° quartil, que representam os 25% do território mais fresco e mais quente, respetivamente. De facto, comprova-se – de igual modo – que nestas 24 horas os incrementos de Ts captados no valor médio decorrem de um maior aquecimento das áreas mais frescas (Tabela IV-12).

Tabela IV-12 – Diferença (°C) entre as imagens MODIS captadas à 01:30 em 2007 e 2010

Valor	Diferença em 2007 (°C)	Diferença em 2010 (°C)
Médio	1,54	1,76
Mínimo	2,2	2,86
Máximo	1,62	1,04
1ª Quartil	1,7	2,24
3ª Quartil	1,4	1,16

A comparação dos valores das diferenças de Ts entre duas imagens MODIS captadas às 01:30, demonstra que em 2010 o aumento da carga térmica foi mais severo (1,77ºC) do que em 2007 (1,54ºC). A explicação para esta diferença reside no facto de a imagem de 30 de julho de 2010 coincidir com uma onda de calor, que de acordo com o IPMA (2010) tinha começado no dia 23 de julho e terminado precisamente no dia 30. Ainda assim, este aumento indica que na madrugada do dia 31 as condições de calor se continuaram a acentuar face às 24 horas anteriores. Realçar que os aumentos mais significativos se refletiram no incremento de Ts das áreas mais frescas, como comprovam as diferenças mais elevadas nos valores mínimos e no 1ºquartil em 2010 (2,86ºC e 2,24ºC, respetivamente) face aos verificados em 2007 (2,2ºC e 1,7ºC, respetivamente). Para tal, contribui o facto de as plantas irem perdendo humidade com o acentuar do calor e, por conseguinte, a capacidade de realizar evapotranspiração que fomentava os fluxos de calor latente em detrimento do calor sensível, que nestas situações assume maior protagonismo. De facto, Ward *et al.* (2016) ressaltam que perante calor extremo continuado a vegetação não só perde capacidade de proporcionar arrefecimento (e reduzir a Ts), como pode inclusive se transformar num local de acumulação de calor – à medida que a vegetação densa e húmida se vai transformando e esparsa e seca. Esta questão é particularmente preocupante nos países do Sul da Europa (Mathey *et al.,* 2011), onde não só se prevê o aumento da frequência, intensidade e duração das ondas de calor, como também do stress hídrico, decorrente da diminuição e maior irregularidade da precipitação (EEA, 2012a&b).

Paradoxalmente (ou não), no que se refere às diferenças nos valores máximos e do 3ºquartil os acréscimos mais significativos ocorrem não em 2010, mas sim em 2007 (Tabela IV-12). Assim sendo, depreende-se – uma vez que não existem estudos (ou pelos menos não se conhecem) no seio da Climatologia Urbana –, que perante calor intenso muito prolongado no tempo (como sucede em 2010, dado que a captura da imagem é precedida de 7 dias classificados como onda de calor) os ganhos térmicos nas superfícies impermeáveis antrópicas serão mais residuais do que os verificados nas vegetação. A necessidade de corroboração (ou refutação) desta asserção impele à realização de estudos mais pormenorizados sobre o comportamento do ambiente térmico no decorrer das ondas de calor.

Face a este cenário, importa frisar que na AUBG as áreas mais frescas, em geral, correspondem aos topos florestados dos Três-Sacromontes e da Penha, onde durante a noite se forma o ar fresco, que por ação da gravidade (*i.e.*, movimentos catabáticos) escoa até ao fundo vale (mais urbanizado

e quente), promovendo a renovação do ar nos centros urbanos. Além disto, tal salienta Monteiro (1997),

> "em situação calmas e estáveis (anticiclónicas), quando não há circulação regional, em especial durante a noite, o gradiente térmico define um campo de baixa pressão na cidade, propiciando a afluência de ar da periferia. O fluxo de ar mais frio chega à cidade, de todas as direções, e vai alimentado as perdas de ar mais quente em altitude, criando um movimento em tudo semelhante à brisa mar-terra" (p.213).

Não obstante, o maior aquecimento dos territórios circundantes (*vulgo* áreas rurais) aquando dos episódios de calor extremo minimiza os contrastes térmicos no território – que passa a oscilar entre as áreas de calor mediano e de calor elevado –, pelo que deixam de se verificar as diferenças de pressão que desencadeiam o sistema de brisas nas áreas com relevo montanhoso, fundamentais na regulação climática deste território. O enfraquecimento do sistema de brisas, conjugado com os efeitos da ilha de calor urbano, concorrem em simultâneo para aumento da carga térmica nos núcleos urbanos principais de Braga e de Guimarães. Toda esta situação é ainda mais preocupante se enquadrada no atual no cenário de alterações climáticas, no qual se prevê que os episódios de calor venham a aumentar em termos de duração, frequência e intensidade (EEA, 2012a&b; EEA, 2015; IPCC, 2018).

IV – 3.1.2. Padrões Espaciais

Para a análise do padrão espacial do ambiente térmico dos quatro horários captados pelo MODIS nas diferentes datas selecionadas efetuou-se a normalização dos valores de Ts (em função do mínimo e do máximo), e procedeu-se à sua classificação em função dos limiares propostos por Xiong *et al.* (2012) –anteriormente aplicados às imagens Landsat. Com efeito, as diversas imagens MODIS, ainda que captadas em datas e horários distintos, passam a deter uma escala comum, pois mais do que perceber as diferenças absolutas, importa compreender a distribuição relativa da temperatura no território da AUBG. As variações térmicas – *i.e.*, área de frescura acentuada, área de frescura moderada, área mediana, área de calor moderado e área de calor acentuado (Figura IV-29, Figura IV-30, Figura IV-31 e Figura IV-32) –, decorrem da forma como a energia radiante é parcelada em calor sensível e calor latente (Hung *et al.*, 2006).

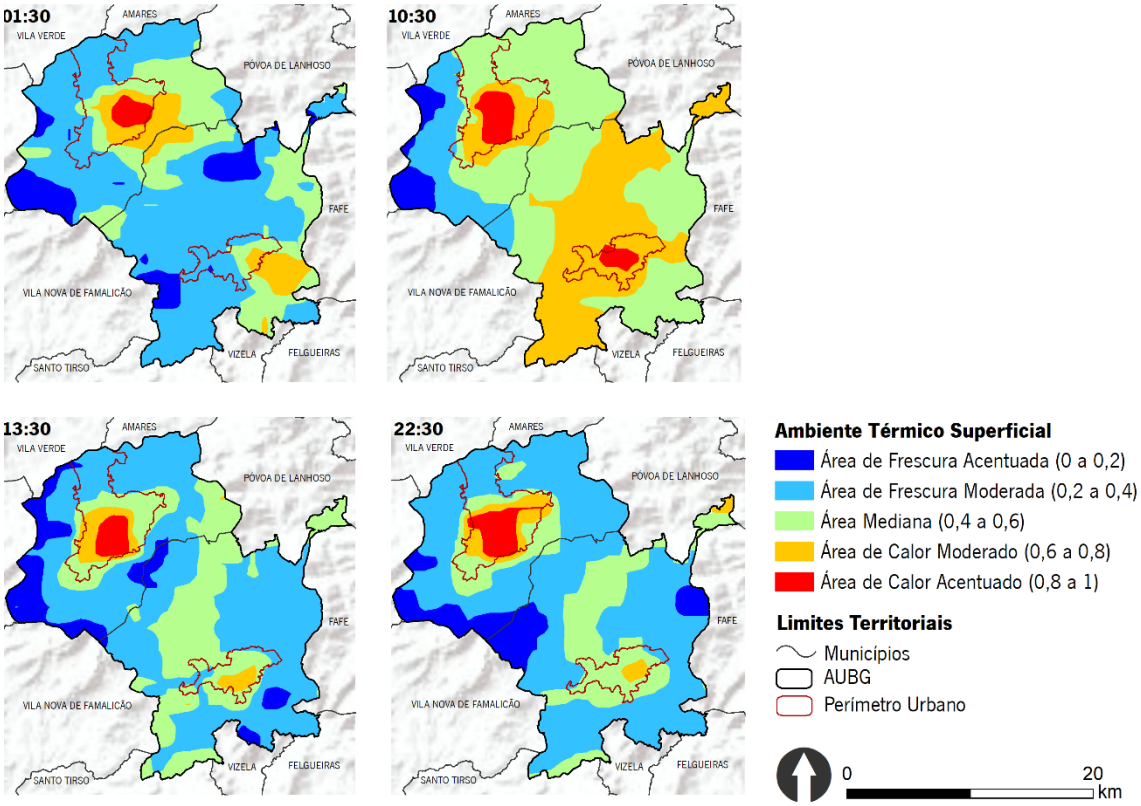


Figura IV-29 – Evolução do ambiente térmico superficial da AUBG em 11 de julho de 2003

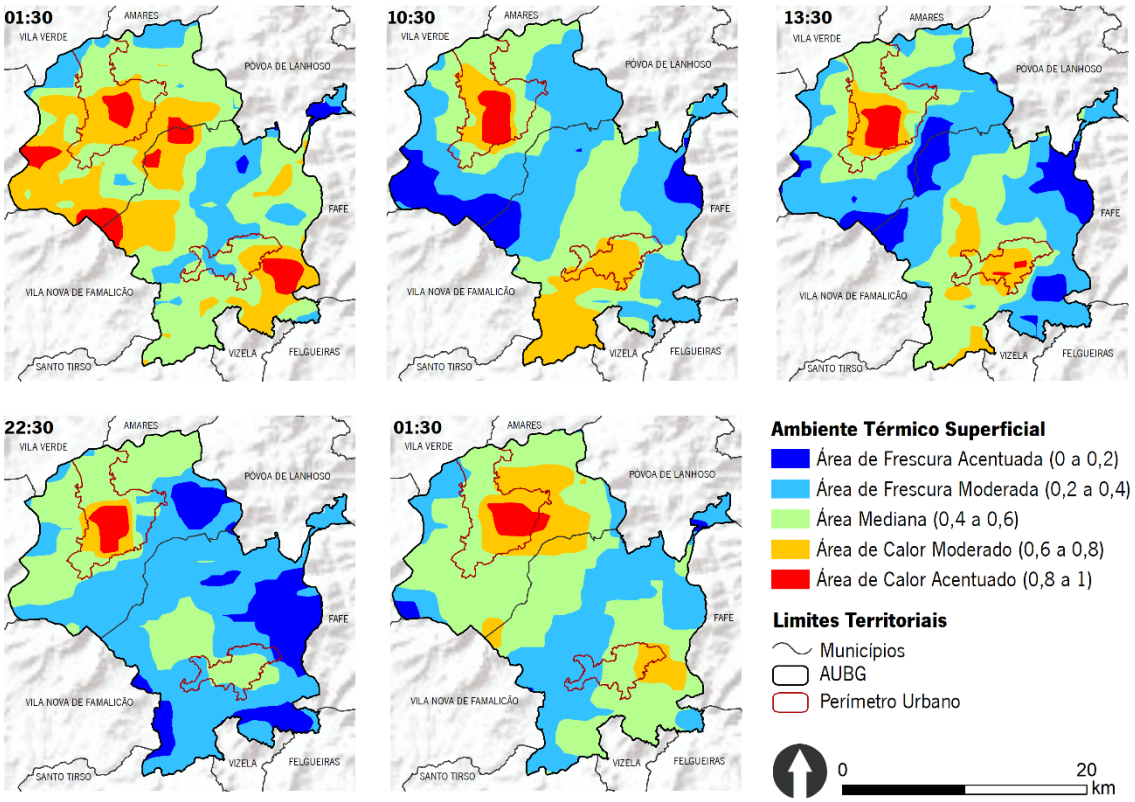


Figura IV-30 – Evolução do ambiente térmico superficial da AUBG em 6 de julho de 2007 em 11 de julho

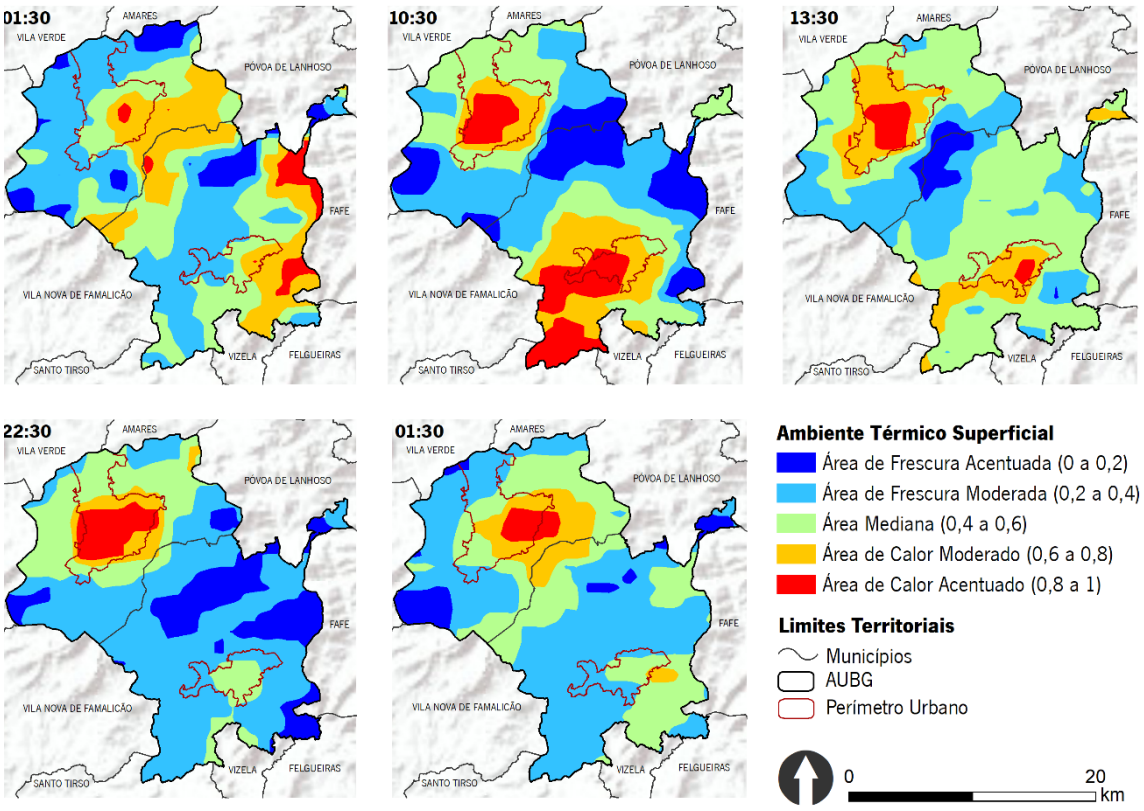


Figura IV-31 – Evolução do ambiente térmico superficial da AUBG em 30 de julho de 2010

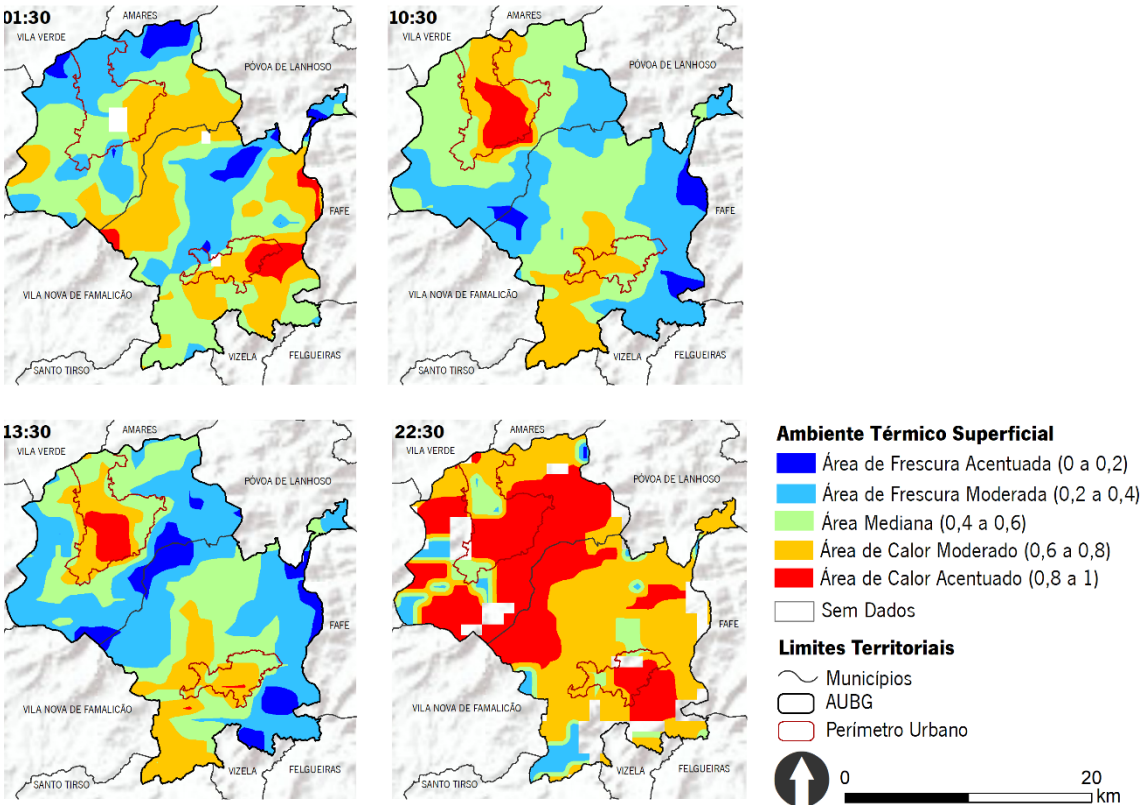


Figura IV-32 – Evolução do ambiente térmico superficial da AUBG em 14 de julho de 2016

As quatro datas selecionadas exibem padrões espaciais distintos nos diferentes horários – decorrente das variações ao longo do dia do mosaico de áreas frescas e quentes – mas similares em entre si (Figura IV-29, Figura IV-30, Figura IV-31 e Figura IV-32). De madrugada, cerca da 01:30, sobressai pelas Ts elevadas parte do núcleo urbano central de Braga, claramente mais quente do que o de Guimarães, que no contexto geral da AUBG apenas constitui uma área de calor moderado. Não obstante, neste horário constata-se que os topos florestados sobranceiros à cidade de Braga e de Guimarães também exibem sistematicamente situações de calor (moderado a acentuado), evidenciando a resistência da vegetação às mudanças de temperatura – *i.e.*, elevada inércia térmica e capacidade calorífica (Tabela I-22). Por conseguinte, ao contrário do observado noutros estudos (*e.g.*, García-Cueto *et al.,* 2007; Mathew *et al.*, 2018) durante a madrugada o núcleo central da cidade (de Braga e de Guimarães) não emerge de modo nítido como ilha de calor (Figura IV-29, Figura IV-30, Figura IV-31 e Figura IV-32), esta situação apenas ocorreria se os topos se encontrassem desflorestados – uma vez que durante a noite as perdas por irradiação se concentram nas áreas abertas (Nichol, 2005; Mathew *et al.*, 2018).

As áreas de fundo de vale, mormente junto ao Rio Cávado no limite Oeste do território bracarense, e no vale do Rio Ave já em território vimaranense, sobressaem pela dominância das condições frescura durante a madrugada. Com uma dimensão muito mais reduzida e comportamento deveras volátil identifica-se ainda um terceiro vale, no concelho de Guimarães, mais precisamente junto ao limite ao limite Oeste do perímetro urbano, após a confluência da Ribeira de Costa/Couros com o Rio Selho (Figura IV-29, Figura IV-30, Figura IV-31 e Figura IV-32).

A meio da manhã, por volta das 10:30, pouco antes da captura das imagens Landsat, as condições de calor muito acentuado concentram-se no interior do perímetro urbano – destacando-se uma vez mais o centro urbano de Braga – pela sua compacidade. Em Braga verifica-se que neste horário o calor acentuado nunca extravasa o limite do perímetro urbano. Por sua vez, em Guimarães apenas em 2003 e 2007 é que se observam condições de calor acentuado – ainda que os padrões sejam distintos, pois em 2003 centram-se no núcleo urbano principal enquanto em 2007 afetam uma área muito mais vasta que cobre toda a metade ocidental do perímetro urbano, bem como o setor Sudoeste do município (no enclave entre Vizela, Santo Tirso e Famalicão), que constitui uma das áreas mais urbanizadas e industrializadas do município. As condições de calor moderado estendem-se no território, nomeadamente para os locais com urbanização difusa e com solo nu, que a meio da amanhã já se encontra muito quente devido à reduzida inércia térmica (Figura IV-29, Figura IV-30, Figura IV-31 e Figura IV-32).

As áreas mais frescas às 10:30 encontram-se nos topos, ainda que o padrão espacial sofra significativas variações entre as diferentes datas, bem como em relação ao observado anteriormente com o Landsat. De facto, as áreas de frescura acentuada localizadas entre o limite do perímetro urbano de Braga e de Guimarães e as respetivas áreas sobranceiras – *i.e.*, os Três-Sacromontes e da Penha – bem salientes nas imagens Landsat não são captadas pelo MODIS, que a esta hora confina os espaços mais frescos aos extremos da AUBG. Uma justificação para tal, poderá residir nas diferenças de resolução espacial dos dois satélites, podendo a sua dimensão ser muito exígua para ser captada pelo MODIS (Figura IV-29, Figura IV-30, Figura IV-31 e Figura IV-32).

Ao início da tarde, próximo das 13:30, denota-se um acentuar dos contrastes térmicos entre as áreas mais frescas e as mais quentes, por conseguinte os centros urbanos de Braga e de Guimarães individualizam-se de modo ainda mais claro enquanto *hotspots,* devido à retração das áreas de calor moderado. Em algumas áreas de urbanização difusa mais densa (localizadas em Guimarães) continuam a dominar as condições de calor moderado. Assim, se em Braga se observa uma diminuição da temperatura *grosso modo* linear do núcleo histórico para a periferia do concelho, Guimarães exibe um padrão tentacular claramente assimétrico, por força da urbanização e industrialização difusa, extrínseca ao perímetro urbano (Figura IV-29, Figura IV-30, Figura IV-31 e Figura IV-32). Por seu turno, as áreas de frescura acentuada detêm maior representatividade do que a verificada às 10:30, e, concomitantemente, exibem uma configuração espacial mais próxima da captada pelo Landsat (por voltas das 10h/11h).

Em torno das 22:30, as áreas de calor acentuado circunscrevem-se ao núcleo urbano central de Braga (com exceção da imagem de 2016, cujos valores apresentados se encontrarão deturpados pela presença de diversos pixéis sem dados). A individualização da cidade de Braga decorre não só da sua dimensão espacial, que favorece uma maior absorção e retenção do calor, como também da compacidade, que multiplica a reflexão da radiação solar e minimiza as perdas de radiação de longo comprimento de onda. Por sua vez, em Guimarães o núcleo urbano, com menor dimensão e compacidade, oscila entre as situações de calor moderado e os valores medianos de Ts, cuja distribuição espacial não raras as vezes se espraia de modo mais amplo no território. À parte disto, dominam as condições de frescura no restante território da AUBG, sendo neste horário que assumem maior representatividade espacial, exceção feita à imagem de 2016 (Figura IV-29, Figura IV-30, Figura IV-31 e Figura IV-32). Esta situação evidencia de modo claro o maior aquecimento do centro urbano de Braga por comparação com o restante território da AUBG.

IV – 3.2. Relação Estatística

Para detalhar a pertinência (e/ou fragilidade) da utilização das imagens Landsat, captadas a meio da manhã, no estudo do ambiente térmico, procede-se à análise da relação estatística entre as quatro imagens MODIS e a respetiva imagem Landsat, tendo por base a correlação de Spearman.

IV – 3.2.1. Imagens MODIS *versus* Landsat

Numa comparação direta dos valores de Ts das imagens MODIS captadas às 10:30 (Tabela IV-12) com as do arquivo Landsat analisadas anteriormente, sobressaem as questões relacionadas as diferenças de resolução espacial. O Landsat retrata melhor as particularidades térmicas das superfícies (Mohamed *et al.,* 2017), como comprova a maior dilatação dos valores de amplitude e de desvio-padrão. A Ts média mais elevada no Landsat (do que no MODIS) indica que uma das vantagens do ganho de resolução espacial se prende com a individualização de *hotspots*, que não raras as vezes correspondem a *outliers* estatísticos (*vide* Figura III-72).

Relativamente à ordenação temporal das quatro datas em função dos valores médios de Ts constata-se que em ambos os arquivos os valores mais baixos ocorrem em 2003 e os mais elevados em 2010, no entanto, os anos de 2007 e 2016 invertem a sua ordem. Ainda assim, se em vez do horário das 10:30 se considerar o das 13:30 verifica-se um *ranking* coincidente. Na ordenação das datas nos restantes horários captados pelo MODIS importa dizer que às 22:30 se verifica a mesma situação reportada para às 10:30; porém, à 01:30, verifica-se uma situação muito distinta, pois apenas 2010 permanece como o ano em que a Ts é mais elevada, ao passo que 2003 que consistentemente aprece como mais fresco surge com o segundo valor de Ts mais elevado.

A correlação de Spearman evidencia uma relação significativa (*p*-valor inferior a 0,05 ou mesmo 0,01) entre as imagens Landsat e as MODIS; no entanto, o poder de explicação (indicada no coeficiente de determinação R^2) é muito reduzido (Tabela IV-13). Como depreendido da comparação dos valores médios de Ts e da análise do padrão espacial do ambiente térmico, verifica-se que o Landsat detém uma correlação mais elevada com o horário das 13:30 do que com o das 10:30.

Tabela IV-13 – Coeficiente de correlação e de determinação (r^2) Spearman entre as quatro imagens MODIS e destas com o Landsat na AUBG

Coeficiente de correlacão

	Hora	01:30	10:30	13:30	22:30	Landsat
2003	01:30	**1**	0,030	0,020	0,046	0,012
	10:30	0,030	**1**	0,670**	0,676**	0,313**
	13:30	0,020	0,670**	**1**	0,624**	0,443**
	22:30	0,046	0,676**	0,624**	**1**	0,267**
	Landsat	0,012	0,313**	0,443**	0,267**	**1**

	Hora	01:30	10:30	13:30	22:30	01:30	Landsat
2007	01:30	**1**	-0,191**	-0,268**	0,038	0,748**	-0,145**
	10:30	-0,191**	**1**	0,676**	0,437**	-0,046	0,412**
	13:30	-0,268**	0,676**	**1**	0,325**	-0,140**	0,472**
	22:30	0,038	0,437**	0,325**	**1**	0,371**	0,068
	01:30	0,748**	-0,046	-0,140**	0,371**	**1**	-0,107*
	Landsat	-0,145**	0,412**	0,472**	0,068	-0,107*	**1**

	Hora	01:30	10:30	13:30	22:30	01:30	Landsat
2010	01:30	**1**	-0,191**	-0,268**	0,038	0,748**	-0,145**
	10:30	-0,191**	**1**	0,676**	0,437**	-0,046	0,412**
	13:30	-0,268**	0,676**	**1**	0,325**	-0,140**	0,472**
	22:30	0,038	0,437**	0,325**	**1**	0,371**	0,068
	01:30	0,748**	-0,046	-0,140**	0,371**	**1**	-0,107*
	Landsat	-0,145**	0,412**	0,472**	0,068	-0,107*	**1**

	Hora	01:30	10:30	13:30	22:30	Landsat
2016	01:30	**1**	-0,416**	-0,420**	0,349**	-0,264**
	10:30	-0,416**	**1**	0,792**	-0,093*	0,435**
	13:30	-0,420**	0,792**	**1**	-0,170**	0,564**
	22:30	0,349**	-0,093*	-0,170**	**1**	-0,099*
	Landsat	-0,264**	0,435**	0,564**	-0,099*	**1**

Coeficiente de determinacão (R^2)

Hora	01:30	10:30	13:30	22:30	Landsat
01:30	**1**	0,001	0,000	0,002	0,000
10:30	0,001	**1**	0,449	0,457	0,100
13:30	0,000	0,449	**1**	0,390	0,200
22:30	0,002	0,457	0,389	**1**	0,071
Landsat	0,000	0,098	0,196	0,070	**1**

Hora	01:30	10:30	13:30	22:30	01:30	Landsat
01:30	**1**	0,092	0,094	0,032	0,278	0,019
10:30	0,092	**1**	0,661	0,191	0,000	0,148
13:30	0,094	0,661	**1**	0,14	0,000	0,233
22:30	0,032	0,191	0,142	**1**	0,077	0,013
01:30	0,278	0,001	0,000	0,080	**1**	0,000
Landsat	0,019	0,148	0,233	0,013	0,000	**1**

Hora	01:30	10:30	13:30	22:30	01:30	Landsat
01:30	**1**	0,036	0,072	0,001	0,560	0,021
10:30	0,036	**1**	0,457	0,190	0,000	0,17
13:30	0,072	0,457	**1**	0,110	0,020	0,22
22:30	0,001	0,191	0,106	**1**	0,138	0,00
01:30	0,560	0,002	0,020	0,140	**1**	0,01
Landsat	0,021	0,170	0,223	0,005	0,011	**1**

Hora	01:30	10:30	13:30	22:30	Landsat
01:30	**1**	0,173	0,176	0,122	0,070
10:30	0,173	**1**	0,627	0,010	0,190
13:30	0,176	0,627	**1**	0,030	0,320
22:30	0,122	0,009	0,029	**1**	0,010
Landsat	0,070	0,189	0,318	0,010	**1**

** A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral); * A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).

Entre 2003 e 2016 o valor de correlação entre as imagens MODIS e Landsat vai aumentando, ocorrendo o mínimo às 10:30 de 2003 e máximo às 13:30 de 2016, ainda assim o poder de explicação pouco ultrapassa os 30% da variação verificada entre as duas imagens. Para os baixos valores de correlação poderá contribuir – em grande medida – o facto de não se ter efetuado qualquer generalização dos valores do Landsat (Tabela IV-13).

No horário da 01:30, ainda que em 2003 apenas se verifique uma exígua correlação, nas restantes datas a relação negativa é estatisticamente significativa (*p*-valor inferior 0,01), e apesar de deter um baixo poder de explicação, este aumenta entre 2003 e 2016. Este resultado indica que uma parte do território da AUBG que se encontrava mais quente às 10:30, por volta 01:30 estará mais fresca. Os resíduos desta explicação corresponderão a locais que mantêm a Ts elevada (ou reduzida) tanto de dia como de noite. Se considerada a imagem da 01:30 correspondente ao dia seguinte da captura da Landsat constata-se que a relação mantém a direção, mas enfraquece, sendo que em 2007 não têm qualquer significância estatística, e, em 2010, apenas é significativa a 0,05 (Tabela IV-13). Às 22:30 a relação entre o MODIS e o Landsat apresenta um comportamento menos homogéneo, sendo esta relação positiva em 2003, 2007 e 2010, embora só estatisticamente significativa (*p*-valor inferior 0,01) em 2003 e 2007. A relação negativa em 2016, mesmo que significativa (*p*-valor inferior 0,05), pode-se encontrar deturpada pela ausência de valores de Ts em 12% dos pixéis (Tabela IV-13).

Conclui-se face ao exposto que o Landsat traduzirá um misto da situação captada pelo MODIS às 10:30 e às 13:30.

IV – 3.2.2. Relação entre as Imagens MODIS

A correlação entre os valores de Ts captados pelo MODIS nos quatro horários diários traduz estatisticamente a relação dos padrões térmicos verificados ao longo do dia na AUBG (Tabela IV-13). Em 2003 todas as variáveis apresentam uma correlação positiva, porém nem sempre significativa, como sucede com a imagem da 01:30 (que não detém de igual modo uma relação estatística significativa com nenhum dos outros horários). Nas restantes imagens verifica-se a situação oposta (*p*-valor <0,01), registando-se os valores de correlação mais elevados entre as 10:30 e as 22:30 (e vice-versa), ainda que o poder de explicação seja baixo (apenas 46%); às 13:30 a distribuição dos valores de Ts aproxima-se mais da imagem das 10:30 (R^2=0,449).

Diferentemente do verificado em 2003, em 2007 as variáveis exibem tanto uma correlação negativa como positiva, sendo esta sempre significativa (caso não se considere a imagem das 01:30 referente ao dia seguinte da data de captura das imagens Landsat, que serviram de base à extração das imagens MODIS). À 01:30 verifica-se uma correlação negativa com as imagens diurnas (*i.e.*, 10:30 e 13:30) e positiva com o horário das 22:30 – ainda que nos três casos o poder de explicação da variação dos valores de Ts seja residual (no máximo de 9%). Os valores mais elevados de correlação ocorrem novamente entre as imagens 10:30 e 13:30 (R^2=0,661); às 22:30 a relação estatística mais significativa ocorre com o horário das 10:30, embora o poder de explicação seja de apenas 19% da variação (Tabela IV-13).

Em 2010, os diferentes horários do MODIS (se excluída uma vez mais a imagem das 01:30 referente ao dia seguinte da captura Landsat) exibem uma relação estatisticamente muito significativa (*p*-valor <0,01), com exceção da relação 01:30–22:30. Efetivamente, a imagem da 01:30 detém (em consonância com o verificado anteriormente) uma fraca relação estatística com os restantes horários, pois nesta data o valor de correlação mais elevado (-0,268, com a imagem das 13:30), explica somente 7% da variação dos valores de Ts. Por oposição, as correlações mais elevadas ocorrem novamente entre as 10:30 e as 13:30, ainda que o poder de explicação seja inferior ao verificado anteriormente (*i.e.*, 66% em 2003 *versus* 45% em 2010). Às 22:30 a distribuição dos valores de Ts aproxima-se mais da verificada às 10:30, similarmente ao verificado em 2003, e diferentemente do verificado na data seguinte (Tabela IV-13).

Na última data em análise, constata-se que a correlação entre os diversos horários MODIS é sempre significativa do ponto de vista estatístico (*p*-valor inferior a 0,05 ou mesmo a 0,01). A relação entre as variáveis é similar à descrita nas datas anteriores – quer dizer positiva –, com exceção da relação 01:30–10:30 e 01:30–13:30, sendo esta última mais elevada (R^2=0,178). A parelha de imagens MODIS 10:30–13:30 detêm a correlação mais elevada (0,792), tal-qualmente ao verificado em 2007 e 2010. Às 22:30 a correlação mais elevada ocorre com a imagem da 01:30, contrariamente ao verificado nas outras datas (Tabela IV-13).

Considerando que imagem da 01:30 correspondente ao dia seguinte das datas da série histórica analisadas apenas se encontra disponível para os anos de 2007 e 2010, procede-se à sua análise em separado. As duas imagens referente à 01:30 exibem em ambas as datas uma correlação positiva significativa, porém em 2010 este valor é claramente mais elevado do que em 2007 (*i.e.*, 0,748 e 0,527, respetivamente). Sobressai ainda a perda de relação estatística da imagem das

01:30 (face ao verificado no dia anterior) com a das 10:30 e a das 13:30, mas o ganho com a das 22:30, mais próxima temporalmente (Tabela IV-13).

Os resultados estatísticos obtidos permitem suportar algumas considerações pertinentes no contexto dos objetivos deste estudo. Primeiro, o horário das 10:30 (próximo da captura do Landsat que ocorre entre as 10h/11h), pelas elevadas correlações que exibe com a imagem das 13:30 (e em alguns casos com as 22:30), constitui uma boa representação das variações do padrão térmico superficial. Deste modo, as asserções efetuadas tendo por base o Landsat (com grande detalhe espacial) poder-se-ão generalizar para outros horários do dia, não em termos absolutos dos valores de Ts, mas sim no que se refere à distribuição espacial das áreas quentes e frescas. Com efeito, corrobora-se a ideia de Carlson *et al.* (1995), que o horário do Landsat (ainda que não capte o mínimo ou o máximo do valor diário de Ts) não resulta na perda de informação significativa na análise do ambiente térmico. Ademais, o horário das 10:30 evidencia que a formação da ilha de calor de superfície se deve não são só às áreas impermeáveis antrópicas, como também aos terrenos com solo nu (devido à baixa inércia). Assim, num contexto de urbanização difusa – em que as áreas impermeáveis até são minoritárias, e onde as diferentes componentes biofísicas se encontram profundamente mescladas, nomeadamente pelo facto de as habitações dispersas se encontrarem ladeadas por campos agrícolas (que no mês de julho se encontram lavradas, logo sem qualquer coberto vegetal) – a representação do ambiente térmico encontra neste horário o expoente máximo da desigualdade espacial, imprescindível à sua cabal compreensão.

A correlação negativa entre a imagem da 01:30 e a das 10:30 e 13:30 (exceto em 2003) indica que existe uma relação inversa de Ts entre o dia e a noite. Melhor dizendo, as áreas mais frescas durante a noite tendem a ser as mais quentes durante o dia e que as mais quentes serão mais frescas. Os resíduos desta relação (muito significativos, dado o baixo poder de explicação) prendem-se com a existência de áreas que permanecerão quentes ou frescas em ambos os momentos.

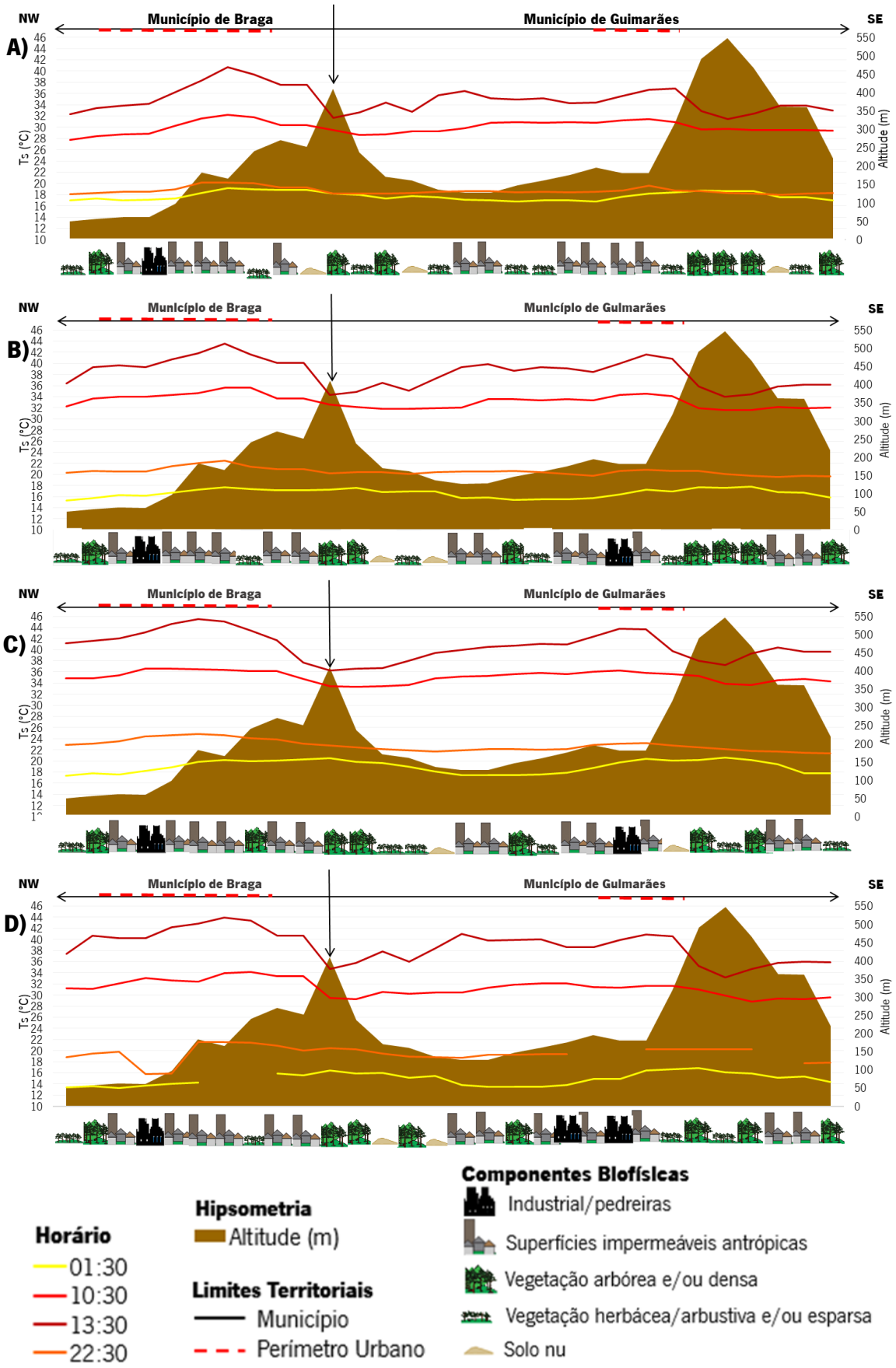
Comparando os resultados da AUBG com os obtido por Mathew *et al.* (2018), para três cidades localizadas na Índia, constatam-se diferenças significativas, particularmente ao nível o poder de explicação da relação entre as quatro imagens MODIS, que na AUBG são significativamente mais baixos. Tal situação poderá advir da elevada mescla de componentes biofísicas, a que se aludiu anteriormente, que torna o ambiente térmico mais complexo e variável. Por outro lado, contrariamente ao concluído no referido estudo, as relações mais significativas, do ponto de vista

estatístico, não ocorrem entre as imagens noturnas (01:30–22:30), mas sim entre as diurnas (10:30–13:30), indicando que as variações de Ts durante o dia são mais uniformes do que as ocorridas à noite. Efetivamente, as diferenças mais evidentes na configuração espacial do ambiente térmico da AUBG ocorrem no horário da 01:30 (como comprovam os baixos valores de correlação com outros horários), contribuindo para tal a presença de Ts elevadas tanto no núcleo urbano principal, como nos topos florestados, onde por regra se formam *clusters* de áreas frescas.

IV – 3.3. Perfil Térmico

Para uma compreensão mais clara da relação de Ts ao longo do dia com as componentes biofísicas e com a posição topográfica recorre-se à representação conjunta desta informação num perfil de direção NE-SW (Figura IV-33). García-Cueto *et al.* (2007) comparam a variação da temperatura ao longo do perfil com as formas de relevo, pois a sua distribuição, tal como no perfil topográfico, exibe numerosos 'cumes', 'vales', 'planaltos' e 'bacias', decorrente da heterogeneidade de superfícies que atravessa.

O perfil térmico da AUBG põe em evidência que o gradiente térmico observado entre os diferentes horários do MODIS é transversal às quatro datas – assim, ainda que se verifique uma variabilidade intercenas dos valores absolutos de Ts, do ponto de vista relativo a situação mantém homogénea. De igual modo, o perfil corrobora que as variações de Ts no período diurno são mais acentuadas do que no noturno (*c.f.,* Figura IV-28 e Figura IV-33), pois os *hotspots* desencadeados pelos baixos valores de inércia térmica – *e.g.*, áreas industriais, solo nu – encontram-se, em virtude dessa mesma razão (e pelo amplo fator de visão do céu) anulados. Em termos narrativos, se as diferenças bruscas de Ts verificadas às 13:30 resultam num 'relevo muito encaixado', os valores homogéneos das 22:30 aproximam-se do 'relevo ondulado da planície'. Por conseguinte, é no período de maior radiação solar que ocorre a diferenciação térmica entre as áreas urbanas, o solo nu e a vegetação mais evidente (ainda que, mesmo às 13:30 as superfícies ainda não tenham atingido o máximo de temperatura). A amplidão nos valores de Ts diurna traduz o domínio padrões microclimáticos, por contraponto aos mesoclimáticos observados à noite. Para Nichol (2005) isto sugere que durante o dia os processos atmosféricos se desenvolvem na atmosfera urbana inferior enquanto à noite ocorrem à escala da atmosfera urbana superior (*vide* Figura I-30).



A) – 11 de julho de 2003; B) – 06 de julho de 2007; C) – 30 de julho de 2010; D) – 14 de julho de 2016.

Figura IV-33 – Perfil térmico da AUBG em 2003, 2007, 2010 e 2016

A relação de Ts com as componentes biofísicas é mais evidente durante o dia, destacando-se particularmente no horário das 13:30 por duas situações: (i) aumento notório de Ts no interior do perímetro urbano (onde predomina o tecido construído); e, (ii) a descida de Ts nas áreas com vegetação (denotando o efeito de arrefecimento promovido pela vegetação, particularmente a arbórea densa, como sucede nas áreas mais elevadas). O solo nu (ainda que a sua representatividade seja muito reduzida neste perfil) evidencia que perante a radiação solar aquece muito rapidamente (dada a sua baixa inércia), pelo as diferenças de Ts entre as 10:30 e as 13:30 são mais reduzidas do que as verificadas nas áreas urbanas (cujo valor da inércia é superior). A este respeito, Zhao *et al.* (2011) afirmam: quanto maior a radiação disponível mais cedo este pico de temperatura ocorre.

Na ausência da energia solar (às 22:30) os valores de Ts do solo nu encontram-se claramente abaixo das áreas urbanas, sendo próximos dos exibidos pela vegetação (Figura IV-33). Este gradiente é corroborado pelos resultados das medições *in situ* efetuadas por Mathew *et al.* (2018) na cidade Indiana de Jaipur, que indicam que a temperatura do solo nu é máxima por voltas das 15h, diminuindo rapidamente com o pôr-do-Sol (*vide* Figura I-28) – constituindo o material com a taxa de arrefecimento mais acelerada. Além disto, os valores de Ts do solo são mais elevados durante o verão do que no inverno, evidenciando a estrita relação da sua temperatura com a quantidade de radiação disponível (Mathew *et al.,* 2018).

Relativamente à topografia verifica-se uma relação inversa durante o dia, pois os valores mais elevados de Ts surgem no fundo de vale (mais urbanizados) e os menores ocorrem nos topos (densamente florestados); por oposição, de madrugada esta situação inverte-se, sendo bem patente que a diminuição de altitude é acompanhada pela descida de Ts (Figura IV-33).

Em termos globais, na AUBG as áreas urbanas apresentam amplitudes térmicas diárias muito elevadas, pois exibem valores de Ts muito elevados durante o dia e mais baixos durante a noite. Ao passo que na vegetação se registam amplitudes mais reduzidas, visto não aquecerem muito durante o dia e à noite arrefecem menos do que a área urbana (Figura IV-33). Estas diferenças de amplitude, encontram-se em consonância com diversos estudos (*e.g.*, Hung *et al.*, 2006; Mathew *et al.,* 2018), pois decorrem (em grande parte) das propriedades térmicas da superfície (*vide* Tabela I-22). Os materiais artificiais, como detêm menor inércia térmica do que a vegetação, perante a radiação solar aquecem muito rapidamente (ainda que, o solo nu e seco aqueça muito depressa, como comprovam as elevadas Ts às 10:30). A vegetação, não só detém menor inércia

térmica (demorando mais tempo a mudar a temperatura), como a disponibilidade de humidade promove a evapotranspiração, que fomenta os fluxos de calor latente, em detrimento do calor sensível (Hung *et al.*, 2006), preponderante nas áreas urbanas, onde este processo de trocas de calor está ausente ou é muito exíguo. De madrugada, como a vegetação detém maior capacidade calorífica do que as áreas urbanas (conjugada com a inércia térmica, mencionada), permanece mais quente.

As características do ambiente térmico da AUBG encontram-se em conformidade com os relatados em outros estudos, suportando que de dia a ilha de calor depende das características imediatas do lugar, nomeadamente o tipo de material que reveste a superfície (Oke, 1976; Nichol, 2005; Mathew *et al., 2018*). Durante a noite, a variação de Ts aparenta ser mais influenciada pela sua posição topográfica do que pelo tipo de material (Nichol, 2005). De igual modo, também Roth *et al.* (1989) não encontraram correspondência entre Ts e o uso solo no período noturno. Nichol (2005) evidencia que em Hong Kong as áreas de relevo montanhoso florestadas parecem contribuir para o arrefecimento noturno das áreas edificadas, tal como sucede no caso em Braga e Guimarães.

Por fim, importa frisar que apesar de o MODIS, por comparação com o Landsat, apresentar uma diminuição clara no detalhe espacial do ambiente térmico (justificando a ausência de estudos locais com este satélite), a sua informação é fundamental para a delineação de decisões estratégicas para o planeamento urbano. Os quatro horários do MODIS (não obstante as limitações já mencionadas) permitem identificar a variação espacial e temporal do mosaico de áreas quentes (*i.e.*, acumulação de calor) e frescas (*i.e.*, sumidouros de calor) ao longo do dia – decorrentes da alternância do domínio dos processos na atmosfera urbana inferior (dia), com a atmosfera urbana superior (noite). Este conhecimento deve ser incluído, entre muitos outros aspetos, na delineação de estratégias de espaços verdes municipais ou mesmo regionais, uma vez que permite sustentar a opção por parques urbanos arborizados, que fornecem sombra durante o dia, ou relvados, que funcionam como sumidouros de calor durante a noite (Nichol, 2005), em função das atividades dominantes nesses espaços.

IV – 3.4. Magnitude da Variação Horária

A compreensão do ritmo diário do ambiente térmico depende não só do conhecimento do arranjo espacial das áreas quentes e frescas em cada momento do dia, como também das mudanças que se verificam entre horários – consubstanciadas nas amplitudes térmicas. Em concreto, calcularam-se as diferenças dos valores de Ts para os seguintes intervalos horários: 01:30–10:30, 10:30–13:30, 13:30–22:30, 22:30–01:30 (apenas possível para no ano de 2007 e 2010) e, ainda, o intervalo 01:30-13:30 de modo a captar situações mais extremas (Tabela IV-14, Figura IV-34, Figura IV-35, Figura IV-36 e Figura IV-37).

Tabela IV-14 – Amplitudes médias (°C) na AUBG entre 2003 e 2016

Intervalo	2003	2007	2010	2016
01:30-10:30	12,11	16,11	16,14	15,69
10:30-13:30	4,66	4,76	5,39	7,13
13:30-22:30	-15,70	-17,06	-17,54	-18,84
22:30-01:30D2	***	-2,27	-2,22	***
01:30-13:30	16,77	20,87	21,53	22,82
01:30-22:30	1,06	3,81	3,99	3,98
01:30-01:30D2	***	1,54	1,76	***
10:30-22:30	-11,05	-12,30	-12,15	-11,71
10:30-01:30D2	***	-14,57	-14,37	***
13:30-01:30D2	***	-19,33		***

*** Sem dados.

No intervalo entre as 01:30 e a 10:30 todo o território da AUBG fica mais quente, ocorrendo os incrementos médios mais elevados em 2010, embora 2007 e 2016 exibam valores muito similares (Tabela IV-14). Os aumentos de Ts mais elevados ocorrem nos núcleos urbanos principais de Braga e de Guimarães, bem como no território da urbanização mais difusa, onde subsistem vastas áreas com o solo exposto, que devido à baixa inércia térmica aquecem muito rapidamente (Figura IV-34, Figura IV-35, Figura IV-36 e Figura IV-37).

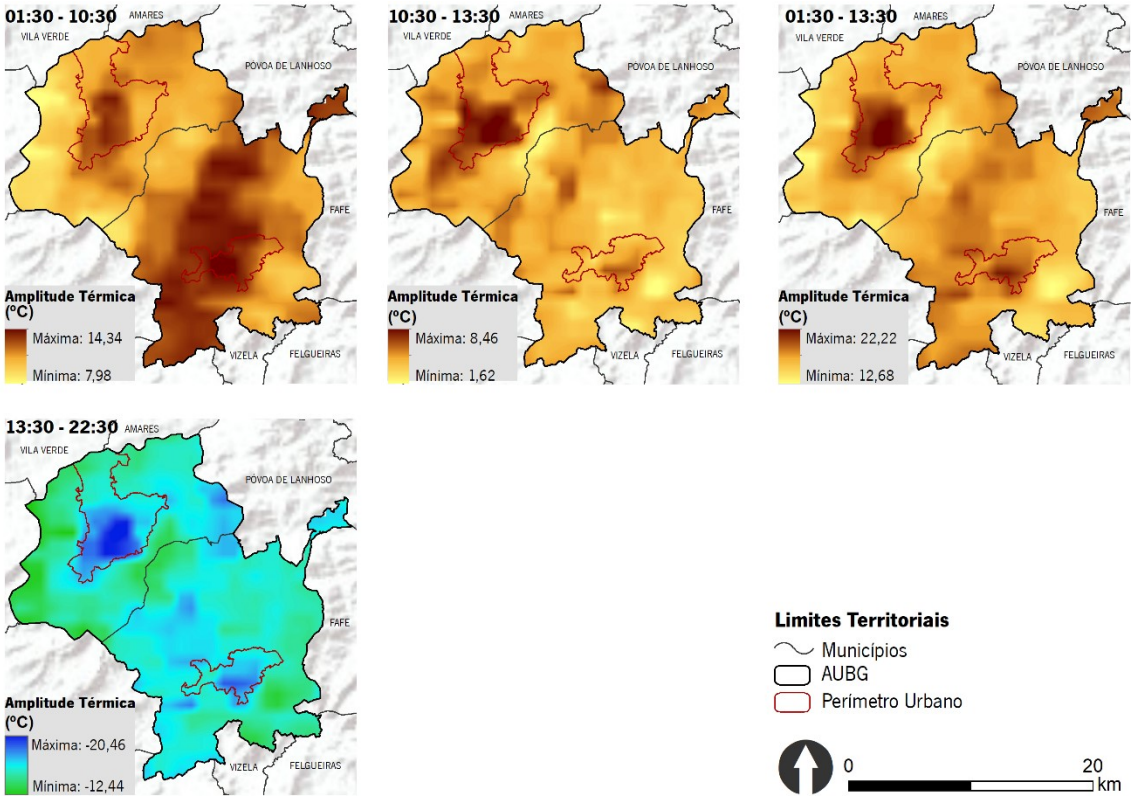


Figura IV-34 – Amplitudes térmicas em 11 de julho de 2003

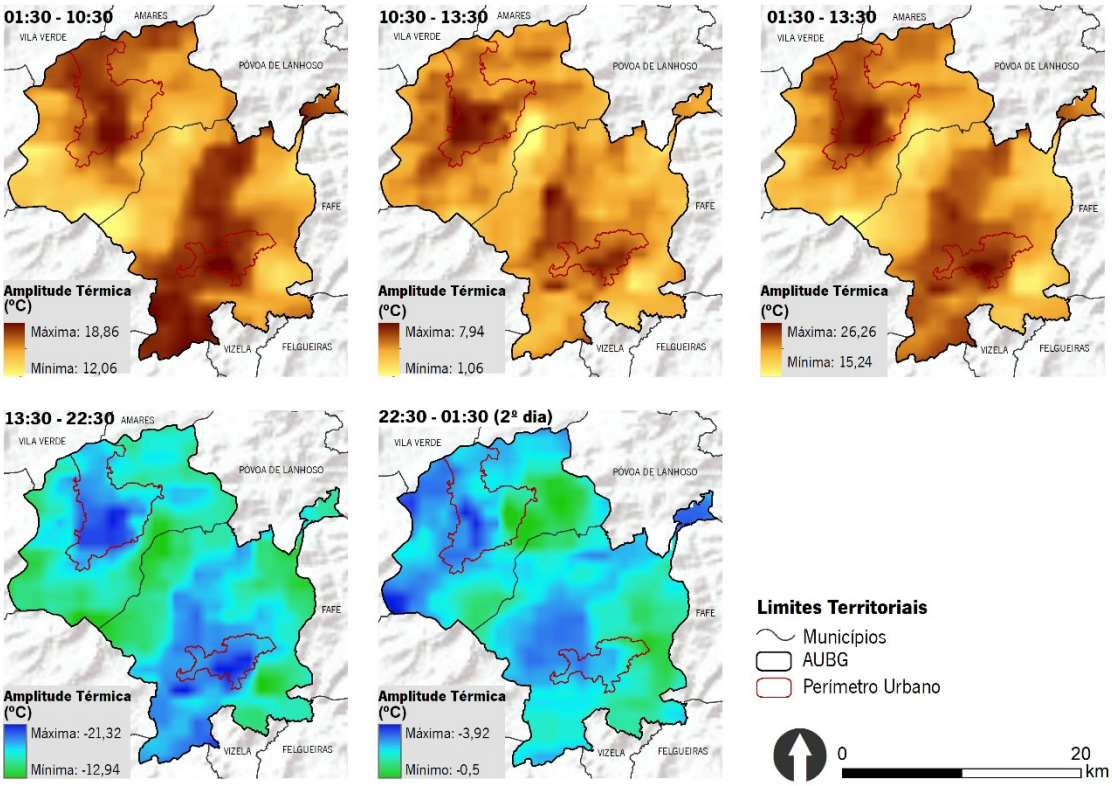


Figura IV-35 – Amplitudes térmicas em 6 de julho de 2007

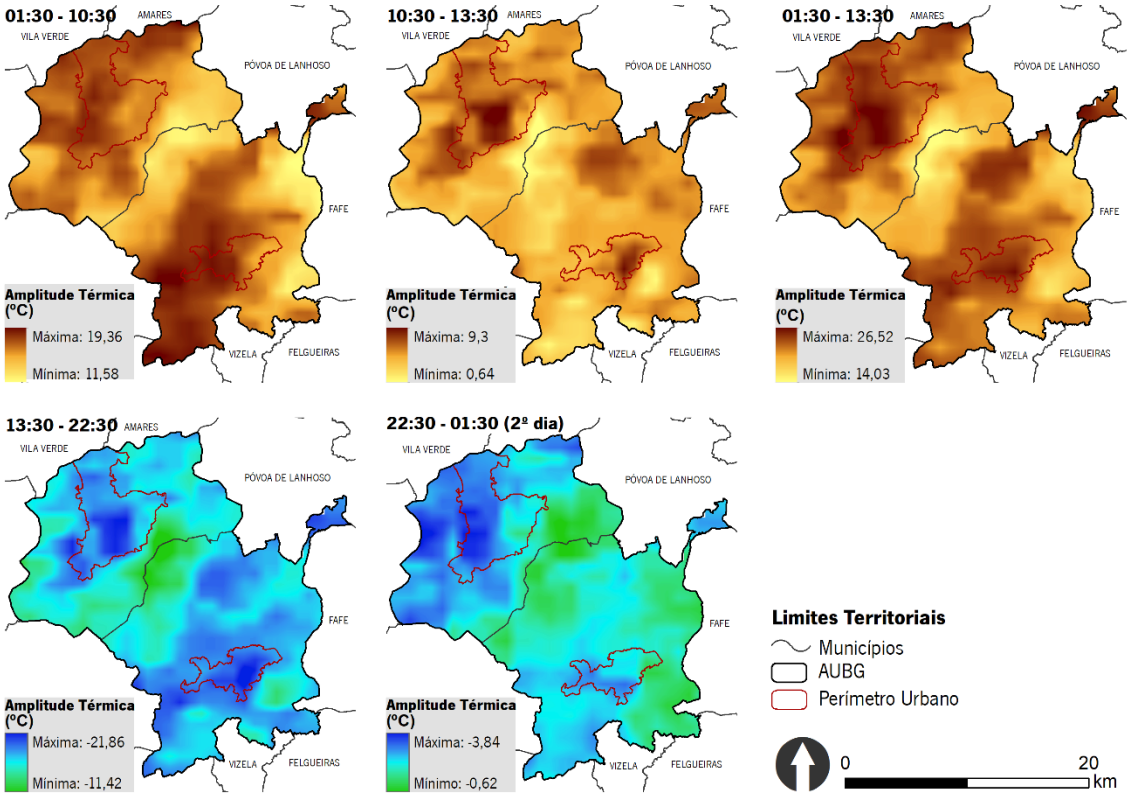


Figura IV-36 – Amplitudes térmicas em 30 de julho de 2010

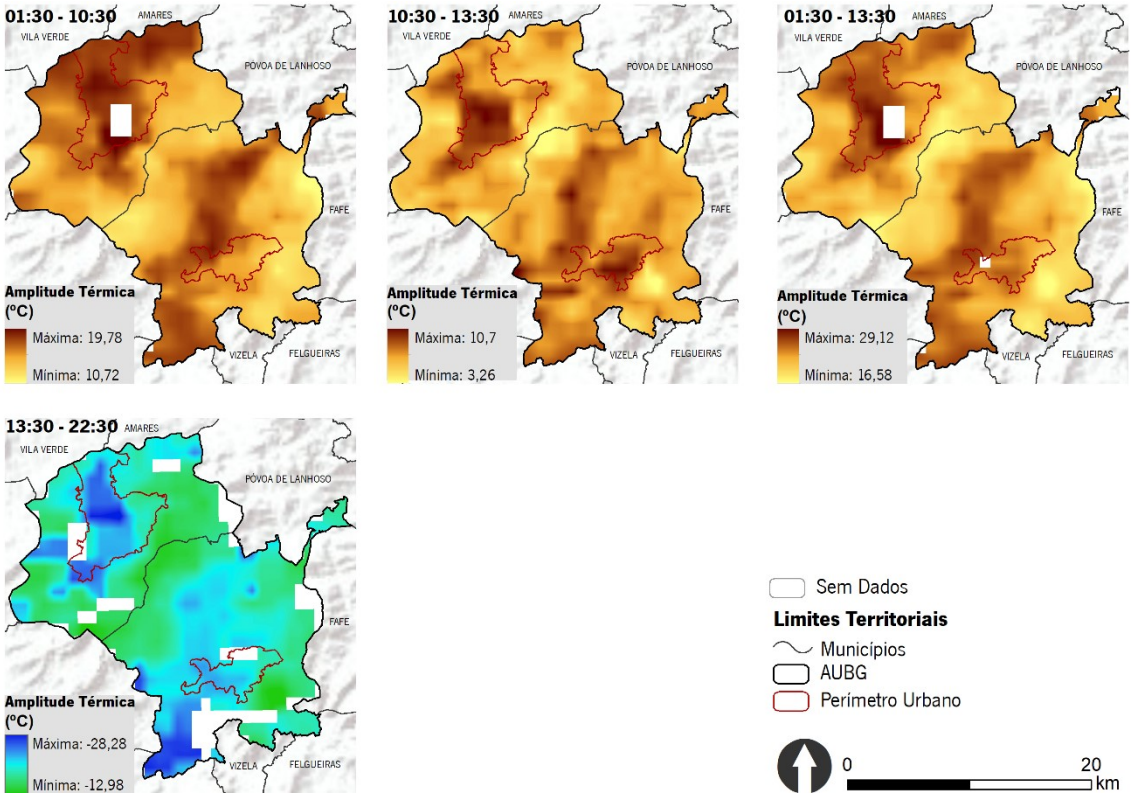


Figura IV-37 – Amplitudes térmicas em 14 de julho de 2016

Entre as 10:30 e as 13:30 o território da AUBG continua a aquecer, ocorrendo as amplitudes médias mais elevadas em 2016, seguindo-se 2010 (Tabela IV-14). Os aumentos mais expressivos de Ts concentram-se nos núcleos urbanos mais densos, pois as áreas de solo nu como detêm menor inércia térmica (*vide* Tabela I-22) aumentaram mais rapidamente a sua temperatura (e, por isso, atingem valores muito elevados logo a meio da manhã). Os topos arborizados, por oposição, exibem os menores aumentos de Ts, permanecendo com os valores de temperatura muito próximos dos verificados a meio da manhã (Figura IV-34, Figura IV-35, Figura IV-36 e Figura IV-37). Tal evidencia que a vegetação detém uma grande resistência à mudança de temperatura (*i.e.*, elevada inércia térmica), pois como conduz muito mal o calor (*i.e.*, baixa condutividade térmica) demora muito tempo a ajustar-se aos valores do seu entorno (*i.e.*, elevada difusividade térmica).

No intervalo horário das 13:30 paras as 22:30 verifica-se uma diminuição generalizada de Ts, cujo valor médio é mais expressivo em 2016 (Tabela IV-14). Uma vez mais, as amplitudes mais acentuadas ocorrem nos centros urbanos, ao passo que, nas áreas de topo, a diminuição dos valores de Ts é significativamente menor. Na prática, este mapa corresponde quase ao inverso do aquecimento verificado entre a 01:30 e as 13:30 (Figura IV-34, Figura IV-35, Figura IV-36 e Figura IV-37). Assim, apesar de se verificar uma diminuição muito generalizada de Ts nos dois centros urbanos principais, estes permanecem quentes durante a noite, destacando-se particularmente Braga (*vide* Figura IV-29, Figura IV-30, Figura IV-31 e Figura IV-32).

Entre as 22:30 e a 01:30, intervalo que apenas se tem como referência nos anos de 2007 e de 2010, constata-se que o valor médio de arrefecimento é similar entre as duas datas (Tabela IV-14). De madrugada, as diminuições mais acentuadas de Ts ocorrem no fundo de vale, quando comparadas com as áreas de topo (Figura IV-34, Figura IV-35, Figura IV-36 e Figura IV-37). Assim, por se tratar uma área de relevo montanhoso (*vid*e Figura A.3), depreende-se que para a diminuição de Ts contribuirá a chegada da brisa descendente de vertente, que se forma se forma no topos (amplamente florestados) e que, por ação da gravidade (*i.e.*, movimentos catabáticos), escoa ao longo das vertentes e se acumula no fundo de vale. Esta circulação das brisas favorece igualmente a renovação do ar nos aglomerados urbanos centrais de Braga e de Guimarães. Neste sentido, torna-se evidente uma vez mais que durante a noite dominam os padrões mesoclimáticos, que operam na atmosfera urbana superior, por oposição aos microclimáticos da atmosfera urbana inferior, visíveis perante a radiação solar direta (Nichol, 2005). Esta informação reforça a importância da manutenção do sistema de brisas, particularmente da brisa descendente de vertente – cujo correto funcionamento depende da coexistência de topos florestados e de

corredores de ventilação ao longo da vertente, que permitem que o ar fresco chegue às áreas urbanas (localizadas em grande medida da base da vertente ou no fundo de vale).

A amplitude dos valores de Ts entre as duas imagens captadas à 01:30, disponíveis para as datas de 2007 e de 2010, evidenciam uma vez mais que os ganhos térmicos mais acentuados ocorrem nas áreas mais frescas, que neste horário se localizam no fundo de vale (Figura IV-38), como referido anteriormente.

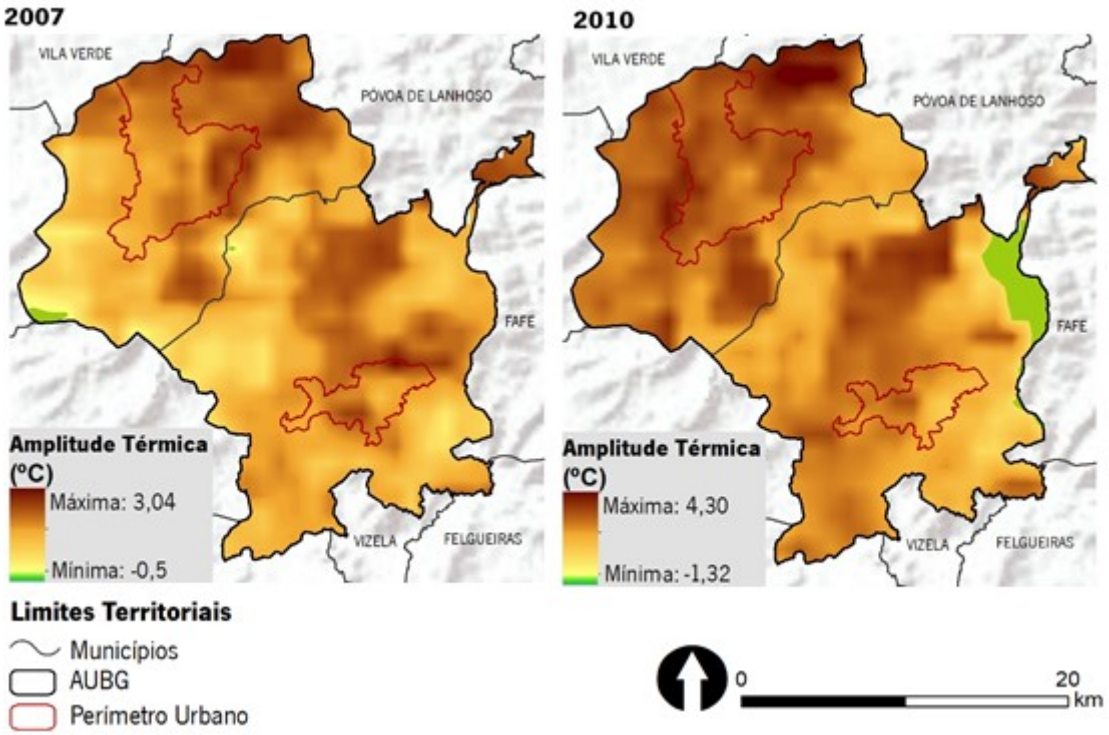


Figura IV-38 – Amplitudes térmicas entre as duas imagens captadas à 01:30 em 2007 e em 2010

Numa análise global das amplitudes horárias constata-se que os valores médios do aquecimento verificado entre a 01:30 e as 13:30 são superiores aos do arrefecimento verificado entre as 13:30 e as 22:30, permanecendo inferiores mesmo que se some o arrefecimento verificado entre as 22:30 e a 01:30, se tomarmos como exemplo os anos de 2007 e de 2010 (Tabela IV-14). Esta situação demonstra que à 01:30 as superfícies ainda não libertaram todo calor acumulado durante o dia – comprovando que este não constitui de facto o período de máximo arrefecimento das superfícies. Além disto, fica bem patente que as datas com maiores aquecimentos durante o dia correspondem de modo linear às que exibem os maiores valores de arrefecimento noturno (Tabela IV-14).

IV – 4. COMPORTAMENTO DO AMBIENTE TÉRMICO NUM EVENTO DE CALOR EXTREMO

"Little is known regarding how heat waves are spatially distributed in urban area and how specific urban structures affect the magnitude of UHIs".
|Ward *et al.*, 2016, p.528|

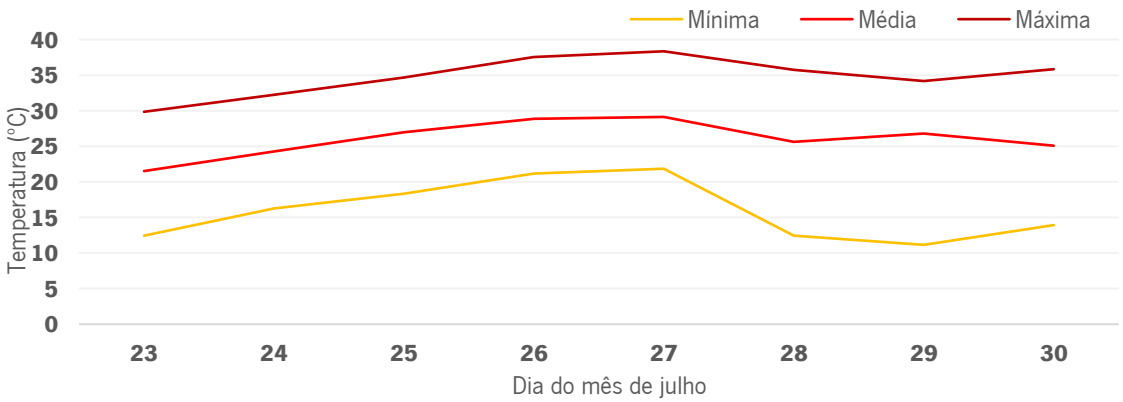
As previsões climáticas apontam para um aumento das temperaturas na Europa, particularmente no verão no caso do setor Ocidental. Ao mesmo tempo, prevê-se um aumento da duração, frequência e intensidade das ondas de calor (EEA, 2012a; IPCC, 2013, 2018), com consequências claras no bem-estar da população (Bazaz *et al.,* 2018). Nos casos mais severos, o calor extremo potencia a mortalidade, particularmente nos grupos populacionais mais vulneráveis, nomeadamente os idosos e crianças, os doentes crónicos e os indivíduos socialmente mais isolados (Depietri *et al.,* 2013). Com efeito, os eventos de calor extremo são considerados um dos riscos climáticos mais mortal e dispendioso na Europa (EEA, 2012a). Nas áreas urbanas a situação é ainda mais problemática, dadas as especificidades intrínsecas à composição populacional (*e.g.*, elevada densidade, população idosa), às atividades económicas (*i.e.*, produção de calor antrópico) e composição e desenho urbano – que por via do efeito de ilha de calor urbano exacerbam as consequências dos eventos de calor extremo (Klock *et al.,* 2012; Depietri *et al.,* 2013). Neste sentido, as cidades encontram-se profundamente vulneráveis quer no presente contexto de variabilidade climática, quer no cenário projetado de alterações climáticas (EEA, 2012a).

No futuro, os efeitos do calor extremo serão ainda potenciados pelo incremento das secas, decorrentes da redução (e maior irregularidade) da precipitação (IPCC, 2013, 2018; Bazaz *et al.,* 2018) – constituindo o Norte de Portugal um dos locais mais afetado (EEA, 2012a). Por esta razão, deve ser dada particular atenção ao comportamento da vegetação (Ward *et al.*, 2016), pois com a perda de humidade o processo de evapotranspiração cessa, pelo que a libertação de calor latente daí decorrente é substituída por calor sensível, que contribuiu diretamente para o aquecimento do ar (Zaitchik *et al.*, 2006).

Na prática, os episódios de calor extremo consubstanciam 'no hoje' o cenário climático do futuro (IPCC, 2013, 2018), pelo que o estudo destes eventos revela-se fundamental para delineação de estratégias de adaptação e mitigação das alterações climáticas. Tanto mais que, apesar de existirem numerosos estudos acerca do ambiente térmico urbano, e muito particularmente sobre o fenómeno da ilha de calor, pouco se sabe acerca do comportamento das áreas urbanas no

decorrer de uma onda de calor (Ward *et al.,* 2016), e como as diferentes estruturas territoriais (urbanas e não urbanas) são afetadas pelo calor extremo.

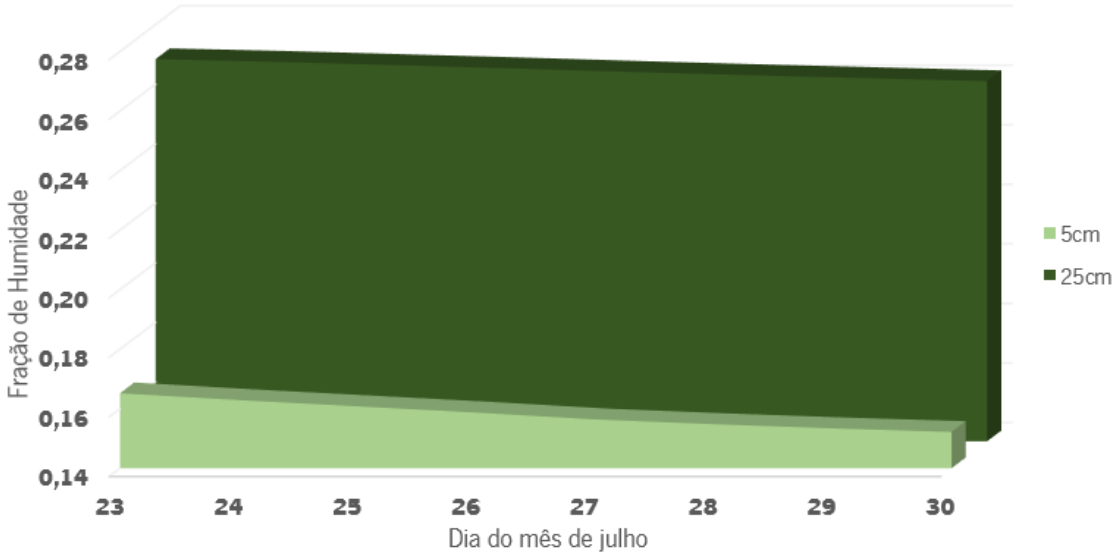
No presente estudo optou-se por analisar a onda de calor que afetou os municípios de Braga e de Guimarães no final de julho de 2010, por esta entroncar diretamente com o conjunto de imagens Landsat selecionadas para determinar o efeito climático da urbanização difusa, e concomitantemente com a série MODIS utilizada para analisar as variações diárias no ambiente térmico. De acordo com o IPMA (2010), esta onda de calor, que se estendeu-se desde Minho até ao Alto Alentejo, afetou a Estação Climatológica de Braga durante oito dias, mais precisamente entre 23 e 30 de julho. Neste período, o pico da temperatura do ar em Braga foi de 39,4°C, tendo ocorrido entre as 09h00 do dia 27 e as 09h00 do dia 28, que corresponde ao quinto/sexto dia da onda de calor. Os dados climáticos acessíveis na plataforma ClimateEngine (2019) decorrentes da reanálise climática (*Climate Forecast System Reanalysis;* CFSR), efetuada pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), corroboram esta informação. Adicionalmente, evidenciam que a temperatura do ar aumenta gradualmente desde o dia 23 até ao 27, daí até ao dia 30 vai oscilando, registando-se um novo pico da temperatura do ar neste dia (Figura IV-39).



Fonte: ClimateEngine (2019).

Figura IV-39 – Temperatura do ar (°C) na AUBG no decorrer da onda de calor de julho de 2010

No transcurso dos oito dias da onda de calor não se verificou a ocorrência de precipitação (ClimateEngine, 2019). Esta esta situação conjugada com as temperaturas elevadas do ar traduz-se numa diminuição da humidade do solo (aqui analisada a partir da fração de humidade), particularmente na camada mais superficial (nos 5cm) que é afetada mais rapidamente (Figura IV-40).

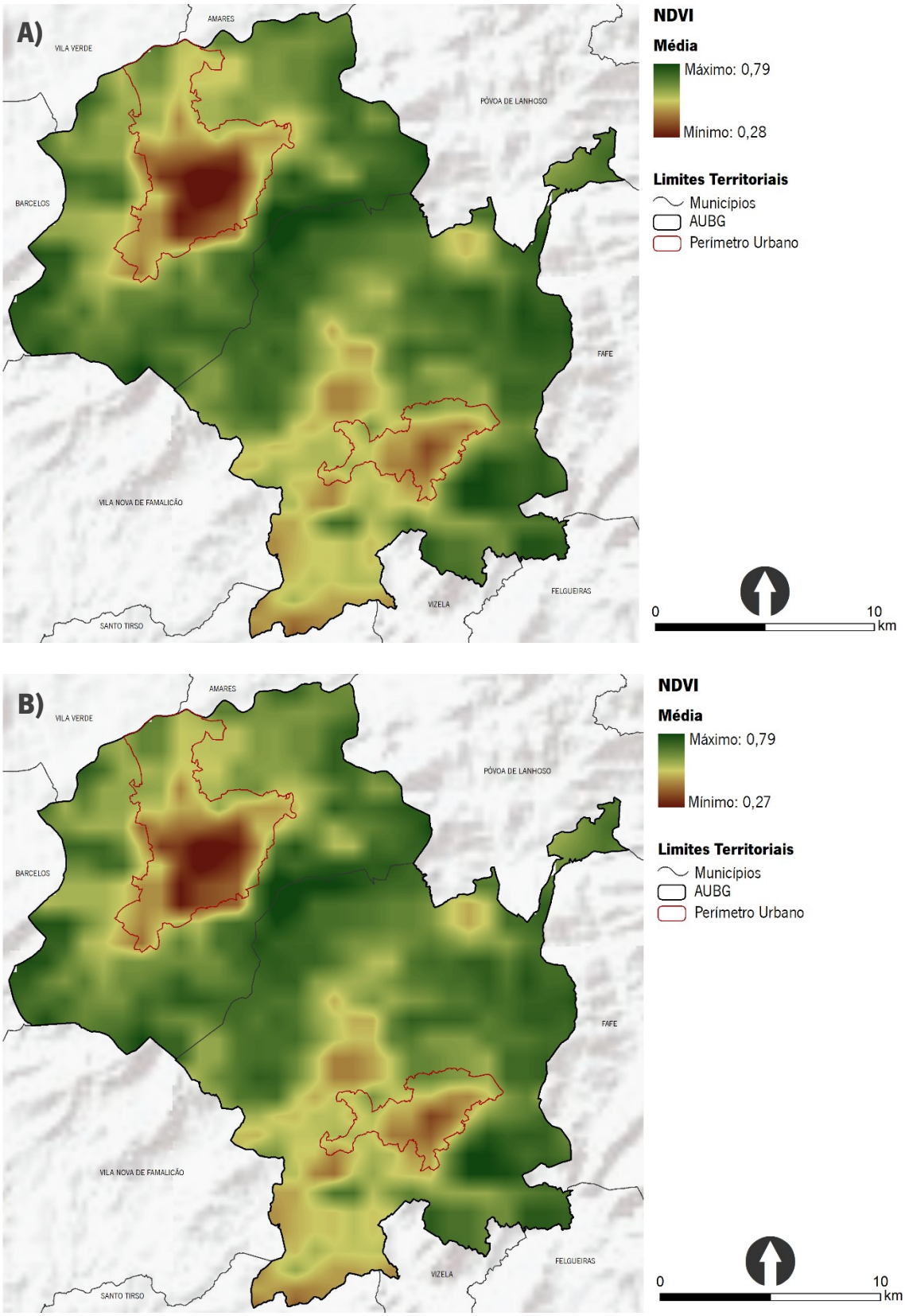


Fonte: ClimateEngine (2019).

Figura IV-40 – Fração de humidade do solo na AUBG no decorrer da onda de calor de 2010

A combinação do arquivo MODIS-Terra e com o MODIS-Aqua perfaz um total de 32 imagens para os oito dias da onda de calor, distribuídas por quatro horários – *i.e.*, 01:30, 10:30, 13:30 e 22:30. Estas imagens permitem traçar a evolução temporal do ambiente térmico da AUBG no transcurso desta anomalia climática. A utilização das imagens do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) sincrónicas, disponibilizadas pelo MODIS (Terra e Aqua), permite relacionar o comportamento térmico superficial com a vegetação (no que se refere à sua quantidade e humidade), considerando que esta desempenha um papel fundamental nas trocas de energia entre a superfície e atmosfera. Efetivamente, esta variável tem sido amplamente utilizada como *proxy* das condições ecológicas do território (Zaitchik *et al.*, 2006).

Na AUBG constata-se que o NDVI (decorrente da média dos oitos dias da onda de calor) captado pelo sensor MODIS a bordo do satélite Terra (Figura IV-41-A) e o captado pelo sensor MODIS transportado pelo satélite Aqua (Figura IV-41-B) são muito similares, tanto no que se refere à magnitude dos valores (*i.e.*, mínimo e máximo), como ao padrão espacial.



A) MODIS-Terra; B) MODIS-Aqua.

Figura IV-41 – Média do NDVI do arquivo MODIS (Terra e Aqua) na AUBG no decorrer da onda de calor de julho de 2010

IV – 4.1. Variações à 01:30

De madrugada observa-se uma evolução linear de Ts média na AUBG no decorrer da onda de calor. De facto, o valor mais baixo (12,96°C) ocorre no primeiro dia classificado como onda de calor (*i.e.*, a 23 de julho), aumentando nos dias seguintes até atingir o pico no dia 27 (o quinto dia da onda de calor) com 22,19°C, nos dias seguintes volta a descer sistematicamente (Tabela IV-15). De notar que, o valor mais elevado de Ts durante a madrugada ocorre ligeiramente mais cedo do que o verificado na média diária da temperatura do ar, lembrando que o IPMA apenas incorpora na média do dia 27 os valores registados após as 09h00 (IPMA, 2010).

Tabela IV-15 – Estatística descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) à 01:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010

Dia		**Estatísticas Descritivas**				
Mês de julho	Onda de Calor	Mínima	Máxima	Média	Desvio-padrão	Amplitude
23	**1**	10,53	15,39	12,96	0,73	4,86
24	**2**	12,23	17,45	14,87	1,16	5,22
25	**3**	12,03	19,77	16,22	1,64	7,74
26	**4**	17,87	24,15	21,42	1,34	6,28
27	**5**	17,91	24,89	22,19	1,63	6,98
28	**6**	17,69	24,71	21,19	1,49	7,02
29	**7**	16,71	21,89	18,75	0,72	5,18
30	**8**	15,89	21,75	18,57	1,24	5,86

O padrão espacial de Ts (média dos oito dias) é similar ao verificado aquando da análise variações diárias, surgindo os topos densamente florestados mais quentes dos que os fundos de vale, principalmente os que decorrem dos rios de maior dimensão, como o caso do Cávado e do Ave (Figura IV-42).

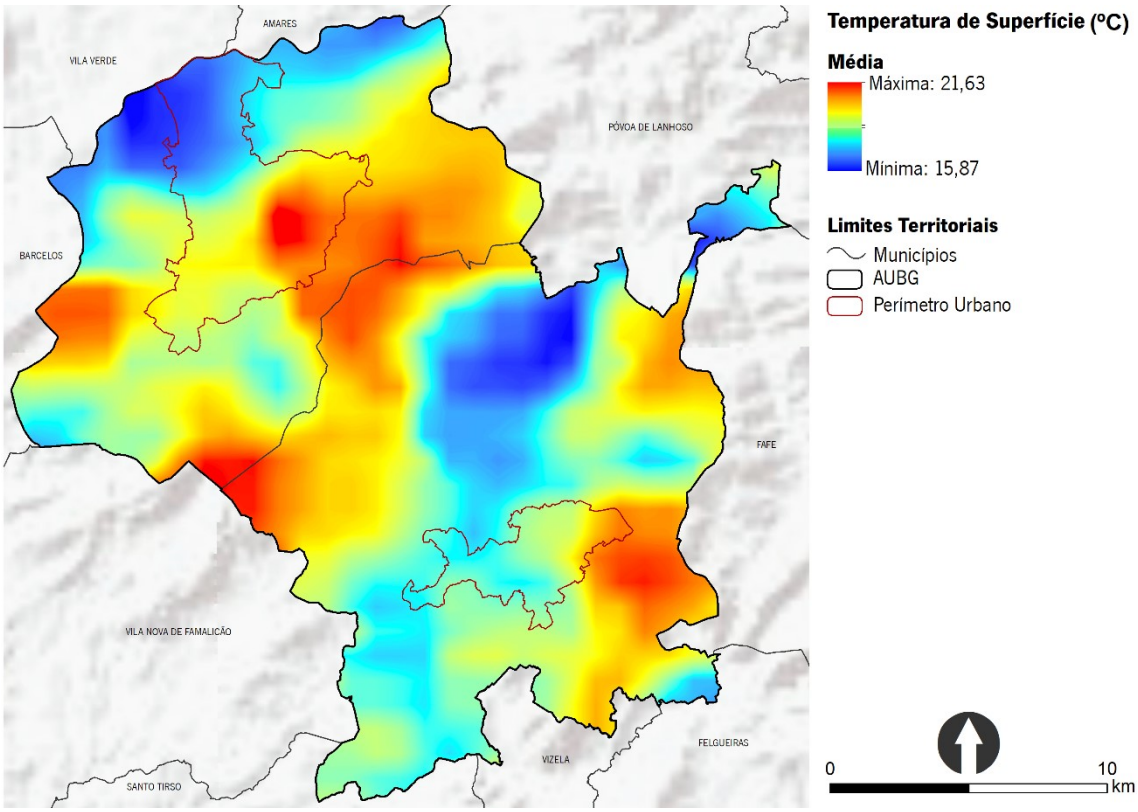


Figura IV-42 – Média de Ts (°C) à 01:30 na AUBG durante a onda de calor de 2010

A correlação positiva entre a Ts média e o NDVI médio (*p*-valor<0,01) corrobora que é nos locais com vegetação que se verificam os valores mais elevados de Ts, ainda que o poder de explicação desta relação (dado o R^2 de 0,093) seja muito baixo (Tabela IV-16). Os resíduos desta explicação encontram-se no facto de algumas áreas urbanas (logo, baixo NDVI) apresentarem igualmente valores elevados de Ts durante a madrugada, como sucede no núcleo central de Braga (*c.f.*, Figura IV-41 e Figura IV-42).

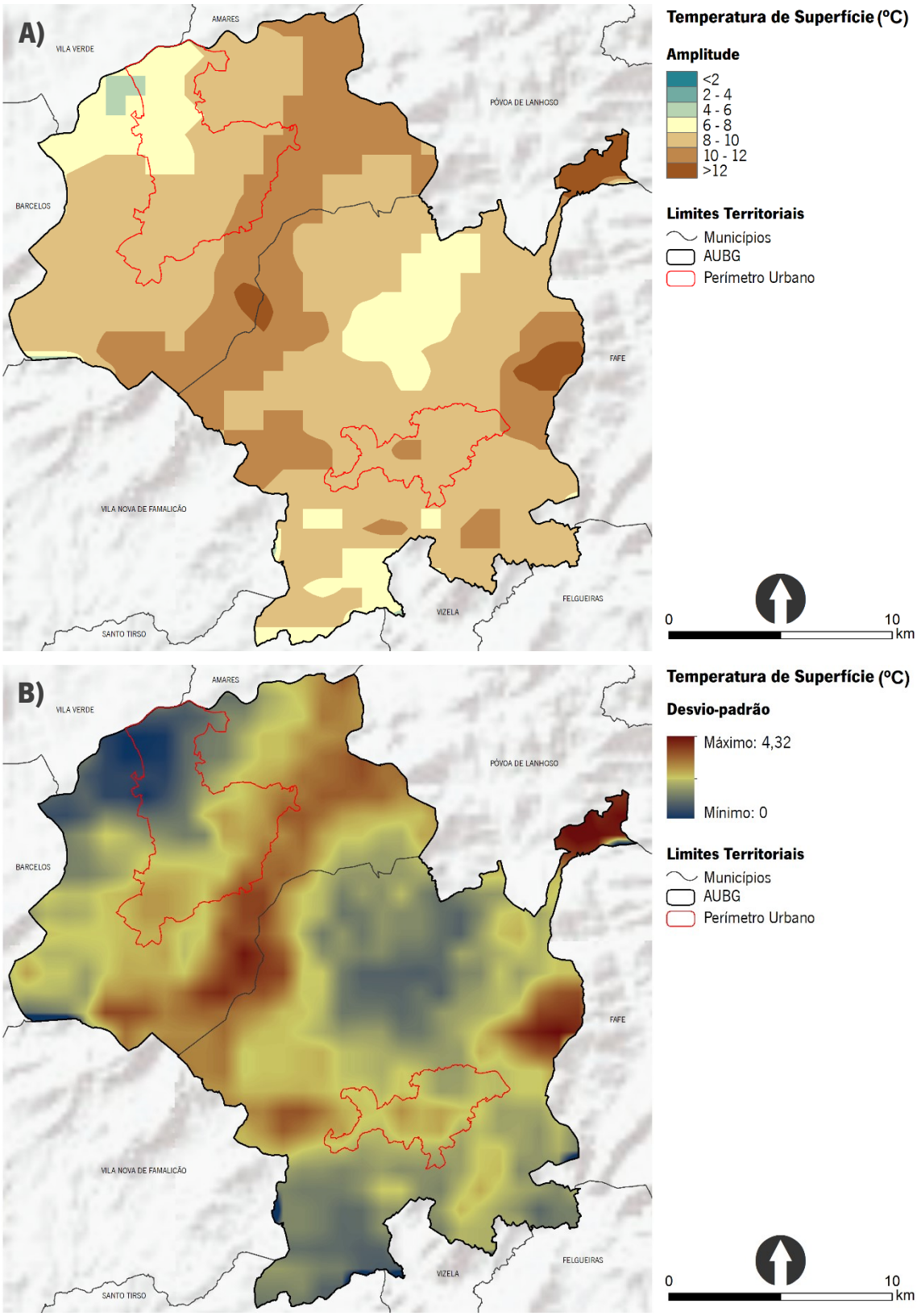
Tabela IV-16 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman de Ts e NDVI à 01:30 na AUBG, no decorrer da onda de julho de 2010

		Média de Ts	Amplitude de Ts	Desvio-padrão de Ts	Nº de dias com Ts acima da média	Nº de dias com Ts abaixo da média	Dia com Ts mais elevada	Dia com Ts mais baixa	Média do NDVI	Desvio-padrão do NDVI
Média de Ts	Coeficiente de Correlação	**1**	0,523**	0,477**	-0,456**	0,456**	0,310**	-0,264**	0,305**	0,071
	Coeficiente de Determinação (R^2)	**1**	0,274	0,228	0,208	0,208	0,096	0,070	0,093	0,005
Amplitude de Ts	Coeficiente de Correlação	0,523**	**1**	0,895**	-0,414**	0,414**	0,164**	-0,238**	0,309**	0,082*
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,274	**1**	0,801	0,171	0,171	0,027	0,057	0,095	0,007
Desvio-padrão de Ts	Coeficiente de Correlação	0,477**	0,895**	**1**	-0,442**	0,442**	0,085**	-0,255**	0,199**	0,080*
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,228	0,801	**1**	0,195	0,195	0,007	0,065	0,040	0,006
Nº de dias com Ts acima da média	Coeficiente de Correlação	-0,456**	-0,414**	-0,442**	**1**	-1,000	-0,141**	0,158**	-0,335**	-0,032
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,208	0,171	0,195	**1**	1,000	0,020	0,025	0,112	0,001
Nº de dias com Ts abaixo da média	Coeficiente de Correlação	0,456**	0,414**	0,442**	-1,000	**1**	0,141**	-0,158**	0,335**	0,032
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,208	0,171	0,195	1,000	**1**	0,020	0,025	0,112	0,001
Dia com Ts mais elevada	Coeficiente de Correlação	0,310**	0,164**	0,085*	-0,141**	0,141	**1**	0,060	0,207**	0,045
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,096	0,027	0,007	0,020	0,020	**1**	0,004	0,043	0,002
Dia com Ts mais baixa	Coeficiente de Correlação	-0,264**	-0,238**	-0,255**	0,158**	-0,158**	0,060	**1**	-0,053	-0,105**
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,070	0,057	0,065	0,025	0,025	0,004	**1**	0,003	0,011
Média do NDVI	Coeficiente de Correlação	0,305**	0,309**	0,199**	-0,335**	0,335**	0,207**	-0,053	**1**	-0,194**
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,093	0,095	0,040	0,112	0,112	0,043	0,003	**1**	0,038
Desvio-padrão do NDVI	Coeficiente de Correlação	0,071	0,082*	0,080*	-0,032	0,032	0,045	-0,105**	-0,194**	**1**
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,005	0,007	0,006	0,001	0,001	0,002	0,011	0,038	**1**

**A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral); *A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).

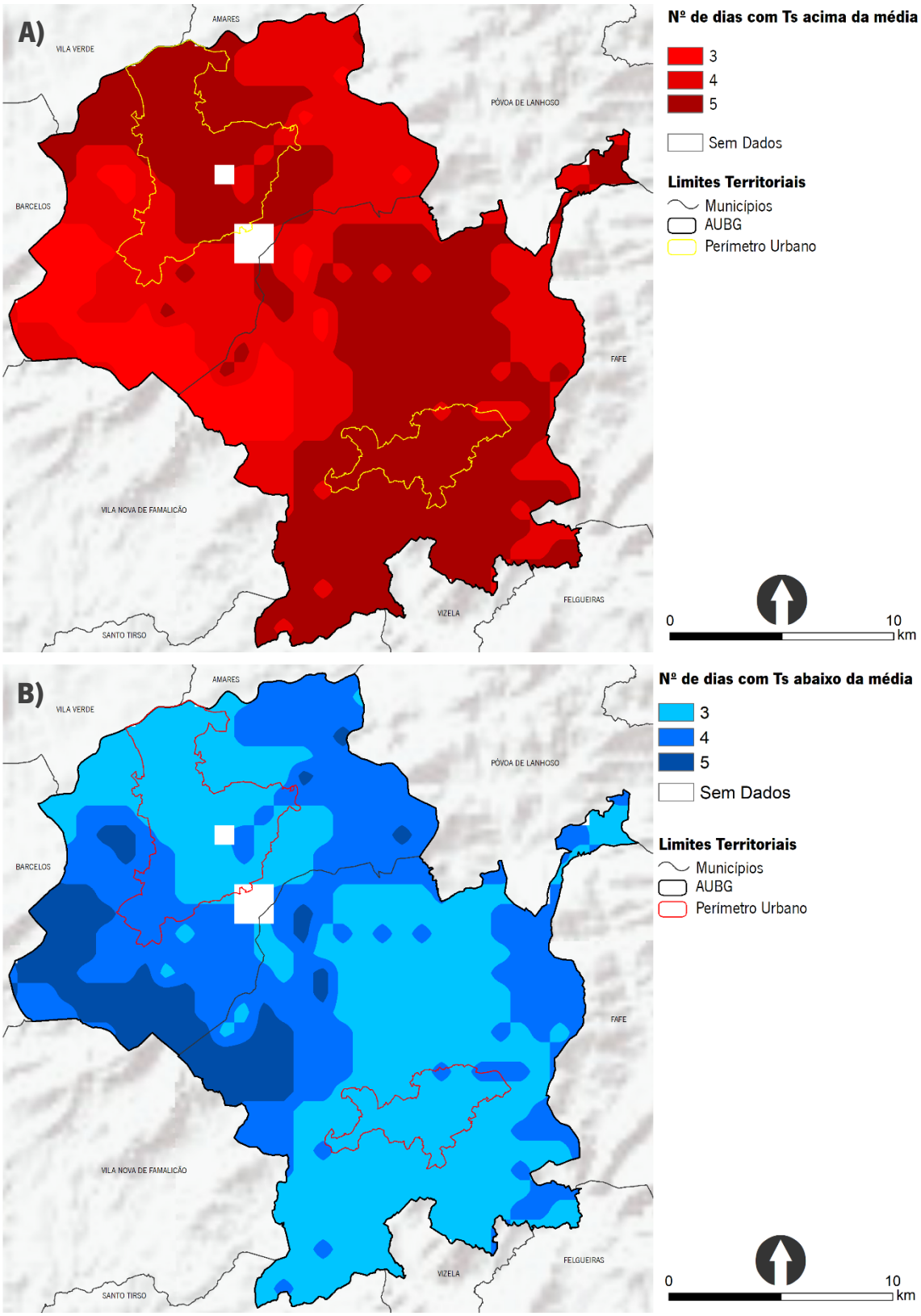
No desenrolar da onda de calor as maiores variações de Ts – consubstanciadas nas amplitudes e no desvio-padrão – encontram-se associadas (*p*-valor<0,01) aos valores mais elevados de Ts média e de NDVI (Tabela IV-16). Esta correlação positiva indica que durante a madrugada são os espaços florestais remanescentes nos principais interflúvios da AUBG que sofrem as oscilações mais significativas de Ts com o progredir da onda de calor (Figura IV-43 A&B). No caso dos Três Sacromontes, que serve de elemento de fronteira aos dois municípios em estudo, a diferença de Ts verificada entre 23 e 30 julho chega a ser superior a 10ºC (Figura IV-43 A). Ademais, constata-se que as maiores variações de Ts se encontram igualmente associadas (do ponto de vista estatístico, dado o *p*-valor <0,05) às maiores oscilações de NDVI (Tabela IV-16). Por seu turno, as áreas mais frescas – *i.e.*, os fundos de vale – apresentam menores oscilações de Ts, no geral entre os 6 a 8ºC (Figura IV-43 A). Assim, partindo da análise dos dados estatísticos pode-se inferir que as áreas com menor vegetação tendem a exibir não só uma variação mais reduzida do valor de NDVI (como seria e esperar), como também de Ts (Tabela IV-16). Com efeito, apresentam um comportamento menos heterogéneo no transcurso da onda de calor do que as áreas vegetadas mais elevadas.

Ademais, as variações mais acentuadas de Ts (*i.e.,* maior amplitude e desvio-padrão) surgem associadas a um menor número de dias com Ts acima da média (*p*-valor<0,01)Tabela IV-16. Em detalhe, constata-se que os locais da AUBG com menor Ts (e, menor amplitude e desvio-padrão) exibem um maior número de dias com Ts acima da média; ao passo que, nas áreas com Ts mais elevada (e maior amplitude e desvio-padrão), o número de número de dias com Ts acima da média diminui (Figura IV-44A&B). Em consonância com o referido anteriormente, denota-se a relação inversa entre o número de dias com Ts acima da média e o NDVI (coeficiente de correlação de Spearman de -0,335), o que – por contraponto – corrobora que são os locais com menor NDVI (*i.e.*, as áreas urbanas ou de solo nu) que exibem o maior número de dias com Ts acima da média (Tabela IV-16).



A) Amplitude de Ts; B) Desvio-padrão de Ts.

Figura IV-43 – Amplitude e desvio-padrão de Ts (°C) à 01:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010



A) Número de dias com Ts acima da média; B) Número de dias com Ts abaixo da média.

Figura IV-44 – Número de dias com Ts acima e abaixo da média no horário da 01:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010

O menor número de dias com Ts acima da média ocorre nos locais onde a Ts mais elevada se regista mais tardiamente – *i.e.,* a 27 de julho, que corresponde ao quinto dia da onda de calor (Figura IV-45). A isto, soma-se ainda o facto de os dias subsequentes exibirem valores médios superiores aos precedentes (Tabela IV-15). Com efeito, apesar de a vegetação demorar mais tempo a atingir o pico da temperatura, quando tal sucede a Ts permanece mais elevada do que o verificado nos primeiros dias da onda de calor.

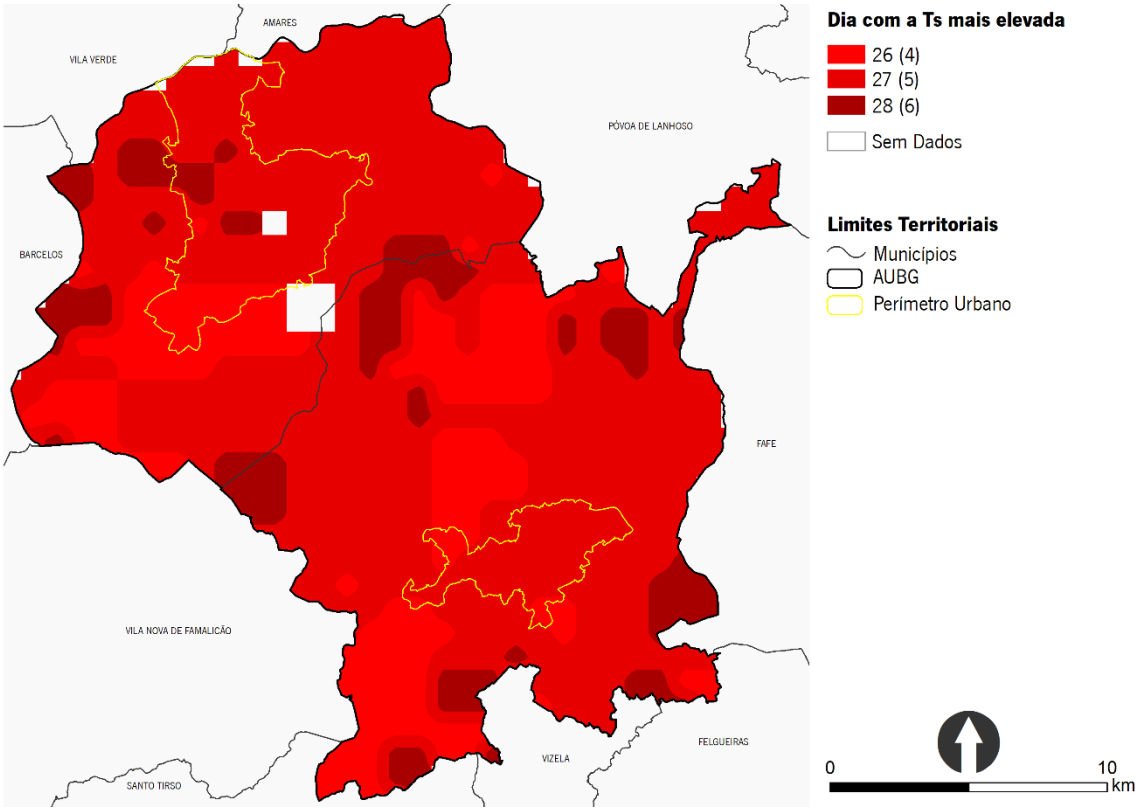


Figura IV-45 – Dia em que se registou o valor mais elevado de Ts (°C) no horário da 01:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010

A correlação positiva de Ts média com o dia da onda de calor com Ts mais elevada (*p*-valor <0,01) indica que nos locais mais quentes o pico da carga térmica ocorre mais tardiamente (*c.f.*, Figura IV-42 e Figura IV-45). Esta constatação, somada à relação inversa entre a Ts média e o número de dias com Ts acima da média (coeficiente de correlação de Spearman de -0,456 e *p*-valor <0,01) indica que nas áreas com vegetação (dada a correlação positiva com o NDVI), apesar de o número de dias com Ts acima da média ser reduzido, quando tal sucede apresenta uma acentuada magnitude – o que desemboca em valores de amplitude e de desvio-padrão elevados (Figura IV-43). Neste contexto, percebe-se que no decorrer da onda de calor a vegetação foi perdendo humidade, e concomitantemente a capacidade de realizar a evapotranspiração, que se consumou

em menos calor latente e mais calor sensível – cujo período mais crítico coincide com o pico com calor verificado na temperatura do ar (*i.e.*, 26, 27 e 28 de julho).

IV – 4.2. Variações às 10:30

A meio da manhã constata-se que a evolução da Ts média na AUBG não sucede de modo tão linear como o verificado à 01:30. Não obstante, a Ts média mais baixa (31,64°C) ocorre no primeiro dia da onda de calor e o pico da carga térmica acontece igualmente no dia 27 de julho (Tabela IV-17), como reportado para a temperatura do ar pelo IPMA (2010).

Tabela IV-17 – Estatística descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) no horário das 10:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010

Dia		**Estatísticas Descritivas**				
Mês de julho	Onda de Calor	Mínima	Máxima	Média	Desvio-padrão	Amplitude
23	**1**	28,25	35,15	31,64	1,44	6,90
24	**2**	33,29	43,33	37,38	1,78	10,04
25	**3**	32,31	40,65	36,28	1,44	8,34
26	**4**	33,33	42,39	36,87	1,58	9,06
27	**5**	34,71	43,83	39,19	1,56	9,12
28	**6**	34,37	41,81	36,79	1,27	7,44
29	**7**	31,03	42,01	37,70	1,81	10,98
30	**8**	32,63	37,27	34,70	1,14	4,64

Do ponto de vista espacial, às 10:30 o padrão da média de Ts dos oito dias classificados como onda de calor (IPMA, 2010) também não difere do escrutinado anteriormente, dado que – uma vez – mais sobressaem pelos valores muito elevados o centro urbano de Braga, a que se junta o de Guimarães, bem como o setor Sul deste município densamente urbanizado e industrializado. Destaca-se ainda pelas Ts elevadas (porém, ligeiramente mais baixas que as anteriores) uma coroa envolvente ao núcleo central de Braga, que em certa medida é limitada pelo perímetro urbano, para além do qual começam a surgir Ts mais baixas. Em Guimarães, verifica-se a mesma situação, no entanto, as áreas quentes extravasam claramente esta delimitação administrativa, destacando-se particularmente o eixo NW-SW, que *grosso modo* segue o alinhamento do vale do rio Ave. Estas áreas, dados os valores medianos de NDVI, constituem os territórios de urbanização difusa, caracterizados pela profunda mescla das componentes biofísicas, nomeadamente as superfícies

impermeáveis antrópicas, o solo nu e a vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa (*c.f.*, Figura IV-41 e Figura IV-46).

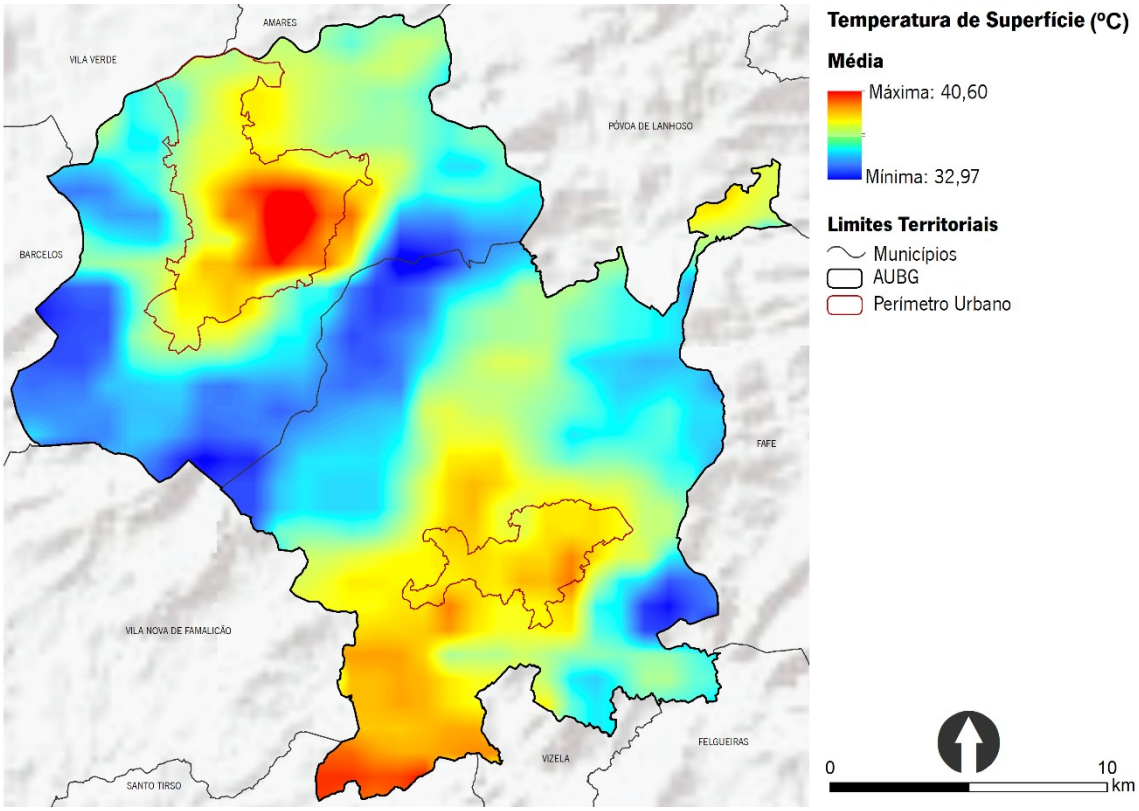


Figura IV-46 – Média de Ts (°C) às 10:30 na AUBG durante a onda de calor de 2010

As áreas mais frescas a meio da manhã restringem-se aos territórios limítrofes dos municípios, ressaltando pela continuidade espacial o interflúvio Bom Jesus–Sameiro–Falperra, densamente florestado (Figura IV-46). A relação inversa entre a Ts e o NDVI confirma estatisticamente esta asserção (*p*-valor<0,01), sendo que às 10:30 mais de metade das variações dos valores de Ts são explicadas pelo NDVI (R^2 de 0,585). Neste sentido, não é de estranhar que o desvio-padrão de Ts e o do NDVI também apesentem uma correlação positiva, ainda que o poder de explicação da relação seja muito limitado, pois o coeficiente de correlação de Spearman é de apenas 0,149 (*p*-valor < 0,01).

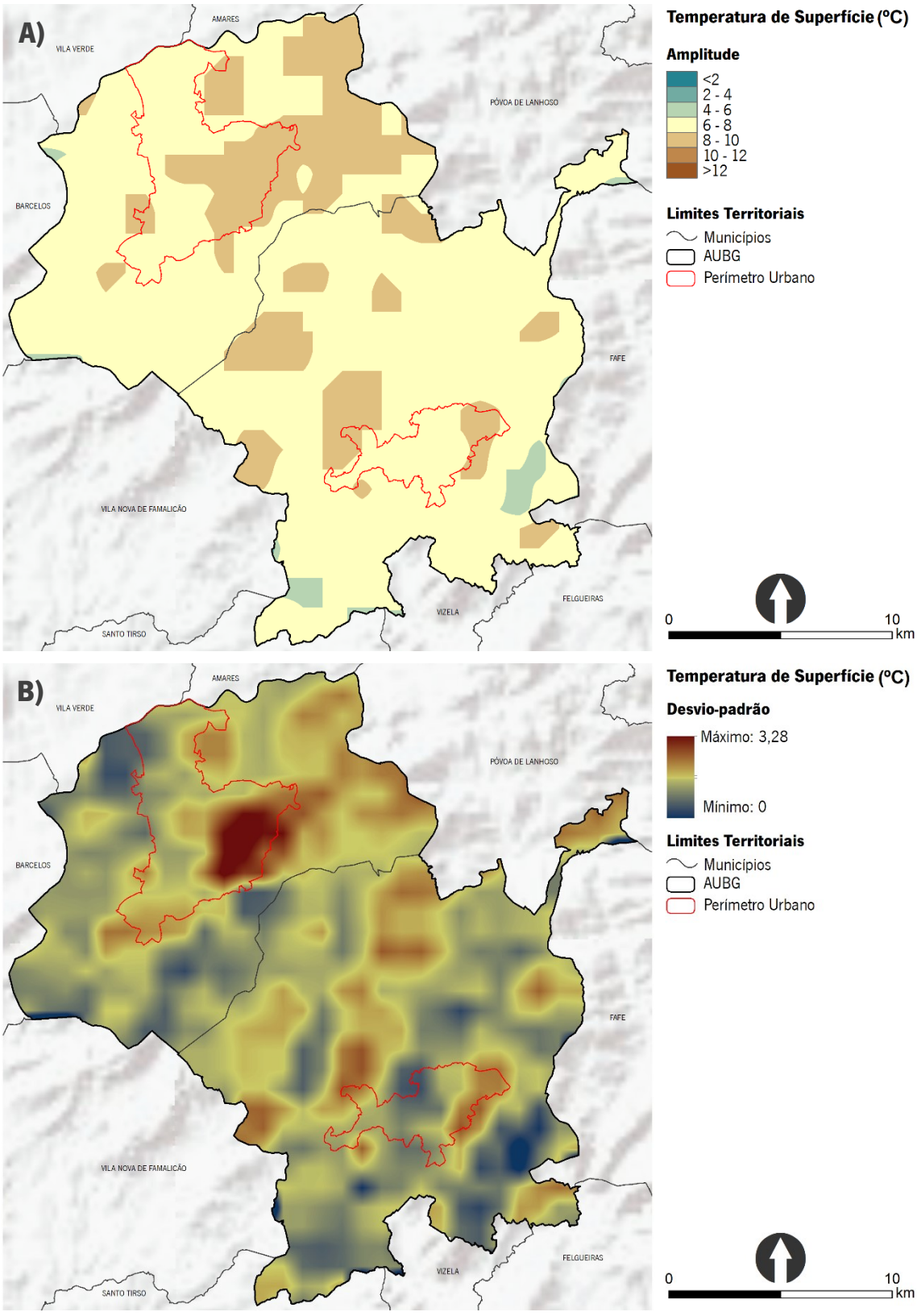
Tabela IV-18 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman de Ts e NDVI às 10:30 na AUBG, no decorrer da onda de julho de 2010

		Média de Ts	Amplitude de Ts	Desvio-padrão de Ts	Nº de dias com Ts acima da média	Nº de dias com Ts abaixo da média	Dia com Ts mais elevada	Dia com Ts mais baixa	Média do NDVI	Desvio-padrão do NDVI
Média de Ts	Coeficiente de Correlação	**1**	0,109**	0,289**	-0,142**	0,142**	0,049	-0,088*	-0,765**	0,187**
	Coeficiente de Determinação (R^2)	**1**	0,012	0,084	0,020	0,020	0,002	0,008	0,585	0,035
Amplitude de Ts	Coeficiente de Correlação	0,109**	**1**	0,813**	0,063	-0,063	-0,056	-0,029	-0,086*	0,080
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,012	**1**	0,661	0,004	0,004	0,003	0,001	0,007	0,006
Desvio-padrão de Ts	Coeficiente de Correlação	0,289**	0,813**	**1**	0,030	-0,030	0,016	0,010	-0,137**	0,149**
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,084	0,661	**1**	0,001	0,001	0,000	0,000	0,019	0,022
Nº de dias com Ts acima da média	Coeficiente de Correlação	-0,142**	0,063	0,030	**1**	-0,995**	-0,077	0,004	0,141**	-0,073
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,020	0,004	0,001	**1**	0,990	0,006	0,000	0,020	0,005
Nº de dias com Ts abaixo da média	Coeficiente de Correlação	0,142**	-0,063	-0,030	-0,995**	**1**	0,078	-0,004	-0,141**	0,075
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,020	0,004	0,001	0,990	**1**	0,006	0,000	0,020	0,006
Dia com Ts mais elevada	Coeficiente de Correlação	0,049	-0,056	0,016	-0,077	0,078	**1**	-0,013	0,060	-0,082*
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,002	0,003	0,000	0,006	0,006	**1**	0,000	0,004	0,007
Dia com Ts mais baixa	Coeficiente de Correlação	-0,088*	-0,029	0,010	0,004	-0,004	-0,013	**1**	-0,014	0,095*
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,008	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	**1**	0,000	0,009
Média do NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,765**	-0,086*	-0,137**	0,141**	-0,141**	0,060	-0,014	**1**	-0,427**
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,585	0,007	0,019	0,020	0,020	0,004	0,000	**1**	0,182
Desvio-padrão do NDVI	Coeficiente de Correlação	0,187**	0,080	0,149**	-0,073	0,075	-0,082*	0,095*	-0,427**	**1**
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,035	0,006	0,022	0,005	0,006	0,007	0,009	0,182	**1**

**A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral); *A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).

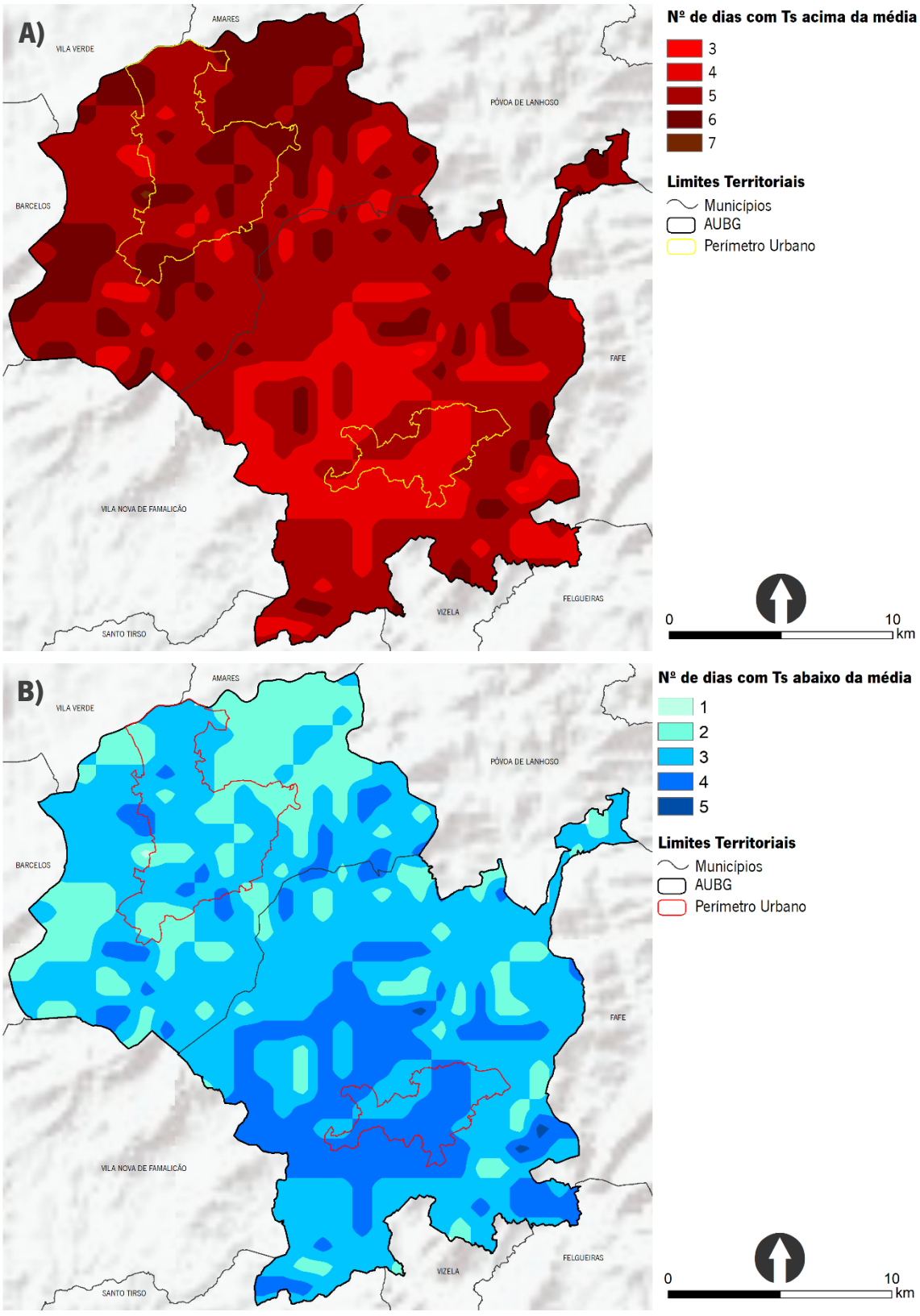
À semelhança do verificado no horário da 01:30, também a meio da manhã as variações mais acentuadas de Ts (*i.e.*, amplitude e desvio-padrão) se encontram associadas (*p*-valor<0,01) aos valores mais elevados de temperatura, porém neste horário tal sucede nos locais com menor NDVI (Tabela IV-18). Com efeito, são as áreas urbanas mais consolidadas e os territórios da urbanização difusa, circundados não raras as vezes pelos campos agrícolas com o solo exposto nesta altura do ano, que experienciam as variações mais acentuadas de Ts com o progredir da onda de calor (Figura IV-47 A&B). De facto, se a grande maioria o território da AUBG exibe nestes oito dias uma amplitude entre 6 a 8°C, o setor Este do núcleo mais tradicional de Braga – o local mais quente neste horário – apresenta uma amplitude térmica entre os 8 e os 10°C (Figura IV-47 A). Por sua vez, nas áreas com Ts mais baixa e com maior NDVI verificam-se menores oscilações de Ts, bem como do NDVI. Deste modo, às 10:30 a vegetação parece deter menor oscilações no seu comportamento do que as verificadas no território urbanizado ou com o solo exposto (Tabela IV-18), contribuindo este último (muito provavelmente) bem mais para esta variação.

Os locais com a temperatura mais elevada apresentam um menor número de dias com Ts acima da média, e consequentemente a um maior número de dias com Ts abaixo da média (Figura IV-48 A&B). Por conseguinte, evidenciar que no período diurno as áreas com vegetação são afetadas durante um maior número de dias por valores de Ts acima da média (Tabela IV-18).



A) Amplitude de Ts; B) Desvio-padrão de Ts.

Figura IV-47 – Amplitude e desvio-padrão de Ts (°C) às 10:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010



A) Número de dias com Ts acima da média; B) Número de dias com Ts abaixo da média.

Figura IV-48 – Número de dias com Ts acima e abaixo da média no horário da 10:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010

A irregularidade da distribuição temporal dos valores mais elevados de Ts no transcurso da onda de calor (Tabela IV-17) redunda na ausência de qualquer relação estatística significativa (*i.e.*, *p*-valor > a 0,05) entre a variação de Ts e o número de dias com Ts acima ou abaixo da média (Tabela IV-18). De igual modo, o facto de o dia mais quente ocorrer na maioria do território da AUBG a 27 de julho (Figura IV-49), e o dia mais fresco ser a 23, leva a que não se estabeleça qualquer relação estatística significativa (*i.e.*, *p*-valor > a 0,05) com as restantes variáveis analisadas (Tabela IV-18).

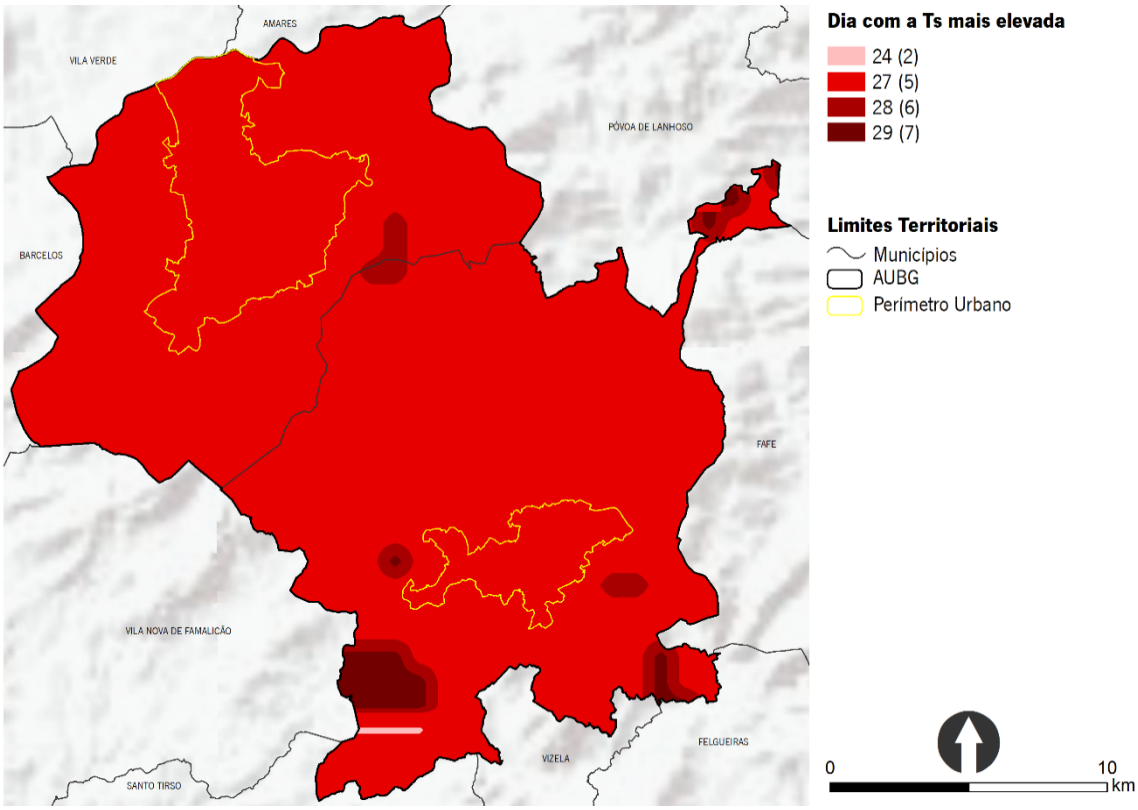


Figura IV-49 – Dia em que se registou o valor mais elevado de Ts (ºC) no horário das 10:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010

IV – 4.3. Variações às 13:30

Ao início da tarde não se observa uma evolução linear dos valor médios de Ts ao longo dos oito dias classificados como onda de calor, pelo que das asserções efetuadas para os outros horários dos MODIS apenas o dia 27 de julho se mantém como o pico da carga térmica – exibindo a AUBG uma Ts média de 42,64ºC (Tabela IV-19). Assim sendo, o máximo de Ts coincide uma vez mais com máximo da temperatura do ar (IPMA, 2010), ao passo que o valor mais baixo (36,38ºC) não ocorre no primeiro dia da onda de calor, mas sim no segundo (Tabela IV-19).

Tabela IV-19 – Estatística descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (ºC) no horário das 13:30, durante a onda de calor de 2010

Dia		**Estatísticas Descritivas**				
Mês de julho	Onda de Calor	Mínima	Máxima	Média	Desvio-padrão	Amplitude
23	**1**	32,07	43,83	37,90	2,10	11,76
24	**2**	32,79	41,49	36,38	1,56	8,7
25	**3**	37,27	48,29	42,13	1,98	11,02
26	**4**	36,67	42,97	39,14	1,28	6,3
27	**5**	38,07	49,05	42,64	1,86	10,98
28	**6**	34,85	43,57	38,55	1,45	8,72
29	**7**	35,03	44,99	39,10	1,87	9,96
30	**8**	35,05	45,75	40,10	1,70	10,7

A distribuição espacial de Ts às 13:30 (segundo a média do conjunto dos oito dias classificados como onda de calor) não difere muito da verificada num dia individual. Comparativamente ao horário das 10:30, denota-se que o continuar da radiação solar direta promove a individualização da ilha de calor nos centros urbanos principais; não obstante, se em Braga o *hotspot* parece se retrair um pouco, confinando-se ao amago do núcleo mais tradicional, em Guimarães este estende-se ligeiramente para além do núcleo histórico, nomeadamente para a Veiga de Creixomil. Por sua vez, o setor Sul do município de Guimarães, aparece mais fresco – no contexto do restante território – do que o verificado às 10:30, aproximando-se do ponto de vista térmico da urbanização mais difusa (Figura IV-50). As áreas mais frescas mantêm uma configuração espacial similar à verificada às 10:30.

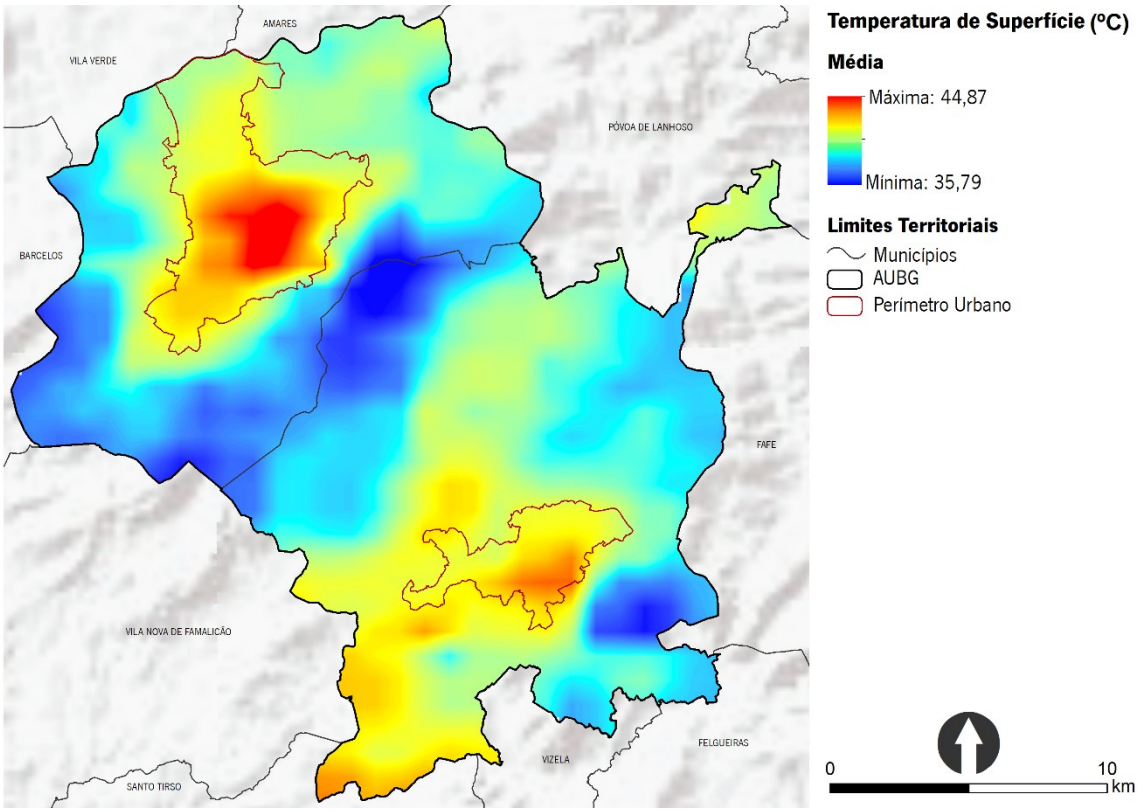


Figura IV-50 – Média de Ts (ºC) às 13:30 na AUBG durante a onda de calor de 2010

A despeito da similaridade do padrão espacial de Ts a meio da manhã e ao início da tarde, importa frisar que às 13:30 o poder de explicação do NDVI é mais elevado (R^2 de 0,653 face ao R^2 de 0,585 verificado às 10:30), evidenciando que a vegetação detém uma capacidade de arrefecimento mais acentuada no período de maior insolação (Tabela IV-20).

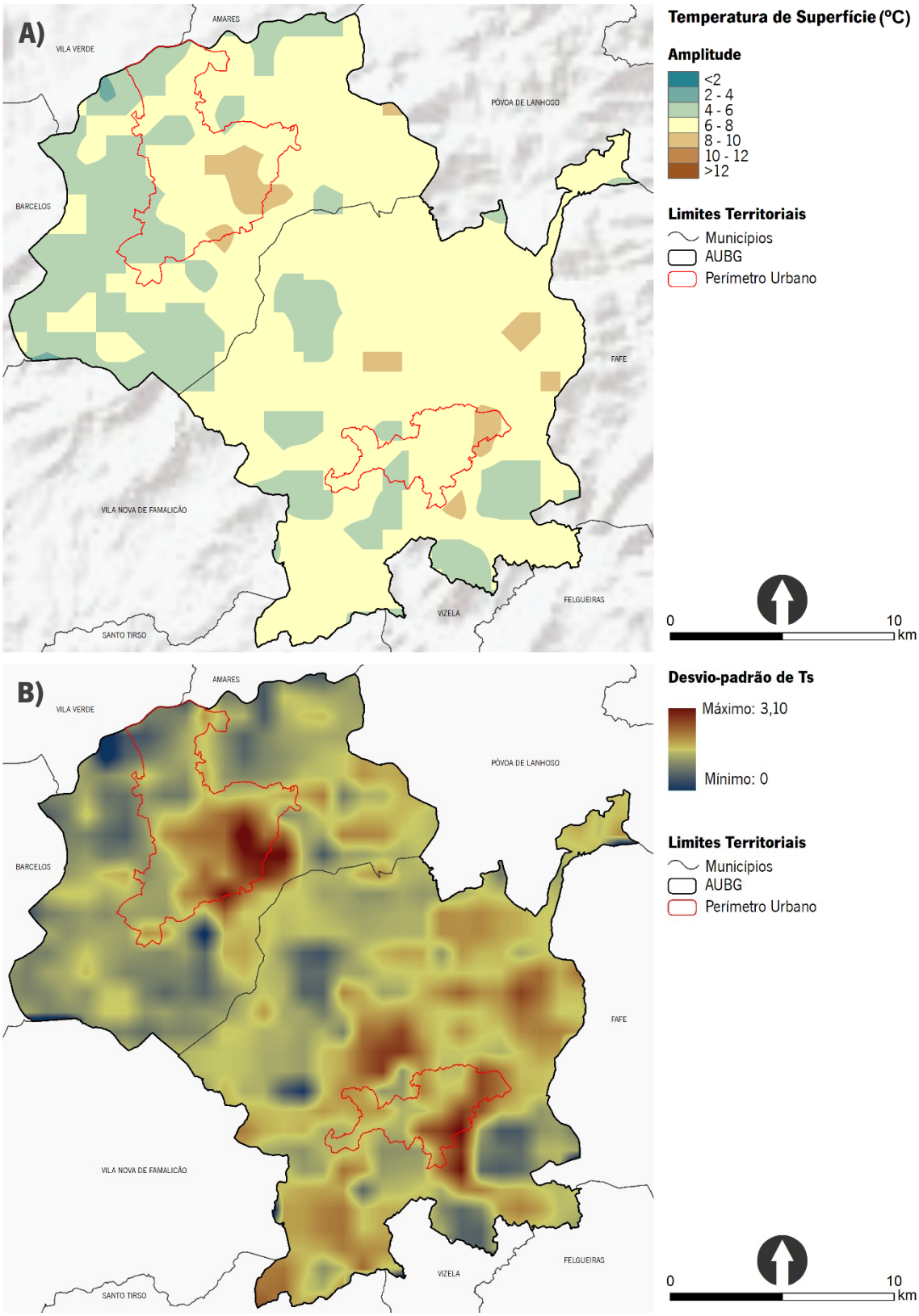
Tabela IV-20 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman de Ts e NDVI às 13:30 na AUBG, no decorrer da onda de julho de 2010

		Média de Ts	Amplitude de Ts	Desvio-padrão de Ts	Nº de dias com Ts acima da média	Nº de dias com Ts abaixo da média	Dia com Ts mais elevada	Dia com Ts mais baixa	Média do NDVI	Desvio-padrão do NDVI
Média de Ts	Coeficiente de Correlação	**1**	0,294**	0,402**	-0,200**	0,200**	-0,100*	0,417**	-0,808**	-0,037
	Coeficiente de Determinação (R^2)	**1**	0,086	0,162	0,040	0,040	0,010	0,174	0,653	0,001
Amplitude de Ts	Coeficiente de Correlação	0,294**	**1**	0,840**	-0,239**	0,239**	0,031	0,236**	-0,176**	0,103
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,086	**1**	0,706	0,057	0,057	0,001	0,056	0,031	0,011
Desvio-padrão de Ts	Coeficiente de Correlação	0,402**	0,840**	**1**	-0,253**	0,253**	-0,051	0,273**	-0,309**	0,107**
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,162	0,706	**1**	0,064	0,064	0,003	0,075	0,095	0,011
Nº de dias com Ts acima da média	Coeficiente de Correlação	-0,200**	-0,239**	-0,253**	**1**	-1,000	0,060	-0,185**	0,121**	0,018
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,040	0,057	0,064	**1**	1,000	0,004	0,034	0,015	0,000
Nº de dias com Ts abaixo da média	Coeficiente de Correlação	0,200**	0,239**	0,253**	-1,000	**1**	-0,060	0,185**	-0,121**	-0,018
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,040	0,057	0,064	1,000	**1**	0,004	0,034	0,015	0,000
Dia com Ts mais elevada	Coeficiente de Correlação	-0,100*	0,031	-0,051	0,060	-0,060	**1**	-0,296**	0,118**	-0,028
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,010	0,001	0,003	0,004	0,004	**1**	0,088	0,014	0,001
Dia com Ts mais baixa	Coeficiente de Correlação	0,417*	0,236**	0,273**	-0,185**	0,185**	-0,296**	**1**	-0,323**	-0,051
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,174	0,056	0,075	0,034	0,034	0,088	**1**	0,104	0,003
Média do NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,808**	-0,176**	-0,309**	0,121**	-0,121**	0,118**	-0,323**	**1**	-0,194**
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,653	0,031	0,095	0,015	0,015	0,014	0,104	**1**	0,038
Desvio-padrão do NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,037	0,103**	0,107**	0,018	-0,018	-0,028	-0,051	-0,194**	**1**
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,001	0,011	0,011	0,000	0,000	0,001	0,003	0,038	**1**

**A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral); *A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).

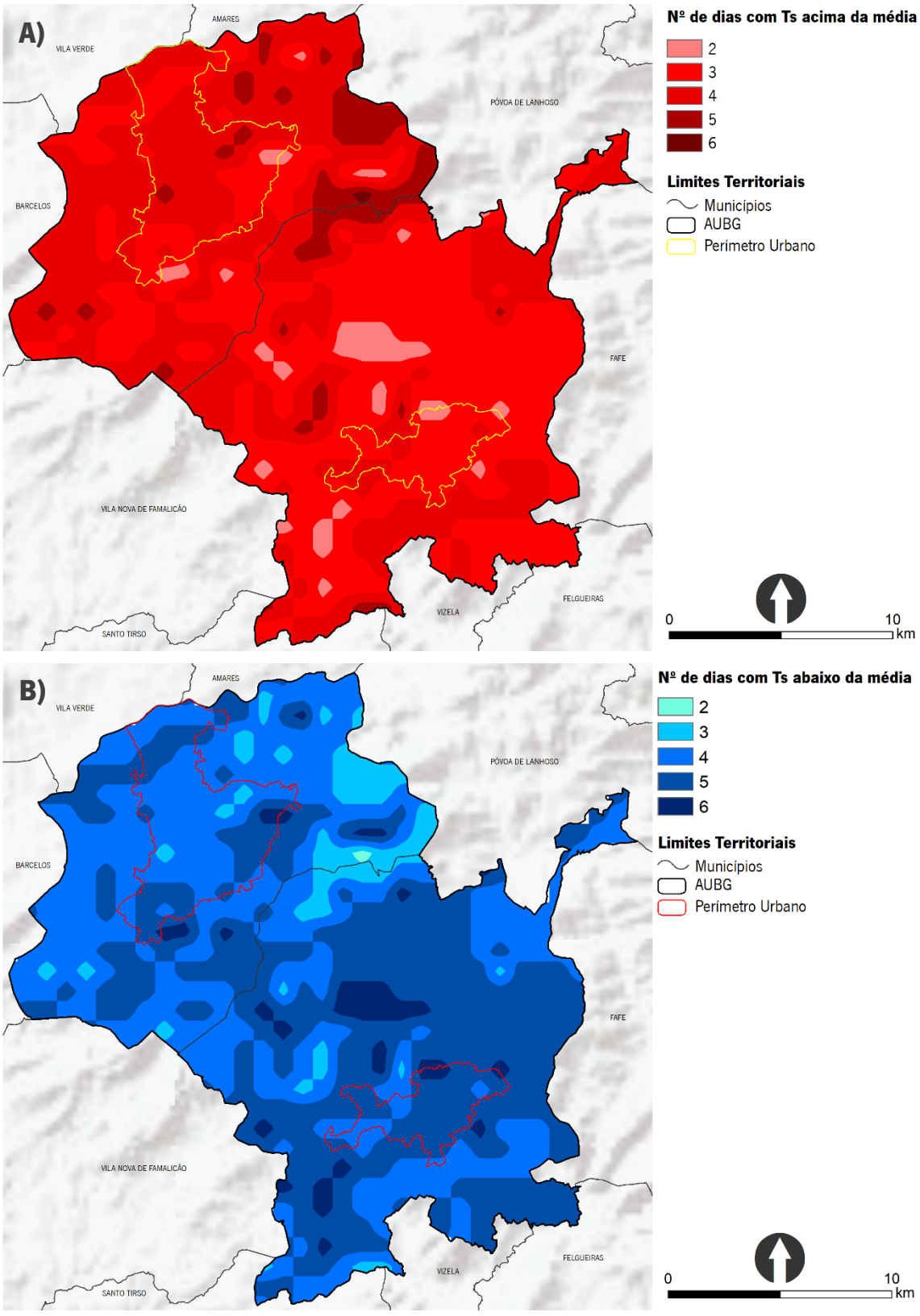
A correlação positiva da Ts média com o desvio-padrão de Ts e a amplitude de Ts (mas negativa com a média do NDVI) informa que são as áreas sem cobertura vegetal, mais quentes, que exibem as variações de Ts mais significativas no transcurso da onda de calor (como sucede às 10:30). Efetivamente, nos núcleos urbanos centrais, e particularmente em Braga, sobressaem valores muito elevados de desvio-padrão de Ts, sendo que em alguns locais a diferença de Ts verificada ao longo dos oito dias da onda de calor ultrapassa os 8ºC (Figura IV-51 A&B). As áreas com vegetação (*i.e.,* valores elevados de NDVI) apresentam menor variação de Ts, ainda que o interflúvio que serve de elemento de fronteira aos dois municípios em estudo seja uma exceção clara, com amplitudes na ordem dos 6º a 8ºC (Figura IV-51 A).

A média, o desvio-padrão e a amplitude de Ts apresentam uma relação estatística significativa (*p*-valor<0,01) com o número de dias com Ts acima e abaixo da média, sendo esta negativa no primeiro caso e positiva no segundo (Tabela IV-20). Em vista disso, o maior número de dias com Ts abaixo da média tende a ocorrer nos locais com Ts mais elevada e com variações mais acentuadas – que, por deterem baixos valores de NDVI, se pode inferir como sendo as áreas urbanas ou de solo nu. O maior número de dia com Ts acima da média sucede nos locais com Ts menores (e, com menos variações desta), que seguindo o mesma lógica da correlação com o NDVI, se percebe que são às áreas com vegetação (Tabela IV-20). Neste sentido, a estatística ajuda a sintetizar relações entre as variáveis que do ponto de vista espacial não o são (*c.f.*, Figura IV-41, Figura IV-50, Figura IV-51 e Figura IV-52).



A) Amplitude de Ts; B) Desvio-padrão de Ts.

Figura IV-51 – Amplitude e desvio-padrão de Ts (°C) às 13:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010



A) Número de dias acima da média; B) Número de dias abaixo da média.

Figura IV-52 – Número de dias com Ts acima e abaixo da média no horário da 13:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010

A Ts média exibe uma correlação negativa com o dia da onda de calor em que se verifica a Ts mais elevada, e positiva com o dia em que esta é mais baixa – sendo do ponto de vista estatístico a segunda muito mais significativa, como comprova o R^2 de 0,174 (*p*-valor < a 0,01) quando comparado com o de 0,010 (*p*-valor > a 0,05) do primeiro caso (Tabela IV-20). Desta relação pode-se inferir que nas áreas mais quentes o dia com a Ts mais baixa tende a ocorrer mais tarde. Por contraponto, nas áreas mais frescas (e com maior NDVI) o dia com a Ts mais baixa ocorre mais cedo – quer isto dizer, que às 13:30 a vegetação começa a ser afetada desde muito cedo pelo aumento do calor, mas ainda assim permanece mais dias abaixo da média (Tabela IV-20), indicando que este aumento vai sendo muito gradual, pois o dia com a Ts mais elevada também tende a ocorrer mais tarde (Tabela IV-20).

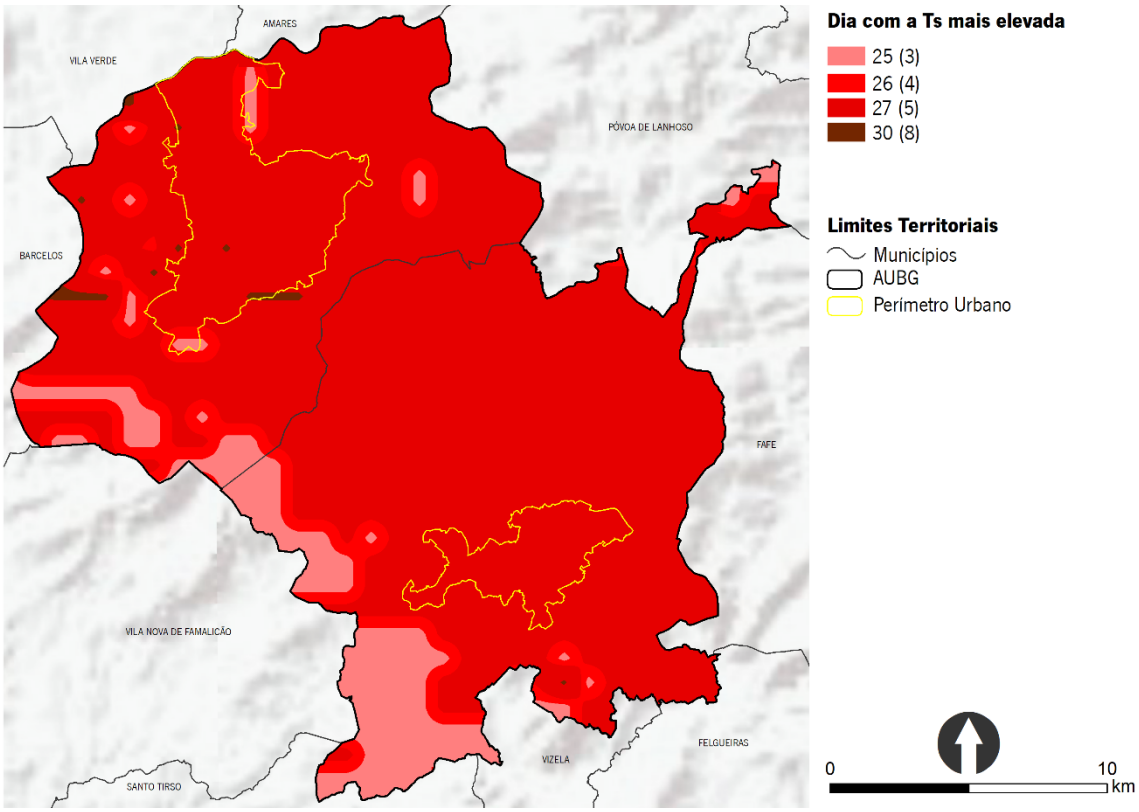


Figura IV-53 – Dia em que se registou o valor mais elevado de Ts (°C) no horário das 13:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010

IV – 4.4. Variações às 22:30

Ao início da noite no decorrer da onda de calor verifica-se uma evolução de Ts na AUBG ligeiramente distinta dos horários anteriores, pois o valor médio mais elevado de Ts (23,67°C) não ocorre a 27 de julho, mas sim no dia anterior (Tabela IV-21) – informando que o período de maior

aquecimento começa no dia 26. O valor médio mais baixo (17,28ºC) ocorre no primeiro dia da onda de calor, tal como sucede no horário das 01:30 e no das 10:30 (*c.f.*, Tabela IV-15, Tabela IV-17 e Tabela IV-21).

Tabela IV-21 – Estatística descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (ºC) no horário das 22:30 durante a onda de calor de 2010

Dia		**Estatísticas Descritivas**				
Mês de julho	Onda de Calor	Mínima	Máxima	Média	Desvio-padrão	Amplitude
23	**1**	15,29	18,95	17,28	0,72	3,66
24	**2**	16,39	22,21	19,72	0,98	5,82
25	**3**	19,59	24,95	22,18	0,85	5,36
26	**4**	20,53	26,59	23,67	1,17	6,06
27	**5**	20,53	26,61	23,27	1,00	6,08
28	**6**	20,55	25,19	22,01	0,69	4,64
29	**7**	18,89	24,73	21,54	0,88	5,84
30	**8**	21,31	24,95	22,55	0,71	3,64

O padrão espacial da média de Ts dos oito dias classificados como onda de calor, contrariamente ao observado nos restantes horários, às 22:30 parece diferir do encontrado na análise das variações diárias de Ts efetuada anteriormente. Um dos aspetos mais distintivos prende-se com o facto de as áreas com maior altitude exibirem igualmente valores de Ts elevados, pelo que as áreas frescas se resumem a alguns locais de fundo de vale, principalmente em Guimarães, como sucede durante a madrugada (*c.f.*, Figura IV-42 e Figura IV-54). Lembrando que a referida análise já evidenciava significativas variações no padrão de Ts entre as quatro datas selecionadas. Não obstante, a individualização do centro urbano de Braga como um *hotspot* é transversal a todos as datas estudadas. De igual modo, também o núcleo central de Guimarães aparece com Ts elevadas, ainda que estas sejam significativamente inferiores às verificadas em Braga (Figura IV-54).

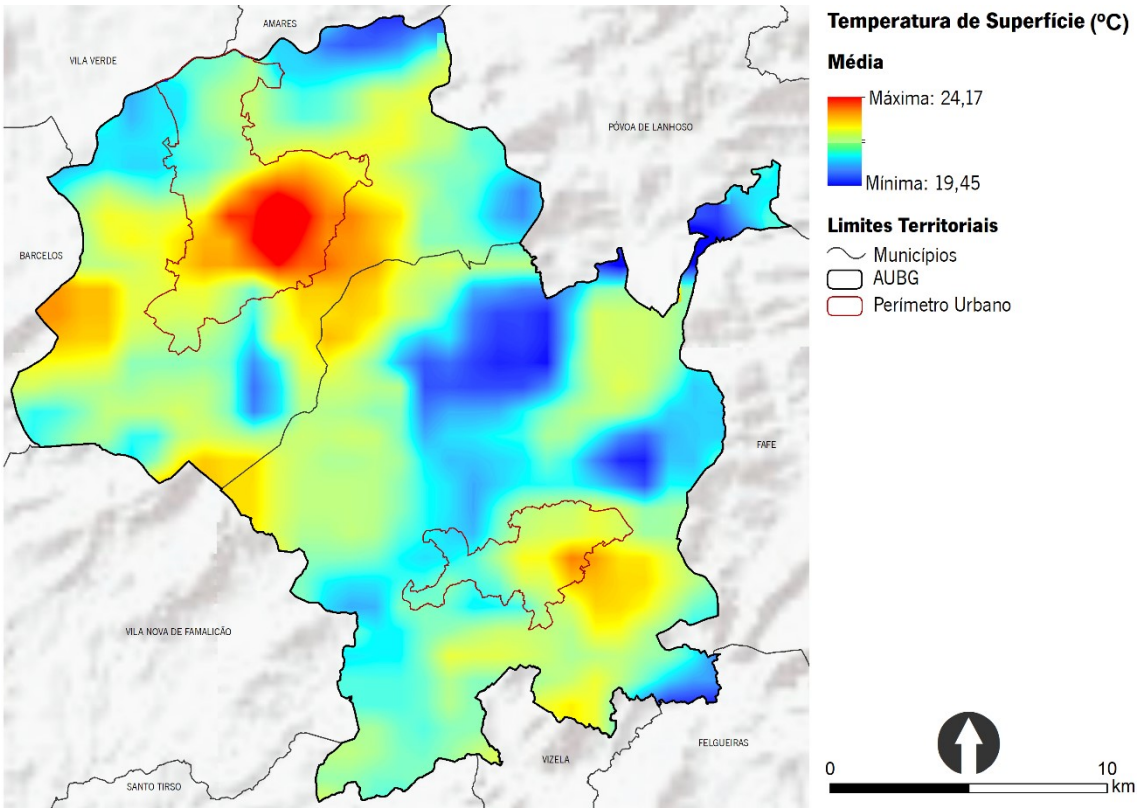


Figura IV-54 – Média de Ts (°C) às 22:30 na AUBG durante a onda de calor de 2010

Paradoxalmente ao verificado noutros períodos do dia, ao início da noite a vegetação parece não deter um papel importante na distribuição espacial dos fluxos de calor, como bem ilustra a ausência de uma relação estatística significativa (*i.e.*, *p*-valor valor > a 0,05) entre a Ts média e a NDVI (Tabela IV-22). Uma possível explicação para esta situação prende-se com o facto de este horário se encontrar muito próximo do *thermal crossover* dos materiais (Retief *et al.*, 2003), como explicado anteriormente.

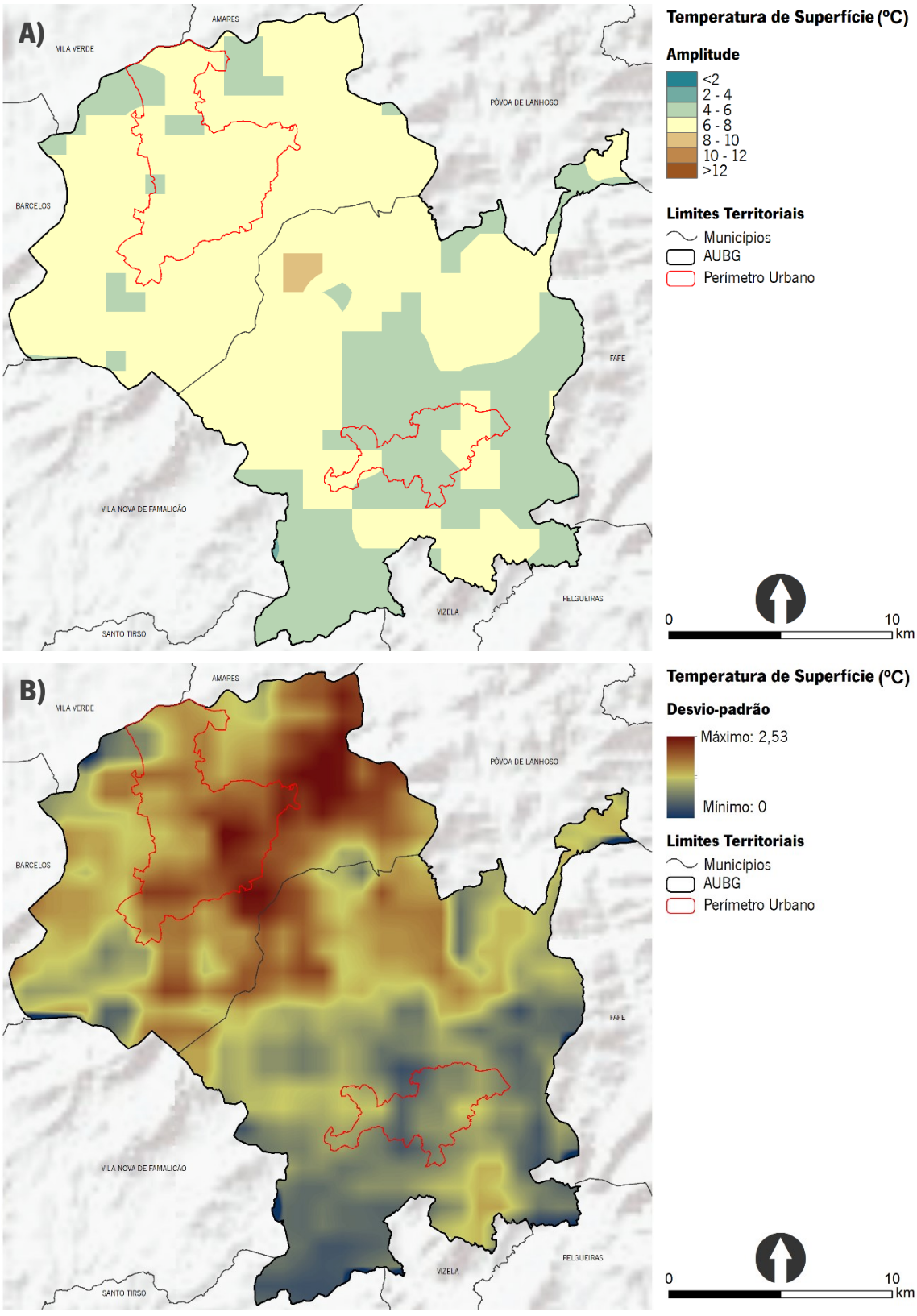
Tabela IV-22 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman de Ts e NDVI às 22:30 na AUBG, no decorrer da onda de julho de 2010

		Média de Ts	Amplitude de Ts	Desvio-padrão de Ts	Nº de dias com Ts acima da média	Nº de dias com Ts abaixo da média	Dia com Ts mais elevada	Dia com Ts mais baixa	Média do NDVI	Desvio-padrão do NDVI
Média de Ts	Coeficiente de Correlação	**1**	0,497**	0,329**	-0,072	0,072	-0,294**	-	-0,048	0,171**
	Coeficiente de Determinação (R^2)	**1**	0,247	0,108	0,005	0,005	0,086	-	0,002	0,029
Amplitude de Ts	Coeficiente de Correlação	0,497**	**1**	0,792**	-0,260**	0,260**	-0,250**	-	0,164**	0,012
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,247	**1**	0,627	0,068	0,068	0,063	-	0,027	0,000
Desvio-padrão de Ts	Coeficiente de Correlação	0,329**	0,792**	**1**	-0,189**	0,189**	-0,079	-	0,087*	0,043
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,108	0,627	**1**	0,036	0,036	0,006	-	0,008	0,002
Nº de dias com Ts acima da média	Coeficiente de Correlação	-0,072	-0,260**	-0,189**	**1**	-1,000	0,145**	-	-0,393**	0,100*
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,005	0,068	0,036	**1**	1,000	0,021	-	0,154	0,010
Nº de dias com Ts abaixo da média	Coeficiente de Correlação	0,072	0,260**	0,189**	-1,000	**1**	-0,145**	-	0,393**	-0,100*
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,005	0,068	0,036	1,000	**1**	0,021	-	0,154	0,010
Dia com Ts mais elevada	Coeficiente de Correlação	-0,294**	-0,250**	-0,079	0,145**	-0,145**	**1**	-	-0,321**	0,026
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,086	0,063	0,006	0,021	0,021	**1**	-	0,103	0,001
Dia com Ts mais baixa	Coeficiente de Correlação	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Coeficiente de Determinação (R^2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média do NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,048	0,164**	0,087*	-0,393**	0,393**	-0,321**	-	**1**	-0,427**
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,002	0,027	0,008	0,154	0,154	0,103	-	**1**	0,182
Desvio-padrão do NDVI	Coeficiente de Correlação	0,171**	0,012	0,043	0,100*	-0,100*	0,026	-	-0,427**	**1**
	Coeficiente de Determinação (R^2)	0,029	0,000	0,002	0,010	0,010	0,001	-	0,182	**1**

**A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral); *A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).

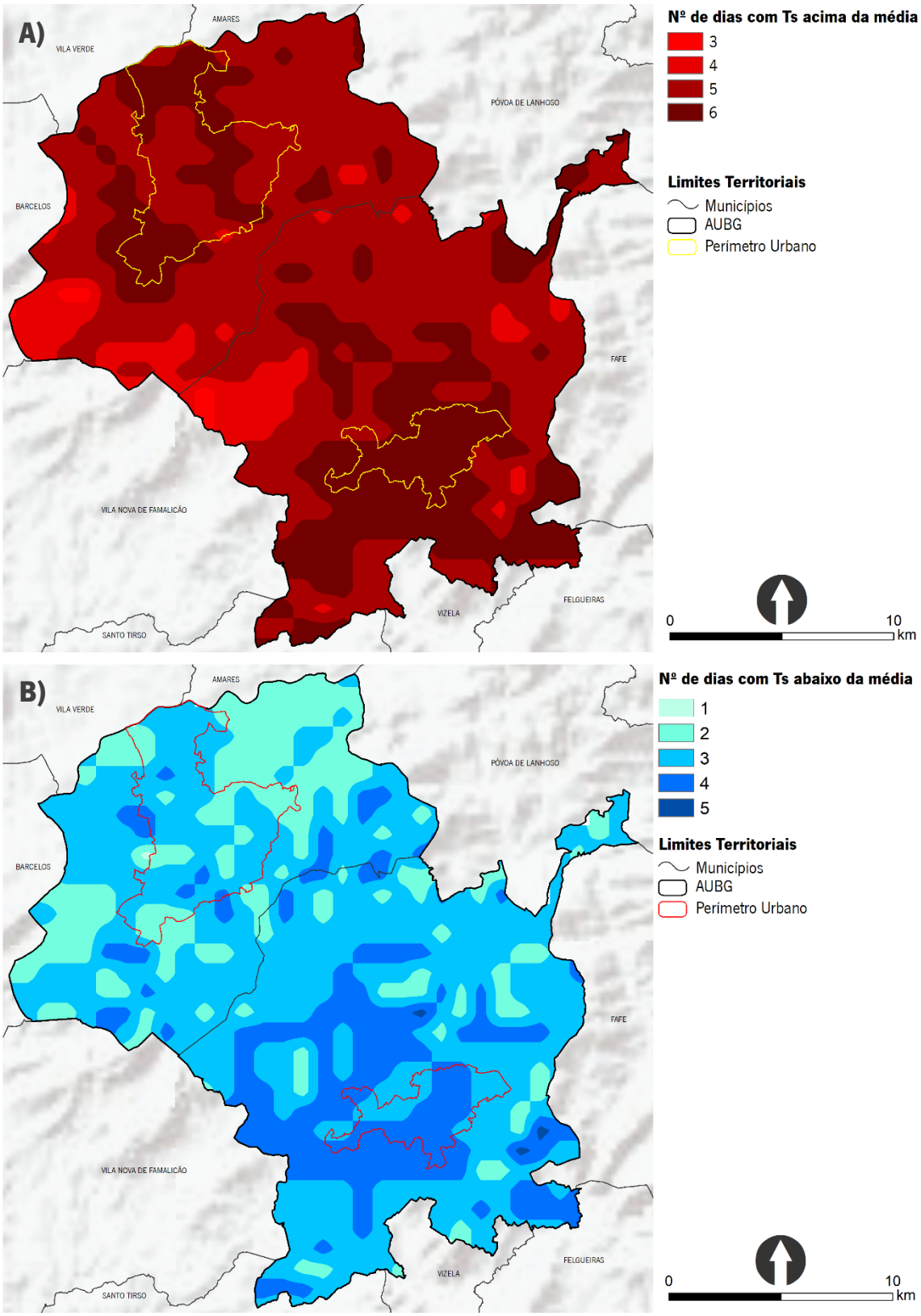
No transcurso dos oito dias classificados como onda de calor não se verificam grandes oscilações de Ts às 22:30, dado que quase todo o território da AUBG exibe uma amplitude entre os 4 e os 8ºC (Figura IV-55 A&B). Esta situação encontra-se em estrita ligação com o mencionado acerca do *thermal crossover* dos materiais – que redunda em amplitudes intracena muito reduzidas, se comparadas com os outros três horários. Sem embargo, constata-se que as maiores variações de Ts se encontram uma vez mais associadas aos valores mais elevados de Ts (p-valor < a 0,01). Além disto, e apesar de não se observar qualquer relação estatística entre a Ts média e o NDVI médio (Tabela IV-22), os valores mais elevados de NDVI (*i.e.*, a vegetação) parecem deter maior variação de Ts, ainda que a capacidade de explicação seja deveras exíguo (menos de 3% da variação no caso da amplitude). Em sentido oposto, as áreas mais frescas exibem menores variações de Ts – que, por sua vez, parecem associar-se a valores de NDVI mais reduzidos (Tabela IV-22).

Os valores médios de Ts não exibem qualquer relação estatisticamente significativa (*i.e.*, com *p*-valor < a 0,05) com o número de dias em que a Ts se encontra acima ou abaixo da média, porém estas variáveis contribuem para explicação das variações de Ts (Tabela IV-22) – sendo este ligeiramente mais elevado na amplitude (R^2 de 0,068), do que no desvio-padrão (R^2 de 0,036). Neste sentido, constata-se que os locais com amplitudes elevadas de Ts exibem maior número de dias com Ts abaixo da média (Tabela IV-22). Assim, apesar de o número de dias com Ts acima da média ser reduzido nestes locais, a magnitude dos seus valores promove um incremento considerável na amplitude dos valores de Ts. Por outro lado, denota-se que áreas com mais vegetação (NDVI mais elevado) tendem a exibir mais dias com Ts abaixo da média. Com efeito, é nas áreas urbanas ou com solo nu (menor NDVI) que se verifica o maior número de dias com Ts acima da média (Tabela IV-22). Esta constatação estatística (R^2=0,154), encontra-se bem patente do ponto de vista espacial, dado que no interior do perímetro de Guimarães apenas em dois dias é que a Ts exibe um valor inferior ao da média. Em Braga, o interior do perímetro urbano divide-se entre os dois a três dias com Ts abaixo da média (Figura IV-56 A&B).



A) Amplitude de Ts; B) Desvio-padrão de Ts.

Figura IV-55 – Amplitude e desvio-padrão de Ts (°C) às 22:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010



A) Número de dias com Ts acima da média; B) Número de dias com Ts abaixo da média.

Figura IV-56 – Número de dias com Ts acima e abaixo da média no horário da 22:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010

Nas áreas com Ts média mais elevada o pico da temperatura tende a ocorrer mais cedo, do que nos locais com Ts mais baixas (*c.f.,* Figura IV-54 e Figura IV-57). De igual modo, verifica-se que nos locais com menor NDVI – *i.e.*, áreas urbanas e solo nu – o pico da temperatura tende a ocorrer mais cedo do que nas áreas com maior NDVI (Tabela IV-22). As variações de Ts encontram-se negativamente correlacionadas com o dia em que ocorre o máximo de Ts (p-valor<0,01) – deste modo, quanto mais tarde se verifica o pico da temperatura menor o valor da amplitude de Ts.

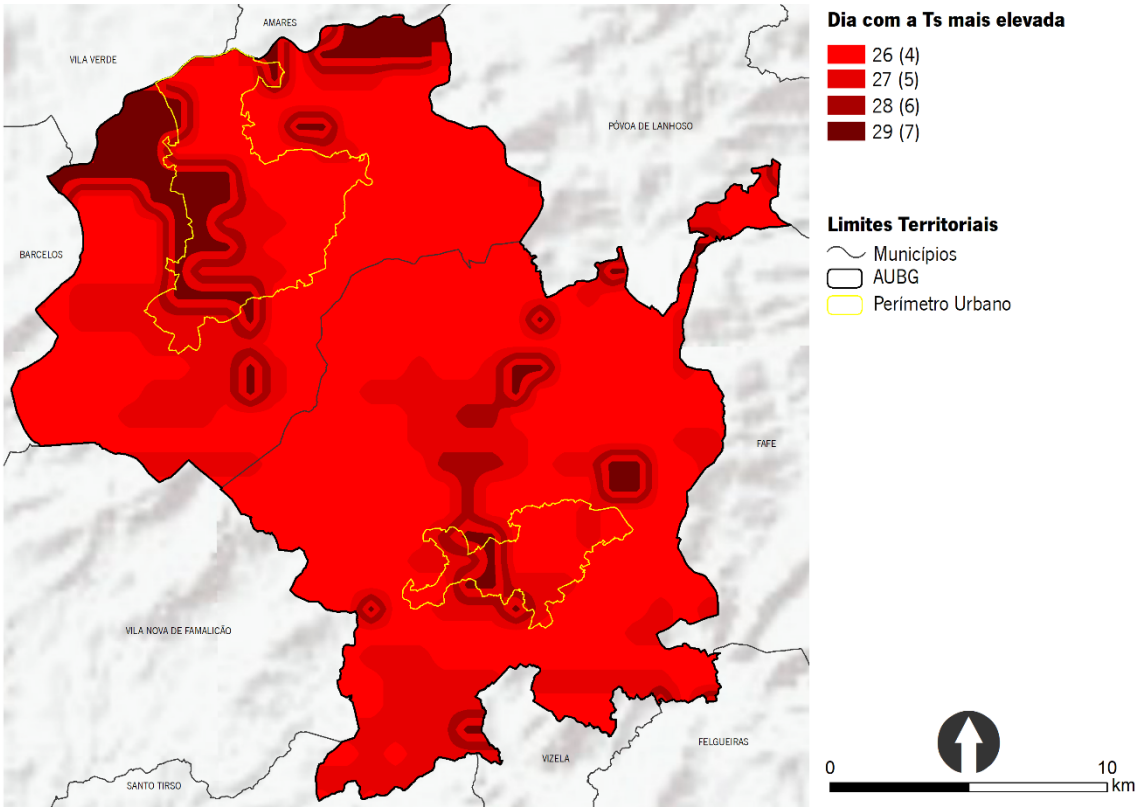


Figura IV-57 – Dia em que se registou o valor mais elevado de Ts (°C) no horário das 22:30 na AUBG, durante a onda de calor de 2010

IV – 4.5. Síntese das Variações

Os resultados anteriores demonstram que no decorrer dos oito dias classificados como onda de calor (IPMA, 2010) as mudanças no ambiente térmico da AUBG foram graduais, coincidindo o pico da carga térmico com os valores de temperatura do ar mais elevados. Deste modo, torna-se evidente que as imagens de satélite podem ser utilizadas para identificar os períodos mais críticos de calor no decorrer destes eventos extremos, assim como os locais – tanto mais que o comportamento do território é profundamente díspar neste período.

A análise estatística, além de avaliar a linearidade da relação entre as diversas variáveis, permite sintetizar a informação – tornando, em alguns casos, mais evidentes relações que do ponto de vista espacial não o são. Dada a dimensão e complexidade das matrizes decorrentes da Correlação de Spearman, realizadas para cada um dos horários do MODIS, importa sintetizar alguns aspetos chave do comportamento térmico superficial do território da AUBG no transcurso da onda de calor de julho de 2010 (Tabela IV-23). Desde logo, sobressai que a relação negativa entre Ts e NDVI, amplamente estudada (*e.g.*, Carlson e Arthur, 2000; Weng *et al.*, 2004; Yuan e Bauer, 2007; Klock *et al.,* 2012; Guo *et al.,* 2015), apenas se verifica no período diurno. Ademais, denota-se que o poder de explicação desta relação aumenta com o incremento da radiação solar, como comprova o R^2 mais elevado das 13:30 face ao das 10:30 (*c.f.*, Tabela IV-18 e Tabela IV-20).

Durante a madrugada a típica relação Ts/NDVI inverte-se (*i.e.*, de negativa passa a positiva), pelo que neste horário as Ts mais elevadas ocorrem nas áreas com vegetação mais densa, que *grosso modo* na AUBG correspondem aos topos florestados. A este respeito lembrar que, durante a noite dominam os padrões mesoclimáticos, que se desenvolvem na atmosfera urbana superior, diferentemente dos microclimáticos (determinados pelas coberturas do solo) verificados durante o dia (Nichol, 2005). Às 22:30 a relação entre Ts e o NDVI encontra-se totalmente obliterada (Tabela IV-23) – pelo menos do ponto de vista estatístico (*i.e.*, *p*-valor > a 0,05) – indicando que a vegetação não desempenha um papel relevante na explicação dos fluxos de calor.

Tabela IV-23 – Síntese da matriz de correlação de Spearman entre Ts e NDVI na AUBG no decorrer da onda de calor de 2010

Horário	NDVI	Ocupação do solo[1]	Amplitude e desvio-padrão[2]	Nº dias acima da média	Nº dias abaixo da média	Dia com Ts mais elevada[3]	Dia com Ts mais baixa[3]
01:30	↗Ts ↗NDVI	↗Ts – Vegetação	↗Ts ↗Variação	↗Ts ↘Nº Dias	↗Ts ↗Nº Dias	↗Ts ↗Dia	↗Ts ↘Dia
	↘Ts ↘NDVI	↘Ts – Urbano e solo nu	↘Ts ↘ Variação	↘Ts ↗Nº Dias	↘Ts ↘Nº Dias	↘Ts ↘Dia	↘Ts ↗Dia
10:30	↗Ts ↘NDVI	↗Ts – Urbano e solo nu	↗Ts ↗ Variação	↗Ts ↘Nº Dias	↗Ts ↗Nº Dias	***	↗Ts ↘Dia
	↘Ts ↗NDVI	↘Ts – Vegetação	↘Ts ↘ Variação	↘Ts ↗Nº Dias	↘Ts ↘Nº Dias		↘Ts ↗Dia
13:30	↗Ts ↘NDVI	↗Ts – Urbano	↗Ts ↗ Variação	↗Ts ↘Nº Dias	↗Ts ↗Nº Dias	↗Ts ↘Dia	↗Ts ↗Dia
	↘Ts ↗NDVI	↘Ts – Vegetação	↘Ts ↘ Variação	↘Ts ↗Nº Dias	↘Ts ↘Nº Dias	↘Ts ↗Dia	↘Ts ↘Dia
22:30	***	***	↗Ts ↗ Variação	***	***	↗Ts ↘Dia	***
			↘Ts ↘ Variação			↘Ts ↗Dia	

1. Ocupação do solo inferida a partir da interpretação do NDVI; **2**. A amplitude e o desvio-padrão traduzem as variações verificadas em Ts.
Sentido da associação: ↗ aumento, ↘ diminuição, *** indica a ausência de correlação significativa (*p*-valor > a 0,05).

Os valores do NDVI permitem inferir a ocupação/uso do solo, pelo que se torna possível relacionar as variações do ambiente térmico com a apropriação antrópica do território (Tabela IV-23) – informação fundamental para a compreensão do comportamento dos municípios de Braga e de Guimarães no transcurso deste evento de calor extremo. Assim, apesar de as variações mais acentuadas de Ts se encontrarem associadas em todos os horários aos valores de Ts média mais elevados, a verdade é que ao longo do dia não sempre as mesmas ocupações/usos do solo a sofrerem as oscilações mais significativas. A partir da triangulação dos dados constata-se que no período diurno as maiores variações de Ts ocorrem nos núcleos urbanos (mais ou menos compactos) e nos locais com o solo exposto, ao passo que durante a noite estas sucedem nas áreas com vegetação (Tabela IV-23). Às 22:30 esta conclusão não advém da relação entre a média de Ts e a do NDVI (que como referido não é estatisticamente significativa), mas sim da relação positiva entre as variações de Ts e a média do NDVI (sendo o *p*-valor inferior a 0,05 no desvio-padrão e a 0,01 na amplitude).

Outrossim, no número de dias com Ts acima (ou abaixo) da média, definida pelo conjunto dos oito dias classificados como onda de calor (IPMA, 2010), também se verifica o mesmo sentido da relação com a Ts média ao longo do dia – excetuando-se apenas o horário das 22:30, onde esta não é significativa (Tabela IV-23). Deste modo, na AUBG o menor (maior) número de dias com a Ts acima da média, tende a ocorrer nos locais com maior (menor) Ts média. Por sua vez, o maior (menor) número de dias com Ts abaixo da média associa-se aos locais da AUBG com maior (menor) Ts. Neste cenário ressalta que, no período do dia mais quente (devido à maior incidência de radiação ao solar direta) as áreas com vegetação tendem a exibir mais dias com Ts acima da média do que as áreas onde esta se encontra ausente. À noite (*i.e.*, à 01:30) a situação inverte-se, sendo as áreas urbanas e com solo nu que exibem o maior número de dias com Ts acima da média.

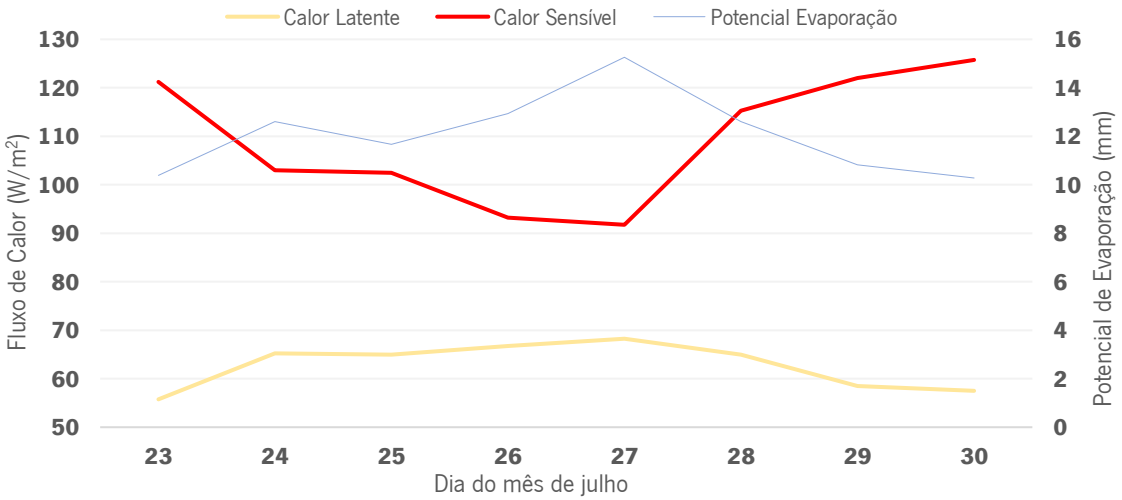
A relação entre o valor médio de Ts e o dia da onda de calor mais quente (e o mais fresco) varia significativamente em função horário. Da justaposição desta informação sobressai no horário da 01:30 e no das 13:30 a relação inversa entre o dia da onda de calor em que ocorre a Ts mais elevada e aquele em que se regista o valor mais baixo (Tabela IV-24).

Tabela IV-24 – Triangulação da informação dos resultados da correlação de Spearman na AUBG no decorrer da onda de calor de 2010

Horário	Dia mais quente	Dia mais fresco
01:30	Vegetação ↗	Vegetação ↘
	Urbano/Solo nu ↘	Urbano/Solo nu ↗
10:30	Muito similar em todo o território***	Vegetação ↗
		Urbano/Solo nu ↘
13:30	Vegetação ↗	Vegetação ↘
	Urbano/Solo nu ↘	Urbano/Solo nu ↗
22:30	Vegetação ↘	Igual em todo o território***
	Urbano/Solo nu ↗	

Sentido de associação: ↗ mais tarde, ↘ mais cedo, ******* indica a ausência de correlação significativa (*p*-valor > a 0,05).

No decorrer da onda de calor torna-se claro que o ambiente térmico da AUBG é afetado de modo muito diferenciado – tanto do ponto de vista o temporal (*i.e.*, nos diferentes horários do MODIS), como espacial (decorrente da ocupação/uso do solo, ou de outros fatores, como a posição topográfica). A vegetação começa a aquecer logo no início da onda de calor (dado que a Ts mais baixa ocorre muito cedo), porém o aumento vai sendo gradual, verificando-se o pico de Ts mais tardiamente (Tabela IV-24). Esta situação coloca em evidência que a vegetação tem a capacidade de resistir ao calor enquanto detém humidade, que lhe permite realizar a evapotranspiração. Todavia, a perda de humidade minimiza/impossibilita o processo de evapotranspiração, pelo que os fluxos de calor latente são substituídos pelos de calor sensível. Consequentemente, os reduzidos valores de Ts verificados no início da onda de calor não voltam a figurar. Efetivamente, os dados retirados da Plataforma Climate Engine (2019) demonstravam que a humidade do solo no decorrer da onda de calor diminui significativamente (*vide* Figura IV-40). Em consequência, os fluxos de calor latente vão enfraquecendo, ao passo que os fluxos de calor sensível assumem maior destaque, particularmente após o pico da carga térmica, bem como da temperatura do ar e do potencial de evaporação, verificado no dia 27 de julho (Figura IV-58). Esta modificação nos fluxos de calor contribui diretamente para o aquecimento do ar na atmosfera urbana inferior (Zaitchik *et al.*, 2006).



Fonte: ClimateEngine (2019).

Figura IV-58 – Fluxos de calor sensível e de calor latente (W/m²) e potencial de evaporação (mm) durante a onda de calor de 2010

Nos locais sem cobertura vegetal – *i.e.* as áreas urbanas ou com solo exposto – apesar de os efeitos do calor extremo se começarem a sentir mais tarde do que o verificado na vegetação (pois o dia com a Ts mais baixa afasta-se mais no tempo), o máximo da carga térmica ocorre mais cedo. Indicando que as áreas urbanas ou com solo exposto detêm um comportamento térmico menos linear do que a vegetação, encontrando-se mais dependente da quantidade de radiação solar incidente (ao passo que, na vegetação os fluxos de calor são muito condicionados pelo conteúdo de humidade disponível). Conquanto, às 10:30 constata-se que as áreas sem vegetação exibem o máximo de Ts mais cedo do que as que têm vegetação. Esta situação deve estar relacionada com os campos com o solo nu – relembrando que neste horário a correlação Ts/NDVI é ligeiramente inferior ao verificado às 13:30 (*c.f.,* Tabela IV-16Tabela IV-18 e Tabela IV-20).

O solo nu húmido (como sucederia no início da onda de calor) detém baixa inércia térmica, logo aquece mais lentamente do que o solo seco (que tem maior inércia térmica). Com o progredir do calor e a consequente perda de humidade, os valores baixos de Ts dos primeiros dias da onda de calor não se voltam a verificar, pois o solo seco atinge valores de Ts muitos elevados ainda a meio da manhã, como amplamente já constatado.

Os resultados obtidos na AUBG durante a onda de calor de 2010 encontram suporte na asserção efetuada por Fisher *et al.* (2007) relativamente aos efeitos da onda de calor do verão de 2003 na Europa:

> "*we find a string of evidence suggesting that the dry soil conditions and ensuing soil moisture dynamics were the key in the sequence of events that led to the record-breaking summer of 2003*" (p.5096).

IV – 4.6. Ambiente Térmico

A classificação dos valores de Ts média dos oito dias da onda de calor em função dos limiares propostos por Xiong *et al.* (2012) permite uniformizar a informação e, por conseguinte efetuar a comparação direta das características do ambiente térmico nos diferentes horários, bem como entre os dois municípios. Esta síntese do comportamento térmico do território da AUBG perante o calor continuado apresenta algumas similaridades com o padrão verificado anteriormente (*vide* Figura IV-31), pelo que a análise subsequente se foca no escrutínio das especificidades intrínsecas a cada horário.

De madrugada, sobressai no centro urbano de Braga um ponto (composto por um ou dois pixéis) muito mais quente do que todo o território da AUBG – que recorrendo à linguagem estatística se poderia apelidar de *outlier*. Assim, comparativamente à imagem individual de 30 de julho, denota-se que as condições de calor neste local se acentuaram muitíssimo, de tal modo que as restantes áreas classificadas como calor acentuado surgem apenas como áreas de calor moderado (*c.f.*, Figura IV-31 e Figura IV-59). Uma análise mais pormenorizada demonstra que este ponto coincide com as piscinas municipais de Braga (as Piscinas do Complexo Desportivo da Rodovia), que por se tratar de uma piscina olímpica deverá apresentar um comprimento de 50m e uma largura 25m – o que equivale a 2500m^3 de água, caso tenha 2m de profundidade. Dada a baixa inércia térmica da água, parece plausível ser esta massa de água que contribui para a existência desta anomalia. A este respeito, Ward *et al.* (2016) referem que a presença de corpos de água no interior da área urbana contribui para aumento da intensidade da ilha de calor perante uma onda de calor; ainda que perante a exiguidade deste elemento não se possam excluir outros possíveis fatores na origem destes valores estremos (Figura IV-59).

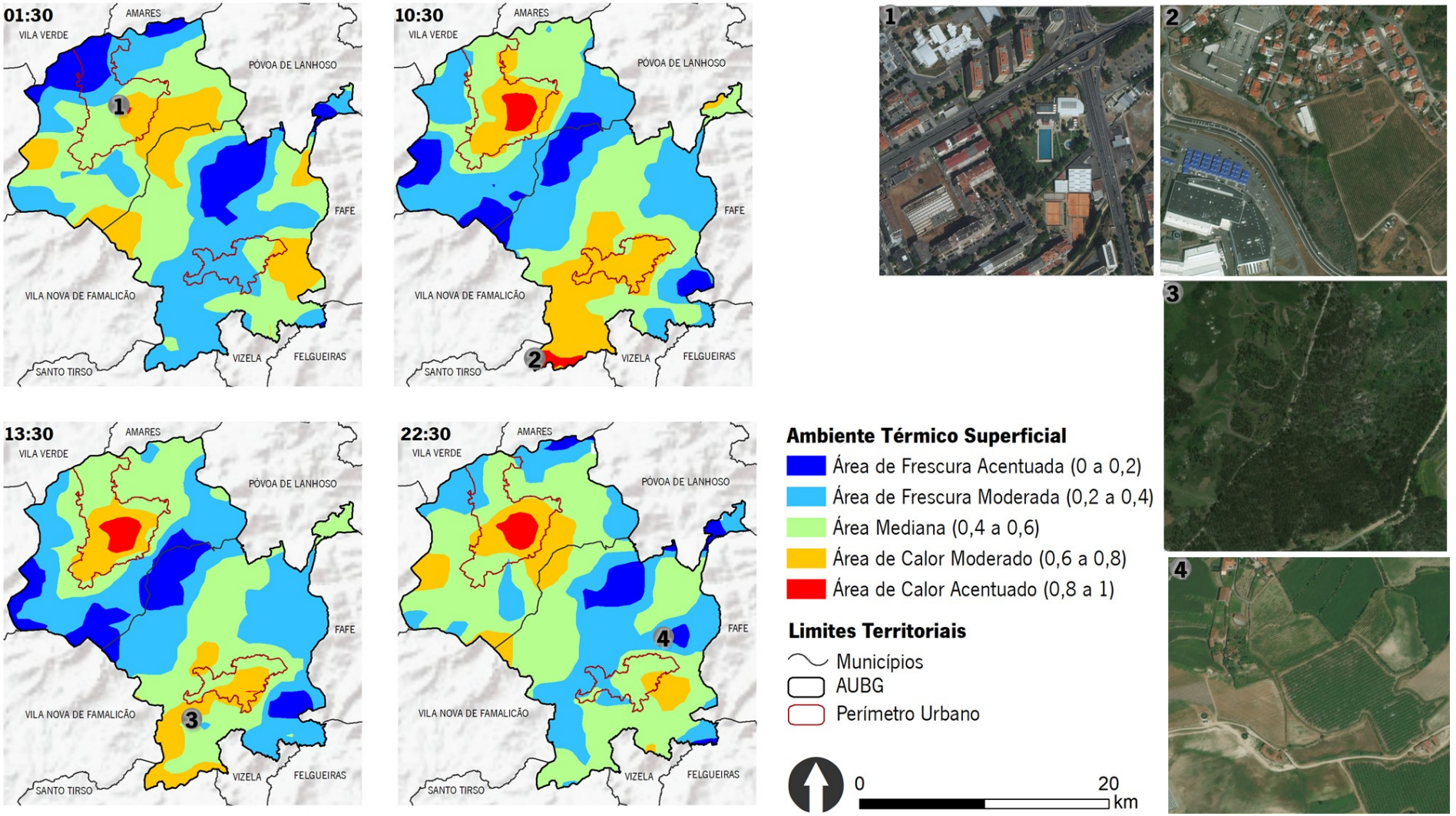


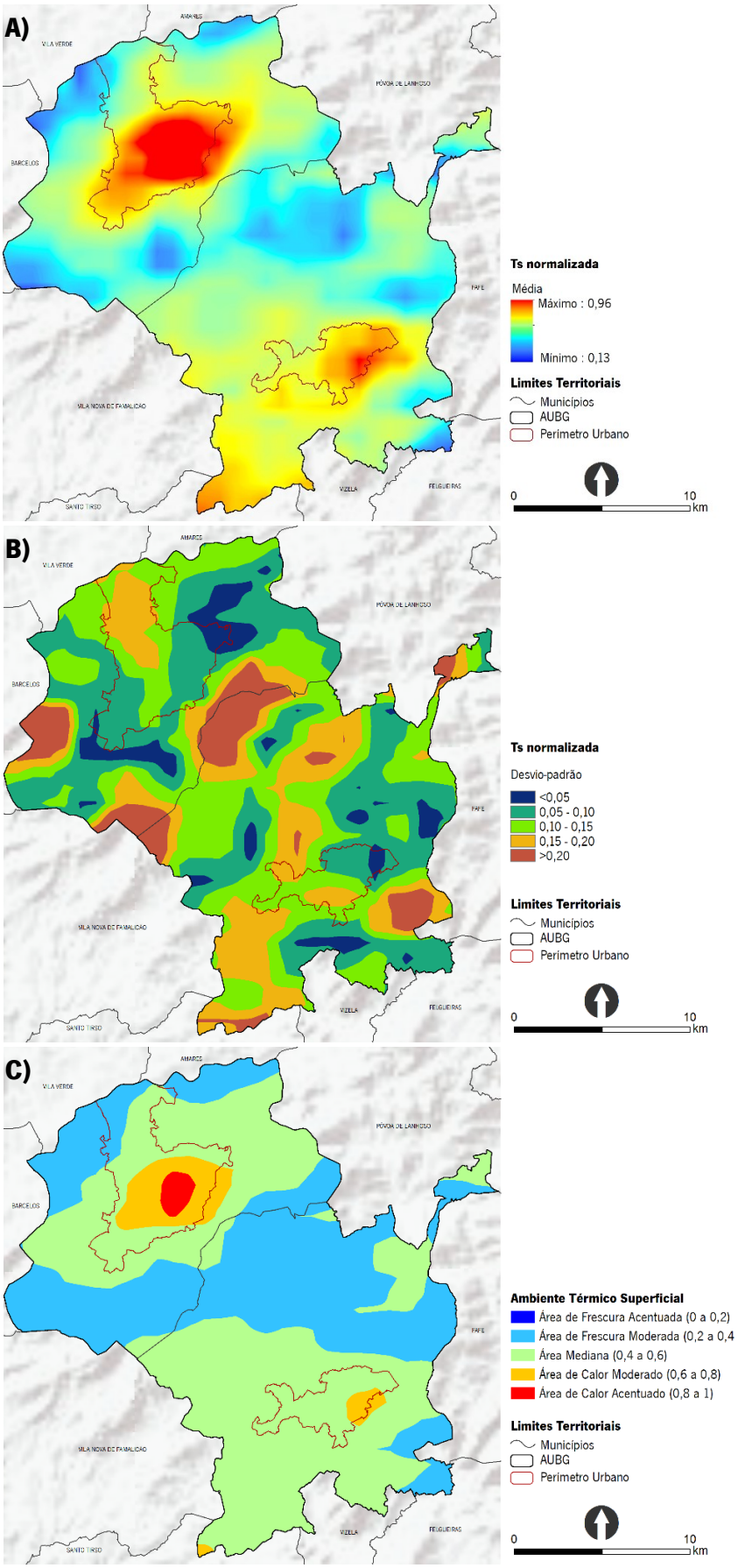
Figura IV-59 – Ambiente térmico superficial na AUBG durante a onda calor de 2010

A meio da manhã, evidencia-se o setor Sudoeste do município de Guimarães por constituir uma área de calor acentuada, como sucede no centro urbano de Braga. Para esta situação contribui tanto a existência de áreas industriais e comerciais de grande dimensão, como as remanescências agrícolas, cujos solos quando lavrados (comum nesta altura do ano) detêm baixa inércia térmica – pelo que a meio da manhã já apresentam Ts muito elevadas (Figura IV-59). Uma vez mais, as áreas de calor acentuado assumem menor proporção do que o verificado no dia 30 de julho (*c.f.*, Figura IV-31 e Figura IV-59) – indicando o calor extremo afeta desproporcionalmente o território da AUBG.

Ao início da tarde verifica-se um acentuar concomitante das condições de calor acentuado (particularmente no centro de Braga) e de frescura acentuada (nos topos florestados) face ao verificado no dia 30 de julho de 2010 (*c.f.*, Figura IV-31 e Figura IV-59). Deste modo, no interior do perímetro urbano de Guimarães as condições de calor acentuado passam a deter uma representatividade exígua – indicando que perante um evento de calor extremo os efeitos mais severos ocorrem em Braga. Neste período de maior radiação solar ressalta a importância da vegetação densa na redução de Ts, como se observa nas proximidades da Senhora dos Montes em Guimarães (o segundo topo mais elevado, com 470m), onde se verifica a individualização de uma ilha de frescura moderada no seio de uma área de calor mediano (Figura IV-59).

No começo da noite, as condições de calor (novamente, mais acentuadas em Braga) estendem-se em direção aos topos arborizados (Figura IV-59). Por seu turno, como áreas de frescura individualizam-se os fundos de vale do rio Cávado e Ave, assim como outras áreas agrícolas aplanadas (Figura IV-59).

A integração das imagens de Ts normalizada dos quatro horários do MODIS (Figura IV-59), tendo como referência o valor da média, patenteia bem que o centro urbano de Braga constitui a área mais crítica perante um evento de calor extremo (Figura IV-60-A) – visto que, dominam as condições de calor acentuado em todos os horários, como comprovam reduzidos valores de desvio-padrão (Figura IV-60-B). Com a síntese do ambiente térmico estas asserções saem reforçadas, pois o centro urbano de Braga emerge como o único local onde dominam as condições de calor acentuado.



A) Média de Ts normalizada; B) Desvio-padrão de Ts normalizada; C) Ambiente Térmico Superficial.

Figura IV-60 – Síntese do ambiente térmico superficial na AUBG durante a onda calor de 2010

Na imagem síntese do ambiente térmico o município de Guimarães aparece relativamente mais fresco, pois o calor moderado assume menor proporção do que em Braga, e as condições de calor acentuado estão ausentes (Figura IV-60-C). Conquanto, o calor moderado coincide com a encosta da Penha, um dos locais onde nas últimas décadas se tem verificado o avançar da construção, pelo que a sua continua expansão e/ou densificação desencadeará o agravamento desta situação, além de que impede a descida do ar fresco formado no topo (*i.e.,* a brisa descendente de vertente). Estes ventos locais são fundamentais para a renovação do ar e a dissipação do calor no centro urbano – relembrando que as situações de calma atmosférica potenciam o seu desenvolvimento (Daveau, 1999b). As diferenças verificadas entre o núcleo urbano de Braga e de Guimarães parecem ir de encontro ao referido no relatório da EEA (2012a), que sublinha que "*southern Europe would be more affected because of the more compact urban form of its cities*" (p.219).

A parte dos centros urbanos de Braga e de Guimarães, verifica-se no restante território da AUBG grandes oscilações no ambiente térmico, destacando-se nitidamente os topos e os fundos de vale (Figura IV-60-B). Nestes locais o valor médio de Ts assume reduzida representatividade (Figura IV-60-A), pelo que no cômputo específico dos limiares propostos por Xiong *et al.* (2012) constituem áreas de características térmicas medianas (ou de frescura moderada). As áreas medianas estendem-se igualmente ao território da urbanização difusa, particularmente no setor Sul do município de Guimarães, no seguimento do alinhamento do vale do rio Ave (Figura IV-60-C), como corroboram os valores elevados de desvio-padrão (Figura IV-60-B). Ademais, sublinhar ainda que no decorrer do ciclo diário nenhuma área mantém as características de frescura acentuada, diferentemente do que sucede com o calor (Figura IV-60-C).

Em síntese, a elevada resolução espacial do MODIS – se comparada com medições *in situ* das estações meteorológicas, que em Portugal apresentam uma fraca cobertura e representatividade espacial – ilustra de modo claro que as ondas de calor detêm impactos muito diferenciados no território, tanto do ponto de vista temporal (*i.e.,* inter e intradiários), como espacial (*e.g.*, cobertura/uso do solo, posição topográfica). Ressalvar apenas que, a existência de satélites com maior resolução espacial (mas mantendo a resolução temporal) permitiria discriminar de modo nítido os impactos que os eventos de calor extremos exercem sobre as distintas coberturas/usos do solo (Zaitchik *et al.*, 2006), particularmente em áreas muito heterogéneas como sucede nos territórios de urbanização difusa.

Por fim, enfatizar que os resultados obtidos possibilitam uma cartografia detalhada das áreas com maior exposição ao calor extremo – nomeadamente ao nível da subsecção estatística, que torna possível a ligação desta informação com as variáveis socioeconómicas, fundamentais para a mitigação dos impactes dos eventos de calor extremo. A este respeito, destacar a definição de áreas de intervenção prioritária, tanto para a implementação de medidas de prevenção, como de resposta dos meios de socorro em dias de maior calor.

IV – 5. Fatores Explicativos do Ambiente Térmico Diurno e Noturno nos Municípios de Braga e de Guimarães

"Generally, this study facilitates our understanding of human-environment interactions by leveraging the power of geospatial techniques and remote sensing for urban climatology mechanisms investigation".
|Liu *et al.,* 2019, p.16|

Além da análise das dinâmicas espaciotemporais do ambiente térmico – mais longas (evolução e mudanças) ou mais curtas (ciclo diário) – importa quantificar as suas relações com as variáveis espectrais, fisiográficas e socioeconómicas, pois como alertam Zhou *et al.* (2019) "*the independent and combined effects of different drivers as well as their underlying mechanisms remain poorly understood*" (p.19). Assim, partindo do cruzamento da informação espectral fornecida pelas imagens de satélite, com as características naturais do território e os dados estatísticos disponibilizados pelo INE procura-se relacionar de modo direto os processos ecológicos (consubstanciados na Ts) com as opções socioeconómicas locais. O conhecimento dos mecanismos presentes na génese da formação das ilhas de calor suporta o desenvolvimento de medidas de atuação no âmbito do planeamento urbano.

IV – 5.1. Relação entre as Variáveis

Para a explicação do ambiente térmico dos municípios de Braga e de Guimarães selecionou-se um conjunto de vinte variáveis, das quais: cinco, referentes aos valores de Ts ao longo do dia, constituem variáveis dependentes (*vide* Tabela II-31); e, as restantes, relativas aos índices espectrais, componentes biofísicas, características fisiográficas e aspetos socioeconómicos, constituem as variáveis explicativas (*vide* Tabela II-32). Os valores do rô de Spearman evidenciam que, no geral, as variáveis exibem uma correlação significativa entre si (*i.e.*, *p*-valor <0,05 ou mesmo 0,01, na maioria dos casos); porém, o poder de explicação (consubstanciado no R^2) é pouco elevado. Os valores de correlação são sempre mais elevados no município de Braga (Tabela IV-25) do que em Guimarães (Tabela IV-26), com exceção da variável altitude.

Tabela IV-25 – Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis selecionadas no município de Braga (continua)

		LAND	MYD_N	MOD_D	MYD_D	MOD_N	NDVI	NDWI	Fr	M_CB	V_CB	URB_P	Alt	Dec	Pop	Edif	Aloj	E_Eres	E_Pres	E_Nres	Vias
LAND	ρ	**1**	0,432**	0,642**	0,690**	0,615**	-0,921**	-0,900**	-0,922**	0,783**	-0,682**	0,846**	0,048*	-0,323**	0,711**	0,635**	0,728**	-0,236**	0,292**	0,071**	0,543**
	R^2	**1**	0,186	0,412	0,476	0,378	0,849	0,810	0,850	0,614	0,465	0,716	0,002	0,104	0,505	0,403	0,531	0,056	0,085	0,005	0,295
MYD_N	ρ	0,432**	**1**	0,506**	0,500**	0,604**	-0,410**	-0,358**	-0,409**	0,345**	-0,326**	0,409**	0,626**	0,009	0,383**	0,273**	0,394**	-0,141**	0,141**	0,039*	0,332**
	R^2	0,186	**1**	0,256	0,250	0,365	0,168	0,128	0,168	0,119	0,106	0,167	0,391	0,000	0,147	0,074	0,155	0,020	0,020	0,002	0,110
MOD_D	ρ	0,642**	0,506**	**1**	0,888**	0,907**	-0,642**	-0,588**	-0,639**	0,553**	-0,442**	0,647**	0,009	-0,269**	0,576**	0,463**	0,592**	-0,245**	0,290**	0,072**	0,404**
	R^2	0,412	0,256	**1**	0,788	0,822	0,412	0,345	0,409	0,305	0,196	0,419	0,000	0,072	0,332	0,214	0,350	0,060	0,084	0,005	0,163
MYD_D	ρ	0,690**	0,500**	0,888**	**1**	0,862**	-0,668**	-0,618**	-0,666**	0,571**	-0,453**	0,664**	-0,039*	-0,317**	0,583**	0,479**	0,600**	-0,244**	0,297**	0,093**	0,432**
	R^2	0,476	0,250	0,788	**1**	0,743	0,447	0,382	0,444	0,327	0,205	0,440	0,001	0,101	0,340	0,230	0,360	0,059	0,088	0,009	0,186
MOD_N	ρ	0,615**	0,604**	0,907**	0,862**	**1**	-0,606**	-0,553**	-0,604**	0,520**	-0,425**	0,614**	0,108**	-0,196**	0,538**	0,425**	0,553**	-0,246**	0,280**	0,080**	0,396**
	R^2	0,378	0,365	0,822	0,743	**1**	0,368	0,305	0,365	0,270	0,181	0,376	0,012	0,038	0,289	0,181	0,306	0,060	0,078	0,006	0,157
NDVI	ρ	-0,921**	-0,410**	-0,642**	-0,668**	-0,606**	**1**	0,953**	1**	-0,825**	0,720**	-0,907**	-0,034	0,295**	-0,751**	-0,684**	-0,764**	0,219**	-0,271**	-0,066**	-0,528**
	R^2	0,849	0,168	0,412	0,447	0,368	**1**	0,909	0,999	0,680	0,519	0,822	0,001	0,087	0,564	0,468	0,583	0,048	0,074	0,004	0,278
NDWI	ρ	-0,900**	-0,358**	-0,588**	-0,618**	-0,553**	0,953**	**1**	0,955**	-0,745**	0,736**	-0,806**	-0,010	0,273**	-0,729**	-0,704**	-0,743**	0,177**	-0,241**	-0,062**	-0,495**
	R^2	0,810	0,128	0,345	0,382	0,305	0,909	**1**	0,913	0,555	0,542	0,650	0,000	0,074	0,532	0,496	0,552	0,031	0,058	0,004	0,245
Fr	ρ	-0,922**	-0,409**	-0,639**	-0,666**	-0,604**	1**	0,955**	**1**	-0,823**	0,730**	-0,905**	-0,036	0,292**	-0,755**	-0,689**	-0,767**	0,216**	-0,269**	-0,064**	-0,529**
	R^2	0,850	0,168	0,409	0,444	0,365	0,999	0,913	**1**	0,678	0,533	0,820	0,001	0,085	0,570	0,475	0,589	0,047	0,073	0,004	0,280
M_CB	ρ	0,783**	0,345**	0,553**	0,571**	0,520**	-0,825**	-0,745**	-0,823**	**1**	-0,542**	0,857**	0,035	-0,230**	0,635**	0,582**	0,645**	-0,182**	0,236**	0,059**	0,503**
	R^2	0,614	0,119	0,305	0,327	0,270	0,680	0,555	0,678	**1**	0,293	0,734	0,001	0,053	0,403	0,339	0,416	0,033	0,056	0,004	0,253
V_CB	ρ	-0,682**	-0,326**	-0,442**	-0,453**	-0,425**	0,720**	0,736**	0,730**	-0,542**	**1**	-0,664**	-0,068**	0,168**	-0,667**	-0,652**	-0,674**	0,107**	-0,131**	0,031	-0,435**
	R^2	0,465	0,106	0,196	0,205	0,181	0,519	0,542	0,533	0,293	**1**	0,441	0,005	0,028	0,445	0,426	0,455	0,011	0,017	0,001	0,189
URB_P	ρ	0,846**	0,409**	0,647**	0,664**	0,614**	-0,907**	-0,806**	-0,905**	0,857**	-0,664**	**1**	0,037	-0,302**	0,722**	0,625**	0,731**	-0,228**	0,280**	0,069**	0,557**
	R^2	0,716	0,167	0,419	0,440	0,376	0,822	0,650	0,820	0,734	0,441	**1**	0,001	0,091	0,521	0,391	0,534	0,052	0,078	0,005	0,310

Para a descrição detalhada das variáveis *vide* Tabela II-31 e Tabela II-32. **A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral); *A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).

Tabela IV-25 – Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis selecionadas no município de Braga (continuação)

		LAND	MYD_N	MOD_D	MYD_D	MOD_N	NDVI	NDWI	Fr	M_CB	V_CB	URB_P	Alt	Dec	Pop	Edif	Aloj	E_Eres	E_Pres	E_Nres	Vias
Alt	ρ	0,048*	0,626**	0,009	-0,039*	0,108**	-0,034	-0,010	-0,036	0,035	-0,068**	0,037	**1**	0,456**	0,030	-0,012	0,031	0,008	-0,056**	-0,002	0,114**
	R^2	0,002	0,391	0,000	0,001	0,012	0,001	0,000	0,001	0,001	0,005	0,001	**1**	0,208	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003	0,000	0,013
Dec	ρ	-0,323**	0,009	-0,269**	-0,317**	-0,196**	0,295**	0,273**	0,292**	-0,230**	0,168**	-0,302**	0,456**	**1**	-0,215**	-0,172**	-0,227**	0,182**	-0,194**	-0,072**	-0,130**
	R^2	0,104	0,000	0,072	0,101	0,038	0,087	0,074	0,085	0,053	0,028	0,091	0,208	**1**	0,046	0,029	0,052	0,033	0,038	0,005	0,017
Pop	ρ	0,711**	0,383**	0,576**	0,583**	0,538**	-0,751**	-0,729**	-0,755**	0,635**	-0,667**	0,722**	0,030	-0,215**	**1**	0,888**	0,981**	-0,094**	0,319**	0,008	0,467**
	R^2	0,505	0,147	0,332	0,340	0,289	0,564	0,532	0,570	0,403	0,445	0,521	0,001	0,046	**1**	0,788	0,961	0,009	0,101	0,000	0,218
Edif	ρ	0,635**	0,273**	0,463**	0,479**	0,425**	-0,684**	-0,704**	-0,689**	0,582**	-0,652**	0,625**	-0,012	-0,172**	0,888**	**1**	0,894**	0,022	0,202**	0,014	0,406**
	R^2	0,403	0,074	0,214	0,230	0,181	0,468	0,496	0,475	0,339	0,426	0,391	0,000	0,029	0,788	**1**	0,800	0,001	0,041	0,000	0,165
Aloj	ρ	0,728**	0,394**	0,592**	0,600**	0,553**	-0,764**	-0,743**	-0,767**	0,645**	-0,674**	0,731**	0,031	-0,227**	0,981**	0,894**	**1**	-0,111**	0,337**	0,024	0,484**
	R^2	0,531	0,155	0,350	0,360	0,306	0,583	0,552	0,589	0,416	0,455	0,534	0,001	0,052	0,961	0,800	**1**	0,012	0,113	0,001	0,234
E_Eres	ρ	-0,236**	-0,141**	-0,245**	-0,244**	-0,246**	0,219**	0,177**	0,216**	-0,182**	0,107**	-0,228**	0,008	0,182**	-0,094**	0,022	-0,111**	**1**	-0,803**	-0,318**	-0,135**
	R^2	0,056	0,020	0,060	0,059	0,060	0,048	0,031	0,047	0,033	0,011	0,052	0,000	0,033	0,009	0,001	0,012	**1**	0,645	0,101	0,018
E_Pres	ρ	0,292**	0,141**	0,290**	0,297**	0,280**	-0,271**	-0,241**	-0,269**	0,236**	-0,131**	0,280**	-0,056**	-0,194**	0,319**	0,202**	0,337**	-0,803**	**1**	0,119**	0,188**
	R^2	0,085	0,020	0,084	0,088	0,078	0,074	0,058	0,073	0,056	0,017	0,078	0,003	0,038	0,101	0,041	0,113	0,645	**1**	0,014	0,035
E_Nres	ρ	0,071**	0,039*	0,072**	0,093**	0,080**	-0,066**	-0,062**	-0,064**	0,059**	0,031	0,069**	-0,002	-0,072**	0,008	0,014	0,024	-0,318**	0,119**	**1**	0,054**
	R^2	0,005	0,002	0,005	0,009	0,006	0,004	0,004	0,004	0,004	0,001	0,005	0,000	0,005	0,000	0,000	0,001	0,101	0,014	**1**	0,003
Vias	ρ	0,543**	0,332**	0,404**	0,432**	0,396**	-0,528**	-0,495**	-0,529**	0,503**	-0,435**	0,557**	0,114**	-0,130**	0,467**	0,406**	0,484**	-0,135**	0,188**	0,054**	**1**
	R^2	0,295	0,110	0,163	0,186	0,157	0,278	0,245	0,280	0,253	0,189	0,310	0,013	0,017	0,218	0,165	0,234	0,018	0,035	0,003	**1**

Para a descrição detalhada das variáveis *vide* Tabela II-31 e Tabela II-32. **A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral); *A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).

Tabela IV-26 – Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis selecionadas no município de Guimarães (continua)

		LAND	MYD_N	MOD_D	MYD_D	MOD_N	NDVI	NDWI	Fr	M_CB	V_CB	URB_P	Alt	Dec	Pop	Edf	Aloj	E_Eres	E_Pres	E_Nres	Vias
LAND	ρ	**1**	-0,158	0,570**	0,467**	0,350**	-0,882	-0,880**	-0,882**	0,738**	-0,593**	0,783**	-0,311**	-0,313**	0,665**	0,660**	0,670**	-0,107**	0,190**	0,042*	0,480**
	R^2	**1**	0,025	0,325	0,218	0,122	0,778	0,774	0,778	0,545	0,352	0,613	0,097	0,098	0,442	0,436	0,450	0,011	0,036	0,002	0,230
MYD_N	ρ	-0,158**	**1**	-0,217**	-0,189**	0,329**	0,093**	0,099**	0,092**	-0,107**	0,002161	-0,100**	0,610**	0,356**	-0,02915	-0,053**	-0,02938	-0,095**	0,074**	0,055**	0,0221
	R^2	0,025	**1**	0,047	0,036	0,108	0,009	0,010	0,008	0,011	0,000	0,010	0,372	0,127	0,001	0,003	0,001	0,009	0,006	0,003	0,000
MOD_D	ρ	0,570**	-0,217**	**1**	0,651**	0,618**	-0,425**	-0,390**	-0,421**	0,367**	-0,225**	0,415**	-0,292**	-0,160**	0,335**	0,308**	0,326**	-0,090**	0,127**	0,011456	0,246**
	R^2	0,325	0,047	**1**	0,423	0,382	0,180	0,152	0,177	0,135	0,051	0,172	0,085	0,026	0,112	0,095	0,106	0,008	0,016	0,000	0,061
MYD_D	ρ	0,467**	-0,189**	0,651**	**1**	0,486**	-0,429**	-0,407**	-0,426**	0,359**	-0,268**	0,415**	-0,095**	-0,151**	0,324**	0,298**	0,339**	-0,121**	0,133**	0,081**	0,285**
	R^2	0,218	0,036	0,423	**1**	0,236	0,184	0,166	0,181	0,129	0,072	0,173	0,009	0,023	0,105	0,089	0,115	0,015	0,018	0,007	0,081
MOD_N	ρ	0,350**	0,329**	0,618**	0,486**	**1**	-0,297**	-0,267**	-0,295**	0,237**	-0,185**	0,282**	0,160**	0,097**	0,257**	0,228**	0,253**	-0,116**	0,127**	0,056**	0,212**
	R^2	0,122	0,108	0,382	0,236	**1**	0,088	0,071	0,087	0,056	0,034	0,080	0,026	0,009	0,066	0,052	0,064	0,014	0,016	0,003	0,045
NDVI	ρ	-0,882**	0,093**	-0,425**	-0,429**	-0,297**	**1**	0,963**	1,000**	-0,810**	0,669**	-0,877**	0,158**	0,229**	-0,757**	-0,748**	-0,761**	0,126**	-0,201**	-0,055**	-0,488**
	R^2	0,778	0,009	0,180	0,184	0,088	**1**	0,927	0,999	0,655	0,448	0,768	0,025	0,052	0,572	0,560	0,579	0,016	0,040	0,003	0,238
NDWI	ρ	-0,880**	0,099**	-0,390**	-0,407**	-0,267**	0,963**	**1**	0,965**	-0,738**	0,691**	-0,777**	0,153**	0,221**	-0,722**	-0,732**	-0,730**	0,096**	-0,176**	-0,061**	-0,460**
	R^2	0,774	0,010	0,152	0,166	0,071	0,927	**1**	0,931	0,545	0,477	0,604	0,023	0,049	0,521	0,535	0,533	0,009	0,031	0,004	0,211
Fr	ρ	-0,882**	0,092**	-0,421**	-0,426**	-0,295**	1,000**	0,965**	**1**	-0,807**	0,679**	-0,873**	0,157**	0,227**	-0,760**	-0,753**	-0,764**	0,124**	-0,199**	-0,053**	-0,489**
	R^2	0,778	0,008	0,177	0,181	0,087	0,999	0,931	**1**	0,652	0,462	0,762	0,025	0,052	0,577	0,567	0,584	0,015	0,040	0,003	0,239
M_CB	ρ	0,738**	-0,107**	0,367**	0,359**	0,237**	-0,810**	-0,738**	-0,807**	**1**	-0,484**	0,851**	-0,177**	-0,206**	0,625**	0,602**	0,629**	-0,101**	0,169**	0,048*	0,473**
	R^2	0,545	0,011	0,135	0,129	0,056	0,655	0,545	0,652	**1**	0,234	0,724	0,031	0,043	0,391	0,363	0,395	0,010	0,029	0,002	0,223
V_CB	ρ	-0,593**	0,002161	-0,225**	-0,268**	-0,185**	0,669**	0,691**	0,679**	-0,484**	**1**	-0,559**	0,065**	0,123**	-0,642**	-0,678**	-0,652**	0,052**	-0,095**	0,021713	-0,382**
	R^2	0,352	0,000	0,051	0,072	0,034	0,448	0,477	0,462	0,234	**1**	0,313	0,004	0,015	0,412	0,460	0,425	0,003	0,009	0,000	0,146
URB_P	ρ	0,783**	-0,100**	0,415**	0,415**	0,282**	-0,877**	-0,777**	-0,873**	0,851**	-0,559**	**1**	-0,194**	-0,245**	0,706**	0,680**	0,710**	-0,143**	0,212**	0,056**	0,509**
	R^2	0,613	0,010	0,172	0,173	0,080	0,768	0,604	0,762	0,724	0,313	**1**	0,038	0,060	0,499	0,462	0,504	0,020	0,045	0,003	0,259

Para a descrição detalhada das variáveis *vide* Tabela II-31 e Tabela II-32. **A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral); *A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).

Tabela IV-26 – Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis selecionadas no município de Guimarães (continuação)

		LAND	MYD_N	MOD_D	MYD_D	MOD_N	NDVI	NDWI	Fr	M_CB	V_CB	URB_P	Alt	Dec	Pop	Edf	Aloj	E_Eres	E_Pres	E_Nres	Vias
Alt	ρ	-0,311**	0,610**	-0,292**	-0,095**	0,160**	0,158**	0,153**	0,157**	-0,177**	0,065**	-0,194**	**1**	0,655**	-0,106**	-0,134**	-0,122**	-0,0239	-0,03289	0,00395	-0,079**
	R^2	0,097	0,372	0,085	0,009	0,026	0,025	0,023	0,025	0,031	0,004	0,038	**1**	0,429	0,011	0,018	0,015	0,001	0,001	0,000	0,006
Dec	ρ	-0,313**	0,356**	-0,160**	-0,151**	0,097**	0,229**	0,221**	0,227**	-0,206**	0,123**	-0,245**	0,655**	**1**	-0,166**	-0,179**	-0,187**	0,067**	-0,099**	-0,066**	-0,106**
	R^2	0,098	0,127	0,026	0,023	0,009	0,052	0,049	0,052	0,043	0,015	0,060	0,429	**1**	0,028	0,032	0,035	0,004	0,010	0,004	0,011
Pop	ρ	0,665**	-0,02915	0,335**	0,324**	0,257**	-0,757**	-0,722**	-0,760**	0,625**	-0,642**	0,706**	-0,106**	-0,166**	**1**	0,946**	0,984**	-0,072**	0,259**	0,026023	0,430**
	R^2	0,442	0,001	0,112	0,105	0,066	0,572	0,521	0,577	0,391	0,412	0,499	0,011	0,028	**1**	0,894	0,969	0,005	0,067	0,001	0,185
Edf	ρ	0,660**	-0,053**	0,308**	0,298**	0,228**	-0,748**	-0,732**	-0,753**	0,602**	-0,678**	0,680**	-0,134**	-0,179**	0,946**	**1**	0,959**	-0,017	0,204**	0,025326	0,416**
	R^2	0,436	0,003	0,095	0,089	0,052	0,560	0,535	0,567	0,363	0,460	0,462	0,018	0,032	0,894	**1**	0,919	0,000	0,042	0,001	0,173
Aloj	ρ	0,670**	-0,02938	0,326**	0,339**	0,253**	-0,761**	-0,730**	-0,764**	0,629**	-0,652**	0,710**	-0,122**	-0,187**	0,984**	0,959**	**1**	-0,073**	0,263**	0,03503	0,444**
	R^2	0,450	0,001	0,106	0,115	0,064	0,579	0,533	0,584	0,395	0,425	0,504	0,015	0,035	0,969	0,919	**1**	0,005	0,069	0,001	0,197
E_Eres	ρ	-0,107**	-0,095**	-0,090**	-0,121**	-0,116**	0,126**	0,096**	0,124**	-0,101**	0,052**	-0,143**	-0,0239	0,067**	-0,072**	-0,017	-0,073**	**1**	-0,821**	-0,319**	-0,094**
	R^2	0,011	0,009	0,008	0,015	0,014	0,016	0,009	0,015	0,010	0,003	0,020	0,001	0,004	0,005	0,000	0,005	**1**	0,674	0,101	0,009
E_Pres	ρ	0,190**	0,074**	0,127**	0,133**	0,127**	-0,201**	-0,176**	-0,199**	0,169**	-0,095**	0,212**	-0,03289	-0,099**	0,259**	0,204**	0,263**	-0,821**	**1**	0,111**	0,161**
	R^2	0,036	0,006	0,016	0,018	0,016	0,040	0,031	0,040	0,029	0,009	0,045	0,001	0,010	0,067	0,042	0,069	0,674	**1**	0,012	0,026
E_Nres	ρ	0,042*	0,055**	0,011456	0,081**	0,056**	-0,055**	-0,061**	-0,053**	0,048*	0,021713	0,056**	0,00395	-0,066**	0,02602	0,025326	0,03503	-0,319**	0,111**	**1**	0,032828
	R^2	0,002	0,003	0,000	0,007	0,003	0,003	0,004	0,003	0,002	0,000	0,003	0,000	0,004	0,001	0,001	0,001	0,101	0,012	**1**	0,001
Vias	ρ	0,480**	0,0221	0,246**	0,285**	0,212**	-0,488**	-0,460**	-0,489**	0,473**	-0,382**	0,509**	-0,079**	-0,106**	0,430**	0,416**	0,444**	-0,094**	0,161**	0,032828	**1**
	R^2	0,230	0,000	0,061	0,081	0,045	0,238	0,211	0,239	0,223	0,146	0,259	0,006	0,011	0,185	0,173	0,197	0,009	0,026	0,001	**1**

Para a descrição detalhada das variáveis *vide* Tabela II-31 e Tabela II-32. **A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral); *A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).

Atendendo à complexidade da matriz de correlação (Tabela IV-25 e Tabela IV-26), decorrente do elevado número de variáveis cruzadas, a análise subsequente segue o esquema sintetizado na Tabela II-35.

(1) <u>Relação entre Ts nos diferentes horários</u>

A relação entre o valor de Ts captado pelo Landsat e o verificado no MODIS nos diferentes horários (*i.e.*, LAND, MYD_N, MOD_D, MYD_D, MOD_N) segue o referido anteriormente, pelo que não carece de nova indagação. Ainda assim, é nota de apontamento o facto de o Landsat (LAND) exibir valores de correlação com os restantes parâmetros (espectrais, biofísicos, fisiográficos e socioeconómicos) mais elevados do que o MODIS (MYD_N, MOD_D, MYD_D, MOD_N), realçando a importância da resolução espacial (Tabela IV-25 e Tabela IV-26).

(2) <u>Relação de Ts com os índices espectrais</u>

A inter-relação de Ts nos diferentes horários (LAND, MYD_N, MOD_D, MYD_D, MOD_N) com os índices espectrais – *i.e.*, NDVI, NDWI e Fr – não será esmiuçada, por já se ter efetuado esta análise anteriormente (Tabela IV-25 e Tabela IV-26).

(3) <u>Relação de Ts com as componentes biofísicas</u>

Os resultados estatísticos da correlação entre Ts nos diferentes horários (LAND, MYD_N, MOD_D, MYD_D, MOD_N) e as componentes biofísicas (M_CB e V_CB, URB_P) encontram-se em consonância com as conclusões obtidas em fases anteriores do trabalho (Tabela IV-25 e Tabela IV-26). Efetivamente, a Ts tende a ser mais elevada nas áreas urbanas do que nos terrenos permeáveis com vegetação, como confirma a relação positiva com a percentagem de tecido urbano (Urb_P), bem como com a componente biofísica que ocupa a maior percentagem de área na subsecção (M_CB) – lembrando que na ordenação adotada as superfícies impermeáveis antrópicas e o industrial/pedreira possuem os valores mais elevados (respetivamente 5 e 6). Sem embargo, em Guimarães durante a madrugada verifica-se a situação oposta, pois são as áreas mais florestadas que exibem os valores de Ts mais elevados (como comprova a correlação negativa entre MYD_N e M_CB e entre MYD_N e URB_P).

A correlação negativa de Ts nos diferentes horários (LAND, MYD_N, MOD_D, MYD_D, MOD_N) e a divisão da subsecção por várias componentes biofísicas (V_CB) evidencia que a temperatura tende a diminuir com o aumento da heterogeneidade da ocupação do solo (Tabela IV-25 e Tabela IV-26). Uma vez mais, exceção feita ao horário da 01:30 em Guimarães que não exibe uma correlação significativa entre as variáveis MYD_N e V_CB (Tabela IV-26).

(4) <u>Relação de Ts com as características fisiográficas</u>

Como já referido, para explicação de Ts nos diferentes horários (LAND, MYD_N, MOD_D, MYD_D, MOD_N), a variável altitude (Alt) detém uma importância diferenciada consoante o município em questão – assumindo maior peso em Guimarães do que em Braga. Importa salientar que, é durante a madrugada que a altitude é mais determinante na explicação de Ts em ambos os municípios, como indicam os elevados valores da correlação positiva entre MYD_N e Alt. Assim sendo, comprova-se estatisticamente que durante a noite as áreas mais quentes se localizam nos locais de maior altitude (em geral florestados, como indicam conclusões precedentes). Em Guimarães, o mesmo parece suceder às 22:30 (MOD_N), mas não em Braga – ainda a que o valor da correlação seja mais baixo em ambos os casos (Tabela IV-25 e Tabela IV-26).

Em Guimarães as duas características fisiográficas analisadas (Alt e Dec) exibem em todos os horários um comportamento da mesma natureza – quer dizer, negativo no caso do LAND, do MOD_D, MYD_D e do MOD_N, e positivo no caso do MYD_N (Tabela IV-26). A análise integrada destes resultados corrobora que durante o dia as áreas mais baixas e mais planas (por norma mais urbanizadas ou agricultadas) exibem valores de Ts mais elevados, contrariamente ao que se verifica à noite. Por sua vez, em Braga a relação entre LAND, MOD_D, MYD_D, MOD_N com o declive (Dec) é negativa (como sucede em Guimarães) e positiva com a altitude (menos no caso do MYD_D, reforçando a importância do arrefecimento da vegetação às 13:30). Todavia, as correlações são muito baixas (com exceção ao MYD_N), sendo mesmo não significativas – *i.e.* *p*-valor >0.05 – em alguns casos (Tabela IV-25).

(5) <u>Relação de Ts com os aspetos socioeconómicos</u>

A relação de Ts com os aspetos socioeconómicos demonstra que os dois municípios exibem um comportamento similar. Ainda assim, como já referido, as correlações são mais elevadas em Braga

do que em Guimarães (e no Landsat por comparação com as imagens MODIS). Esta situação decorrerá do facto de as subsecções bracarenses exibirem um comportamento mais homogéneo no seu interior, ao passo que em Guimarães, por via da urbanização difusa mais pronunciada, se verifica uma maior miscelânea da ocupação do solo nas subsecções.

A Ts detém, por regra, uma correlação positiva com os aspetos socioeconómicos selecionados – com particular destaque para a densidade populacional (Pop), do edificado (Edf), dos alojamentos (Aloj) e da rede viária (vias). Estes resultados indicam que as áreas mais artificializadas tendem a exibir as Ts mais elevadas, como amplamente constatado. Conquanto, importa realçar uma vez mais que, tal não sucede durante a madrugada em Guimarães, como bem pateiam as correlações negativas entre a Ts verificada à 01:30 (MYD_N) e diversos parâmetros socioeconómicos (Pop, Aloj, Edf, E_Eres). Em Braga, apesar de não se verificar a inversão da relação entre as variáveis, os valores de correlação são moderadamente inferiores (Tabela IV-25 e Tabela IV-26). Estas ilações indicam que os aspetos socioeconómicos assumem menor importância na modelação de Ts durante a noite do que de dia, contrariamente ao que sucede com as variáveis fisiográficas.

Ademais, note-se que os edifícios exclusivamente residenciais (E_Eres) apresentarem para ambos os municípios, e em todos os horários, uma relação inversa com Ts (LAND, MYD_N, MOD_D, MYD_D, MOD_N). Quer isto dizer, quanto maior o predomínio de edifícios exclusivamente residenciais numa subsecção, menor tende a ser a Ts; porém, para se entender verdadeiramente a aceção desta conclusão é necessário cruzar esta informação com outros elementos da matriz, pelo que mais à frente este assunto é detalhado.

(6) <u>Relação entre os índices espectrais</u>

A respeito da relação entre os índices espectrais, realçar apenas que a correlação entre o NDVI e a fração de vegetação (Fr) é perfeita (*i.e.*, igual a 1), o que indica as variáveis são redundantes (Tabela IV-25 e Tabela IV-26).

(7) Relação dos índices espectrais com as componentes biofísicas

Focando na relação dos índices espectrais (NDVI, NDWI e Fr) com a variação das componentes biofísicas (V_CB) constata-se que estas exibem uma correlação positiva. Tal, indica que as subsecções mais heterogéneas (*i.e.*, com maior número de componentes biofísicas) detêm mais vegetação e humidade do que aquelas que apresentam uma cobertura do solo mais homogénea – compostas essencialmente por tecido urbano, como evidencia a correlação positiva entre V_CB e Urb_P. Na origem desta situação poderá estar o facto de as subseções de características marcadamente urbanas deterem uma área consideravelmente mais reduzida do que as subsecções não urbanas – que promove uma maior uniformidade das primeiras por comparação com as segundas. Em conjunto, estas constatações suportam/explicam a correlação negativa entre a V_CB e a temperatura (Land, MYD_N, MOD_D, MYD_D, MOD_N), evidenciada anteriormente (Tabela IV-25 e Tabela IV-26).

(8) Relação dos índices espectrais com as características fisiográficas

Relativamente às características fisiográficas, constata-se que em Guimarães os valores mais elevados de vegetação (NDVI e Fr) e de humidade (NDWI) se encontram associados quer aos locais mais elevados (Alt), quer aos mais declivosos (Dec); ao passo que em Braga esta situação apenas é transversal aos declives (Dec), como explanado anteriormente (Tabela IV-25 e Tabela IV-26).

(9) Relação dos índices espectrais com os aspetos socioeconómicos

No cruzamento dos índices espectrais (NDVI, NDWI e Fr) com os aspetos socioeconómicos (Pop, Aloj, Edf, E_Pres, N_Res, Vias) ressalta a correlação negativa em ambos os municípios (Tabela IV-25 e Tabela IV-26), evidenciando que quanto maior a apropriação antrópica do território – seja na construção de edifícios ou de vias – maiores são perdas de vegetação e maior a Ts (salvaguardando a exceção de Guimarães durante a madrugada). Com efeito, é lícito afirmar que a urbanização promove uma deterioração evidente do ambiente urbano, pois não só leva à perda de vegetação, com também potencia o aumento da carga térmica. Sem embargo, importa frisar que nas subsecções com predomínio de edifícios exclusivamente residenciais (E_Eres) a situação descrita inverte-se, pois nestes locais – que se poderá assumir como sendo a urbanização mais difusa (e dispersa no território) – persistem valores elevados de vegetação (*i.e.*, de NDVI, NDWI e

Fr). Esta situação contribui para uma atenuação dos aumentos de Ts, como a análise acima evidenciava (Tabela IV-25 e Tabela IV-26).

(10) Relação entre componentes biofísicas

As subsecções classificadas maioritariamente como industrial/pedreiras ou superfícies impermeáveis antrópicas (*i.e.,* M_CB e URB_P) tendem a apresentar menor heterogeneidade da cobertura do solo (*i.e.,* V_CB) do que as classificadas como vegetação arbórea e/ou densa (Tabela IV-25 e Tabela IV-26), como acima mencionado.

(11) Relação das componentes biofísicas com as características fisiográficas

A correlação negativa das variáveis M_CB (considerando a ordenação das componentes biofísicas adotada) e URB_P com as características fisiográficas (Alt e Dec) põe em evidencia – uma vez mais – que as áreas urbanas se tendem a localizar nas áreas mais baixas e planas, enquanto os topos e as vertentes mais declivosas permanecem florestadas. No caso específico de Braga, a ausência de correlação significativa com a topografia (*i.e.*, *p*-valor >0,05) indicia que a construção terá subido consideravelmente em altitude, sendo que apenas as vertentes mais declivosas permanecem salvaguardadas da urbanidade. Por conseguinte, são as subsecções mais elevadas e declivosas (ocupadas com vegetação) que apresentam uma maior heterogeneidade da ocupação do solo, como evidenciam a correlações positivas entre V_CB e Alt (menos em Braga) e entre V_CB e Dec (Tabela IV-25 e Tabela IV-26).

(12) Relação das componentes biofísicas com os aspetos socioeconómicos

A correlação positiva das componentes biofísicas com os indicadores socioeconómicos valida o esquema de classificação da cobertura/uso do solo implementado, que suporta todo o trabalho empírico realizado. A exceção verificada nos edifícios exclusivamente residenciais – que, tal como referido anteriormente, se pode inferir como sendo as construções mais dispersas – poder-se-á dever no caso da variável M_CB ao facto de o valor mais elevado corresponder às áreas industriais/pedreiras e não a áreas residenciais. Já na percentagem de tecido urbano (URB_P) a correlação negativa indica que as subseções com mais edifícios exclusivamente residenciais

exibem valores baixos de impermeabilização do solo – o que é claramente entendível dada correlação positiva com os indicadores espectrais (e, por sua vez, negativa com a Ts).

A correlação negativa entre a variação das componentes biofísicas dentro de uma subsecção (V_CB) com os indicadores socioeconómicos – *i.e.*, Pop, Edf, Aloj, E_Pres (Tabela IV-25 e Tabela IV-26) – corrobora que as subsecções mais urbanizadas são mais homogéneas do que as mantêm as características mais naturais.

(13) <u>Relação entre características fisiográficas</u>

Centrando a atenção nas características fisiográficas – *i.e.*, altitude (Alt) e declive (Dec) – constata-se que as duas variáveis exibem uma correlação positiva, indicando que nas subsecções mais elevadas o pendor da vertente é mais acentuado do que nos locais mais baixos (por norma, mais planos). Note-se que, esta relação detém maios relevância em Guimarães, o que poderá explicar em parte a menor importância da altitude (Alt) em Braga (Tabela IV-25 e Tabela IV-26).

(14) <u>Relação das características fisiográficas com os aspetos socioeconómicos</u>

Em Guimarães, a correlação negativa entre a altitude (Alt) e os aspetos socioeconómicos (Pop, Edf, Aloj, E_Eres, E_Pres e Vias) demonstra que a topografia constitui uma condicionante importante da urbanização, diferentemente do que parece suceder em Braga (Tabela IV-25 e Tabela IV-26). Por sua vez, o declive constitui um claro entrave ao progresso da urbanização em ambos os municípios, como patenteia a correlação negativa entre os declives (Dec) e os aspetos socioeconómicos (Pop, Edf, Aloj, E_Pres, N_Res e Vias). A esta situação excetuam-se os edifícios exclusivamente residenciais (E_Eres), que não parecem ser afetados pelo incremento do pendor das vertentes (Tabela IV-25 e Tabela IV-26).

(14) <u>Relação entre aspetos socioeconómicos</u>

O último ponto da matriz de análise desenvolvida (*vide* Tabela II-35) centra-se na relação entre os diversos aspetos socioeconómicos selecionados. Desde logo, sobressai a correlação positiva entre densidade de população (Pop), edifícios (Edf) e alojamentos (Aloj) – assim, como seria de esperar, as subseções com mais edifícios, detêm um maior número de alojamentos e, por conseguinte,

mais população. Esta relação é mais linear em Guimarães do que em Braga, como comprovam os coeficientes de correlação mais elevados (Tabela IV-25 e Tabela IV-26).

O cruzamento da tipologia do edificado – *i.e.*, exclusivamente residencial (E_Eres), principalmente Residencial (E_Pres) e não residencial (N_Res) – com a densidade populacional (Pop), de edificado (Edf) e de alojamentos (Aloj) suporta as seguintes asserções, comuns a Braga e a Guimarães : (i) as subsecções com predomínio de edifícios exclusivamente residenciais detêm uma densidade populacional mais baixa, uma vez que correspondem essencialmente habitações unifamiliares (como se poderá inferir pela correlação negativa que exibe com a densidade de alojamentos); (ii) os edifícios principalmente residenciais, por sua vez, localizam-se nas subsecções com mais edifícios, alojamentos e população (patenteado nas correlações positivas entre as variáveis) – quer isto dizer, que correspondem aos edifícios plurifamiliares (de vários andares), onde os rés-do-chão é, por norma, ocupado pelo comércio, serviços ou restauração; e, (iii) os edifícios não residenciais não exibem uma correlação significativa como nenhuma destas variáveis (Tabela IV-25 e Tabela IV-26).

Ademais, os edifícios exclusivamente residenciais tendem a localizar-se nas subseções onde se verifica menor número de edifícios principalmente residenciais e não residenciais – como comprova a relação negativa entre E_Eres e E_Pres e entre E_Eres e N_Res. Por seu turno, os edifícios principalmente residenciais e os não residenciais parecem ocorrer de modo associado – como revela a correção positiva das variáveis E_Pres e N_Res (Tabela IV-25 e Tabela IV-26).

Por fim, a rede viária (Vias) detém uma correlação positiva com os aspetos socioeconómicos selecionados (Pop, Edf, Aloj, E_Pres, N_Res) – comprovando que constitui a ossatura do processo de urbanização. Sem embargo, os edifícios exclusivamente residenciais (E_Eres) constituem a única exceção a esta situação, evidenciando que estes se localizam em lugares menos artificializados e mais frescos – como já demonstravam os valores mais elevados de NDVI, NDWI e de Fr ou a correlação negativa com a percentagem de tecido urbano (URB_P). Ao contrário, os edifícios principalmente residenciais (E_Pres) e os não residenciais (N_Res) exibem valores de Ts mais elevados, dado que se localizam em subseções mais impermeabilizadas (URB_P) e com reduzida vegetação (Tabela IV-25 e Tabela IV-26).

IV – 5.2. Modelo Explicativo Municipal

A característica mais notória do ambiente térmico urbano é a sua acentuada variação espaciotemporal perante paisagens muito heterogéneas (Sun *et al.,* 2018) – como sucede nos municípios de Braga e de Guimarães, decorrente do secular processo de urbanização difusa. Neste sentido, importa não só conhecer a relação entre a Ts e as mais diversas variáveis que caracterizam o território (*e.g.*, espectrais, fisiográficas, socioeconómicas), como também determinar (e, quantificar) quais as características que melhor explicam a sua variação. Este processo de *data mining* foi efetuado com recurso à ferramenta *Exploratory Regression* (do ArcGIS), que permitiu encontrar o melhor modelo a aplicar na regressão linear – que no caso em concreto constitui a *Ordinary Least Squares* (OLS).

A despeito do processo efetuado, clarificar desde já que nenhum dos modelos testado na OLS cumpre todos os requisitos necessários à confiabilidade do modelo, pelo que este nunca seria fiável na predição de valores de Ts. Como escrutinado anteriormente, o principal problema dos modelos municipais explicativos de Ts prende-se com a ausência de normalidade e a autocorrelação espacial dos resíduos (*i.e.*, a diferença entre os valores observados e os valores previstos). Esta constatação levou à opção por um modelo explicativo local desenvolvido a partir da *Geographical Weighted Regression* (GWR), em detrimento do modelo global (da OLS). Ainda assim, e considerando que o modelo GWR, segue as mesmas variáveis selecionadas na OLS, importa tecer algumas considerações acerca dos melhores modelos (segundo o critério de AICc) que explicam a variação de Ts nos municípios de Braga e de Guimarães, durante o período diurno (*i.e.*, LAND) e noturno (*i.e.*, MYD_N).

Não obstante as similaridades climáticas e topográficas de Braga e de Guimarães, o conjunto de variáveis selecionadas para a explicação de Ts difere nos dois municípios, bem como em função do período do dia (*vide* Tabela II-40). Estes resultados, em conformidade com outros estudos (*e.g.*, Huang *et al.,* 2017, Zhao *et al.,* 2018), advertem para a importância de cruzar diferentes realidades espaciais (*e.g.*, localização geográfica, características climáticas ou modelos territoriais) e temporais (*i.e.*, período do dia, estação do ano) num entendimento mais cabal do comportamento do ambiente térmico superficial.

Os índices espectrais – embora mais especificamente o NDWI – assumem claro destaque na explicação de Ts perante radiação solar direta, diferentemente do que sucede à noite (*vide* Tabela

II-40). No caso da variação de Ts meio da manhã, captada pelo satélite Landsat (*i.e.*, os modelos LAND Braga e LAND Guimarães), a opção pelo NDWI, em detrimento do NDVI (que apresenta uma correlação mais elevada com Ts em ambos os municípios) significa que a humidade da vegetação – captada pelo NDWI, segundo Sharma *et al.* (2013a) – detém maior poder de explicação de Ts neste horário do que quantidade *per si* – que o NDVI traduz (Rouse *et al.*, 1973). Como seria de esperar, o valor do coeficiente deste índice é negativo em ambos os municípios, ainda que seja consideravelmente mais elevado em Guimarães do que em Braga – quer isto dizer, no território vimaranense a presença de vegetação húmida será mais eficaz na mitigação da ilha de calor de superfície do que em Braga.

Durante o dia, as componentes biofísicas parecem não contribuir para a explicação de Ts em Guimarães, diferentemente do que sucede em Braga, onde o incremento de tecido urbano na subsecção (URB_P), e, particularmente de áreas industriais/pedreiras (M_CB), potencia a carga térmica. Por sua vez, à noite a percentagem de tecido urbano continua a contribuir para o aumento de Ts em Braga, porém ligeiramente menos que de dia. Em Guimarães sobressai o coeficiente negativo da variável da componente biofísica maioritária (M_CB), que indica que as áreas com vegetação contribuem para o aumento noturno de Ts (*vide* Tabela II-40).

As características fisiográficas – *i.e.*, a altitude e o declive – parecem constituir bons previsores de Ts em Braga e em Guimarães, ainda que a sua importância varie em função do município e do horário. Durante o dia, sobressai o contributo negativo do declive (Dec), por se encontrar associado a áreas com mais vegetação, sendo o valor do coeficiente mais elevado em Guimarães. No caso de Braga esta relação, transversal ao período noturno, enfraquece (*vide* Tabela II-40). A altitude, que no período diurno não parece contribuir para a explicação de Ts, de noite exibe uma relação positiva com Ts de igual importância nos dois municípios (*vide* Tabela II-40). Esta constatação encontra-se em consonância com os resultados obtidos anteriormente neste estudo.

Ao nível socioeconómico, no período diurno é a tipologia de edificado que assume destaque na explicação de Ts. Em Braga reforça-se a importância da verticalização do edificado (E_Pres) no aumento da carga térmica, enquanto em Guimarães sua extensão no território (E_Eres) parece promover uma diminuição desta, como alertavam as ilações retiradas com a correlação de Spearman (*c.f.*, Tabela II-40, Tabela IV-25 e Tabela IV-26). Durante a madrugada verifica-se uma troca na tipologia do edificado que explica a variação de Ts, ainda que o sentido da relação se mantenha o mesmo. Assim, em Braga o aumento de edifícios exclusivamente residenciais

(E_Eres) encontra-se relacionado com o decréscimo de Ts à 01:30, enquanto em Guimarães os edifícios predominantemente residenciais (E_Pres) promovem um incremento da carga térmica (*vide* Tabela II-40).

De entre as três variáveis de densidade calculadas – *i.e.*, população (Pop), edificado (Edf) e alojamentos (Aloj) – a densidade de alojamento assume-se como melhor previsor de Ts – embora somente no período noturno. O efeito positivo da densidade de construção é mais evidente em Braga do que em Guimarães, contrariando neste caso observado na correlação de Spearman (*c.f.*, Tabela II-40 e Tabela IV-26). Este efeito positivo dos alojamentos consubstancia (de modo indireto) a libertação de calor de origem antrópica para a atmosfera, que durante o dia – por causa da radiação solar – se encontrará obliterado.

Por último, em Guimarães a rede viária (Vias) contribui também para a explicação da variação de Ts diurna (LAND Guimarães) e noturna (MYD_N Guimarães), corroborando – do ponto de vista estatístico – a importância das estradas para o entendimento do modelo territorial que decorre da urbanização difusa. Este efeito, mais notório de dia, do que de noite, é sempre positivo. (*vide* Tabela II-40).

Em suma, a análise efetuada importa, não pelo poder explicativo de Ts a nível global (que no caso específico corresponde à escala do município), mas sim pelos comportamentos locais que se distanciem desta situação.

IV – 5.3. Modelo Explicativo Local

Os coeficientes analisados anteriormente refletem o comportamento integrado dos municípios de Braga e de Guimarães, pois a OLS assume que a associação entre Ts (variável dependente) e as variáveis explicativas é constante ao longo de todo o território. Com efeito, os municípios são tratados de modo holístico, pelo que as variações intra-concelhias são inevitavelmente negligenciadas nesta abordagem. Ademais, como mencionado anteriormente, a Ts (à semelhança outras variáveis ambientais, e diferentemente dos processos físicos) exibe um comportamento espacial não estacionário, pois os fatores forçadores – naturais ou antrópicos – variam significativamente no espaço (Liu *et al.*, 2019). Esta situação compele à adoção de métodos estatísticos que acautelem a variação espacial e captem a heterogeneidade associada à

temperatura de superfície – *i.e.*, métodos de regressão local, como é o caso da *Geographically Weighted Regression* (GWR).

Os coeficientes de regressão locais possibilitam um conhecimento ímpar acerca do comportamento térmico do território, fundamental para a definição de políticas de planeamento, mas sobretudo de desenho urbano, em consonância com as especificidades locais. Por conseguinte, esta abordagem não só fomenta o conhecimento do comportamento térmico urbano, como também possibilita uma maior integração do conhecimento científico com as práticas de planeamento territorial, particularmente necessárias face ao atual contexto de alterações climáticas.

IV – 5.3.1. Avaliação da *Performance* do Modelo

As variáveis explicativas de Ts utilizadas na OLS constituem as variáveis independentes selecionadas na GWR – pelo que se torna possível a comparação dos resultados obtidos com as duas técnicas de regressão.

Ajuste Global

A comparação do valor do R^2, do R^2 ajustado e do AICc da GWR com os apresentados pela OLS indica que este método detém um melhor ajuste – *i.e.*, R^2 e R^2 ajustado mais elevado e AICc mais baixo (ESRI, 2019d). Em concreto, na GWR os valores do R^2 ajustado (que constitui um indicador mais fiável do que o R^2 simples) são mais elevados do que o alcançados com a OLS, sendo as melhorias mais evidentes em Guimarães, por comparação a Braga, e de noite (*i.e.*, no MODIS) por contraponto ao dia (*i.e.*, no Landsat). O modelo explicativo de Ts diurna em Braga apenas regista uma melhoria de 0,02 (passa de 0,82 na OLS para 0,84 na GWR) enquanto na Ts noturna em Guimarães o aperfeiçoamento é de 0,35 (pois de 0,42 passa para 0,77). Os valores de AICc corroboram precisamente estas constatações (Tabela IV-27), verificando-se uma melhoria muitíssimo superior ao limiar mínimo (*i.e.*, 3) a partir do qual se considera que ocorre um aperfeiçoamento no ajuste do modelo.

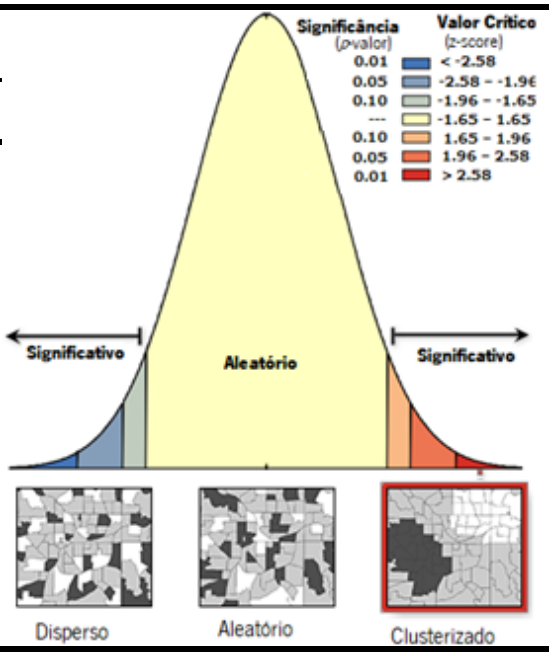
Tabela IV-27 – Comparação da *performance* dos modelos da OLS e da GWR

Parâmetro	OLS				GWR			
	Dia (Landsat)		Noite (MODIS)		Dia (Landsat)		Noite (MODIS)	
	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães
R^2	0,82	0,80	0,59	0,42	0,84	0,89	0,80	0,79
R^2 Ajustado	0,82	0,80	0,59	0,417	0,84	0,88	0,80	0,77
AICc	10182,06	9534,69	6229	5897,18	9869,85	8187,98	4354,93	3505,87

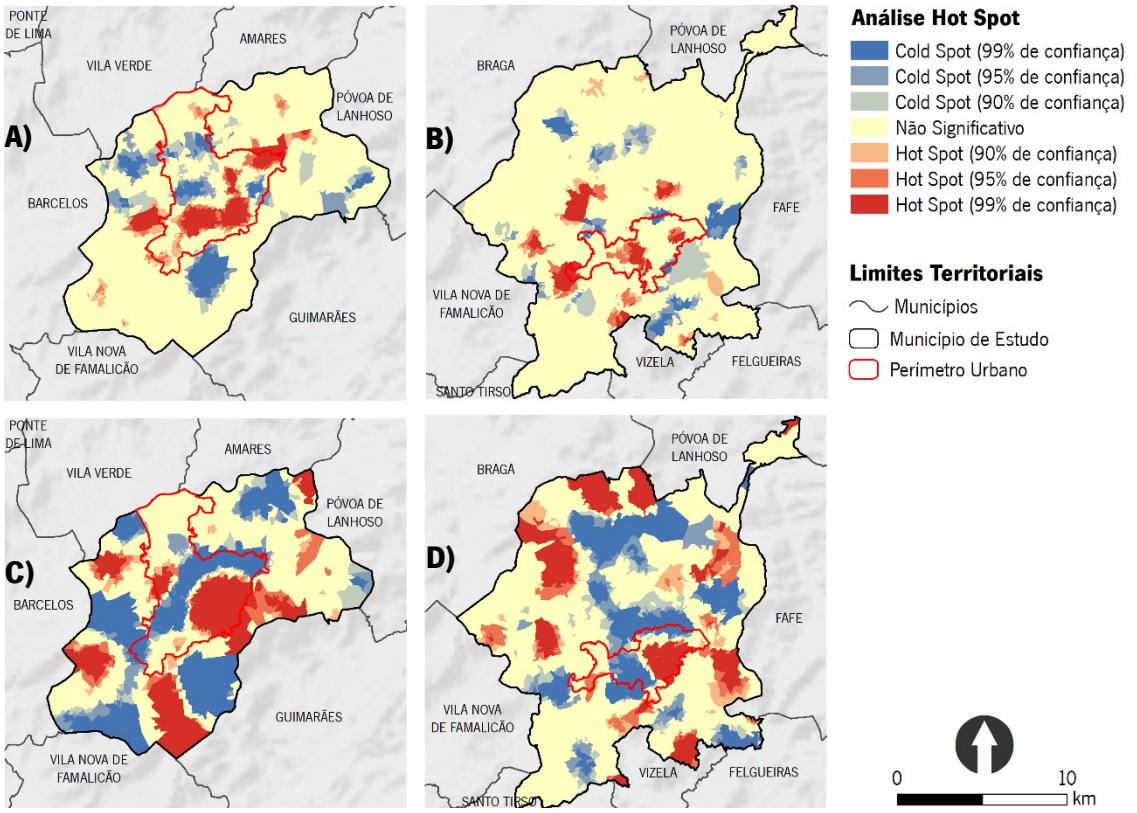
Os resíduos do modelo da GWR continuam a evidenciar sinais de autocorrelação espacial (Tabela IV-28), porém, decorrente da melhoria no ajuste dos modelos (Tabela IV-27), verifica-se uma descida significativa do valor do índice Moran´s comparativamente ao verificado na OLS (*c.f.*, Tabela II-42 e Tabela IV-28).

Tabela IV-28 – Resultados da autocorrelação espacial dos resíduos dos modelos GWR

Parâmetro	Dia (Landsat)		Noite (MODIS)	
	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães
Índice de Moran´s	0,189	0,171	0,664	0,524
z-score	32,631	29,254	111,298	89,341
***p*-valor**	0,000	0,000	0,000	0,000



A diminuição da autocorrelação espacial dos resíduos é igualmente bem percetível em termos espaciais, pois aumenta a área considerada não significativa e diminuem as áreas abrangidas pelos *hot* ou *coldspots* (*c.f.*, Figura II-33 e Figura IV-61). A existência de autocorrelação espacial nos resíduos dos modelos da GWR foi também reportada noutros estudos similares (*e.g.*, Zhao *et al.,* 2018).



A) Ts diurna em Braga; B – Ts diurna em Guimarães; C – Ts noturna em Braga; D – Ts noturna em Guimarães.

Figura IV-61 – Análise *Hot Spot* dos resíduos dos modelos da GWR

Em conjunto os resultados obtidos nos municípios de Braga e de Guimarães reforçam os benefícios de mover o modelo da OLS para a GWR, conforme o relatado na generalidade dos estudos que efetuaram esta comparação (*e.g.*, Su *et al.*, 2012; Huang *et al.,* 2017; Zhao *et al.,* 2018).

Ajuste Local

Para além dos indicadores de avaliação do ajustamento global, o relatório de execução da GWR no ArcGIS fornece informação acerca da performance local do modelo. Um destes diagnósticos, designado '*Condition Number*', prende-se com a avaliação da multicolinariedade local. Nos quatro modelos analisados este indicador nunca alcança valores superiores a 30 – limiar a partir do qual o modelo se torna instável e irrealista (ESRI, 2019d).

O R^2 local traduz espacialmente a informação que o R^2 fornece de modo agregado para o conjunto do território. Nos municípios em estudo este indicador varia significativamente, pois em Braga oscila entre 0,58 e os 0,90 na Ts diurna (Landsat), e entre os 0,11 e os 0,82 na Ts noturna (MODIS), ao passo que em Guimarães varia entre os 0,58 e os 0,90 durante o dia (Landsat), e

entre os 0 e os 0,82 de noite (MODIS). A representação espacial do R^2 coloca em evidência que é claramente mais significativa a porção de território em que o valor deste indicador é inferior ao do conjunto do modelo GWR, do que aquela em que é superior (Figura IV-62-1, Figura IV-63-1, Figura IV-64-1, Figura IV-65-1). Esta situação é tanto mais evidente quanto mais baixo é o valor do R^2 global do modelo (*vide* Tabela IV-27). Estes resultados reforçam o perigo de utilizar localmente os parâmetros estimados pelos modelos de regressão global (Su *et al.*, 2012).

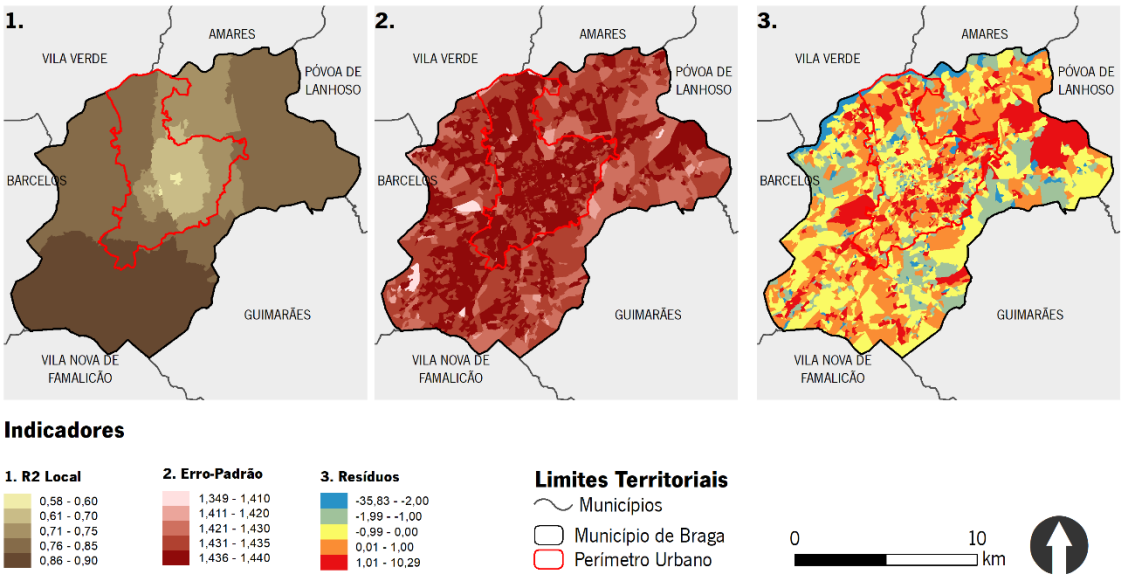


Figura IV-62 – Indicadores do ajuste local do modelo de Ts diurna em Braga

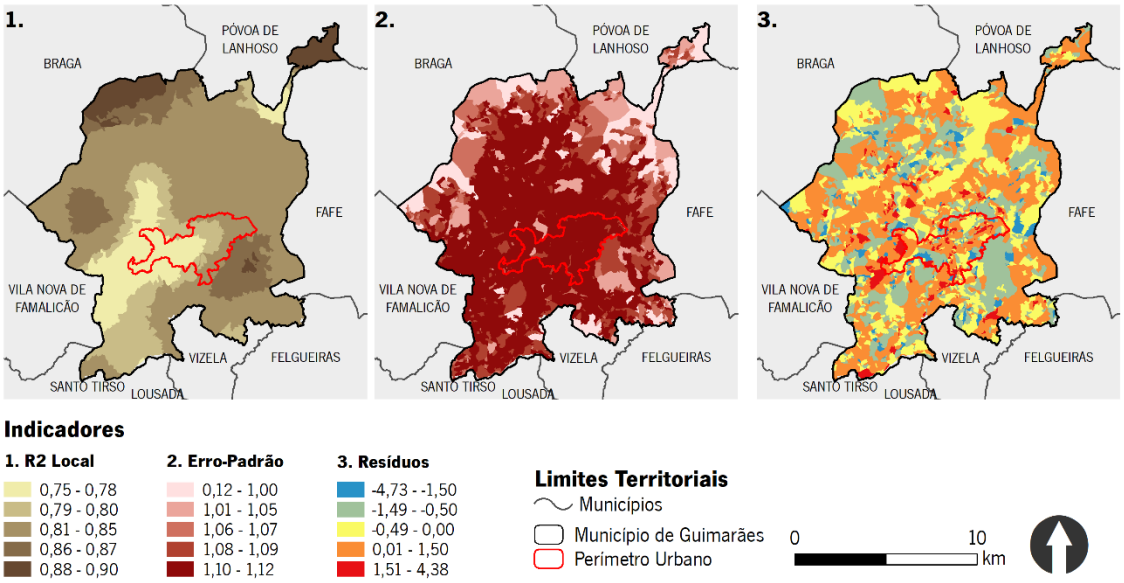


Figura IV-63 – Indicadores do ajuste local do modelo de Ts diurna em Guimarães

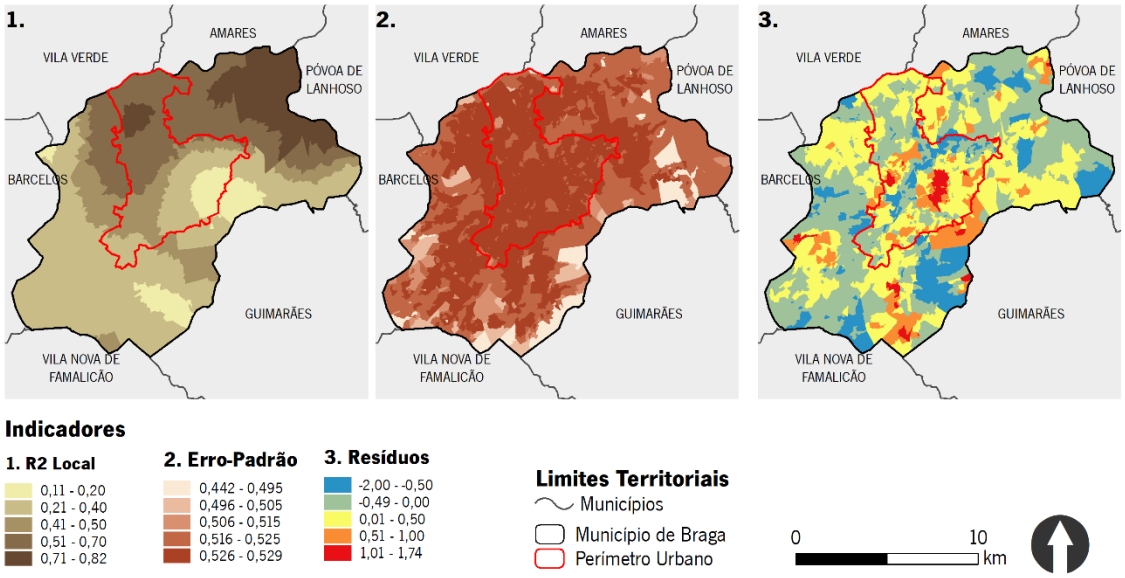


Figura IV-64 – Indicadores do ajuste local do modelo de Ts noturna em Braga

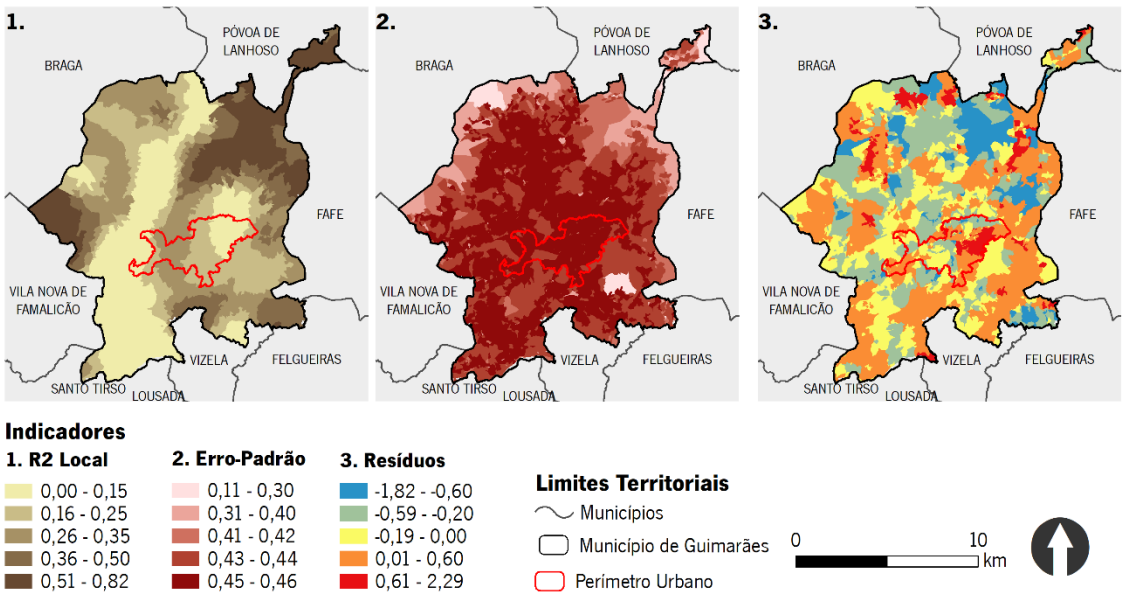


Figura IV-65 – Indicadores do ajuste local do modelo de Ts noturna em Guimarães

O erro-padrão traduz a fiabilidade dos coeficientes estimados, sendo que valores mais elevados indicam problemas com a multicolinariedade local. O padrão espacial, comum aos quatro modelos explicativos, demonstra que os erros mais elevados se encontram associados às subsecções mais urbanizadas dos municípios de Braga e de Guimarães (Figura IV-62-2, Figura IV-63-2, Figura IV-64-2, Figura IV-65-2).

Os resíduos representam a diferença entre o valor previsto pelo modelo e o valor observado (*i.e.*, o valor real). A distribuição espacial dos resíduos evidencia que no período diurno (Ts captada pelo

Landsat) os valores sobrestimados de temperatura se concentram no interior do perímetro urbano ou nas suas proximidades, enquanto os valores subestimados são extrínsecos a esta delimitação administrativa, com exceção do setor norte do perímetro urbano de Braga (Figura IV-62-3, Figura IV-63-3). Estas constatações tornam-se mais expressivas quando se tem por referência a análise *Hot Spot* apresentada anteriormente (*vide* Figura IV-61). Na variação noturna de Ts (captada pelo MODIS-Aqua) a distribuição dos valores sobre e subestimados segue uma distribuição mais uniforme no território concelhio de Braga e de Guimarães (Figura IV-64-3, Figura IV-65-3).

A acentuada variação espacial dos indicadores apresentados preconiza – de modo claro – a heterogeneidade existente na relação entre Ts e as variáveis independentes selecionadas em cada modelo. Neste cômputo, é de prever que o coeficiente associado a cada variável apresente também uma grande diversidade de valores.

IV – 5.3.2. Padrão Espacial dos Coeficientes Locais

O principal interesse desta investigação, não se prende com a previsão dos valores de Ts, mas antes com o entendimento das características da superfície terrestre que explicam a sua variação espacial nos municípios de Braga e Guimarães, no período diurno e noturno. Para tal, analisa-se a geografia dos coeficientes locais associados às variáveis selecionadas em cada modelo explicativo.

A oscilação dos coeficientes locais, bem como o seu afastamento em relação ao valor previsto pela OLS (*vide* Tabela II-40), revela – de modo explícito – que a relação de Ts com os fatores explicativos não é espacialmente estacionária (Figura IV-66, Figura IV-67, Figura IV-68, Figura IV-69). Em concreto, a variação espacial é mais evidente no MODIS, por comparação com o Landsat, logo, mais de noite do que de dia; e, mais notória em Guimarães do que em Braga – em conformidade com as particularidades do modelo territorial inerente a cada município.

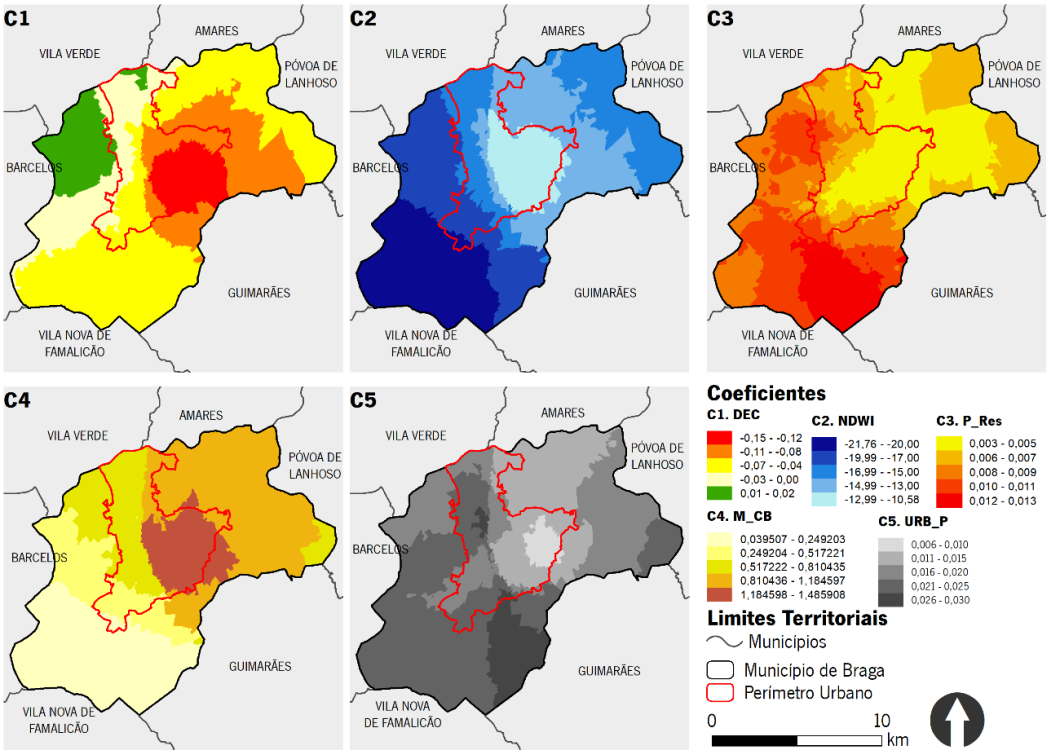


Figura IV-66 – Coeficientes locais das variáveis explicativas do modelo de Ts diurna em Braga

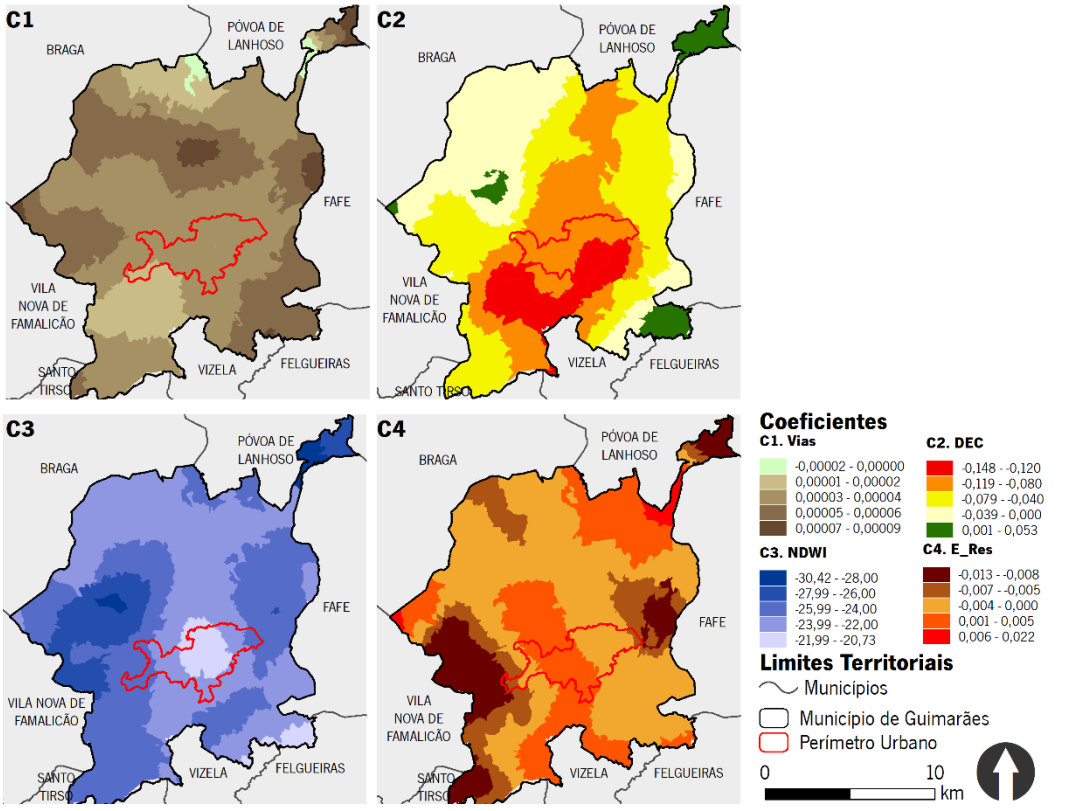


Figura IV-67 – Coeficientes locais das variáveis explicativas do modelo de Ts diurna em Guimarães

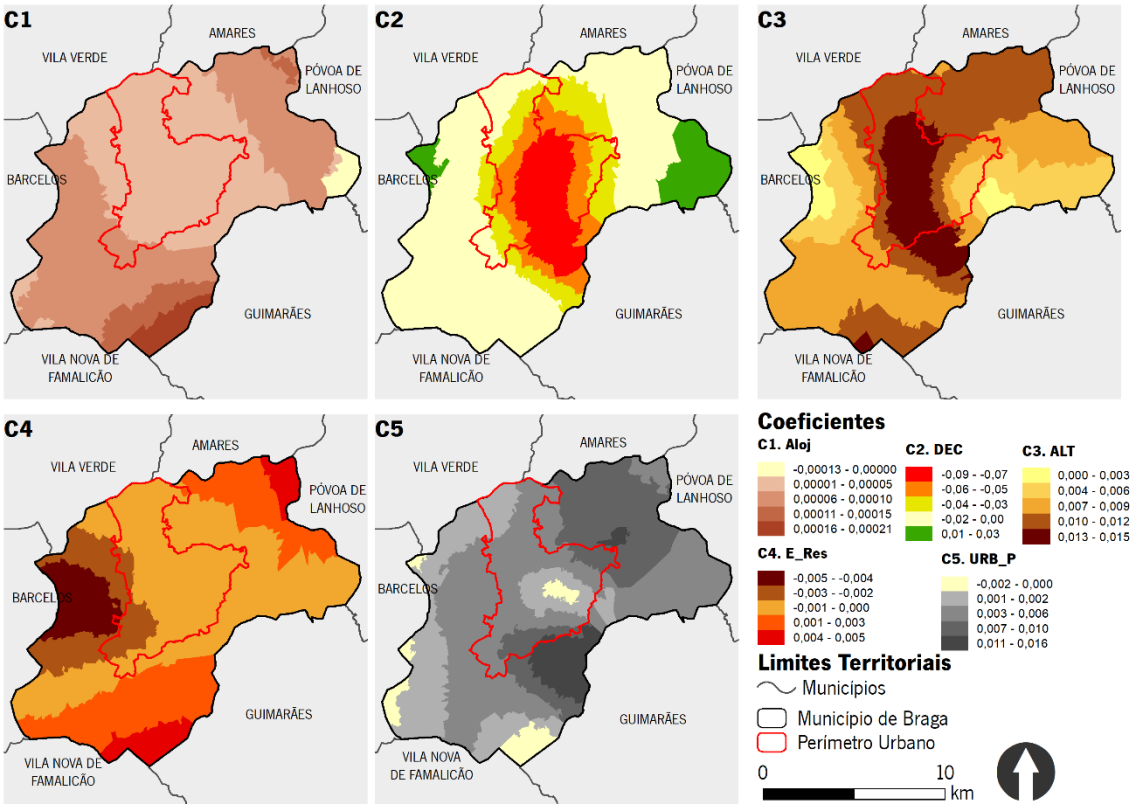


Figura IV-68 – Coeficientes locais das variáveis explicativas do modelo de Ts noturna em Braga

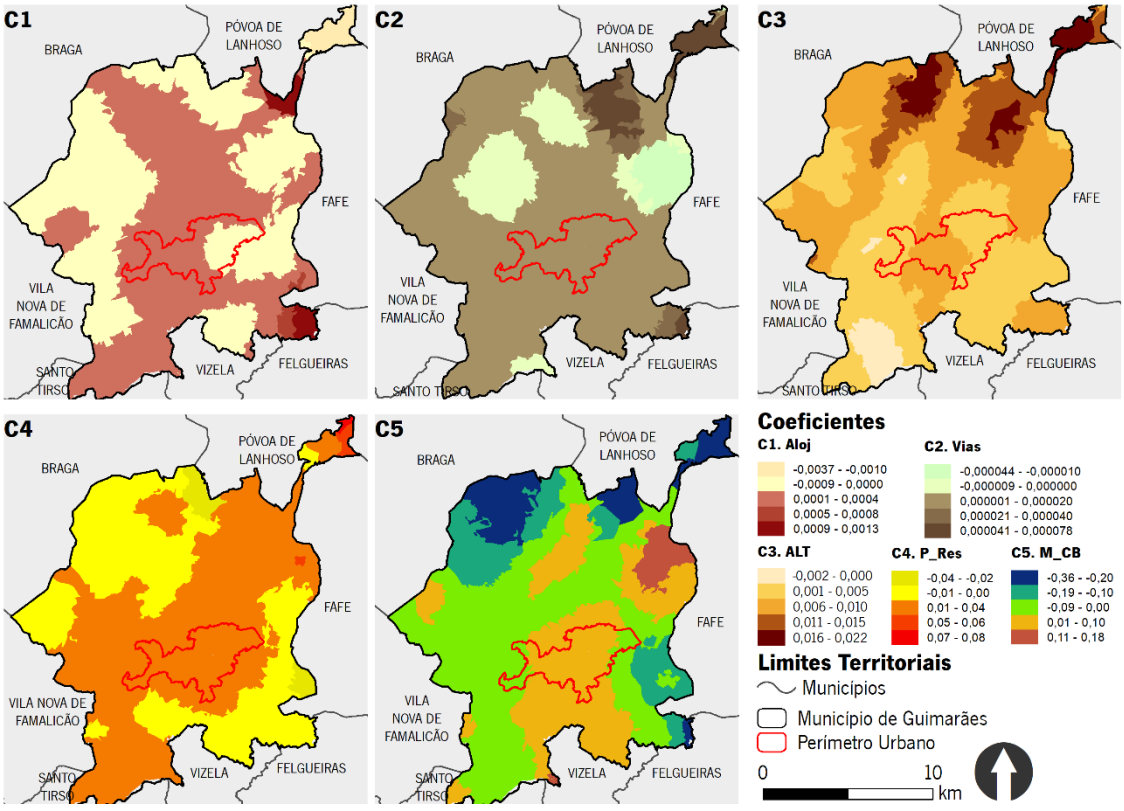


Figura IV-69 – Coeficientes locais das variáveis explicativas do modelo de Ts noturna em Guimarães

Como esperado, o aumento do NDWI promove a diminuição de Ts, porém, o seu efeito apenas é relevante durante o dia. Esta constitui uma das poucas variáveis explicativas que é comum aos dois municípios, ainda que seja mais significativa em Guimarães do que em Braga. Além disto, também o sentido da relação com Ts (*i.e.*, negativa) se mantém constante ao longo de todo o território em estudo – a designada Área Urbana de Braga e de Guimarães (AUBG). Contudo, no núcleo urbano central de Braga e de Guimarães, por força da maior artificialização do território, o seu efeito encontra-se claramente enfraquecido (Figura IV-66, Figura IV-67). Efetivamente, Hu e Xu (2019) salientam, a propósito da obtenção de resultados similares, que as superfícies impermeáveis antrópicas detém maior impacto nas Ts do que os espaços verdes. Assim sendo, a adição de vegetação (ou de humidade, por outra via) nos núcleos urbanos centrais resultará num decréscimo menos acentuado de Ts, por comparação com o restante território concelhio. Esta situação revela-se deveras preocupante, pois indicia que os mecanismos de arrefecimento evaporativos poderão ser menos eficazes precisamente onde são mais necessários.

Adotando uma perspetiva comparativa dos resultados do modelo local e global, constata-se que em 67% das subseções de Braga e em 87% das de Guimarães, o valor do coeficiente da GWR relativamente ao NDWI é mais elevado do que o verificado na OLS – evidenciando que o efeito da vegetação se encontra claramente subestimado no modelo global. Estes resultados assemelham-se aos obtidos Huang *et al.* (2017), e reforçam a importância da GWR no estudo do ambiente térmico, visto que deteta flutuações locais, ignoradas na OLS (Su *et al.*, 2012).

A par disto, reitera-se que o processo de urbanização – seja por via do aumento de áreas residenciais, industriais ou infraestruturas rodoviárias – promove o incremento de Ts. Durante o dia, este aumento ocorre em clara associação com a adição de superfícies impermeáveis antrópicas, como espelham os valores positivos dos coeficientes associados à rede viária (Vias), à da percentagem de tecido urbano (URB_P) e à componente biofísica maioritária (M_CB). Por sua vez, durante a noite, o aumento de Ts parece ocorrer em concordância com a maior verticalização e compacidade do edificado, como sugerem os coeficientes da densidade de alojamentos (Aloj) – que de acordo com a correlação de Spearman (*vide* Tabela IV-25 *e* Tabela IV-26) se encontram claramente associados à presença de infraestruturas rodoviárias (Vias) e dos edifícios classificados como principalmente residenciais (E_Pres).

Numa análise mais específica para Braga, constata-se que os locais onde a relação do declive (Dec) com a Ts diurna é positiva revela uma proximidade ao rio Cávado. Esta relação é explicada

pelo facto de neste local as áreas planas se encontrarem cultivadas, e daí permanecerem mais frescas. Perante um ligeiro aumento do declive, a possibilidade de urbanização – pois deixa de ser verificar a delimitação da Reserva Agrícola Nacional (RAN) e/ou da Reserva Ecológica Nacional (REN) – verifica-se um incremento notório em Ts. Por oposição, o efeito negativo do declive em Ts é particularmente evidente quando este condiciona o avanço da construção em áreas urbanas muito densas, como é caso do limite da cidade de Braga com o Bom Jesus/Sameiro.

Ademais, em Braga os resultados dos coeficientes locais do modelo de Ts diurna (Figura IV-66) parecem indicar que o aumento da percentagem de tecido urbano (URB_P), bem como o aumento da verticalização e da compacidade do edificado (E_Pres), no Sul do município – onde o território mantém características muito próximas dos moldes tradicionais da urbanização difusa (Figura IV-70-A) – contribui para um incremento mais acentuado de Ts do que no setor central, onde se observa um desenho urbano mais formal (Figura IV-70-B).



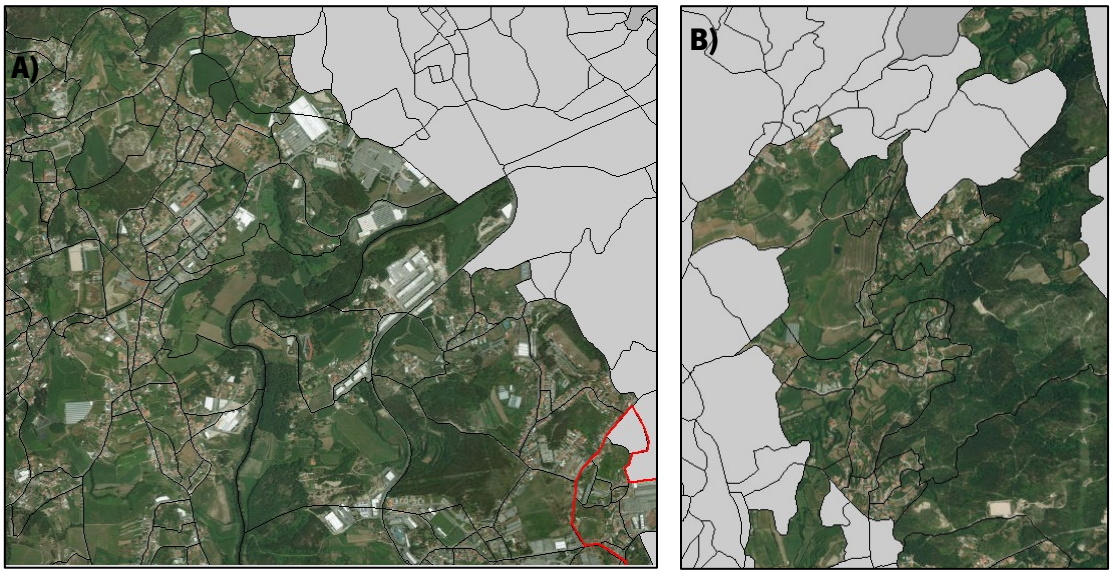
Exemplos de morfologia urbana: A) urbanização difusa; B) desenho urbano mais próximo do formal.
Fonte: Google Earth (2019).

Figura IV-70 – Extratos do desenho e morfologia urbana do município de Braga

No município de Guimarães, o coeficiente das vias (Vias) quando negativo surge associado a áreas montanhosas, pois os caminhos de carácter rural podem inclusive se encontrar cobertos por vegetação arbórea – entendendo-se esta relação inversa entre a rede viária (Vias) e a Ts diurna, contrária à norma (Figura IV-67). Ainda no que às exceções diz respeito, notar que os declives (Dec) exibem um coeficiente positivo com Ts em áreas mais planas direcionadas para a agricultura, surgindo as áreas urbanas – mais quentes – nos terrenos mais declivosos. Tal como

verificado em Braga, o efeito negativo do declive em Ts é particularmente notório quando este condiciona o avanço da urbanização em áreas mais densas – como sucede no limite da cidade de Guimarães com a Penha, ou da vila de Pevidém com a Senhora dos Montes (Figura IV-67).

A variável referente aos edifícios exclusivamente residenciais (E_Eres) apresenta uma relação com Ts diurna em Guimarães manifestamente não estacionária, repartindo-se o contributo positivo e negativo quase de modo equitativo no território vimaranense (Figura IV-67). A associação positiva ocorre tanto nas subsecções com elevada densidade de construção, como em locais não urbanizados (*e.g.*, áreas florestais ou campos agrícolas). Esta situação informa que a adição de edificado deve ser particularmente ponderada quando se trata destes dois extremos de ocupação urbana. Na direção oposta, as subseções onde a presença de edificado para fins exclusivamente residenciais (E_Eres) menos parece contribuir para o aumento de Ts também se reparte por duas tipologias distintas do modelo territorial difuso, nomeadamente: (i) onde se verifica uma forte presença da industrialização (Figura IV-71-A), lembrando que estas áreas já constituem *hotspots* de grande magnitude; e, (ii) onde o edificado está mais disperso no território (Figura IV-71-B), pelo que permanece rodeado de áreas agrícolas ou florestais.



Exemplos de morfologia urbana: A) urbanização difusa com indústria; B) urbanização difusa de baixa densidade (e sem indústria).

Fonte: Google Earth (2019).

Figura IV-71 – Extratos do desenho e morfologia urbana do município de Guimarães

Durante a madrugada, a relação de Ts com as variáveis explicativas exibe indícios ainda mais acentuados de não estacionariedade (Figura IV-68, Figura IV-69). Uma possível explicação para tal

prende-se com o sistema de brisas (ancorado na topografia) que podem alterar a relação espacial entre Ts e o mosaico de ocupação do solo. Este fator, apontado Hu e XU (2019), parece constituir um importante elemento explicativos da variação espacial de Ts noturna no município de Braga e de Guimarães, como verificado anteriormente. Ademais, o padrão espacial dos coeficientes das variáveis explicativas revela-se de difícil compreensão (Figura IV-68, Figura IV-69). Os resultados obtidos impelem a um exame mais aprofundado dos fatores explicativos da variação noturna de Ts, dada a complexidade dos mecanismos subjacentes.

Em remate, apesar de os resultados dos modelos de regressão global e local se encontrem *grosso modo* em acordo, a GWR detém claramente um poder de explicação de Ts mais elevado, pois acautela a questão da não estacionariedade espacial, por demais evidente não só na AUBG, como em diversos territórios (*e.g.,* Huang *et., 2017, Zhao et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2019). A variação não controlada das variáveis geográficas assume tal importância que Goodchild (2004) considerou a heterogeneidade espacial (designada de não estacionariedade nos termos estatísticos) como a Segunda Lei da Geografia. Não obstante, o autor alega que esta deveria constituir a Primeira Lei, pois a heterogeneidade espacial é um efeito de primeira ordem, enquanto a dependência espacial, na base da Lei de Tobler (Tobler, 1970), detém um efeito de segunda ordem – e, como tal, deveria ser considerada a segunda Lei (e não a Primeira).

Finalizando, a análise dos coeficientes locais do modelo da GWR possibilita não só um avanço no conhecimento geográfico, como revela também um enorme potencial no desenvolvimento (e suporte científico) de políticas urbanas em consonância com as especificidades locais – como, por exemplo, na localização de espaços verdes urbanos ou na definição dos parâmetros urbanísticos impostos pelo Plano Diretor Municipal –, em detrimento da tradicional abordagem *'one size fits all'* (Huang *et al.,* 2017). Ademais, fica bem patente que os fatores responsáveis pela variação de Ts são distintos do ponto de vista espacial e temporal, pelo que esta diferença deve obrigatoriamente ser parte integrante do processo de planeamento.



F.

FECHO

“Para os que intentam orientar as grandes transformações do mundo atual, prevendo e preparando os caminhos do futuro, o geógrafo poderá ser inestimável conselheiro: mas só se souber submeter sempre à critica das certezas aparentes, se for capaz de mostrar como são relativas, locais e transitórias tantas soluções que se pretendam impor como remédios universais. Sobretudo, se tiver a coragem entre pessoas ‘convencidas’, de se comportar como um incómodo semeador de dúvidas: chamando permanentemente a atenção para o condicionamento natural e humano de todas as soluções técnicas e, sempre que seja preciso, defendendo com firmeza a precedência da reflexão sobre a ação”.

| Orlando Ribeiro, 1989a, p. 109 |

FECHO

"Qualquer obra científica precisa de amadurecer lentamente e impregnar-se de reflexão. O rasgo de génio é também o fruto de muita paciência".
| Pimenta, 2012, p.17 |

A investigação que agora se encerra tem por objetivo central determinar o efeito climático da urbanização difusa, através do ambiente térmico. Para tal, selecionou-se como área de estudo os municípios de Braga e de Guimarães (que se denominou por Área Urbana de Braga e de Guimarães; AUBG), cuja génese do modelo territorial se insere no contexto comum do Minho (ou mais especificamente do Baixo Minho). Além disto, os municípios – adstritos – apresentam características climáticas e fisiográficas similares. Não obstante este quadro comum, fruto das vicissitudes históricas, Braga e Guimarães apresentavam em meados da década de 80, do século XX (início do período temporal de análise), uma estrutura urbana distinta, marcada no primeiro caso pela compacidade do núcleo central e no segundo pela difusão urbana (à parte da individualização do núcleo principal). Em vista disso, e face ao objetivo central, estes dois municípios permitem determinar tanto as similaridades entre o comportamento climático do território (mais) compacto e do difuso, como também destrinçar as suas diferenças.

Para a prossecução do objetivo central recorre-se a uma abordagem integrada da Deteção Remota com os Sistema de Informação Geográfica (SIG), de modo a determinar com base numa análise multitemporal e multiespectral as tendências de mudança na AUBG entre 1984 e 2016, no que se refere às componentes biofísicas, ao tecido urbano e à temperatura de superfície (Ts). A visão sinótica e repetitiva da Deteção Remota permite não só captar a evolução do território, como também quantificar as suas mudanças e identificar os fatores que as forçaram. O modelo V-I-S, proposto por Ridd (1995), possibilita a síntese da complexidade do ecossistema urbano da AUBG. Seguindo estes pressupostos, na extração das componentes biofísicas – *i.e.*, industrial/pedreiras, superfícies impermeáveis antrópicas, vegetação arbórea e/ou densa, vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa, solo nu e água – identificaram-se áreas com uma resposta similar do ponto de vista dos fluxos de energia (e das condições de humidade), que partilham uma assinatura espectral e térmica comum.

Resumidas as premissas de investigação, parte-se paras as considerações finais, refletindo a sua estrutura o enfoque bipartido implícito no título deste trabalho – assim, primeiramente, a atenção

encontra-se direcionada para as conclusões específicas, intrínsecas ao território de estudo; e, em seguida, apontam-se as conclusões gerais, advindas do trabalho empírico.

EFEITO CLIMÁTICO DA URBANIZAÇÃO DIFUSA NA AUBG: SÍNTESE E IMPLICAÇÕES NO PLANEAMENTO DO TERRITÓRIO

O efeito climático do crescimento urbano na AUBG entre 1984 e 2016 é determinado partir do escrutínio dos factos (*i.e.*, os resultados) – encontrando-se as ilações obtidas traduzidas em orientações para o planeamento urbano.

Cronogeografia Climática da AUBG

A análise das componentes biofísicas na AUBG coloca em evidência o aumento linear de áreas industriais/pedreiras e de superfícies impermeáveis antrópicas entre 1984 e 2016, fruto do processo de urbanização. Por consequência, regista-se um decréscimo proporcional do território permeável, constituindo o solo nu a componente biofísica mais exaurida, seguindo-se-lhe a vegetação herbácea/arbustiva e/ou esparsa e, por fim, a vegetação arbórea e/ou densa, em ambos os municípios. Efetivamente, denotam-se mudanças significativas na paisagem urbana de Braga e de Guimarães, resultantes quer da expansão dos núcleos urbanos centrais, quer do aparecimento de novos clusters e segmentos urbanos, que evoluíram – ampliando-se e coalescendo, em alguns casos –, formando hodiernamente uma extensa constelação urbana.

Focando no crescimento urbano, constata-se que os municípios de Braga e de Guimarães exibem um comportamento similar no que se refere ao 'Quando?' (*i.e.*, o intervalo temporal) e ao 'Quanto?' (*i.e.*, a taxa de crescimento urbano), mas distanciam-se claramente no 'Onde?' e 'Como?' – que, dada a sua relação intrínseca, redundam em padrões espaciais distintos. Efetivamente, em Braga o processo de urbanização ocorre por via da colmatação urbana e do crescimento em contiguidade com o núcleo primaz, pelo que se confina em grande parte ao interior do perímetro urbano. Em Guimarães, esta circunscrição administrativa revela reduzida capacidade na contenção do

crescimento urbano, que ancorado nos núcleos preexistentes a 1984, se dissemina por todo o município, reforçando a dispersão urbana, como Portas (1986), aliás, antevia.

A evolução urbana dos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016 repercute-se de modo direto nas características do ambiente térmico. Com efeito, o território da AUBG deixa de se caracterizar por núcleos quentes isolados e com reduzida dimensão, e passa a exibir uma rede complexa e interconectada de áreas quentes (e, em alguns casos, muito quentes, correspondentes a áreas industriais), apenas marginalmente ladeadas por áreas frescas, onde subsistem os povoamentos florestais. Neste hiato de 32 anos, as mudanças de Ts mais significativas encontram-se associadas ao crescimento urbano – e, muito em particular, à conversão de áreas com vegetação arbórea e/ou densa em áreas industriais. Sem embargo, considerando que algumas oscilações nas componentes biofísicas (*e.g.*, passagem de vegetação arbórea e/ou densa para solo nu) desencadeiam aumentos térmicos muito significativos, é fundamental avaliar a incerteza envolvida na modificação de Ts – ou seja, aquela que decorre das variações intercenas (designadas de ruído). A este respeito, a análise das trajetórias de mudança no Espaço TVX confirma que os aumentos de Ts desencadeados pela urbanização são, por regra, superiores aos intrínsecos às variações intercenas, encontrando-se as maiores incertezas associadas à conversão de solo nu em superfícies impermeáveis antrópicas, dada a similaridade da assinatura térmica.

Cruzando as mudanças no ambiente térmico com o modo de crescimento urbano – *i.e.*, colmatação, contiguidade e dispersão – constata-se que em Braga os incrementos mais significativos de Ts decorrem do crescimento em contiguidade, enquanto em Guimarães advêm da dispersão urbana. A colmatação urbana promove aumentos de Ts mais expressivos em Braga do que em Guimarães. A despeito de o modo de crescimento urbano (à semelhança da conversão das componentes biofísicas) determinar a magnitude das mudanças no ambiente térmico, este condiciona igualmente a assinatura térmica de cada um. Efetivamente, os menores valores de Ts encontram-se associados ao crescimento disperso, seguindo-se-lhes os relacionados com a contiguidade e, por fim, os mais elevados correspondem à colmatação urbana. Na prática, nem todo o crescimento urbano redunda em ilha de calor de superfície, pois o crescimento difuso (tal como as vias) não produz carga térmica suficientemente importante para se individualizarem *hotspots*. Por outro lado, no decurso do processo de urbanização assiste-se a uma redução drástica do território não urbano sob o efeito da ilha de calor de superfície, comprovando que o solo nu, uma das componentes biofísicas mais exauridas neste processo, é também aquela que mais contribui para a formação da ilha de calor em áreas não urbanas. Em suma, de entre as

componentes biofísicas, o contributo do tecido urbano para a individualização da ilha de calor de superfície torna-se cada vez mais relevante – ainda que, dada a singularidade do difuso acima mencionada, se verifique paradoxalmente também a diminuição da proporção das áreas urbanas sob o efeito da ilha de calor.

A evolução térmica registada entre 1984 e 2016 traduz-se num aumento da dispersão dos valores de Ts na AUBG, acentuando-se a amplitude entre o ponto mais quente e o mais fresco. A despeito de Braga e Guimarães exibirem valores médios de Ts similares (*e.g.*, média por concelho, assinatura térmica das componentes biofísicas), a configuração dos padrões térmicos coloca em evidência os particularismos associados às respetivas estruturas urbanas. Assim, em consonância com o(s) modo(s) de crescimento predominante(s), em Braga acentuam-se as diferenças térmicas entre as áreas interiores (quentes) e exteriores (mais frescas) ao perímetro urbano, ao passo que em Guimarães essa tendência, visível até 2007, acaba por se diluir nos anos mais recentes. De facto, em resultado da dispersão urbana (e industrial) por todo o município, Guimarães regista, comparativamente a Braga, Ts mais elevadas no exterior do perímetro urbano. A esta situação excetua-se o ano de 2016, data em que a 'saturação' do perímetro urbano bracarense parece promover o crescimento urbano (disperso) no seu exterior, que se repercute em Ts mais elevadas do que o observado em Guimarães nestas áreas. Além disto, o avançar da *urbe* promove uma atenuação dos contrastes térmicos de vizinhança nos dois municípios, encontrando-se os locais com os valores de Ts mais contrastados cada vez mais afastados entre si no território.

Sintetizando, Braga e Guimarães apresentam em 2016, relativamente a 1984, um ambiente térmico mais díspar (*i.e.*, maiores amplitudes de Ts) na sua globalidade, mas notoriamente mais homogéneo entre áreas vizinhas ou próximas (*i.e.,* menores contrastes de Ts). Esta situação, ao atenuar as trocas convectivas de calor à escala microclimática, deverá ter como efeito o enfraquecimento da regulação climática local, que se encontrará cada vez mais dependente das condições do Monte da Penha (em Guimarães) e dos três Sacromontes (em Braga). Estas áreas, onde se observa a maior coincidência entre a ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI (logo, que promovem o arrefecimento evaporativo), correspondem às manchas de maior dimensão dos povoamentos florestais, na posição topográfica de topo.

A complexidade do ambiente térmico da AUBG aumenta consideravelmente quando se introduz a evolução diária. Ainda que a resolução mais grosseira do MODIS não permita detetar algumas das particularidades da urbanização difusa identificadas com as imagens Landsat, são evidentes as

diferenças do padrão térmico ao longo do dia. De facto, às 10:30 é notório o papel dos solos no aquecimento do ambiente térmico da AUBG (dada a sua baixa inércia térmica), sendo os ganhos térmicos posteriores muito reduzidos, ou pelo menos em comparação com os aglomerados principais de Braga e de Guimarães, que se individualizam no horário das 13:30. Às 22:30, apesar das reduzidas amplitudes térmicas intracena (devido à proximidade com o *thermal crossover*), ressalta o *hotspot* coincidente com núcleo central de Braga. De madrugada, assiste-se à inversão do padrão verificado durante o dia, surgindo os valores de Ts mais elevados associados aos topos (e núcleo central de Braga) e os valores mais baixos aos fundos de vale sem urbanização, ou onde esta é marcadamente difusa. Em remate, se no período diurno, sob a radiação solar direta, sobressaem os padrões microclimáticos – em resposta explícita às propriedades térmicas da cobertura da superfície terrestre – que se desenvolvem na atmosfera urbana inferior, durante a noite (e com a ausência da radiação) assumem destaque os padrões mesoclimáticos – *e.g.*, determinados pela posição topográfica, sistema de brisas – que se desenvolvem na atmosfera urbana superior.

As situações de calor extremo, como sucede no decorrer das ondas de calor, detêm efeitos espaciais e temporais diferenciados no território da AUBG. A vegetação começa a aquecer no início da onda de calor, registando-se um aumento gradual de Ts à medida que o solo vai perdendo humidade, e, consequentemente, a capacidade de realizar a evapotranspiração. Com efeito, o calor continuado (e a diminuição da humidade) reduz a capacidade de arrefecimento destas áreas, dado que os fluxos de calor latente são substituídos pelos de calor sensível (que contribuem diretamente para o aquecimento do ar). Esta situação é ainda mais preocupante porque compromete o sistema de brisas, imprescindível à regulação climática local, que está inexoravelmente dependente da manutenção das condições de frescura nos topos. Nas áreas urbanas ou com solo exposto, apesar de os efeitos do calor extremo se começarem a sentir mais tarde do que na vegetação, os valores máximos de Ts ocorrem mais cedo – encontrando-se o comportamento térmico destes locais mais dependente da quantidade de radiação solar incidente.

Adotando uma perspetiva de síntese comparativa, verifica-se que as ondas de calor detêm efeitos mais severos em Braga (do que em Guimarães), devido à maior compacidade do tecido urbano – constituindo o núcleo central bracarense uma área de calor acentuado em todos os horários. Ainda assim, no caso de Guimarães notar que a encosta da Penha – fundamental para a conexão das brisas que se formam no topo alcançarem o núcleo central – se encontra sistematicamente individualizada como uma área de calor moderado. Em vista disso, a subida da construção na

vertente, mais do que consequências nas condições térmicas locais (*i.e.*, domínio das condições de calor), perturba/enfraquece/cessa o sistema de brisas fundamental na regulação climática a escalas mais amplas.

Propostas de Planeamento para Braga e Guimarães

Os geógrafos podem (e devem) participar ativa e construtivamente no debate sobre os problemas urbanos, reivindicando – com o apoio da mais variada instrumentação científica – a prática de pensar em conjunto e no conjunto, com vista à identificação de relações básicas, monitorização da evolução de processos, delineação das opções de planeamento, bem como avaliação dos seus resultados (preventivas, *ongoing* ou prospetivas), contribuindo para uma decisão política informada (Clark, 1991). De facto, um dos grandes desafios da utilização das imagens de satélite (e dos parâmetros derivados) prende-se com a sua tradução em produtos úteis ao planeamento e ordenamento do território (Carlson e Arthur, 2000). No contexto específico da presente investigação, a Deteção Remota possibilita não só a reconstrução da evolução urbana recente dos municípios de Braga e de Guimarães, como também fornece informação climática necessária ao planeamento, geralmente muito limitado neste âmbito à escala local, entre outras razões, pela falta de dados. Por tudo isto, reforça-se a importância dos satélites enquanto ferramenta para o planeamento urbano (Carlson, 2003).

Partindo dos resultados obtidos nesta investigação, propõem-se estratégias de planeamento urbano que operacionalizem o conceito de sustentabilidade, preenchendo o vazio que permanece entre os seus pressupostos teóricos e ideológicos e a capacidade real de a concretizar no território. No caso específico, tem-se em vista a promoção da resiliência climática, incluindo a mitigação e a adaptação às alterações climáticas nos municípios de Braga e de Guimarães, onde a urbanização difusa – de origens remotas – não só se acentuou nas últimas décadas como também se transfigurou. Este território *sui generis* não se coaduna, por regra, com as proposições amplamente defendidas e aplicadas a outros modelos territoriais. Vale ressalvar que, as propostas de ação climática apontadas se prendem diretamente com a melhoria das condições do ambiente térmico.

As soluções que aqui se avançam foram estruturadas por unidades territoriais, determinadas pela similaridade da sua resposta climática – em função de Ts e de NDVI (Figura F.1). Neste sentido,

individualizam-se três tipologias: (i) áreas de aquecimento, responsáveis pelos maiores ganhos térmicos; (ii) áreas de arrefecimento, que contribuem para a minimização dos ganhos térmicos; e, (ii) áreas sob pressão, posicionadas numa situação intermédia – ou seja, não são suficientemente quentes para constituírem ilha de calor, nem razoavelmente frescas para se individualizarem como ilhas de frescura. À parte das ilhas de frescura, que se formam em superfícies permeáveis, importa desagregar as outras duas unidades territoriais com respeito à sua ocupação urbana ou não urbana (Figura F.2), visto as opções a considerar ser obrigatoriamente distintas. É de ressalvar que para as áreas permeáveis – com ou sem ilha de calor – não são apontadas medidas específicas, visto as suas características térmicas refletirem um estado efémero.

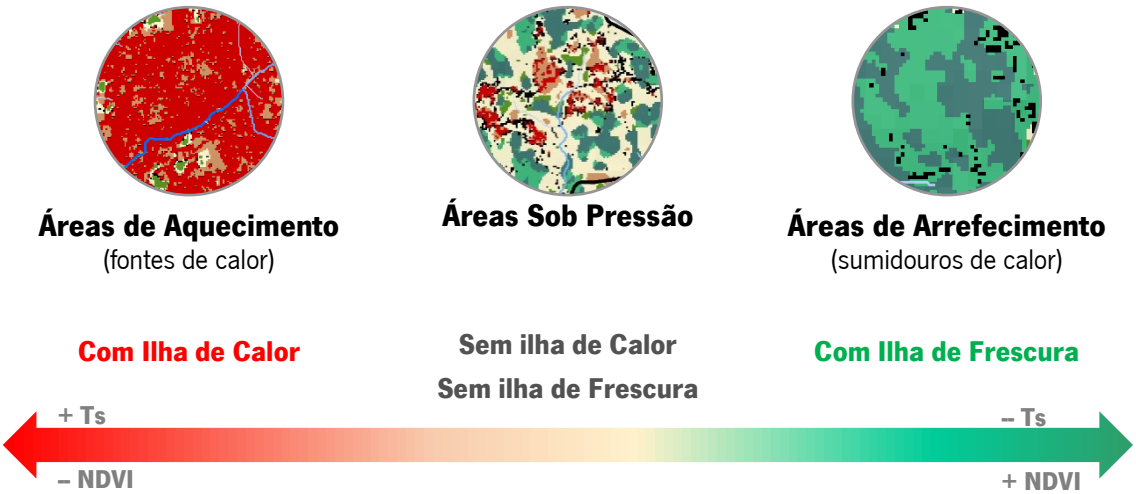


Figura F.1 – Unidades territoriais com resposta de Ts e NDVI similar

O cruzamento do sistema biofísico (*i.e.*, Ts e NDVI) com o sistema urbano traduz o sistema territorial térmico da AUBG (Figura F.2). Optou-se por considerar os valores diurnos de Ts, por este constituir o período de maior aquecimento, a que se soma o facto de o Landsat possibilitar uma maior desagregação espacial da informação. As estratégias de ação climática apontadas dizem respeito às seguintes unidades territoriais (Figura F.2): (i) áreas de aquecimento, decorrentes do tecido urbano com ilha de calor de superfície; (ii) áreas de arrefecimento, correspondentes às ilhas de frescura de superfície; e, (iii) áreas sob pressão, compostas pelo tecido urbano sem ilha de calor de superfície.

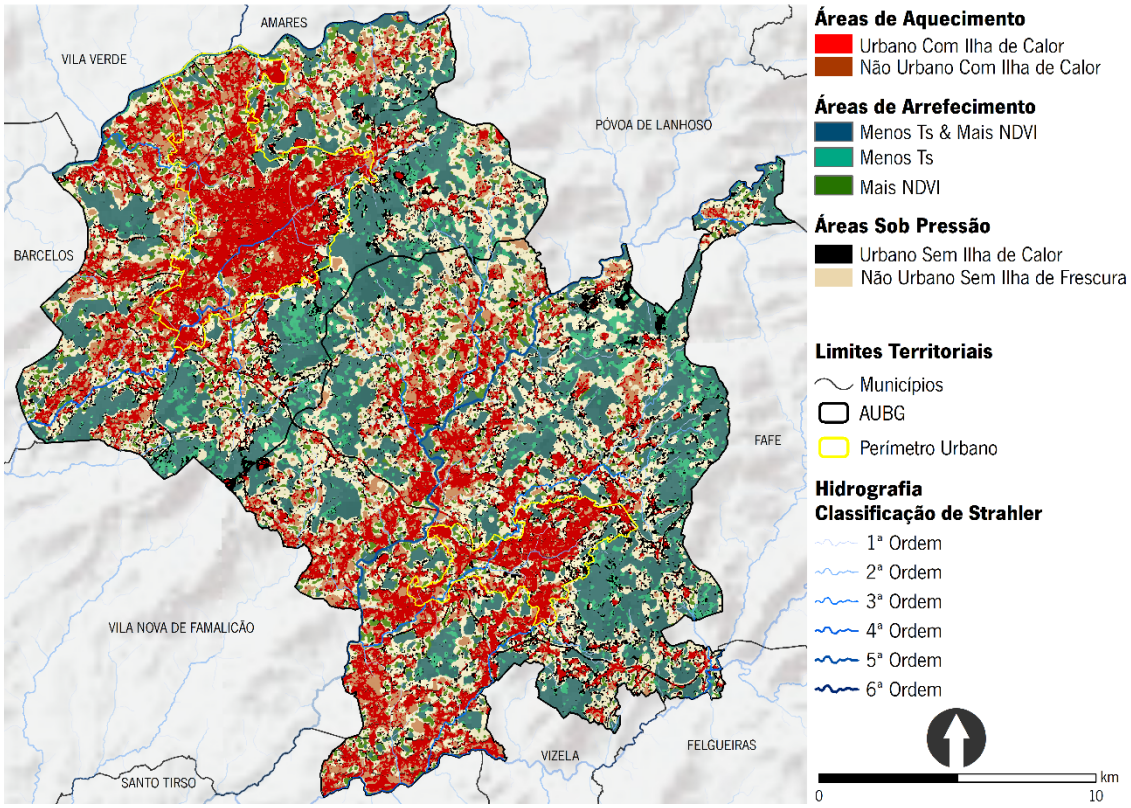


Figura F.2 – Sistema térmico diurno da AUBG

Áreas de Aquecimento (Urbano Com ilha de Calor)

Nos terrenos urbanizados – particularmente vulneráveis aos extremos térmicos relacionados com o calor (EEA, 2012a; IPCC, 2013, 2018) –, os esforços devem ser dirigidos no sentido da minimização dos ganhos radiativos. Lembrando que, quanto maior for a absorção de radiação solar pelas superfícies urbanas durante dia, maior será também a quantidade de energia disponível para ser irradiada para atmosfera sob a forma de grande comprimento de onda durante a noite e/ou transformada em calor sensível, responsável pelo aquecimento do ar (Vargo *et al.*, 2013). Nas áreas urbanas mais densas ou consolidadas, não sendo viáveis alterações na morfologia urbana ou a inclusão de espaços verdes, a solução para a mitigação da ilha de calor passa pela modificação das características dos materiais que revestem as coberturas urbanas – *i.e.*, os telhados, as estradas, os parques de estacionamento, os passeios. A modificação do albedo, através da adoção de cores clara nas principais áreas de ganho de calor, contribui para uma maior reflexão da radiação solar, e, consequentemente, reduz a energia armazenada (Deilami *et al.*, 2018), e a disponível para ser libertada durante a noite. As zonas industriais – por constituírem os principais *hotspots* – devem integrar os locais de intervenção prioritária, até porque o calor extremo promove a quebras na produtividade laboral (Klock *et al.,* 2012).

Outra solução para os locais com urbanização muito compacta – *e.g.*, os centros históricos – pode passar pela colocação de aspersores (ou de fontes), que potenciem o arrefecimento evaporativo – *i.e.*, substituição do calor sensível (Q_H) pelo calor latente (Q_E). Esta medida muito eficaz na mitigação da carga térmica durante o dia (Deilami *et al.*, 2018) apresenta nos municípios de Braga e de Guimarães boas potencialidades, dado os elevados quantitativos de precipitação média anual, que atualmente rondam os 2000mm. Complementarmente, pode-se colocar pisos permeáveis que permitam a infiltração da água, com vista à sua futura disponibilidade para o processo de evaporação. Ainda nesta lógica, na gestão dos espaços verdes urbanos existentes (ou a programar) deve estar previsto a criação de reservatórios de águas pluviais, com vista à rega no período mais crítico, considerando que a vegetação irrigada potencia igualmente o arrefecimento evaporativo (Souch e Grimmond, 2006). Sem embargo, a eficácia destas medidas encontra-se dependente das disponibilidades hídricas, que no atual contexto de alterações climáticas se prevê que diminuam (EEA, 2012a&b).

Tirando partido do interesse atual pela renovação e reabilitação urbana dos núcleos histórico e das áreas degradadas, a incorporação de preocupações com o desempenho térmico das superfícies permite, à revitalização social e económica, somar a regeneração climática. No quadro específico dos edifícios industriais abandonados ou de áreas muito debilitadas a estratégia de intervenção poderá passar pela reabilitação estrutural do edificado, com particular destaque para as características da cobertura, ou mesmo pela sua demolição, com vista à criação de áreas verdes, particularmente quando associados a *hotspots* – pois, em consonância com Zhao *et al.* (2011), estes espaços são tanto mais necessários, quanto menor for a sua presença.

A promoção da vegetação nas áreas urbanas constitui a medida mais recomendada nos estudos sobre a ilha de calor (Deilami *et al.*, 2018), dada a sua eficácia na diminuição de Ts (Hung *et al.,* 2006Vargo *et al.*, 2013; Roth, 2013; Chrysoulakis et al., 2014), que pode oscilar entre os 4°C e os 24°C (Deilami *et al.*, 2018). Os resultados obtidos de Zhao *et al.* (2011) evidenciam que perante o aumento da temperatura do ar ao longo do dia o efeito de frescura dos parques é potenciado. Esta conclusão é particularmente importante face ao acentuar dos extremos térmicos projetados pelo IPCC (2013, 2018), a que se somam os aumentos da carga térmica decorrentes da ilha de calor urbano manifestamente presente neste território. Contudo, salvaguardando que este potencial de arrefecimento se encontra inexoravelmente afeto às disponibilidades hídricas do solo.

A mitigação da carga térmica decorrente da vegetação ocorre por uma miríade de vias. Desde logo, promove a infiltração da escorrência, aumentando a quantidade de água disponível o para processo de evapotranspiração – que, favorece os fluxos de calor latente (em detrimento do calor sensível). Note-se que, quanto menor a evapotranspiração, maior a quantidade de energia sensível disponível para aquecer a superfície e o ar (Sandholt *et al.*, 2002). O sombreamento cria um microclima próprio (Gunawardena *et al.,* 2017) ao minimizar os ganhos de energia solar, que sobreaquecem o pavimento (das vias, dos parques de estacionamento ou dos passeios), as fachadas dos edifícios ou os telhados. Deste modo, reduz-se as necessidades de arrefecimento dos edifícios, quer de dia, quer durante a noite – representando um enorme potencial na diminuição dos gastos de energia, que constituem um terço dos consumos energéticos globais (Bazaz *et al.,* 2018).

O incremento da vegetação nas áreas urbanas pode ser efetuado por um leque muito diversificado de ações, que vão desde as mais tradicionais ruas arborizadas ou criação de parques urbanos até soluções mais vanguardistas e dispendiosas como os telhados ou paredes verdes. Sem embargo, é fundamental o planeamento cuidado dos espaços verdes urbanos (de carácter público), nomeadamente: (i) a localização, ou seja a posição relativa no contexto do tecido urbano; (ii) a configuração, no que concerne tanto à dimensão, como ao desenho – encontrando-se as formas circulares e quadradas associadas a maiores efeitos de arrefecimento (Gunawardena *et al.*, 2017); (iii) a conetividade com outros elementos verdes urbanos e áreas naturais (*e.g.*, criação de corredores de ventilação, se orientados em função dos ventos dominantes ou das brisas); (iv) a seleção das espécies vegetais, considerando que as características biológicas determinam significativamente o seu potencial de arrefecimento – por exemplo, as espécies nativas de climas secos, como mantêm os estómatos fechados durante o dia (mecanismo de fotossíntese C4) proporcionam um efeito de arrefecimento negligenciável neste período (Gunawardena *et al.,* 2017); e, (v) a escolha do estrato arbóreo, sendo preferível a opção por espécies arbóreas em locais onde é necessário de promover as condições de frescura durante o dia (*e.g.*, escolas, locais de trabalho, espaços de lazer), e por espécies herbáceas/arbustivas e/ou com árvores esparsas (quentes de dia, mas frescas à noite, devido à elevada irradiação), em locais predominantemente utilizados no período noturno (*e.g.*, bairros exclusivamente residenciais).

Salientar ainda que a reabilitação urbana, começando pelas áreas mais degradadas, assume um papel determinante no ordenamento do território (Cavaco, 2015) – constituindo uma alternativa à contínua adição de tecido urbano, que tem vindo a perfurar sistematicamente o território de Braga

e de Guimarães, apesar de o crescimento populacional o justificar cada vez menos. Como salienta Sampaio (2005), "não é possível continuar a achar que a matriz do desenvolvimento é estender as áreas urbanas para quilómetros e quilómetros" (p.29).

Áreas de Arrefecimento (Ilhas de Frescura)

Em Braga, como em Guimarães, os topos mais elevados, onde subsistem os povoamentos florestais constituem os principais sumidouros de calor, pelo que é fundamental a sua salvaguarda por via da inclusão na Reserva Ecológica Nacional (REN). Tanto mais que, estas áreas possibilitam o desenvolvimento do sistema de brisas – que em territórios de relevo montanhoso, como é caso dos municípios de Braga e de Guimarães, constituem o principal elemento de regulação climática local. Assim sendo, neste contexto de aquecimento do ambiente térmico – onde aos *inputs* da urbanização se somam os projetados pelo IPCC (2013, 2018) para o futuro – o sistema de brisas é fundamental para minimização da carga térmica urbana (Acero *et al.,* 2013, Deilami *et al.,* 2018), pelo que a sua perda e/ou deterioração detém profundas implicações no conforto bioclimático e na saúde humana (Magalhães, 1997). Lembrando que, as brisas assumem maior desenvolvimento precisamente quando a ilha de calor urbano é mais intensa – *i.e.*, nos dias de com fraco gradiente de pressão (Daveau, 1999b).

Importa ressalvar (uma vez mais) que perante o acentuar das condições de calor e de secura do solo a capacidade de arrefecimento da vegetação reduz, como observado durante a onde de calor de que afetou Braga e Guimarães entre 23 e 30 de julho de 2010. Efetivamente, em resposta ao stress térmico e hídrico as plantas fecham os estómatos (Gunawardena *et al.*, 2017). Neste sentido, estes locais, além de deixarem de atuar como um sumidouro de calor, podem inclusive transformar-se em *hotspots* – inviabilizando o sistema de brisas, que no município de Braga e no de Guimarães decorre das diferenças de temperatura entre o fundo de vale (urbanizado e mais quente) e os topos florestados, onde ocorre a produção de ar fresco. Assim, ao final da tarde, o ar quente acumulado na cidade sobe, por via da expansão e convecção térmica, em direção aos topos (*i.e.*, movimentos anabáticos); e, durante a noite, o ar fresco produzido nos topos florestados desce, por ação da gravidade, até ao fundo de vale (*i.e.*, movimentos catabáticos), favorecendo a renovação do ar nos núcleos urbanos centrais de Braga e de Guimarães, amenizando os efeitos da ilha de calor do ar.

A brisa descendente de vertente está dependente, não só da produção de ar fresco nos topos, como também de áreas conexão ao longo das vertentes (*i.e.*, corredores de ventilação), que permitam o seu escoamento até ao fundo de vale (Pinheiro, 2012; Pinheiro e Laranjeira, 2013a&b; Pinheiro e Laranjeira, 2018), cabendo ao planeamento urbano – nomeadamente por via da Estrutura Ecológica Municipal – a sua delineação e salvaguarda. Para Bazaz *et al.* (2018) a adaptação das áreas urbanas ao atual cenário de alterações climáticas (IPCC, 2013, 2018) pode ser acelerada dando enfase às soluções baseadas na natureza (ou nos ecossistemas). Todavia, é fundamental que os planos abandonem a visão zonada do ordenamento em detrimento da perspetiva sistémica (Ribeiro Telles, 2001), posto que a urbanização se encontra em estrita dependência/ligação com a envolvente territorial (Cavaco, 2015).

Áreas Sob Pressão (Urbano Sem Ilha de Calor)

O tecido urbano sem ilha de calor de superfície assume importância fulcral no sistema térmico de Braga e de Guimarães, pois as opções políticas para estas áreas ditarão a sua migração em direção às condições de calor ou um aproximar das condições de frescura. Uma vez mais, recupera-se o debate em torno da forma urbana mais sustentável (Seto *et al.*, 2010; Madureira e Monteiro, 2019). Na relação direta com o ambiente térmico, se o tecido urbano compacto – *i.e.*, verticalização do edificado e ruas estreitas – favorece o ensombramento, o reduzido fator de visão do céu reduz a ventilação e minimiza as perdas de energia por irradiação (Roth, 2013). Efetivamente, formas mais compactas promovem uma ilha de calor mais intensa (EEA, 2012a; Bazaz, 2018) – atente-se às diferenças observadas entre o núcleo central de Braga e o de Guimarães, nos diferentes horários.

Nas áreas sob pressão, demonstrado o efeito que a adição de superfície impermeáveis antrópicas detém no ambiente térmico, é fundamental o controlo da impermeabilização do solo. O incremento de tecido urbano no território difuso (quando justificável), além de acautelar o referido anteriormente acerca das propriedades térmicas das coberturas, deverá assegurar a manutenção de áreas permeáveis, sempre que possível arborizadas. Neste contexto, os jardins, as hortas, os talhões agrícolas e os pomares – característicos da urbanização difusa – revelam-se de extrema importância, não só pelo papel que desempenham do ponto de vista de recreio e lazer (ou mesmo como complemento económico neste território), como também pela coerência ecológica do território que proporcionam – nomeadamente ao nível da circulação das brisas, referido

anteriormente. Com efeito, a salvaguarda/promoção dos espaços verdes privados, responsáveis pela ligação da *urbe* com o território envolvente, deve igualmente ser incluída nas estratégias urbanas – pois este *continuum* confere não só legibilidade e identidade à paisagem (Magalhães, 1997), como também assegura o correto funcionamento ecológico do território (Pinheiro, 2012).

A urbanização difusa nos seus moldes tradicionais favorecia o *continuum naturale* consagrado na Lei de Bases do Ambiente (cuja primeira versão data de 1987, com a Lei n.º 11/87, de 07 de abril, e atualmente é regida pela Lei n.º 19/2014, de 14 de abril, após várias revisões); porém, com o incessante crescimento urbano associado à massificação dos loteamentos esta continuidade foi-se perdendo, e consequentemente os serviços (e/ou funções) do ecossistema foram-se depauperando (Pinheiro e Laranjeira, 2018; Bazaz *et al.,* 2018). Tanto mais que, em muitos casos os projetos de loteamento, subordinados ao lucro financeiro, não atenderam à estrutura ecológica nem social do território (Portas, 2005; Bandeira, 2014) – contrariando em tudo as lógicas do difuso secularmente instaladas (*i.e.*, relação estrita com o relevo, desenvolvendo-se preferencialmente a meia encosta, salvaguardando os terrenos do fundo de vale para a agricultura e remetendo os solos mais desfavoráveis para uso florestal). Neste contexto, afigura-se que o rumo dado ao espaço urbano de baixa densidade, frequentemente preterido nas doutrinas do planeamento urbano, detém enorme importância na conciliação das demandas da urbanização e do desenvolvimento sustentável do território, que deverá ser alcançado por via da compatibilização das descontinuidades urbanas com o ecossistema natural (Czamanski *et al.,* 2008), como sucedia tradicionalmente com o modelo territorial difuso (Portas, 2005). Concluindo, partilha-se da opinião de que "*sprawling city is not the monster it was made out to be*" (Czamanski *et al.,* 2008, p.355), pois se bem gerido o difuso pode assumir-se como a chave para uma relação simbiótica entre a Natureza e a Humanidade – constituindo uma espécie de 'terceira-natureza' (Czamanski *et al.,* 2008).

EFEITO CLIMÁTICO DA URBANIZAÇÃO DIFUSA: REFLEXÕES E APORTE CIENTÍFICO

Conhecido o efeito climático do crescimento urbano difuso na AUBG e elencadas as implicações dos resultados no planeamento territorial, as considerações apontadas em seguida desenvolvem-se num espectro mais amplo, que extravasam o contexto específico dos municípios de Braga e de

Guimarães em estudo. No encerrar do trabalho apontam-se ainda algumas recomendações para investigações futuras.

Crónica(s) e Cartografias(s) do Difuso

Para compreender o efeito climático da urbanização difusa reforça-se, uma vez mais, a necessidade de entender este modelo territorial *sui generis* – no que se refere à sua génese, evolução e configuração atual. Da resenha histórica dos múltiplos fluxos e refluxos civilizacionais que escreverem e reescreveram este território fica bem patente que as raízes do difuso se encontram distanciadas no tempo, e que os *drivers* responsáveis pela sua sedimentação se foram sucedendo ao longo dos séculos. Desde logo, Ribeiro (1999) identifica duas situações cruciais para o desenvolvimento deste modelo territorial no Minho: (i) a mais antiga, decorrente da revolução no povoamento e dos progressos gerais da agricultura na Época Romana; e, (ii) a segunda, milénio e meio depois, com a introdução do milho. Não obstante, esta investigação demonstra que podem-se ainda somar outras três circunstâncias: (i) a industrialização difusa, cujo Vale do Ave constitui o caso mais paradigmático; (ii) o advento e proliferação do automóvel privado, e consequente incremento da rede rodoviária; e, (iii) mais recentemente os processos de urbanização de iniciativa privada (*i.e.*, os loteamentos), que viabilizaram novas e velhas frentes de urbanas. O território do difuso – fruto de permanências, extensões e constantes adaptações – mais do que um palimpsesto, consubstancia uma simultaneidade.

Como Portas (1986) antevia, a urbanização difusa acentuou-se nas últimas décadas, pelo que hodiernamente a 'cidade' se dilui num território cada vez mais amplo. Esta estrutura urbana, afastando-se do carácter hierarquizado das redes, assemelha-se a um rizoma. Atente-se, o difuso, como o rizoma, cresce horizontalmente, sem uma direção pré-estabelecida – ou pelo menos não em primeira instância. Em verdade, esta explosão ancorada nas características territoriais (*e.g.*, linhas de água, topografia, rede viária, laços sociais) adapta-se à paisagem – florescendo sempre que encontra possibilidades. Geralmente, partindo de um centro (ou melhor de muitos, no caso específico destacam-se as sedes de freguesias de raiz antiquíssima), o difuso expande-se, as linhas tortas – contrárias à rigidez cartesiana do 'bom' desenho urbano – conectam-se, não havendo lugar a ruas sem saída, profusas somente nos projetos de loteamento recentes. Com efeito, as ligações multiplicam-se e vão-se tornando mais evidentes os elementos de solidez que definem a

polimorfia do difuso. Este modelo territorial, como o rizoma, "não tem começo nem fim, mas sempre um meio, pelo qual ele cresce e transborda. Ele constitui multiplicidade" (Deleuze e Guattari, 2000, p.31).

A representação espacial e temporal do processo de urbanização difusa – modelo territorial pouco estudado, e por essa razão parcamente conhecido – ao colocar em evidência as lógicas relacionais e sistémicas do urbano, compele ao abandono da visão das cidades estabilizadas e autocontidas (Domingues, 2015a). A cartografia do difuso patenteia uma realidade urbana distinta da tradicionalmente utilizada, onde as cidades são representadas com um círculo, cujo raio de extensão variável decorre da dimensão demográfica ou de um outro qualquer parâmetro, perpetuando a ideia de urbano como algo confinado a um lugar, nome, forma, centro e limite. Neste quadro, ressaltar que a 'visão do urbano' captada pelo satélite (ditado pelas características espectrais da superfície terrestre) traduz de modo claro a metamorfose da 'cidade' para o' urbano', (empregue por Françoise Choay), na qual o alastrar do 'urbano' parece decretar a cada dia a morte da 'cidade', ou pelo menos no sentido como a imaginamos, por via das imagens mentais que se foram acumulando.

Efeito(s) Climático(s) do Difuso

Focando na questão primordial que norteou esta investigação – 'Qual o efeito climático da urbanização difusa?' – conclui-se que esta não tem uma resposta uníssona, pois constitui um poliedro de muito fáceis, que vai mudando conforme se vai girando. Antes de mais, e aproveitando as palavras de Ribeiro (2004) reforçar que "esta riqueza de paisagens se por um lado dificulta muito o estudo geográfico da região, por outro compensa o investigador com a diversidade de ensinamentos que proporciona" (p.18). Neste sentido, ressalvar que o difuso assume muitas formas, cada uma com expressão territorial muito própria, que dificulta o estabelecimento de generalizações intrínsecas à pesquisa científica, pelo que este estudo deverá ser ampliado a outros territórios, para validar ou refutar as conclusões apresentadas.

A principal característica do ambiente térmico da urbanização difusa é a complexidade espacial e temporal, decorrente da miscelânea de componentes biofísicas, ditada pela mescla dos usos do solo num território onde a interpenetração do urbano (impermeável) e do rural (permeável) é constante. Esta situação promove a alienação da metáfora da ilha de calor, pois ancorada na rede

viária – a ossatura do processo de urbanização difusa – ramifica em diversos sentidos (numa configuração rizomática), excluindo-se apenas inequivocamente os locais onde subsistem os povoamentos florestais, com vegetação arbórea densa. Paradoxalmente, no território difuso parte significativa do tecido urbano deixa de estar sob efeito da ilha de calor de superfície – reforçando-se a ideia de que nem todo o crescimento urbano redunda em ilha de calor (lembrando que tal apenas se verifica quando ocorre a densificação *in loco* da construção).

A análise conjunta das mudanças do ambiente térmico com a assinatura térmica dos modos de crescimento urbano (*i.e.*, colmatação, contiguidade e dispersão) coloca em evidência que o difuso (entenda-se, no contexto específico do *Landscape Expansion Index*, o disperso) – apesar de exibir valores médios de Ts mais baixos (menos problemático) – promove mudanças mais bruscas (mais problemático), uma vez que a componente biofísica mais exaurida será muito provavelmente a vegetação arbórea e/ou densa. Reforçando-se assim que, as modificações no ambiente térmico são determinadas não só pelo modo de crescimento urbano, como também pelas condições originais das superfícies convertidas (Figura F.3). Além de que, as transformações decorrentes da ação individual (*i.e.*, padrões microclimáticos) se vão agregando a escalas mais amplas – enfatizando que o difuso neste território ocorre de modo 'denso' (Ribeiro, 1994) –, atenuando sistematicamente os contrastes de vizinhança, e, consequentemente, as trocas convectivas de calor a esta escala.



Figura F.3 – Síntese da relação do processo de urbanização com as mudanças no ambiente térmico

A sedimentação do difuso (e o consequente alastrar das superfícies impermeáveis antrópicas) dita uma homogeneização do ambiente térmico – passando grande parte do território a exibir valores medianos de temperatura. Adotando a linguagem estatística, e considerando a análise de clusters em particular, a urbanização difusa promove a redução de agrupamentos de *hotspots* (e de *coldspots*) e o incremento do território considerado não significativo. A redução dos contrastes térmicos de vizinhança remete a regulação climática, nomeadamente nos núcleos urbanos densos (como sucede em Braga, onde dominam as condições de calor acentuado em todas os horários), para os contrastes regionais (entenda-se mesoclimáticos). Estes encontram-se dependentes dos maciços arbóreos dos topos mais elevados e declivosos – que vão, por força das condicionantes legais, resistindo ao avanço da construção. Concluindo, a morfologia urbana mais dispersa apresenta um comportamento térmico diferenciado do modelo compacto, que se repercute, entre outros aspetos, diretamente no sistema de brisas. Conquanto, Gunawardena *et al*. (2017) alertam:

> "*there is little evidence however to suggest that this disparity is sufficient to conclude that one pattern of urban development is superior to the other in terms of thermal balance optimization, as this mesoscale flow represents only one of several climate interactions that affect urban cooling*" (p.1054).

Ao focar a atenção no comportamento do território no decorrer de uma onde calor – que tipifica as situações de aumento de temperatura e diminuição da precipitação projetadas para o futuro (EEA, 2012a; IPCC, 2013 e 2018), fica em evidência que as formas urbanas mais compactas são mais afetadas, dominando as condições de calor moderado/acentuado ao longo de todo o dia. Por sua vez, no território difuso as condições do ambiente térmico vão oscilando significativamente ao longo do dia – entre as condições de frescura moderada à noite até às condições de calor moderado no período de maior radiação solar.

Por último, realçar uma vez mais que é fundamental salvaguardar não só os topos florestados, responsáveis pela formação do ar fresco, como também assegurar a existência de corredores de ventilação, que possibilitem a condução das brisas ao longo das vertentes (onde se desenvolve preferencialmente o difuso) até aos núcleos urbanos mais densos (por norma, localizados próximo do fundo do vale), com vista à necessária renovação do ar e mitigação da carga térmica. Efetivamente, a dinâmica climática do difuso depende não só das características do tecido urbano, como também da sua envolvente não construída, que contínua a ser a parte maioritária deste território; e, esta encontra-se sujeita a inúmeras oscilações temporais, decorrentes não só da

apropriação antrópica do território (*e.g.*, aproveitamento agrícola, florestal), como também das condições climáticas (*e.g.*, variações diárias, sazonais, interanuais). Em contrapartida, o rumo dado a este modelo territorial repercute-se diretamente na dinâmica climática de todo o território, como evidenciado.

Observação (Remota) do Ambiente Térmico

Notando que as conclusões obtidas neste trabalho se estendem para além da resposta direta à principal questão de partida formulada. Em primeira instância, reforça-se a importância da similaridade das imagens de satélite selecionadas para determinar o efeito climático da urbanização, visto que em algumas situações o ruído intercenas pode sobrepor-se às variações decorrentes da apropriação antrópica do território. Ademais, fica bem patente que a normalização dos valores – *i.e.*, em função do mínimo e do máximo – ao ser afetada pelos valores extremos, não elimina a totalidade destas variações.

Noutro cômputo, partilha-se da opinião de que a captura do Landsat por volta das 10h/11h não resulta na perda de informação significativa, dada a elevada correlação desta imagem com a captada às 13:30 pelo MODIS-Aqua, mais próxima do máximo térmico diário. De facto, e contextualizando no quadro específico da urbanização difusa, este horário revelou-se pertinente no entendimento da complexidade do ambiente térmico, para a qual contribui em grande medida a elevada presença de solo lavrado, que contribui significativamente para o aquecimento superficial do território a meio da manhã neste período do ano. As imagens MODIS captadas às 22:30, por se encontram próximas do *thermal crossover,* detêm uma reduzida amplitude de valores – pelo que fornecem reduzida informação acerca das diferenças climáticas das superfícies. Por sua vez, o horário da 01:30 coloca em evidência o domínio dos padrões mesoclimáticos, sobre os microclimáticos mais amplamente escrutinados.

Em suma, a Ts constitui uma variável com um elevado grau de complexidade – particularmente em territórios muito heterógenos como sucede na AUBG – exibindo um comportamento espacial não estacionário. Com efeito, a sua explicação por via de métodos estatísticos globais (*e.g.*, a OLS) é inviável e os modelos locais (como a GWR) necessitam de uma investigação mais profunda, particularmente em ambientes muitos heterogéneos, particularmente se o foco estiver direcionado para a realização de previsões fiáveis acerca da sua variação futura.

Caminhos a Seguir

Não raras as vezes uma investigação levanta mais questões do que as soluções que oferece, neste sentido deixam-se algumas pistas para trabalhos futuros. As recomendações aqui apontadas, mais do que afiliadas nos domínios específicos da Deteção Remota, Geografia Urbana ou Climatologia Urbana encontram-se direcionadas para a sua interação parcial ou conjunta.

A combinação da Deteção Remota com os SIG provou ser eficaz mesmo em contextos de urbanização difusa como ocorre nos municípios de Braga e de Guimarães, constituindo uma alternativa viável aos estudos empíricos tradicionais assentes em medições *in situ*. A descrição detalhada da metodologia empregue neste trabalho facilita tanto a sua aplicação a datas futuras (dando sequência à análise longitudinal aqui iniciada), como a outros contextos territoriais, ampliando a análise transversal efetuada. De facto, só assim será possível monitorizar (e prever) as alterações que o crescimento urbano difuso acarreta no funcionamento ecológico do território; bem como, a avaliação das respostas implementadas no território que operacionalizam o tão proclamado conceito de sustentabilidade ou de outros chavões, como a mitigação e adaptação às alterações climáticas

Na compreensão do ambiente térmico do difuso a aposta deve ser direcionada para os estudos das variações no curto e médio prazo, nomeadamente os padrões sazonais, e dentro destes a sua evolução diária. Concomitantemente, é necessário destrinçar com maior detalhe os fatores – naturais e antrópicos – que explicam estes padrões térmicos. Num prisma mais amplo, são precisos mais estudos acerca do efeito das características dos materiais de cobertura na redução do efeito da ilha de calor; e, das variações da fenologia da vegetação nos espaços urbanos, e quais as suas implicações no ambiente térmico. A par disto, salientam-se outras três vertentes a aperfeiçoar (Deilami *et al.*, 2018): (i) as técnicas de fusão de imagens de satélite, que melhora a precisão na extração das coberturas/usos do solo; (ii) o desenvolvimento de novos algoritmos que melhorem a precisão na extração de Ts, nomeadamente ao nível da estimação dos valores de emissividade; e, (iii) a integração de dados de outras fontes, como por exemplo o Lidar, que permite captar a natureza 3D do território.

Um outro aspeto passa por melhorar a tradução dos dados de Deteção Remota em indicadores climáticos úteis – em termos de conteúdo e de formato – ao planeamento territorial e ambiental. Efetivamente, num país como Portugal onde à escassez de estações meteorológica, se somam os

custos de aquisição dos dados, as variáveis derivadas com base nas imagens de satélite constituem uma importante fonte de informação. Para tal, é necessário a definição de protocolos de extração da informação, numa linguagem acessível a uma ampla gama de utilizadores, sem comprometer a integridade e precisão da informação. Ou então, a criação de ferramentas ou de plataformas *online* que facilitem a sua derivação – acautelando a necessária adequação ao quadro territorial a que se destinam Em igual sentido, os resultados científicos devem ser vertidos em estratégias de desenho do edificado e do espaço urbano – melhorando a comunicabilidade entre a Climatologia Urbana, a Arquitetura, o Planeamento e a decisão política.

Num futuro mais distante, almeja-se o desenvolvimento de Programas de Observação da Terra que combinem uma resolução espacial, temporal e espectral mais elevada, particularmente no que ao infravermelho térmico diz respeito (Mohamed *et al.*, 2017). De acordo com Sobrino *et al.* (2012), o pixel de 50m e o período de revisitação de dois dias (ou um dia, caso estejam operacionais dois satélites) seria o ideal para monitorizar as variações térmicas intraurbanas.



B.

BIBLIOGRAFIA

"Nascida na aurora do pensamento científico grego, a Geografia desenvolveu-se em todas as épocas de alargamento do mundo conhecido e em cada surto do espírito humano".

| Orlando Ribeiro, 1989b, p. 17 |

BIBLIOGRAFIA

Acero, J., Arrizabalaga, J., Kupski, S., & Katzschner, L. (2013). Deriving an Urban Cliguhae Map in coastal areas with complex terrain in the Basque Country (Spain). *Urban Climate*, 4, 35-60.

Aguejdad, R., & Hubert-Moy, L. (2016). Suivi de l'artificialisation du territoire en milieu urbain par télédétection et à l'aide de métriques paysagères. Application à une agglomération de taille moyenne, Rennes Métropole. *Cybergeo: European Journal of Geography*.

Aguiar, T. (2011). Tentativa e Erro: O que isto pode nos Ensinar sobre o Conhecimento Científico?. *Cognitio: Revista de Filosofia*, 12(1), 11-19.

Al-Awar, M. & El-Baz, F. (2010). Using Satellite Images in Policing Urban Environments, *in* T. Rashed & C. Jürgens (Eds.), *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Springer: Heidelberg, Dordrecht, London & New York, 313-328.

Albergaria, H. (coord.) (2007). *Vilas Medievais Planeadas de Portugal. Reinados de D. Afonso III e D. Diniz*. IERU: Coimbra.

Alcoforado, M. (1993). *O clima da região de Lisboa: contrastes e ritmos térmicos*. Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa: Lisboa.

Alcoforado, M. (1999). Aplicação da climatologia ao planeamento urbano. Alguns apontamentos. *Finisterra*, 34(67/68).

Alcoforado, M. (2013). *Henrique Andrade (1960-2013)*. Finisterra, (95), 9-13.

Alcoforado, M., & Marques, D. (2016). Alterações climáticas, mudanças do clima, *in* J. Fernandes, L. Trigal & E. Sposito (Orgs.), *Dicionário de Geografia Aplicada – Terminologia da análise, do planeamento e da gestão do território.* Porto Editora: Porto, 25-26.

Alcoforado, M., Lopes, A., Alves, E., & Canário, P. (2014). Lisbon heat island statistical study (2004-2012). *Finisterra*, 49(98), 61-80.

Allegretti, G. (2016). Estudo de caso, *in* J. Fernandes, L. Trigal & E. Sposito (Orgs.), *Dicionário de Geografia Aplicada – Terminologia da análise, do planeamento e da gestão do território.* Porto Editora: Porto, 188-189.

Almeida, R. (2018). Cities, Systems and Structures: an ontological approach to urban studies. CIDADES, Comunidades e Territórios, 37, 1-15.

Alves, J. (1999). *Fiar e Tecer - uma perspectiva histórica da indústria têxtil a partir do vale do Ave*. Câmara Municipal de Vila Nova de Famalicão: Vila Nova de Famalicão.

Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A., & Alavipanah, S. (2009). Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote Sensing of Environment*, 113, 2606-2617.

Amorim, A. (1993). *Introdução às Ciências Sociais*. Estante Editora: Aveiro.

Amorim, M. (2000). *O clima urbano de Presidente Prudente/SP*. Tese de Doutoramento em Geografia Física, Universidade de São Paulo, 322pp.

Amorim, M., Neto, J., & Dubreuil, V. (2009). Estrutura térmica identificada por transectos móveis e canal termal do Landsat 7 em cidade tropical. *Revista de Geografía Norte Grande*, (43), 65-80.

Anderson, G., Hardy, E., Roach, J., & Witmer, R. (1976). *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data.* USGS Professional Paper: Washington, DC.

Andrade, H. (2003). *Bioclima Humano e Temperatura do Ar em Lisboa*. Tese de Doutoramento em Geografia, Universidade de Lisboa, 440p.

Andrade, H. (2005). O Clima Urbano. Natureza, Escalas de Análise e Aplicabilidade. *Finisterra*, XL(80), 67-91.

Andrade, V. (2005). Introdução, *in* V. Andrade (Autor) *Onde Falham as Cidades*. Temas e Debates – Atividade Editoriais, Lda: Lisboa, 9-12.

ApolloMapping (2017). *Key Satellite Specifications*, disponível em https://apollomapping.com/imagery/medium-resolution-satellite-imagery/spot, consultado a 03 de março de 2017.

Arkin, H., & Colton, R. (1963). *Tables for statisticians*. Barnes & Noble: New York.

Arthur-Hartranft, S., Carlson, T., & Clarke, K. (2003). Satellite and ground-based microclimate and hydrologic analyses coupled with a regional urban growth model. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 385-400.

Asher, F. (2010). *Novos Princípios do Urbanismo seguido de Novos Compromissos Urbanos. Um Léxico*. Livros Horizonte: Lisboa.

As-Syakur, A., Adnyana, I., Arthana, I., & Nuarsa, I. (2012). Enhanced Built-Up and Bareness Index (EBBI) for mapping built-up and bare land in an urban area. *Remote Sensing*, 4(10), 2957-2970.

Atkinson, P. (1999). Spatial Statistics, *in* A. Stein, F. Van Ver Meer & B. Gorte (Eds.), *Spatial Statistics for Remote Sensing*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, 57-81.

Aviso n.º 11741/2015, de 14 de outubro. Regulamento do Plano Diretor Municipal de Braga, *Diário da República 2.ª Série*, n.º 201, 29573-29614.

Aviso n.º 6936/2015, de 22 de junho. Regulamento do Plano Diretor Municipal de Guimarães, *Diário da República 2.ª Série*, n.º 119, 16682-16706.

Bandeira, M. (2001). *O Espaço Urbano de Braga — obras públicas, urbanismo e planeamento (1790-1974). A cidade dos finais do Antigo Regime ao advento da II República*. Tese de Doutoramento em Geografia, Universidade do Minho, 400p (cedido pelo autor).

Bandeira, M. (2009). O Minho, Sentido e Configuração, *in* P. Pereira (Coord.), *Minho, Traços e Identidade. Universidade do Minho*, Braga, 670-681.

Bandeira, M. (2014). *GEOGRAFIA URBANA do programa, os conteúdos e os métodos*. Relatório da Unidade Curricular de Geografia Urbana apresentado à Universidade do Minho para efeito de prestação de provas de agregação, nos termos da alínea b) do artigo 5º do Decreto-lei nº 239/2007, de 19 de junho, no grupo disciplinar de Geografia do Instituto de Ciências Sociais da Universidade do Minho, 263p (cedido pelo autor).

Bandeira, M. (2015). *Braga Vista do Céu*. Argumentum: Lisboa.

Bandeira, M.; Veiga, C.; & Veiga, P. (2018). A 'favela dos ricos'. Processos de urbanização na encosta de uma cidade do Noroeste de Portugal. *Caderno de Geografia*, 28(54), 769-792.

Barati, S., Rayegani, B., Saati, M., Sharifi, A., & Nasri, M. (2011). Comparison the accuracies of different spectral indices for estimation of vegetation cover fraction in sparse vegetated areas. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science,* 14(1), 49-56.

Barreto, A. (2013). Cidades. A liberdade é urbana. *XXI Ter Opinião*, N.º2, 62-69.

Batty, M. & Longley, P. (1994). *Fractal Cities: geometry of form and function*. Academic Press: London.

Batty, M. (2002) Thinking about cities as spatial events. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 29, 1–2.

Batty, M., & Marshall, S. (2012). The origins of complexity theory in cities and planning, *in* J. Portugali, H. Meyer, E. Stolk, & E. Tan (Eds.), *Complexity theories of cities have come of age*. Springer: Berlin, Heidelberg, 21-45.

Bazaz, A., Bertoldi, P., Buckeridge, M., Cartwright, A., de Coninck, H., Engelbrecht, F., ... & Lwasa, S. (2018). *Summary for urban policymakers: What the IPCC Special Report on global warming of 1.5° C means for cities*. Indian Institute for Human Settlements: Bengaluru.

Beaujeu-Garnier, J. (1995). *Géographie Urbaine*. Armand Colin Éditeur: Paris.

Benguigui, L. (1998). Aggregation models for town growth. *Philosophical Magazine B*, 77(5), 1269-1275.

Benguigui, L., Czamanski, D., & Marinov, M. (2001). City Growth as a Leap-frogging Process: an Application to the Tel-Aviv Metropolis. *Urban Studies*, 38(10), 1819-1839.

Besussi, E., Chin, N., Batty, M., & Longley, P. (2010). The structure and form of urban settlements, *in* T. Rashed & C. Jürgens (Eds.), *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Springer: Heidelberg, Dordrecht, London & New York, 13-32.

Bhata, B. (2010) – *Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing Data*. Springer: Heidelberg, Dordrecht, London, New York.

Bhatta, B. (2013). *Research Methods in Remote Sensing*. Springer: Heidelberg, Dordrecht, London & New York.

Bonan, G. (2000) - The microclimates of a suburban Colorado (USA) landscape and implications for planning and design. *Landscape and Urban Planning*, 49(3-4), 97-114.

Bourdin, A. (2011). *O urbanismo depois da crise*. Livros do Horizonte: Lisboa.

Bruin, S. & Molenaar, M. (1999). Remote sensing and geographical information systems, *in* A. Stein, F. Van Ver Meer & B. Gorte (Eds.), *Spatial Statistics for Remote Sensing*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, 41-54.

Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., & Windhorst, W. (2009). Landscapes' capacities to provide ecosystem services – a concept for land-cover based assessments. *Landscape Online*, 15(1), 22pp.

Buyantuyev, A., Wu, J., & Gries, C. (2010). Multiscale analysis of the urbanization pattern of the Phoenix metropolitan landscape of USA: time, space and thematic resolution. *Landscape and Urban Planning,* 94(3), 206-217.

Buzai, G. (2016). Sistemas Complexos, *in* J. Fernandes, L. Trigal & E. Sposito (Orgs.), *Dicionário de Geografia Aplicada – Terminologia da análise, do planeamento e da gestão do território.* Porto Editora: Porto, 476-477.

Byrne G. (2005). A qualidade da cidade ainda não dá votos, *in* V. Andrade (Autor), *Onde Falham as Cidades*. Temas e Debates – Atividade Editoriais, Lda: Lisboa, 33-.48.

Caetano, M., Igreja, C., Marcelino, F., & Costa, H. (2017). E*statísticas e dinâmicas territoriais multiescala de Portugal Continental 1995-2007-2010 com base na Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS)*. Relatório Técnico. Direção-Geral do Território: Lisboa.

Calix, T. (2015). A nossa casa precisa de uma realidade, *in* A. Domingues e N. Travasso (Coords.), *Território Casa Comum – Morfologias e Dinâmicas Territoriais*. FAUP: Porto, 17-21.

Câmara Municipal de Braga (2014). Revisão do PDMB - Relatório dos Estudos de Caracterização. Disponível em http://pdmbraga.cm-braga.pt/index.php/relatorio?download=55:relatorio-dos-estudos-de-caraterizacao, consultado a 24 de janeiro de 2019.

Câmara Municipal de Guimarães (2012). Relatório do PDM de Guimarães – Síntese de Enquadramento e Opções Estratégicas. Disponível em https://www.cm-guimaraes.pt/uploads/document/file/194/35225.pdf, consultado a 24 de janeiro de 2019.

Carlson, T. (2003). Preface – Applications of remote sensing to urban problems. *Remote Sensing of Environment,* 86(3), 273-274.

Carlson, T. (2007). An overview of the" triangle method" for estimating surface evapotranspiration and soil moisture from satellite imagery. *Sensors*, 7(8), 1612-1629.

Carlson, T., & Arthur, S. (2000). The impact of land use-land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. *Global and Planetary Change,* 25(1), 49-65.

Carlson, T., & Ripley, D. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62(3), 241-252.

Carlson, T., & Sanchez-Azofeifa, G. (1999). Satellite remote sensing of land use changes in and around San Jose, Costa Rica. *Remote Sensing of Environment*, 70(3), 247-256.

Carlson, T., Capehart, W., & Gillies, R. (1995b). A new look at the simplified method for remote sensing of daily evapotranspiration. *Remote Sensing of Environment*, 54(2), 161-167.

Carlson, T., Taconet, O., Vidal, A., Gillies, R., Olioso, A., & Humes, K. (1995a). An overview of the workshop on thermal remote sensing held at La Londe les Maures, France, September 20–24, 1993. *Remote Sensing Reviews*, 12(3-4), 147-158.

Carvalho, A. (2016). Discursos hegemónicos sobre a cidade: desenvolvimento" e "crescimento verde" em Braga. *CIDADES, Comunidades e Territórios*, (32), 32-49.

Carvalho, J., & Cancela d'Abreu, A. (2011). A *Ocupação Dispersa no Quadro dos PROT e dos PDM*. DGOTDU: Lisboa.

Carvalho, J., Cancela d'Abreu, A., Pais, C., & Gomes, P. (2013). *Ocupação Dispersa: Custos e benefícios à escala local*. Direção Geral do Território: Lisboa.

Cavaco, C. (Coord.). (2015). *Cidades Sustentáveis 2020*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e Direção Geral do Território: Lisboa.

Chen, J. (1996). Evaluation of vegetation indices and modified simple ratio for boreal applications. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 22, 229–242.

Chen, L., Jiang, R., & Xiang, W. (2016). Surface heat island in Shanghai and its relationship with urban development from 1989 to 2013. *Advances in Meteorology*, 2016, 15p.

Chen, L., Ren, C., Zhang, B., Wang, Z., & Liu, M. (2018). Quantifying Urban Land Sprawl and its Driving Forces in Northeast China from 1990 to 2015. *Sustainability*, 10(1), 188.

Chen, W., Liu, L., Zhang, C., Wang, J., Wang, J., & Pan, Y. (2004). Monitoring the seasonal bare soil areas in Beijing using multitemporal TM images. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 5, 3379-3382.

Chen, X., Zhao, H., Li, P. X., & Yin, Z. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104(2), 133-146.

Choay, F. (2004). El reino de lo urbano y la muerte de la ciudad, *in* A. Martín Ramos (Ed.), *Lo Urbano en 20 Autores Contemporáneos*. Ediciones UPC: Barcelona, 61-72.

Choay, F. (2006). *Pour une anthropologie de l'espace*, Seuil: Paris.

Chrysoulakis, N., Feigenwinter, C., Triantakonstantis, D., Penyevskiy, I., Tal, A., Parlow, E., ... & Marconcini, M. (2014). A conceptual list of indicators for urban planning and management based on Earth observation. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3(3), 980-1002.

Chuvieco, E. (1995) *Fundamentos de Teledeteccion Espacial*. Ediciones RIALP: Madrid. 2ª Edição.

Clark, D. (1991). *Introdução à Geografia Urbana*. Editora Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2ª Edição. (Tradução: Lúcia Gerardi e de Silvana Pintaudi).

Claval, P. (1987). *Geografia do Homem*. Livraria Almedina: Coimbra (Organização de Jorge Gaspar).

ClimateEngine (2019). *Climate Engine Data*. Disponível em https://app.climateengine.org/, consultado a 14 de maio de 2019.

Coll, C., Galve, J., Sanchez, J., & Caselles, V. (2010). Validation of Landsat-7/ETM+ thermal-band calibration and atmospheric correction with ground-based measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(1), 547-555.

Congalton, R. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35-46.

Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E. (2004). Review Article – Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9), 1565-1596.

Costa, E. (2016). A paisagem barroca como memória da estética nacional. *Finisterra*, 51(103), 67-87.

Crippen, R. E. (1990). Calculating the vegetation index faster. *Remote Sensing of Environment*, 34(1), 71-73.

Cunha, L., & Mújica, J. (2016). Análise transversal e longitudinal, *in* J. Fernandes, L. Trigal & E. Sposito (Orgs.), *Dicionário de Geografia Aplicada – Terminologia da análise, do planeamento e da gestão do território.* Porto Editora: Porto, 29-30.

Curran, P. (1985). *Principles of remote sensing*. Longman Group Limited: London.

Czamanski, D., Benenson, I., Malkinson, D., Marinov, M., Roth, R., & Wittenberg, L. (2008). Urban sprawl and ecosystems — can nature survive? *International review of environmental and resource economics*, 2(4), 321-366.

Dadvand, P., Wright, J., Martinez, D., Basagaña, X., McEachan, R. R., Cirach, M., ... & Nieuwenhuijsen, M. J. (2014). Inequality, green spaces, and pregnant women: roles of ethnicity and individual and neighbourhood socioeconomic status. *Environment International*, 71, 101-108.

Dahal, K. R., Benner, S., & Lindquist, E. (2017). Urban hypotheses and spatiotemporal characterization of urban growth in the Treasure Valley of Idaho, USA. *Applied Geography*, 79, 11-25.

Daveau, S. (1977). O interesse das imagens dos satélites ERTS para o estudo do clima às escalas regional e local em Portugal. *Finisterra*, XII(23), 148-156.

Daveau, S. (1981). Documentos para o ensino – utilização pedagógica das imagens do satélite Meteosat. *Finisterra*, XVI(32), 381-401.

Daveau, S. (1999a). Comentários e Actualização, *in* O. Ribeiro, H. Lautensach, & S. Daveau, *Geografia de Portugal – III. O Povo Português.* Edições João Sá da Costa: Lisboa, 877-876. 3ª Edição.

Daveau, S. (1999b). Comentários e Actualização, *in* O. Ribeiro, H. Lautensach, & S. Daveau. *Geografia de Portugal – II. O Ritmo Climático de a Paisagem*, Edições João Sá da Costa: Lisboa, 387-464. 4ª Edição.

Daveau, S. (1999c). Advertência, *in* O. Ribeiro, H. Lautensach, & S. Daveau. Geografia de Portugal – III. O Povo Português, Edições João Sá da Costa: Lisboa, XI-XXI. 3ª Edição.

Daveau, S. (e colaboradores) (1985). *Mapas Climáticos de Portugal Nevoeiros e Nebulosidade Contrastes Térmicos*, Memórias do Centro de Estudo Geográficos: Lisboa.

Decreto-Lei nº 101/2005, de 23 de junho (2005). Transposição para a ordem jurídica interna da Directiva n.º 1999/77/CE, *Diário da República 1.ª Série A*, n.º 119, 3937-3939.

Deilami, K., Kamruzzaman, M., & Liu, Y. (2018). Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 67, 30-42.

Deleuze, G., & Guattari, F. (2000). Mil platôs: capitalismo e esquizofrenia – volume. 1. Editora 34: São Paulo. 2ª Edição.

Deng, C., & Wu, C. (2013). Examining the impacts of urban biophysical compositions on surface urban heat island: A spectral unmixing and thermal mixing approach. *Remote Sensing of Environment*, 131, 262-274.

Deng, Y., Wu, C., Li, M., & Chen, R. (2015). RNDSI: A ratio normalized difference soil index for remote sensing of urban/suburban environments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 39, 40-48.

Depietri, Y., Welle, T., & Renaud, F. G. (2013). Social vulnerability assessment of the Cologne urban area (Germany) to heat waves: links to ecosystem services. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 6, 98-117.

Derruau, M. (1973). *Geografia Humana II*. Editorial Presença: Lisboa (Tradução: Arlindo Mota).

DGOTDU (2009). *Alterações Climáticas e Desenvolvimento Urbano*. Direção-Geral do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Urbano: Lisboa.

DGT (2015). *Cidades Analíticas – Acelerar o desenvolvimento das cidades inteligentes em Portugal*. Direção-Geral do Território: Lisboa.

Dietzel, C., Herold, M., Hemphill, J., & Clarke, K. (2005a). Spatio-temporal dynamics in California's Central Valley: Empirical links to urban theory. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(2), 175-195.

Dietzel, C., Oguz, H., Hemphill, J. J., Clarke, K. C., & Gazulis, N. (2005b). Diffusion and coalescence of the Houston Metropolitan Area: evidence supporting a new urban theory. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32(2), 231-246.

Direção-Geral da Saúde (2016). *Amianto*. Disponível em https://www.dgs.pt/paginas-de-sistema/saude-de-a-a-z/amianto.aspx, consultado a 29 de setembro de 2017.

Diretiva 2003/18/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de março de 2003 (2003). Proteção sanitária dos trabalhadores contra os riscos de exposição ao amianto durante o trabalho, *Jornal Oficial da União Europeia*, 97/48-97/52.

Domingues, A. & Marques, T. (1987). Produção Industrial e Reprodução Social e Território – Materiais para uma Tentativa de Abordagem do Médio Ave. *Revista Crítica de Ciências Sociais,* 22, 125-130.

Domingues, A. (1999). Formas e escalas da urbanização difusa - interpretação e intervenção no NO de Portugal. *Inforgeo,* 14, 43-64.

Domingues, A. (2007). Norte – Entre Douro e Minho, *in* F. Jorge (Ed.), *Portugal Visto do Céu*. Argumentum: Lisboa, 14-53.

Domingues, A. (2008). *A urbanização extensiva – uma nova escala para o planeamento*, *in* CITTA 1st Annual Conference on Planning Research. FEUP: Porto.

Domingues, A. (2009). *A Rua da Estrada*. Dafne Editora: Porto.

Domingues, A. (2010). A Rua da Estrada. *Cidades – Comunidades e Territórios*, 20/21, 59-67.

Domingues, A. (2011a). As Transformações do Território, *in* N. Portas, A. Domingues, J. Cabral e N. Travasso (Redatores), *Urbanas II – Transformações, Regulações e Projetos*. Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa, 16-159.

Domingues, A. (2011b). *Vida no Campo*. Dafne Editora: Porto.

Domingues, A. (2015a). Cidade Esponja*. XXI, Ter Opinião*. Nº4, 18-31.

Domingues, A. (2015b). Compreender o Território, *in* A. Domingues e N. Travasso (Coords.), Território Casa Comum – Morfologias e Dinâmicas Territoriais. FAUP: Porto, 50-62.

Domingues, A. (2017). *Volta a Portugal*. Contraponto: Lisboa.

Domingues, A., & Martins, I. (2015). A Paisagem da Vaca, *in* A. Domingues e N. Travasso (Coords.), Território Casa Comum – Morfologias e Dinâmicas Territoriais, FAUP: Porto, 130-134.

Domingues, A., & Screpanti, D. (2015). A Fábrica da Paisagem, *in* A. Domingues e N. Travasso (Coords.), *Território Casa Comum – Morfologias e Dinâmicas Territoriais*. FAUP: Porto, 114-119.

Domingues, A., & Travasso, N. (2015b). Quatro histórias do território, *in* A. Domingues e N. Travasso (Coords.), *Território Casa Comum – Morfologias e Dinâmicas Territoriais*. FAUP: Porto, 108-113.

Domingues, A., & Travasso, N. (Coords.) (2015a). *Território Casa Comum – Morfologias e Dinâmicas Territoriais*. FAUP: Porto

Dousset, B., Gourmelon, F., Laaidi, K., Zeghnoun, A., Giraudet, E., Bretin, P., ... & Vandentorren, S. (2011). Satellite monitoring of summer heat waves in the Paris metropolitan area. *International Journal of Climatology*, 31(2), 313-323.

EEA (2006). *Urban sprawl in Europe. The ignored challenge*. *Report Nº10/2006*. European Environment Agency: Copenhagen.

EEA (2012a). *Climate change impacts and vulnerability in Europe 2012*. An indicator-based report. European Environment Agency: Copenhagen.

EEA (2012b). *Urban adaptation to climate change in Europe - Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies*. European Environment Agency: Copenhagen.

EEA (2015). *Living in a changing climate*. European Environment Agency: Copenhagen.

EEA (2016). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report*. European Environment Agency: Copenhagen.

Effat, H., & Hassan, O. (2014). Change detection of urban heat islands and some related parameters using multi-temporal Landsat image, a case study for Cairo city, Egypt. *Urban Climate*, 10, 171-188.

Effat, H., Taha, L., & Mansour, K. (2014) Change Detection of Land cover and Urban Heat Islands Using Multi-Temporal Landsat Images, Application in Tanta City, Egypt. *Open Journal of Remote Sensing and Positioning*, 1(2), 1-15.

EMAAC-Braga (2016). *Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas de Braga*. ClimAdaPT.Local.

EMAAC-Guimarães (2016). *Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas de Guimarães*. ClimAdaPT.Local.

Encarnação, S., Gaudiano, M., Santos, F., Tenedório, J., & Pacheco, J. (2013). Urban Dynamics, Fractals and Generalized Entropy. *Entropy*, 15, 2679-2697.

ENVI (2015a). *Atmospheric Correction*. Disponível em www.Exelis/envi53/help/ENVIHelp.htm#PreprocessImagery/QUAC_FLAASH/FLAASH.htm#kanchor153, consultado a 22 de maio de 2017.

ENVI (2015b). *Image Registration*. Disponível em www.Exelis/envi53/help/ENVIHelp.htm#GeorectifyImagery/Image_Registration/ImageRegistration.htm, consultado a 22 de maio de 2017.

ENVI (2015c). *Automatic Image to Image Registration*. Disponível em www.Exelis/envi53/help/ENVIHelp.htm#GeorectifyImagery/RegistrationImageToImage.htm, consultado a 22 de maio de 2017.

EPA – Environmental Protection Agency (2008). *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies*, disponível em https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium, consultado a 07 de janeiro de 2019.

Espinoza, P. (2012). *La isla de calor urbana de superficie y sus factores condicionantes: El caso del área metropolitana de Santiago*. Tese de Doutoramento em Geografia Física e Análise Geográfica Regional, Universidade de Barcelona, 227p.

ESRI (2017a). *Average Nearest Neighbor*. Disponível em http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/average-nearest-neighbor.htm, consultado a 24 de abril de 2018.

ESRI (2018). *Incremental Spatial Autocorrelation*. Disponível em http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/incremental-spatial-autocorrelation.htm, consultado a 06 de dezembro de 2018.

ESRI (2019a). *Regression Analysis Basics.* Disponível em https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/regression-analysis-basics.htm, consultado a 08 de julho de 2019.

ESRI (2019b). *Exploratory Regression.* Disponível em https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/exploratory-regression.htm, consultado a 08 de julho de 2019.

ESRI (2019c). *Interpreting OLS Results.* Disponível em https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/how-ols-regression-works.htm, consultado a 08 de julho de 2019.

ESRI (2019d). *Geographically Weighted Regression* (GWR). Disponível em http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/geographically-weighted-regression.htm, consultado a 19 de julho de 2019.

Estébanez, J. (1992). Los Espacios Urbanos, *in* R. Puyol, J. Estébanez & R. Méndez (Autores), *Geografia Humana*. Ediciones Cátedra: Madrid, 357-585.

Estoque, R., & Murayama, Y. (2015). Classification and change detection of built-up lands from Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS imageries: A comparative assessment of various spectral indices. *Ecological Indicators*, 56, 205-217.

European Commission (2016). *Mapping Guide v4.7 for a European Urban Atlas*. European Union. Disponível https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas/, consultado a 20 de maio de 2017.

Fan, C., & Myint, S. (2014). A comparison of spatial autocorrelation indices and landscape metrics in measuring urban landscape fragmentation. *Landscape and Urban Planning*, 121, 117-128.

Fang, G. (2015). Prediction and Analysis of Urban Heat Island Effect in Dangshan by Remote Sensing. *International Journal on Smart Sensing & Intelligent Systems*, 8(4), 2195-2211.

Feng, Y., Chen, D., & Zhang, X. (2019). Atmospheric aerosol pollution across China: a spatiotemporal analysis of satellite-based aerosol optical depth during 2000–2016. *Internacional Journal of Digital Earth*, 12(7), 843-857.

Fernandes, J., & González, R. (2016). Área urbana, *in* J. Fernandes, L. Trigal & E. Sposito (Orgs.), *Dicionário de Geografia Aplicada – Terminologia da análise, do planeamento e da gestão do território.* Porto Editora: Porto, 34-35.

Fernandes, J., Vásquez, Y., & Sexto, C. (2016). Contraurbanização, *in* J. Fernandes, L. Trigal & E. Sposito (Orgs.), *Dicionário de Geografia Aplicada – Terminologia da análise, do planeamento e da gestão do território.* Porto Editora: Porto,104-105.

Fernandes, M. (2002). *Urbanismo e morfologia urbana no Norte de Portugal (Viana do Castelo, Póvoa de Varzim, Guimarães, Vila Real, Chaves e Bragança) 1852/1926*. Tese de Doutoramento em Geografia, Universidade do Porto, 520pp.

Fernandes, M. (2004). Guimarães, Exemplo e Referência do Urbanismo Contemporâneo Português, in M. Aurindo (Coord.), *Actas do V Congresso da Geografia Portuguesa – "Territórios e Protagonistas*", Universidade do Minho: Guimarães, 17pp.

Ferrão, J. & Delicado, A. (Coords.) (2017). Portugal Social em Mudança. Retratos Municipais. Instituto de Ciências Sociais da Universidade de Lisboa: Lisboa.

Ferrão, J. (2002) Portugal, três geografia em recombinação. *Lusotopie*, 2002(2), 151-158.

Ferrão, J. (2007). Intervir na Cidade: Complexidade, Visão e Rumo, *in* N. Portas, A. Domingues, J. Cabral, *Políticas Urbanas – Tendências, estratégias e oportunidades*. Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa, 218-225. 4ª edição.

Ferrão, J. (2012). Nuno Portas, arquiteto singular, povoador plural, *in* N. Grande (curador), *O Ser Urbano: Nos Caminhos de Nuno Portas*. Imprensa Nacional - Casa da Moeda: Lisboa, 81-86.

Ferreira, A. (2005). Não há cidades ideais, *in* V. Andrade (Autor), *Onde Falham as Cidades*. Temas e Debates – Atividade Editoriais, Lda: Lisboa, 171-180.

Ferreira, F. & Prado, R. (2003). *Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP: São Paulo.

Ferreira, N., Dias, G., Meireles, C., & Braga, M. (2000). *Notícia Explicativa da Folha 5-D (Braga) da Carta Geológica de Portugal na Escala 1/50 000*. Serviços Geológicos de Portugal: Lisboa.

Fischer, E., Seneviratne, S., Vidale, P., Lüthi, D., & Schär, C. (2007). Soil moisture–atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave. *Journal of Climate*, 20(20), 5081-5099.

Fonseca, A. (2016). Raízes. O campo na cidade. Fundação Francisco Manuel dos Santos: Lisboa.

Fonseca, A. D., & Fernandes, J. C. (2004). *Detecção Remota. Radiação Electromagnética, Sensores Orbitais, Processamento de Imagens e Aplicações*. Lidel: Lisboa.

Fonseca, F. (2016). Mapa temático, *in* J. Fernandes, L. Trigal & E. Sposito (Orgs.), *Dicionário de Geografia Aplicada – Terminologia da análise, do planeamento e da gestão do território.* Porto Editora: Porto, 302-303.

Fontes, A., Ramos, R., & Mendes, J. (2005). Sistemas, Estruturas e Modelos de Gestão Urbana, in A. Silva, I. Souza, J. Mendes (Eds.), *Atas do 1º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável - PLURIS 2005*. Universidade de São Paulo: São Carlos, 10pp.

Fontes, A., & Fontes, A. (2002). Arquitetos, *in* ProjectoBragaTempo, *Expansão Urbana e Qualidade de Vida – 1ªConversa Desbragada,* ProjectoBragaTempo: Braga, pp.26-29.

Forman, R. (1995). *Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press: Cambridge.

Fotheringham, A., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2003). *Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships*. John Wiley & Sons: West Sussex.

Fotheringham, A., Yang, W., & Kang, W. (2017). Multiscale geographically weighted regression (MGWR). *Annals of the American Association of Geographers*, 107(6), 1247-1265.

Frenkel, A., & Orenstein, D. (2011). A pluralistic approach to defining and measuring urban sprawl, *in* X. Yang (Ed.), *Urban Remote Sensing: Monitoring, Synthesis and Modeling in the Urban Environment*. John Wiley & Sons: Oxford, 165-181.

Fu, P., & Weng, Q. (2016). A time series analysis of urbanization induced land use and land cover change and its impact on land surface temperature with Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 175, 205-214.

Fugate, D., Tarnavsky, E., & Stow, D. (2010). A survey of the evolution of remote sensing imaging systems and urban remote sensing applications, *in* T. Rashed & C. Jürgens (Eds.), *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Springer: Heidelberg, Dordrecht, London & New York, 119-140.

Fung, T., & Siu, W. (2000). Environmental quality and its changes, an analysis using NDVI. *Internacional Journal of Remote Sensing*, 21(5), 1011-1024.

Galvão, S. (2005). Temos um urbanismo medíocre, *in* V. Andrade (Autor), *Onde Falham as Cidades*. Temas e Debates – Atividade Editoriais, Lda: Lisboa, 147-158.

Ganguly, K., & Shankar, G. (2014). Geo-environmental appraisal for studying urban environment and its associated biophysical parameters using remote sensing and GIS technique. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(8), 717.

Ganho, N. (1998). *O clima urbano de Coimbra: estudo de climatologia local aplicada ao ordenamento urbano*. Tese de Doutoramento em Geografia, Universidade de Coimbra, 550pp.

Gao, B. (1996). MDWI: a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257-266.

Garay, J. (2016) Geografia Urbana (Aplicada), *in* J. Fernandes, L. Trigal & E. Sposito (Orgs.), *Dicionário de Geografia Aplicada – Terminologia da análise, do planeamento e da gestão do território.* Porto Editora: Porto, 218.

García, F. (1996) *Manual de Climatología Aplicada. Clima, Medio Ambiente Y Planificación*. Editorial Síntesis: Madrid.

García, M. (1993). Estudio del clima urbano de Barcelona: la 'isla de calor'. Oikos-tau: Barcelona.

Garcia, M., & Caselles, V. (1991). Mapping burns and natural reforestation using Thematic Mapper data*. Geocarto International*, 6(1), 31-37.

García, M., Labrador, Brondo, J., & Pérez, M. (2012). *Satélites para deteção remota, aplicada à Gestão Territorial*. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias: Canarias (Tradução de Artur Gil).

García-Cueto, O., Jauregui-Ostos, E., Toudert, D., & Tejeda-Martinez, A. (2007). Detection of the urban heat island in Mexicali, BC, México and its relationship with land use. *Atmósfera*, 20(2), 111-131.

Garrido, D., & Costa, R. (1996). *Dicionário Breve de Geografia*. Editorial Presença, Lisboa.

Gaspar, J. (1987). *Portugal: Os próximos 20 anos. I Volume. Ocupação e Organização do Espaço – Retrospectivas e Tendências*. Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa.

Gaspar, J. (1996). *Guimarães: Cidade e Urbanidade*. Câmara Municipal de Guimarães: Guimarães. Disponível em https://www.cm-guimaraes.pt/cmguimaraes/uploads/ /document/824/470417.pdf, consultado a 31 de janeiro de 2019.

Gaspar, J. (2005). Nunca tivemos uma política seria de ciudades, *in* V. Andrade (Autor), *Onde Falham as Cidades*. Temas e Debates – Atividade Editoriais, Lda: Lisboa, 99-108.

Geiger, R. (1990). *Manual de Microclimatologia. O Clima da Camada do Ar Junto ao Solo*. Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa. 2.ª Edição.

Gillies, R., & Carlson, T. (1995). Thermal remote sensing of surface soil water content with partial vegetation cover for incorporation into climate models. *Journal of Applied Meteorology*, 34(4), 745-756.

Girard, L. (1997). Self-sustainable urban development, *in* P. Brandon, P. Lombardi & V. Bentivegna (Eds.), *Evaluation of the Built Environment for Sustainability*. Taylor and Francis: New York, 82-104.

Gitelson, A., & Merzlyak, M. (1998). Remote sensing of chlorophyll concentration in higher plant leaves. *Advances in Space Research*, 22(5), 689-692.

Gluch, R., & Ridd, M. (2010). The VIS model: quantifying the urban environment, *in* T. Rashed & C. Jürgens (Eds.), *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Springer: Heidelberg, Dordrecht, London & New York, 85-116.

Goel, N., & Qin, W. (1994). Influences of canopy architecture on relationships between various vegetation indices and LAI and FPAR: A computer simulation. *Remote Sensing Reviews*, 10(4), 309-347.

Gomes, E., Banos, A., Abrantes, P., & Rocha, J. (2018). Assessing the Effect of Spatial Proximity on Urban Growth. *Sustainability*, 10(5), 1-14.

González, R. (2016). Desenvolvimento urbano, *in* J. Fernandes, L. Trigal & E. Sposito (Orgs.), *Dicionário de Geografia Aplicada – Terminologia da análise, do planeamento e da gestão do território.* Porto Editora: Porto, 140-141.

Gorte, B. (1999). Supervised image classification, *in* A. Stein, F. Van Ver Meer & B. Gorte (Eds.) *Spatial Statistics for Remote Sensing*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, 197-209.

Gruijter, J. (1999). Spatial sampling schemes for remote sensing, *in* A. Stein, F. Van Ver Meer & B. Gorte (Eds.) *Spatial Statistics for Remote Sensing*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, 197-209.

Guha, S., Govil, H., Dey, A., & Gill, N. (2018). Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 667-678.

Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, 584, 1040-1055.

Guo, G., Wu, Z., Xiao, R., Chen, Y., Liu, X., & Zhang, X. (2015). Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. Landscape and Urban Planning, 135, 1-10.

Hall, T. (2001). *Urban Geography*. Routledge: New York, 2ª edição.

He, C., Shi, P., Xie, D., & Zhao, Y. (2010). Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. *Remote Sensing Letters*, 1(4), 213-221.

Hebble, E., Carlson, T, & Daniel, K. (2001). Impervious surface area and residential housing density: A satellite perspective. *Geocarto International*, 16(1), 15-20.

Hee, M., Bong, S., & Dam, Y. (2015). Effectiveness of Using the TIR Band in Landsat 8 Image Classification. *Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 33(3), 203-209.

Herold, M., & Roberts, D. (2010). The spectral dimension in urban remote sensing, *in* T. Rashed & C. Jürgens (Eds.), *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Springer: Heidelberg, Dordrecht, London & New York, 47-66.

Herold, M., Hemphill, J., Dietzel, C., & Clarke, K. (2005). Remote sensing derived mapping to support urban growth theory, *in 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN 2005) and 5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas (URS 2005)*.

Holtslag, A., & Bruin, H. (1988). Applied modeling of the nighttime surface energy balance over land. *Journal of Applied Meteorology*, 27(6), 689-704.

Hu, X., & Xu, H. (2019). Spatial variability of urban climate in response to quantitative trait of land cover based on GWR model. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(3), 194(12).

Huang, Y., Yuan, M., & Lu, Y. (2019). Spatially varying relationships between surface urban heat islands and driving factors across cities in China*. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(2), 377-394.

Huete, A. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309.

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1), 195-213.

Huete, A., Liu, H., Batchily, K., & Van Leeuwen, W. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59(3), 440-451.

Hung, T., Uchihama, D., Ochi, S., & Yasuoka, Y. (2006). Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(1), 34-48.

Indovina, F. (2005). La Ciudad Difusa, *in* A. Martín Ramos (Ed.), *Lo Urbano en 20 Autores Contemporáneos*. Ediciones UPC: Barcelona, 61-72.

INE (1981). *Recenseamento da população e habitação - Censos 1981. Resultados Definitivos – Distrito de Braga.* Disponível em https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_publicacao_det&menuBOUI=13707294&contexto=pu&PUBLICACOESpub_boui=66200373&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1, consultado a 7 de maio de 2019.

INE (1991). *Recenseamento da população e habitação - Censos 1991. Resultados Definitivos – Região Norte.* Disponível em https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_publicacao_det&menuBOUI=13707294&contexto=pu&PUBLICACOESpub_boui=377623&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1, consultado a 7 de maio de 2019.

INE (2000). *Pressão Construtiva, nos concelhos com cidades médias.* Instituto Nacional de Estatística: Lisboa.

INE (2001). *Recenseamento da população e habitação - Censos 2001*. Disponível em www.ine.pt, consultado a 23 de janeiro de 2019.

INE (2002). *Atlas das Cidades de Portugal*. Instituto Nacional de Estatística: Lisboa.

INE (2011). *Recenseamento da população e habitação - Censos 2011*. Disponível em www.ine.pt, consultado a 23 de janeiro de 2019.

INE (2013). *Retrato Territorial de Portugal – 2011*. Disponível em www.ine.pt, consultado a 25 de maio de 2018.

INE (2015). *Freguesias (para a geografia de difusão dos Censos 2011, CAOP 2010) classificadas de acordo com a tipologia de áreas urbanas 2014*. Disponível em http://smi.ine.pt/Versao/Detalhes/3485#Correspond%C3%AAncias, consultado a 1 março de 2016.

INE (2017). *Inquérito aos projetos de obras de edificação e de demolição de edifícios*. Disponível em www.ine.pt, consultado a 25 de maio de 2018.

INE (2018). *População residente (N.º) por Local de residência (NUTS - 2013), Sexo e Tipologia de áreas urbanas; Anual*. Disponível em https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0008304&contexto=bd&selTab=tab2, consultado a 18 de janeiro de 2019.

INE (2019). *Portugal em Números – 2017*. Instituto Nacional de Estatística, I.P: Lisboa.

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, *in* T. Stocker, D. Qin, G. Plattner, M. Tignor, S. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P. Midgley (Eds.). Intergovernmental Panel on Climate Change: Switzerland.

IPCC (2018). *Global warming of 1.5°C – Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change: Switzerland.

IPMA (2003). *Caracterização Climática 2003*. Disponível em http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20081014/rXHkGiXtgvlFLDxwiFKT/cli_20030101_20031231_pcl_aa_co_pt.pdf, consultado a 22 de novembro de 2016.

IPMA (2007). *Informação Climática – julho de 2007*. Disponível em http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/YEAgyMARriFToHEvkORn/cli_20070701_20070731_pcl_mm_co_pt.pdf, consultado a 22 de novembro de 2016.

IPMA (2010). *Boletim Climatológico Mensal – julho 2010*. Disponível em http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20100907/qZmjyYXeFSOTmwmVohlu/cli_20100801_20100831_pcl_mm_co_pt.pdf, consultado a 22 de novembro de 2016.

IPMA (2016). *Boletim Climatológico – julho 2016*. Disponível em http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20160804/ZtQLGjZAOdMxcajQukNP/cli_20160701_20160731_pcl_mm_co_pt.pdf, consultado a 22 de novembro de 2016.

IPMA (2019). *Normal Climatológica de Braga*. Disponível em http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/004/, consultado a 30 de maio de 2019.

Jenerette, G., & Potere, D. (2010). Global analysis and simulation of land-use change associated with urbanization. *Landscape Ecology*, 25(5), 657-670.

Jiang, Y., Fu, P., & Weng, Q. (2015). Assessing the impacts of urbanization-associated land use/cover change on land surface temperature and surface moisture: A case study in the midwestern United States. *Remote Sensing*, 7(4), 4880-4898.

Jiao, L., Mao, L., & Liu, Y. (2015). Multi-order landscape expansion index: Characterizing urban expansion dynamics. *Landscape and Urban Planning*, 137, 30-39.

Jorge, F. (2007). A Imagem do Território, *in* F. Jorge (Ed.), *Portugal Visto do Céu*. Argumentum: Lisboa, 10.

Jorge, F. (2012). Abertura, *in* F. Jorge (Ed.), *Guimarães Vista do Céu*. Argumentum: Lisboa, 8-9.

Kawamura, M., Jayamana, S., & Tsujiko, Y. (1996). Relation between social and environmental conditions in Colombo Sri Lanka and the urban index estimated by satellite remote sensing data. *The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 31, 321-326.

Kearney, M. S., Rogers, A. S., Townshend, J. R., Rizzo, E., Stutzer, D., Stevenson, J., & Sundborg, K. (2002). Landsat imagery shows decline of coastal marshes in Chesapeake and Delaware Bays. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, *3*(16), 173-178.

Khoi, D., & Munthali, K. (2012). Multispectral Classification of Remote Sensing Data for Geospatial Analysis, *in* Y. Murayama (Ed.), *Progress in Geospatial Analysis*. Springer: Japan,13-28.

Kiel, R. (2008). *Deteção de mudanças no uso e na cobertura do solo em uma série temporal de imagens da região da campanha do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Kivell, P. (1993). *Land and the City – Patterns and processes of urban change*. Routledge: London.

Klock, L., Zwart, S., Verhagen, H., & Mauri, E. (2012). The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban surface characteristics. Resources, *Conservation and Recycling*, 64, 23-29.

Kumar, D., & Shekhar, S. (2015). Statistical analysis of land surface temperature–vegetation indexes relationship through thermal remote sensing. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 121, 39-44.

Kumar, P., Sajjad, H., Joshi, P., Elvidge, C., Rehman, S., Chaudhary, B., ... & Pipal, G. (2019). Modeling the luminous intensity of Beijing, China using DMSP-OLS night-time lights series data for estimating population density. *Physics and Chemistry of the Earth*, Parts A/B/C, 109, 31-39.

Kuttler, W. (2008). The urban climate–basic and applied aspects, *in* E. Shulenberger, W. Endlicher, M. Alberti, G. Bradley, C. Ryan, C. ZumBrunnen, U. Simon, & J. Marzluff, *Urban Ecology*. Springer: Boston, 233-248.

Kwarteng, A., & Small, C. (2010). Remote Sensing of Environmental Conditions, *in* T. Rashed & C. Jürgens (Eds.), *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Springer: Heidelberg, Dordrecht, London & New York, 219-244.

Labastida, M. (2013). *El paisaje próximo: fragmentos del Vale do Ave*. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho. Disponível em http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/27185, consultado a 19 de setembro de 2017.

Landsat Project Science Office (2001). *Landsat 7 Science Data Users Handbook*. NASA. Disponível em http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7Handbook.pdf, consultado a 24 de novembro de 2016.

Laranjeira, M. (2010). Fragmentação pelo Pisoteio dos Sistemas de Duna Frontal. Casos de Vila Nova de Gaia. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho. Disponível em http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/10473, consultado a 07 de agosto de 2019.

Lautensach, H. (1999a). As bases históricas e psico-sociais da Geografia Humana de Portugal, *in* O. Ribeiro, H. Lautensach, & S. Daveau. *Geografia de Portugal – III. O Povo Português*, Edições João Sá da Costa: Lisboa, 627-644. 3ª Edição.

Lautensach, H. (1999b). As Características Climáticas, *in* O. Ribeiro, H. Lautensach, & S. Daveau. *Geografia de Portugal – II. O Ritmo Climático de a Paisagem*, Edições João Sá da Costa: Lisboa, 4ª Edição, 337-370.

Lee, M.; Lee, S.; Kim, Y.; Sa, J.; & Eo, Y. (2015). Effectiveness of Using the TIR Band in Landsat 8 Image Classification. 33(3), 203-209.

Lei n.º 11/87, de 07 de abril (1987). Lei de bases do ambiente, *Diário da República 1.ª Série B*, n.º 81, 1386-1397.

Lei n.º 11-A/2013, de 28 de janeiro (2013). Reorganização administrativa do território das freguesias, *Diário da República 1.ª Série B*, n.º 19, 2-147.

Lei n.º 19/2014, de 14 de abril (2014). Bases da política de ambiente. *Diário da República 1.ª Série*, n.º 73, 2400-2404.

Lei n.º 31/2014, de 30 de maio (2014). Lei de bases gerais da política pública de solos, de ordenamento do território e de urbanismo. *Diário da República 1.ª Série B*, n.º 31, 2988-3003.

Lei n.º 99/2019, de 5 de setembro de 2019 (2019). Primeira revisão do Programa Nacional da Política do Ordenamento do Território. *Diário da República 1.ª Série B*, n.º 170, 3-267.

Ley, D. (1983). *A Social Geography of the City.* Harper and Row: New York.

Li, C., Li, J., & Wu, J. (2013). Quantifying the speed, growth modes, and landscape pattern changes of urbanization: a hierarchical patch dynamics approach. *Landscape Ecology*, 28(10), 1875-1888.

Li, P., Jiang, L., & Feng, Z. (2014). Cross-comparison of vegetation indices derived from Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) and Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) sensors. *Remote Sensing*, 6(1), 310-329.

Li, W., Du, Z., Ling, F., Zhou, D., Wang, H., Gui, Y., *et al.* & Zhang, X. (2013). A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM+ and ALI. *Remote Sensing*, 5(11), 5530-5549.

Liang, Z., Bing-fang, W. U., Yue-min, Z., Ji-hua, M., & Ning, Z. (2008). A study on fast estimation of vegetation fraction in three Gorges emigration area by using SPOT5 imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 987-992.

Lin, H., Wang, J., Liu, S., Qu, Y., & Wan, H. (2005). Studies on urban areas extraction from Landsat TM images, *in International Geoscience and Remote Sensing Symposium.* Volume. 6.

Lira, C., Amorim, A., Silva, A. & Taborda, R. (2016). *Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite*. DGRM: Lisboa.

Liu, H., Zhan, Q., Gao, S., & Yang, C. (2019). Seasonal Variation of the Spatially Non-Stationary Association Between Land Surface Temperature and Urban Landscape. *Remote Sensing*, 11(9), 1016.

Liu, L., & Zhang, Y. (2011). Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 3(7), 1535-1552.

Liu, X., Li, X., Chen, Y., Tan, Z., Li, S., & Ai, B. (2010). A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. *Landscape Ecology*, 25(5), 671-682.

Lo, C., & Quattrochi, D. (2003). Land-use and land-cover change, urban heat island phenomenon, and health implications: a Remote Sensing approach. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 69(9)*, 1053-1063.

Lobo, C. (2012). Por uma ideia de Paisagem, *in* N. Grande (curador), *O Ser Urbano: Nos Caminhos de Nuno Portas*. Imprensa Nacional – Casa da Moeda: Lisboa, 612-688.

Lopes, A. (2003). *Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano. vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*. Tese de Doutoramento em Geografia, Universidade de Lisboa, 375pp.

Lopes, A. (2008). O sobreaquecimento das cidades: causas e medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa. *Territorium*, 15, 39-52.

Lopes, J., Paio, A., & Guerreiro, M. (2013). A complexidade no estudo e planeamento da cidade: conceitos e potencialidades, *in* N. Norte Pinto e A. Almeida (Eds.), *Actas do PNUM 2013.* Departamento de Engenharia Civil: Coimbra, 3, 489-491.

Lowry, W. (1977). Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 16(2), 129-135.

Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), 823-870.

Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365-2401.

Lu, D., Moran, E., Hetrick, S., & Li, G. (2011). Land-use and land-cover change detection, *in* Q. Weng (Ed.), *Advances in Environmental Remote Sensing Sensors, Algorithms, and Applications*. CRC Press Taylor & Francis Group: New York, 273-290.

Lucas, I., Frans, J., & Wel, V. (1994). Accuracy assessmentof satellite derived land cover data: A review. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(4), 410-432.

Lymburner, L., Beggs, P. J., & Jacobson, C. R. (2000). Estimation of canopy-average surface-specific leaf area using Landsat TM data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*,66(2), 183-192.

Ma, Y., Kuang, Y., & Huang, N. (2009). Numerical study of urban expansion and its influence on urban environment using Landsat TM/ETM+ images. *Urban Remote Sensing Joint Event*, IEEE.

Ma, Y., Kuang, Y., & Huang, N. (2010). Coupling urbanization analyses for studying urban thermal environment and its interplay with biophysical parameters based on TM/ETM+ imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(2), 110-118.

Madureira, H. & Monteiro, A. Cidades Verdes e Resilientes às Alterações Climáticas: Sinergias e Contradições nos Discursos e Políticas Ambientais, *in* J. Fernandes, P. Remoaldo, M. Caldeira, V. Teles, & E. Scalabrini (Eds.), *Livro de Resumos do XII Congresso da Geografia Portuguesa – "Geografias de Transição para a Sustentabilidade*", Universidade do Minho: Guimarães, 34-35.

Magalhães, M. (1997). Paisagem urbana e Interface Urbano-Rural, *in* M. Cancela de Abreu (Coord.), *Paisagem*. Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano: Lisboa, 99-120.

Majumdar, D., & Biswas, A. (2016). Quantifying land surface temperature change from LISA clusters: An alternative approach to identifying urban land use transformation. *Landscape and Urban Planning*, 153, 51-65.

Marques, T. & Domingues, A. (1987). Breve caracterização do Vale do Médio Ave, *Revista da Faculdade de Letras – Geografia*, I(3), 268-271.

Marques, T. & Fernandes, A. (Coords.) (2008). *Sistema Urbano e Povoamento*. Relatório de Percurso - Plano Regional de Ordenamento do Norte. Universidade do Porto/CCDRN.

Marques, T. (2015). *Norte 2015. Dinâmicas e desafios territoriais – Documento de Enquadramento Preliminar*. CCDRN: Porto.

Martin, P., Baudouin, Y., & Gachon, P. (2015). An alternative method to characterize the surface urban heat island. *International Journal of Biometeorology*, 59(7), 849-861.

Martins, M., & Ribeiro, M. (2014). Em torno da Rua Verde. A evolução urbana de Braga na longa duração, *in* M. Ribeiro & A. Melo (Coords.), *Evolução da Paisagem Urbana – Transformação Morfológica dos Tecidos Históricos*. CITCEM & IEM: Braga, 11-44.

Massey, J., Steenburgh, W., Hoch, S., & Knievel, J. (2014). Sensitivity of near-surface temperature forecasts to soil properties over a sparsely vegetated dryland region. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 53(8), 1976-1995.

Mateus, A. (Coord. Geral) (2015). *Três décadas de Portugal europeu: balanço e perspetivas*. Fundação Francisco Manuel dos Santos e Sociedade de Consultores Augusto Mateus & Associados (AM&A): Lisboa.

Mathew, A., Khandelwal, S., Kaul, N., & Chauhan, S. (2018). Analyzing the diurnal variations of land surface temperatures for surface urban heat island studies: Is time of observation of remote sensing data important?. *Sustainable Cities and Society*, 40, 194-213.

Mathey, J., Rößler, S., Lehmann, I., Bräuer, A. (201)1. Urban green spaces - potentials and constraints for urban adaptation to climate change, *in* K. Zimmermann (Ed.), *Resilient cities. Cities and Adaptation to Climate Change. Proceedings of the Global Forum 2010*. Springer: Dordrecht, Berlin, 479-485.

Mattoso, J., Daveau, S., & Belo, D. (1997). *Portugal o Sabor da Terra.* Círculo de Leitores: Lisboa.

Mayaux, P., Eva, H., Brink, A., Achard, F., & Belward, A. (2008). Remote sensing of land-cover and land-use dynamics, *in* E. Chuvieco (Ed.), *Earth Observation of Global Change*. Springer: Dordrecht, 85-108.

McGarigal, K., & Marks, B. (1995). Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. *Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.*

Meentemeyer, V. (1989). Geographical perspectives of space, time, and scale. *Landscape Ecology*, 3(3-4), 163-173.

Mei, A., Manzo, C., Fontinovo, G., Bassani, C., Allegrini, A., & Petracchini, F. (2016). Assessment of land cover changes in Lampedusa Island (Italy) using Landsat TM and OLI data. *Journal of African Earth Sciences,* 122, 15-24.

Méndez, R. (1992). El Espacio de la Geografía Humana, *in* P. Rafael, J. Estébanez, & R. Méndez (Autores), *Geografía Humana*. Cátedra: Madrid, 9–50.

Meneses, B., Reis, E., Pereira, S., Vale, M., & Reis, R. (2017). Understanding driving forces and implications associated with the land use and land cover changes in Portugal. *Sustainability*, 9(3), 351.

Meng, D., Li, X., Zhao, W., & Gong, H. (2009). Quantitative exploration of the mechanisms behind the urban thermal environment in Beijing. Progress in Natural Science, 19(12), 1757-1763.

Meng, F., Shan, B., & Liu, M. (2014). Remote-sensing evaluation of the relationship between urban heat islands and urban biophysical descriptors in Jinan, China. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1), 083693-083693.

Mesev, V. (2010). Classification of urban areas: inferring land use from the interpretation of land cover, *in* T. Rashed & C. Jürgens (Eds.), *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Springer: Heidelberg, Dordrecht, London & New York, 141-164.

Mesev, V. (2011). Exploring the temporal lag between the structure and function of urban areas, *in* X. Yang (Ed.), *Urban remote sensing: Monitoring, synthesis and modelling in the urban environment.* John Wiley & Sons: New Jersey, 155-162.

MetCheck.com (2016). Birthday and Important Event Archive Charts. Disponível em http://www.metcheck.com/OTHER/birthday_weather_charts.asp, consultado a 01 de agosto de 2017.

Miller, R., & Small, C. (2003). Cities from space: potential applications of remote sensing in urban environmental research and policy. *Environmental Science & Policy*, 6(2), 129-137.

Mirzaei, P. (2015). Recent challenges in modeling of urban heat island. *Sustainable Cities and Society*, 19, 200-206.

Mohamed, A., Odindi, J., & Mutanga, O. (2017). Land surface temperature and emissivity estimation for Urban Heat Island assessment using medium-and low-resolution space-borne sensors: A review. *Geocarto International*, 32(4), 455-470.

Moller-Jensen, L. (1990). Knowledge-based classification of an urban area using texture and context information in Landsat-TM imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 56(6), 899-904.

Monteiro, A. (1997). *O Clima Urbano do Porto – Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território*. Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa.

Moreno, M. (1993). *Estudio del clima urnano de Barcelona: la isla de calor*. Oikos-tau: Barcelona.

Mróz, M., & Sobieraj, A. (2004). Comparison of several vegetation indices calculated on the basis of a seasonal SPOT XS time series, and their suitability for land cover and agricultural crop identification. *Technical Sciences*, 7, 39-66.

Município de Braga (2019). *Reabilitação Urbana*, disponível em https://ru.cm-braga.pt/0101/reabilitacao-urbana, consultado a 03 de dezembro de 2019.

Murayama, Y. (2012). Introduction: Geospatial Analysis. In Y. Murayama (Ed.) *Progress in Geospatial Analysis*. Springer: Japan, 1-9.

NASA (2017a). *NASA Earth Science Division Operating Missions*, disponível em https://eospso.nasa.gov/files/EarthSat_HD.jpg, consultado a 31 de março de 2017.

NASA (2017b). *Landsat 9. Continuing the Legacy - 2020 and beyond*, disponível em https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-9/, consultado a 03 de março de 2017.

NASA (2017c). *Terra Spacecraft*, disponível em https://www.nasa.gov/mission_pages/terra/spacecraft/index.html, consultado a 03 de janeiro de 2019.

NASA (2018). *MODIS Land*, disponível em https://modis-land.gsfc.nasa.gov/MODLAND_grid.html, consultado a 03 de janeiro de 2019.

NASA (2019). MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, disponível em https://modis.gsfc.nasa.gov, consultado a 04 de janeiro de 2019.

National Weather Service (s.d.). The Earth-Atmosphere Energy Balance, disponível em https://www.weather.gov/jetstream/energy, consultado a 11 de março de 2019.

Ndossi, M., & Avdan, U. (2016). Application of open source coding technologies in the production of land surface temperature (LST) maps from Landsat: a PyQGIS plugin. *Remote Sensing*, 8(5), 31p.

Netzband, M. & Jürgens, C. (2010). Urban and Suburban Areas as a Research Topic for Remote Sensing, *in* T. Rashed & C. Jürgens (Eds.), *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas.* Springer: Heidelberg, Dordrecht, London, New York, 1-9.

Netzband, M., Stefanov, W., & Redman, C. (2007). Remote sensing as a tool for urban planning and sustainability, *in* W. Stefanov & C. Redman (Eds.), *Applied remote sensing for urban planning, governance and sustainability*. Springer: Berlin, Heidelberg, 1-23.

Neves (2013). Da Penha, *in Memórias de Araduca,* disponível em http://araduca.blogspot.com/2013/12/da-penha.html, consultado a 18 de janeiro de 2019.

Neves, A. (2012a). Veiga de Creixomil, *in* F. Jorge (Ed.), Guimarães Vista do Céu. Argumentum: Lisboa, 74-75.

Neves, A. (2012b). Rede Viária, *in* F. Jorge (Ed.), Guimarães Vista do Céu. Argumentum: Lisboa, 76-77.

Neves, A. (2012c). Rio Ave, *in* F. Jorge (Ed.), Guimarães Vista do Céu. Argumentum: Lisboa, 90-91.

Neves, A. (2012d). Zona dos Couros, *in* F. Jorge (Ed.), Guimarães Vista do Céu. Argumentum: Lisboa, 48-49.

Nichol, J. (2005). Remote sensing of urban heat islands by day and night. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,* 71(5), 613-621.

Oke, T. (1976). The distinction between canopy and boundary-layer heat islands. *Atmosphere*, 14(4), 268-277.

Oke, T. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24.

Oke, T. (1984). Methods in urban climatology. *Applied Climatology*, 14, 19-29.

Oke, T. (1987). *Boundary layer climates*. Routledge: London. 2nd Edition.

Oke, T. (2006). Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1-3), 179-190.

Oke, T., Grimmond, C., & Spronken-Smith, R. (1998). On the confounding role of rural wetness in assessing urban effects on climate, *in Second Urban Environment Symposium*. American Meteorological Society: Albuquerque, pp. 59-62

Oke, T., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. (2017). *Urban Climates*. Cambridge University Press: Cambridge.

Orhan, O., Ekercin, S., & Dadaser-Celik, F. (2014). Use of Landsat land surface temperature and vegetation indices for monitoring drought in the Salt Lake basin area, Turkey. *The Scientific World Journal,* 11p.

Ortiz, G., & Amorim, M. (2011). Temperatura da superfície da cidade de Cândido Mota/SP a partir da imagem de satélite Landsat 7. *Revista Geográfica de América Central*, 2, 1-16.

Owen, T., Carlson, T., & Gillies, R. (1998). An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. *International Journal of Remote Sensing*, 19(9), 1663-1681.

Park, H. (1987). Variations in the urban heat island intensity affected by geographical environment. *Environmental Research Center Papers*, 11, 79p.

Passos, M. (2016a). Teledeteção, *in* J. Fernandes, L. Trigal & E. Sposito (Orgs.), *Dicionário de Geografia Aplicada – Terminologia da análise, do planeamento e da gestão do território.* Porto Editora: Porto, 490.

Passos, M. (2016b). Geossistema, *in* J. Fernandes, L. Trigal & E. Sposito (Orgs.), *Dicionário de Geografia Aplicada – Terminologia da análise, do planeamento e da gestão do território.* Porto Editora: Porto, 221-223.

Pavia, R. (2002). *Babele: la città della dispersione*. Meltemi Editore: Roma.

Pazos, A., & Sexto, C. (2016). Urbanização, *in* J. Fernandes, L. Trigal & E. Sposito (Orgs.), *Dicionário de Geografia Aplicada – Terminologia da análise, do planeamento e da gestão do território.* Porto Editora: Porto, 140-141.

Pearson, D. (2002). The application of local measures of spatial autocorrelation for describing pattern in north Australian landscapes. *Journal of Environmental Management*, 64(1), 85-95.

PEDU (2015). *Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano – Plano de Ação para a Regeneração Urbana.* Câmara Municipal de Guimarães. Disponível em https://www.cm-guimaraes.pt/cmguimaraes/uploads/document/file/9598/MEMORIA_DESCRITIVA.pdf, consultado a 06 de fevereiro de 2019.

Peres, O., & Polidori, M. (2010). Especulando sobre a fragmentação da forma urbana: dinâmicas do crescimento e ecologia urbana, in *Building Communities for the Cities of the Future – 54 IFHP World Congress*, Porto Alegre.

Peres, O., Saraiva, M., Lima, J., & Polidori. M. (2010). Compactação Fragmentação Urbana: Dinâmicas Morfológicas Emergentes Do Crescimento Urbano Frente Aos Recursos Hídricos, *in* R. Ramos, A. Silva, L. Souza, M. Rosa, & D. Rodrigues (Eds.), *Actas do 4º Congresso Luso-Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado, Sustentável – PLURIS*. Universidade do Algarve: Faro.

Pimenta, J. (2012). A Ciência geográfica em Orlando Ribeiro, *in* O. Ribeiro, *O Ensino da Geografia Ribeiro*. Porto Editora: Porto, 7-17.

Pinheiro, C., & Laranjeira, M. (2013a). Análise do ambiente térmico e das condições de ventilação para a definição das funções climáticas na área urbana de Guimarães. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT)*, 4 (dezembro), 249-272.

Pinheiro, C., & Laranjeira, M. (2013b). Salvaguarda das funções climáticas e dos solos pela Estrutura Ecológica Municipal na área urbana de Guimarães, in C. Borrego, A. Miranda, L. Arroja, T. Fidélis, E. Castro, & A. Gomes (Eds.), *Atas da 10ª CNA e XIICNEA – 'Repensar o ambiente: luxo ou inevitabilidade?'*. Universidade de Aveiro: Aveiro, 617-622.

Pinheiro, C., & Laranjeira, M. (2018). Serviços ecossistémicos de regulação em Braga: o impacte das mudanças na cobertura/uso do solo entre 1990 e 2012, *in* A. Miranda, M. Lopes, I. Tarelho,

F. Martins, P. Roebeling, M. Coelho, J. Labrincha (Eds.), *Atas XX Encontro REALP e XI CNA – 'Ambiente e Direitos Humanos'*. Universidade de Aveiro: Aveiro, 505-514.

Pinheiro, C. (2012). Contributo da estrutura ecológica para a sustentabilidade urbana: o caso de Guimarães. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 215p.

Pinheiro, C., Lange, E., Gomes, P., & Costa, T. (2010). Inovação e desenvolvimento no setor têxtil e vestuário. *GeoPlanUM*, I Edição, 29-36.

Pinheiro, C., Laranjeira, M., & Bandeira, M. (2016a). Mudança no Ambiente Térmico em Guimarães (1984-2014): o impacte da urbanização difusa", *in* J. Correia. & M. Bandeira (Eds.), *'Os Espaços da Morfologia Urbana' – Atas da 5ª Conferência Internacional da Rede Lusófona de Morfologia Urbana*, *PNUM 2016*. Escola de Arquitectura da Universidade do Minho/ Laboratório de Paisagens, Património e Território (Lab2PT): Guimarães, 409-415.

Pinheiro, C., Laranjeira, M., & Bandeira, M. (2016b). Análise por deteção remota da variação espaciotemporal da temperatura de superfície e sua relação com a urbanização em Braga (1984-2014), *in* A. Vieira, A. Bento-Gonçalves, F. Costa, L. Cunha, & Troleis, A. (Coords.), *Atas do IX Seminário Latino-americano e V Seminário Ibero-americano de Geografia Física*, Departamento de Geografia da Universidade do Minho: Guimarães, 1345-1354.

Pinheiro, C., Laranjeira, M., & Bandeira, M. (2018). Especificidades e contradições da urbanização difusa: um retrato do município de Guimarães, *in* P. Fidalgo (Coord.), *A Paisagem como Problema: Conhecer Para Proteger, Gerir e Ordenar*, Instituto de História Contemporânea da Faculdade de Ciências Socias e Humanas da Universidade Nova de Lisboa: Lisboa, 82-99.

Pinho, P. (Coord.). *Estado do Ambiente e do Ordenamento do Território na Região Norte*. Comissão de Coordenação da Região Norte: Porto.

Piyoosh, A., & Ghosh, S. (2016). Development of a modified bare-soil and urban index for Landsat 8 satellite data. *Geocarto International*, 1-42.

PNCT (2016). *Programa Nacional para a Coesão Territorial*. Aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 72/2016, disponível em https://www.portugal.gov.pt/pt/gc21/governo/programa/programa-nacional-para-a-coesao-territorial-/ficheiros-coesao-territorial/programa-nacional-para-a-coesao-territorial-o-interior-em-numeros-territorio-pdf.aspx, consultado a 16 de janeiro de 2019.

PNPOT (2006). *Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território – Programa de Ação*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional: Lisboa.

PNPOT (2018). *PNPOT | Alteração: Estratégia e Modelo Territorial*. República Portuguesa. Lisboa.

PORDATA (2017). *PIB per capita*. Fundação Francisco Manuel dos Santos. Acedido em www.pordata.pt, consultado a 29 de setembro de 2017.

Portal do Clima (2015). *ESTAÇÕES – Estação Meteorológica de Braga*. Disponível em http://portaldoclima.pt/pt/#, consultado a 02 de dezembro de 2019.

Portas, N. (1986). Modelo Territorial e Intervenção no Médio Ave. *Sociedade e Território*, 5.

Portas, N. (2000). *O Desafio Urbano, entrevista a Nuno Portas por Maria Leonor Antunes*. *Jornal de Letras e Ideias.*

Portas, N. (2002). Paisagens Urbanas, entrevista a Nuno Portas, por Pedro Bandeira. IN SI(s)TU - Revista de Cultura Urbana-Paisagem, 3/4.

Portas, N. (2005). *Nuno Portas. Prémio Sir Patrick Abercrombie - UIA 2005*. Ordem dos Arquitetos: Lisboa. 2ª Edição.

Portas, N. (2011). Introdução, *in* N. Portas, A. Domingues, J. Cabral & N. Travasso (Redatores), *Urbanas II – Transformações, Regulações e Projetos*. Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa, 10-15.

Portas, N. (2012a). *Os Tempos Das Formas – vol. II. A Cidade Imperfeita e a Fazer.* Escola de Arquitetura da Universidade do Minho: Guimarães.

Portas, N. (2012b). A cidade para hoje – um caminho de múltiplas escolhas, *in* N. Grande (curador) *O Ser Urbano: Nos Caminhos de Nuno Portas*. Imprensa Nacional – Casa da Moeda: Lisboa, 602-611.

Portas, N. (2012c). Retratos Vimaranenses, *in* F. Jorge (Ed.), *Guimarães Vista do Céu*. Argumentum: Lisboa, 12-17.

Portas, N., & Domingues, A. (1998). A Região Atlântica Norte de Portugal: metrópole ou metapole, *in* F. Monclús (Ed.), *La ciudad dispersa*. Centre de Cultura Conteporània: Barcelona, 197-219.

Portas, N., & Sá, M. (1984). Planeamento no concelho de Guimarães, Portugal, *in Crónicas das Primeiras Xornadas Técnicas de Urbanismo*. Consellaría de Ordenación do Territorio e Obras Públicas: Santiago de Compostela.

Portas, N., Domingues, A., & Cabral, J. (2007). *Políticas Urbanas – Tendências, estratégias e oportunidades*. Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa. 4ª edição.

Portugali, J., Meyer, H., Stolk, E., & Tan, E. (Eds.). (2012). *Complexity theories of cities have come of age: an overview with implications to urban planning and design*. Springer: Heidelberg, Dordrecht, London & New York, 21-45.

Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 48(2), 119-126.

Qiao, Z., Tian, G., Zhang, L., & Xu, X. (2014). Influences of urban expansion on urban heat island in Beijing during 1989–2010. *Advances in Meteorology*, 11pp.

Rao, P. (1972). Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 53, 647-648.

Rasul, A., Balzter, H., Smith, C., Remedios, J., Adamu, B., Sobrino, J., ... & Weng, Q. (2017). A review on remote sensing of urban heat and cool islands. *Land*, 6(2), 38pp.

Rebelo, F. (2008) A Geografia Física de Portugal na Vida e Obra de Quatro Professores Universitários – Amorim Girão, Orlando Ribeiro, Fernandes Martins e Pereira de Oliveira. MinervaCoimbra: Coimbra.

Resolução do Conselho de Ministro n.º 101/94, de 13 de outubro. Regulamento do Plano Director Municipal de Guimarães, *Diário da República 1.ª Série B*, n.º 25, 6200-6223.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 35/94, de 20 de maio. Regulamento do Plano Director Municipal de Braga, *Diário da República 1.ª Série B*, n.º 116, 2690-2703.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 9/2001, de 30 de janeiro. Regulamento do Plano Director Municipal de Braga, *Diário da República 1.ª Série B*, n. º25, 49-530.

Retief, S. P., Willers, C. J., & Wheeler, M. S. (2003). Prediction of thermal crossover based on imaging measurements over the diurnal cycle, *in* N. Faust & W. Roper (Eds.), *Geo-Spatial and*

Temporal Image and Data Exploitation III (Volume 5097), International Society for Optics and Photonics, pp. 58-70.

Ribeiro Telles, G. (2001). Reflexões sobre o Ordenamento do Território, *in Seminário Internacional sobre Corredores Verdes*. CCDRC: Coimbra, 9pp.

Ribeiro Telles, G. (2005). As cidades estão um caos, *in* V. Andrade (Autor), *Onde Falham as Cidades*. Temas e Debates – Atividade Editoriais, Lda: Lisboa, 49-58.

Ribeiro, D. (2013). *O processo de urbanização no difuso "Do plano ao lugar".* Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho, pp.76.

Ribeiro, J., & Ferrão, J. (2014). *Noroeste Global*. Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa.

Ribeiro, M., & Melo, A. (2014). O papel dos sistemas defensivos na formação dos sistemas urbanos (Séculos XII-XVII), *in* M. Ribeiro & A. Melo (coords.), *Evolução da Paisagem Urbana – Transformação Morfológica dos Tecidos Históricos*. CITCEM & IEM: Braga, 183-222.

Ribeiro, O. (1987). *Introdução ao Estudo da Geografia Regional.* Edições João Sá da Costa: Lisboa.

Ribeiro, O. (1989a). *Opúsculos Geográficos. I Volume – Síntese e Método*. Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa.

Ribeiro, O. (1989b). *Opúsculos Geográficos. II Volume – Pensamento Geográfico.* Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa.

Ribeiro, O. (1994). *Opúsculos Geográficos. V Volume – Temas Urbanos*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Ribeiro, O. (1995). *Opúsculos Geográficos. VI Volume – Estudos Regionais*. Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa.

Ribeiro, O. (1998). *Portugal o Mediterrâneo e o Atlântico.* Lisboa: Edições João Sá da Costa. 7ª Edição.

Ribeiro, O. (1999). Povoamento e Circulação, *in* O. Ribeiro, H. Lautensach, & S. Daveau. *Geografia de Portugal – III. O Povo Português*, Edições João Sá da Costa: Lisboa, 857-876. 3ª Edição.

Ribeiro, O. (2003). *Memórias de um Geógrafo*. Edições João Sá da Costa: Lisboa.

Ribeiro, O. (2004). A Arrábida, Esboço Geográfico. Fundação Oriente e Câmara a Municipal de Sesimbra: Sesimbra. 3ª Edição.

Ribeiro, O. (2012). *O Ensino da Geografia Ribeiro*. Porto Editora: Porto.

Ridd, M. (1995). Exploring a V-I-S (vegetation-impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities. *International Journal of Remote Sensing*, 16, 2165-2185.

Rocha, J., & Sousa, P. (2007). *Integração de dados estatísticos na classificação de imagens de satélite*. Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa: Lisboa.

Rogers, A., & Kearney, M. (2004). Reducing signature variability in unmixing coastal marsh Thematic Mapper scenes using spectral indices. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2317-2335.

Rondeaux, G., Steven, M., & Baret, F. (1996). Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 55(2), 95-107.

Roth, M. (2013). Urban heat islands, *in* H. Fernando (Ed.), *Handbook of Environmental Fluid Dynamics - Volume Two*. CRC Press/Taylor & Francis Group: New York, 143-162.

Roth, M., Oke, T., & Emery, W. (1989). Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, 10(11), 1699-1720.

Roujean, J., & Breon, F. (1995). Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*, 51, 375–384.

Rouse, J., Haas, R., Schell. J., & Deering, D. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In Stanley Freden, Enrico Mercanti & Margaret Becker (eds) *Third ERTS Symposium*, Vol. 1, NASA, Washington, DC, 309–317.

Ryznar, R., & Wagner, T. (2001). Using remotely sensed imagery to detect urban change: Viewing Detroit from space. *Journal of the American Planning Association*, 67(3), 327-336.

Sá, M., Portas, N., Domingues, A., Silva, L., Calix, T. Santos, C., & Bispo, C. (2009). *Plano Regional de Ordenamento do Território do Norte – PROT-Norte, Relatório Síntese - Modelo Territorial.* Centro de Estudos de Arquitetura e Urbanismo – FAUP/Laboratório de Estudos Territoriais: Porto.

Salgueiro, T. (1992). *A cidade em Portugal: uma geografia urbana*. Porto: Edições Afrontamento.

Salinas, V., & Maia, D. (2016). Centro histórico, *in* J. Fernandes, L. Trigal & E. Sposito (Orgs.), *Dicionário de Geografia Aplicada – Terminologia da análise, do planeamento e da gestão do território.* Porto Editora: Porto, 74-75.

Sampaio, A. (1884). *Relatório da Exposição Industrial de Guimarães em 1834*. Tipografia A. J. da Silva Teixeira: Porto.

Sampaio, A. (1896). As '*Villas*' do Norte de Portugal – Estudos Sobre as Origens das Propriedade (Fragmento). *Revista de Guimarães*, 13(1), 19-25.

Sampaio, J. (2005). É preciso humanizar as cidades, *in* V. Andrade (Autor), *Onde Falham as Cidades*. Temas e Debates – Atividade Editoriais, Lda: Lisboa, 13-32.

Sampaio, J. (2012). Nuno Portas o Homem com quem se aprende sempre, *in* N. Grande (curador), *O Ser Urbano: Nos Caminhos de Nuno Portas*. Imprensa Nacional - Casa da Moeda: Lisboa, 55-66.

Sandholt, I., Rasmussen, K., & Andersen, J. (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status*. Remote Sensing of Environment*, 79(2-3), 213-224.

Saraiva, J. (1987). *Itinerário Português. O Tempo e a Alma*. Gradiva: Viseu.

Schwarz, N., Lautenbach, S., & Seppelt, R. (2011). Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperatures. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3175-3186.

Senanayake, I., Welivitiya, W., & Nadeeka, P. (2013). Remote sensing-based analysis of urban heat islands with vegetation cover in Colombo city, Sri Lanka using Landsat-7 ETM+ data. *Urban Climate*, 5, 19-35.

Serra, J. (2012). As cidades de Nuno Portas, *in* N. Grande (curador), *O Ser Urbano: Nos Caminhos de Nuno Portas*. Imprensa Nacional - Casa da Moeda: Lisboa, 45-50.

Seto, K., Fragkias, M., Güneralp, B., & Reilly, M. K. (2011). A meta-analysis of global urban land expansion. *PloS one*, 6(8), e23777.

Seto, K., Sánchez-Rodríguez, R., & Fragkias, M. (2010). The new geography of contemporary urbanization and the environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 35, 167-194.

Shao, Y., Taff, G., & Lunetta, R. (2011). Review of selected moderateresolution imaging spectroradiometer algorithms, data products, and applications, *in* .Q. Weng (Ed.), *Advances in Remote Sensing.* Taylor & Francis: New York, 31-55.

Sharma, R., & Joshi, P. (2014). Identifying seasonal heat islands in urban settings of Delhi (India) using remotely sensed data – an anomaly based approach. *Urban Climate*, 9, 19-34.

Sharma, R., Ghosh, A., & Joshi, P. (2013a). Spatio-temporal footprints of urbanisation in Surat, the Diamond City of India (1990–2009). *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(4), 3313-3325.

Sharma, R., Ghosh, A., & Joshi, P. (2013b). Analysing spatio-temporal footprints of urbanization on environment of Surat city using satellite-derived bio-physical parameters. *Geocarto International*, 28(5), 420-438.

Shi, Y., Sun, X., Zhu, X., Li, Y., & Mei, L. (2012). Characterizing growth types and analyzing growth density distribution in response to urban growth patterns in peri-urban areas of Lianyungang City. *Landscape and Urban Planning*, 105(4), 425-433.

Silva, E. (2012). *Fabricados na Fábrica – Uma narrativa operária no século XXI*. Húmus: Vila Nova de Famalicão.

Silva, F., Marques, T, Delgado, C. (2012). Processo de expansão urbana e mudanças na paisagem: ensaio metodológico (1950-2000). *Revista da Faculdade de Letras – Geografia – Universidade do Porto*, III(1), 161-183.

Silva, V. (2005). O Euro 2004 foi a apoteoso do lóbi do betão, *in* V. Andrade, *Onde Falham as Cidades*. Temas e Debates – Atividade Editoriais, Lda: Lisboa, 48.

Singh, R., Grover, A., & Zhan, J. (2014). Inter-seasonal variations of surface temperature in the urbanized environment of Delhi using Landsat thermal data. *Energies*, 7(3), 1811-1828.

Sinha, P., Verma, N., & Ayele, E. (2016). Urban Built-up Area Extraction and Change Detection of Adama Municipal Area using Time-Series Landsat Images. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 5, 1886-1895.

Skidmore, A. (1999). Accuracy assessment of spatial information, *in* A. Stein, F. Van Ver Meer & B. Gorte (Eds.), *Spatial Statistics for Remote Sensing*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, 197-209.

Sliuzas, R., Kuffer, M., & Masser, I. (2010). The spatial and temporal nature of urban objects, *in* T. Rashed & C. Jürgens (Eds.), *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Springer: Heidelberg, Dordrecht, London & New York, 67-84.

Soares, F. (2005). Precisamos de um urbanismo ditador, *in* V. Andrade (Autor), *Onde Falham as Cidades*. Temas e Debates – Atividade Editoriais, Lda: Lisboa, 109-116.

Sobrino, J. A., Oltra-Carrió, R., Sòria, G., Bianchi, R., & Paganini, M. (2012). Impact of spatial resolution and satellite overpass time on evaluation of the surface urban heat island effects. *Remote Sensing of Environment*, 117, 50-56.

Song, X. P., Sexton, J. O., Huang, C., Channan, S., & Townshend, J. R. (2016). Characterizing the magnitude, timing and duration of urban growth from time series of Landsat-based estimates of impervious cover. *Remote Sensing of Environment*, 175, 1-13.

Song, X., Sexton, J., Huang, C., Channan, S., & Townshend, J. (2016). Characterizing the magnitude, timing and duration of urban growth from time series of Landsat-based estimates of impervious cover. *Remote Sensing of Environment*, *175*, 1-13.

Souch, C., & Grimmond, S. (2006). Applied climatology: urban climate. *Progress in Physical Geography*, 30(2), 270-279.

Sousa, A., & Silva, J. (2011). Fundamentos Teóricos de Deteção Remota. Universidade de Évora – Departamento de Engenharia Rural: Évora.

Souza, L. (2007). Thermal environment as a parameter for urban planning. *Energy for Sustainable Development*, 11(4), 44-53.

Sripada, R., Heiniger, R., White, J., & Meijer, A. (2006). Aerial color infrared photography for determining early in-season nitrogen requirements in corn. *Agronomy Journal*, 98(4), 968-977.

Srivanit, M., Hokao, K., & Phonekeo, V. (2012). Assessing the impact of urbanization on urban thermal environment: a case study of Bangkok Metropolitan. *International Journal of Applied Science and Technology,* 2(7).

Stapp, W. (1969). The concept of environmental education. *Environmental Education*, 1(1), 30-31.

Stathakis, D., Perakis, K., & Savin, I. (2012). Efficient segmentation of urban areas by the VIBI. *International Journal of Remote Sensing*, 33(20), 6361-6377.

Stefanov, W., & Netzband, M. (2010). Characterization and Monitoring of Urban/Peri-urban Ecological Function and Landscape Structure Using Satellite Data, *in* T. Rashed & C. Jürgens (Eds.), *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Springer: Heidelberg, Dordrecht, London & New York, 219-244.

Stein, A. (1999). Some basic elements of statistics, *in* A. Stein, F. Van Ver Meer & B. Gorte (Eds.) *Spatial Statistics for Remote Sensing*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, 27-38.

Steyn, D., Oke, T., Hay, J., & Knox, J. (1981). On scales in meteorology and climatology. *Clim Bull*, 39, 1-8.

Strahler, A. & Strahler, A. (2000). *Geografia Física*. Ediciones Omega: Barcelona. 3.ª Edição.

Su, Y., Foody, G., & Cheng, K. (2012). Spatial non-stationarity in the relationships between land cover and surface temperature in an urban heat island and its impacts on thermally sensitive populations. *Landscape and Urban Planning,* 107(2), 172-180.

Sui, D. (2011). Rethinking progress in urban analysis and modeling: models, metaphors, and meaning, *in* X. Yang (Ed.), *Urban remote sensing: Monitoring, synthesis and modelling in the urban environment.* John Wiley & Sons: New Jersey, 372-382.

Sun, R., Lü, Y., Yang, X., & Chen, L. (2019). Understanding the variability of urban heat islands from local background climate and urbanization. *Journal of Cleaner Production*, 208, 743-752.

Sun, Y., Gao, C., Li, J., Li, W., & Ma, R. (2018). Examining urban thermal environment dynamics and relations to biophysical composition and configuration and socio-economic factors: A case study of the Shanghai metropolitan region. *Sustainable Cities and Society*, 40, 284-295.

Sutton, P. C., Taylor, M. J., & Elvidge, C. D. (2010). Using DMSP OLS imagery to characterize urban populations in developed and developing countries, *in* T. Rashed & C. Jürgens (Eds.), *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Springer: Heidelberg, Dordrecht, London & New York, 330-348.

Teixeira, J. (2016). Modelos de localização, *in* J. Fernandes, L. Trigal & E. Sposito (Orgs.), *Dicionário de Geografia Aplicada – Terminologia da análise, do planeamento e da gestão do território.* Porto Editora: Porto, 322-323.

Tenedório, J., & Rocha, J. (2018). Introductory Chapter: Spatial Analysis, Modelling, and *Planning, in* J. Rocha e A. Tenedório (Eds.), *Spatial Analysis, Modelling and Planning*. IntechOpen: London.

Tenedório, J., Rocha, J., Encarnação, S., & Sousa, P. (2004). Classificação de uso do solo urbano através da análise linear de mistura espectral em imagens de satélite, in *Atas do IV Congresso Nacional de Geografia '"Portugal: Territórios e Protagonistas"*, Universidade do Minho: Guimarães.

Tobler, W. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46(sup1), 234-240.

Tran, D., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Myint, S., Caetano, M., & Kieu, H. (2017). Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 124, 119-132.

Travasso, N. (2015). Anatomia do Vele do Pele, *in* A. Domingues & N. Travasso (Coords.), *Território Casa Comum – Morfologias e Dinâmicas Territoriais.* FAUP: Porto, 64-107

Tricart, J. (1978). *A Terra, Planeta Vivo*. Editorial Presença/Martins Fontes: Lisboa (Tradução de Gisela Monis).

Turner, B., Lambin, E., & Reenberg, A. (2007). Land change science special feature: the emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Science*, 104, 20666-20671.

UCS (2017). *Union of Concerned Scientists (UCS) Satellite Database*. Disponível em http://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database#.WN4s8NIrLIV, consultado a 30 de março de 2017.

Uddin, S., Al Ghadban, A., Al Dousari, A., Al Murad, M., & Al Shamroukh, D. (2010). A remote sensing classification for land-cover changes and micro-climate in Kuwait. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 5(4), 367-377.

USGS (2006). Multi-Resolution Land Characteristics 2001 (MRLC2001): Image Processing Procedure. Disponível em https://landcover.usgs.gov/pdf/image_preprocessing.pdf, consultado a 30 de maio de 2017.

USGS (2013) - Using the USGS Landsat 8 Product. Disponível em http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php, consultado a 2 abril de 2016.

Vargo, J., Habeeb, D., & Stone Jr, B. (2013). The importance of land cover change across urban–rural typologies for climate modeling. *Journal of Environmental Management*, 114, 243-252.

Vescovo, L., & Gianelle, D. (2008). Using the MIR bands in vegetation indices for the estimation of grassland biophysical parameters from satellite remote sensing in the Alps region of Trentino (Italy). *Advances in Space Research*, 41(11), 1764-1772.

Villa, P. (2007). Imperviousness indexes performance evaluation for mapping urban areas using remote sensing data. *Urban Remote Sensing Joint Event*, IEEE, 1-6.

Villa, P. (2012). Mapping urban growth using Soil and Vegetation Index and Landsat data: The Milan (Italy) city area case study. *Landscape and Urban Planning*, 107(3), 245-254.

Voogt, J., & Oke, T. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370-384.

Wang, Z., Gang, C., Li, X., Chen, Y., & Li, J. (2015). Application of a normalized difference impervious index (NDII) to extract urban impervious surface features based on Landsat TM images. *Internacional Journal of Remote Sensing*, 36(4), 1055-1069.

Ward, K., Lauf, S., Kleinschmit, B., & Endlicher, W. (2016). Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of the Total Environment*, 569, 527-539.

Web of Science (2019a). *Análise de resultados do tópico Landsat*, disponível http://apps.webofknowledge.com, consultado a 03 de janeiro de 2019.

Web of Science (2019b). *Análise de resultados do tópico MODIS*, disponível http://apps.webofknowledge.com, consultado a 03 de janeiro de 2019.

Weeks, J. (2010). Defining Urban Areas, *in* T. Rashed & C. Jürgens (Eds.), *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Springer: Heidelberg, Dordrecht, London & New York, 33-46.

Weng, Q. (2001). A remote sensing GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International Journal of Remote Sensing*, 22(10), 1999-2014.

Weng, Q. (2011). Remote Sensing of Urban Biophysical Environments, in Q. Weng (Ed.), *Advances in Environmental Remote Sensing: Sensors, Algorithms, and Applications*. CRC Press: New York, 503-516.

Weng, Q. (2012). Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends. *Remote Sensing of Environment*, 117, 34-49.

Weng, Q. (2016). Preface – Toward a Sustainable Earth Through Remote Sensing, *in* Q. Weng, *Remote Sensing for Sustainability*. CRC Press – Taylor & Francis Group: New York, XI-XVIII.

Weng, Q., & Fu, P. (2014). Modeling annual parameters of clear-sky land surface temperature variations and evaluating the impact of cloud cover using time series of Landsat TIR data. *Remote Sensing of Environment*, 140, 267-278.

Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467-483.

Wentz, E., Quattrochi, D., Netzband, M., & Myint, S. (2012). Synthesizing urban remote sensing through application, scale, data and case studies. *Geocarto International*, 27(5), 425-442.

Wilson, A. (2010). Remote sensing as the 'X-ray crystallography'for urban 'DNA'. *International Journal of Remote Sensing*, 31(22), 5993-6003.

Wilson, E., Hurd, J., Civco, D., Prisloe, M., & Arnold, C. (2003b). Development of a geospatial model to quantify, describe and map urban growth. R*emote Sensing of Environment*, 86(3), 275-285.

Wilson, J., Clay, M., Martin, E., Stuckey, D., & Vedder-Risch, K. (2003). Evaluating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 303-321.

Witherick, M., Ross, S., & Small, J. (2001). *A modern dictionary of geography*. Oxford University Press: New York.

Wu, C. & Yuan, F. (2011). Remote sensing of high resolution urban impervious surfaces, *in* X. Yang (Ed.), *Urban remote sensing: Monitoring, synthesis and modelling in the urban environment.* John Wiley & Sons: New Jersey, 241-254.

Xian, G., & Crane, M. (2006). An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 104(2), 147-156.

Xian, G., & Homer, C. (2013). Assessment of urbanization patterns and trends in Gulf of Mexico region of the southeast United States with Landsat and nightime lights imagery, *in* X. Yang e J. Li (Eds.), *Advances in Mapping from Remote Sensor Imagery: Techniques and Applications*. Taylor & Francis: New York, 185-200.

Xiao, H. & Weng, Q. (2016). A tale of two cities: Urbanization in Greensboro, North Carolina, USA, and Guiyang, Guizhou, China, *in* Q. Weng (Ed.). *Remote Sensing for Sustainability*. CRC Press: New York, 81-99.

Xiao, R., Weng, Q., Ouyang, Z., Li, W., Schienke, E., & Zhang, Z. (2008). Land surface temperature variation and major factors in Beijing, China. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(4), 451-461.

Xie, M., Wang, Y., Chang, Q., Fu, M., & Ye, M. (2013). Assessment of landscape patterns affecting land surface temperature in different biophysical gradients in Shenzhen, China. *Urban Ecosystems*, 16(4), 871-886.

Xiong, Y., Huang, S., Chen, F., Ye, H., Wang, C., & Zhu, C. (2012). The impacts of rapid urbanization on the thermal environment: A remote sensing study of Guangzhou, South China. Remote Sensing, 4(7), 2033-2056.

Xu, C., Liu, M., Zhang, C., An, S., Yu, W., & Chen, J. M. (2007). The spatiotemporal dynamics of rapid urban growth in the Nanjing metropolitan region of China. *Landscape Ecology*, 22(6), 925-937.

Xu, H. (2007). Extraction of urban built-up land features from Landsat imagery using a thematic oriented index combination technique. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73(12), 1381-1391.

Xu, H. (2008). A new index for delineating built-up land features in satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 29(14), 4269-4276.

Xu, H., Ding, F., & Wen, X. (2009). Urban expansion and heat island dynamics in the Quanzhou region, China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2(2), 74-79.

Xue, X., Liu, H., Mu, X., & Liu, J. (2014). Trajectory-based detection of urban expansion using Landsat time series. *International Journal of Remote Sensing*, 35(4), 1450-1465.

Yang, X. (2011a). What is urban remote sensing?, *in* X. Yang (Ed.), *Urban remote sensing: Monitoring, synthesis and modelling in the urban environment.* John Wiley & Sons: New Jersey, 3-10.

Yang, X. (2011b). Use of archival Landsat imagery to monitor urban spatial growth, *in* X. Yang (Ed.), *Urban remote sensing: Monitoring, synthesis and modelling in the urban environment.* John Wiley & Sons: New Jersey, 15-33.

Yang, X. (2011c). Urban Environmental Analyses, *in* X. Yang (Ed.), *Urban remote sensing: Monitoring, synthesis and modelling in the urban environment.* John Wiley & Sons: New Jersey, 238.

Yuan, F., & Bauer, M. (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 106(3), 375-386.

Zaitchik, B., Macalady, A., Bonneau, L., & Smith, R. (2006). Europe's 2003 heat wave: a satellite view of impacts and land–atmosphere feedbacks. International Journal of Climatology, 26(6), 743-769.

Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594.

Zhang, J., & Wang, Y. (2008). Study of the relationships between the spatial extent of surface urban heat islands and urban characteristic factors based on Landsat ETM+ data. *Sensors*, 8(11), 7453-7468.

Zhang, Y., Odeh, I. O., & Han, C. (2009). Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a sub-pixel image analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(4), 256-264.

Zhang, Y., Yu, T., Gu, X., Zhang, Y., & Chen, L. (2006). Land surface temperature retrieval from CBERS-02 IRMSS thermal infrared data and its applications in quantitative analysis of urban heat island effect. Journal of Remote Sensing, 10(5), 789.

Zhao, C., Fu, G., Liu, X., & Fu, F. (2011). Urban planning indicators, morphology and climate indicators: A case study for a north-south transect of Beijing, China. *Building and Environment*, 46(5), 1174-1183.

Zhao, C., Jensen, J., Weng, Q., & Weaver, R. (2018). A Geographically Weighted Regression Analysis of the Underlying Factors Related to the Surface Urban Heat Island Phenomenon. *Remote Sensing*, 10(9), 1428.

Zhao, H. & Chen, X. (2005). Use of normalized difference bareness index in quickly mapping bare areas from TM/ETM+". *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 3(25-29), 1666-1668.

Zhao, S., Zhou, D., Zhu, C., Qu, W., Zhao, J., Sun, Y., Huang, D., Haung, D., Wu, W., & Liu, S. (2015). Rates and patterns of urban expansion in China's 32 major cities over the past three decades. *Landscape Ecology*, 30(8), 1541-1559.

Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., ... & Sobrino, J. (2019). Satellite remote sensing of surface urban heat islands: progress, challenges, and perspectives. *Remote Sensing*, 11(1), 48.

Zhou, X., & Wang, Y. (2011). Spatial–temporal dynamics of urban green space in response to rapid urbanization and greening policies. *Landscape and Urban Planning*, 100(3), 268-277.

Zhou, Y., Yang, G., Wang, S., Wang, L., Wang, F., & Liu, X. (2014). A new index for mapping built-up and bare land areas from Landsat 8 OLI data. *Remote Sensing Letters*, 5(10), 862-871.

Zhu, Z., Fu, Y., Woodcock, C. E., Olofsson, P., Vogelmann, J. E., Holden, C., (...) & Yu, Y. (2016). Including land cover change in analysis of greenness trends using all available Landsat 5, 7, and 8 images: A case study from Guangzhou, China (2000–2014). *Remote Sensing of Environment*, 185, 243-257.



Ap.

APÊNDICES

“O estudo regional fará intervir elementos, naturais e humanos, que só um trabalho de pormenor poderá examinar.”

|Orlando Ribeiro, 1995, p.43|

ÍNDICE DE APÊNDICES

APÊNDICE I – MATRIZ DE TRANSIÇÃO DAS COMPONENTES BIOFÍSICAS NOS MUNICÍPIOS DE BRAGA E DE GUIMARÃES (1984-2016) 817

APÊNDICE II – *RANKING* DAS FREGUESIAS DOS MUNICÍPIOS DE BRAGA E DE GUIMARÃES EM FUNÇÃO DA ÁREA URBANA (1984-2016) 828

APÊNDICE III – *RANKING* DAS FREGUESIAS DE BRAGA E DE GUIMARÃES EM FUNÇÃO DA VEGETAÇÃO ARBÓREA E/OU DENSA (1984-2016) 835

APÊNDICE IV – APLICAÇÃO DO TESTE DE FRIEDMAN ÀS SÉRIES DE TS, NDVI E NDWI DA AUBG (1984-2016) 842

APÊNDICE V – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS *PIXEL-BY-PIXEL* DE NDVI E NDWI NA AUBG (1984 E 2016) 846

APÊNDICE VI – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS, COM BASE NUMA AMOSTRA DE 10000 PONTOS, DE NDVI E NDWI NA AUBG (1984-2016) 848

APÊNDICE VII – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS, COM BASE NA AMOSTRA DE 10000 PONTOS, DE NDVI E NDWI NOS MUNICÍPIOS DE BRAGA E DE GUIMARÃES (1984-2016) 850

APÊNDICE VIII – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO E DETERMINAÇÃO (R^2) DE SPEARMAN ENTRE TS, NDVI E NDWI POR COMPONENTE BIOFÍSICA NA AUBG (1984-2016) 852

APÊNDICE IX – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS *PIXEL-BY-PIXEL* DE TS POR COMPONENTE BIOFÍSICA NA AUBG (1984-2016) 859

APÊNDICE X – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS, COM BASE NA AMOSTRA DE 10000 PONTOS, DE TS, NDVI E NDWI POR COMPONENTE BIOFÍSICA NA AUBG (1984-2016) 862

APÊNDICE XI – CAIXA DE BIGODES DE TS, NDVI E NDWI, COM BASE NA AMOSTRA DE 10000 PONTOS, POR COMPONENTE BIOFÍSICA NA AUBG (1984-2016) 869

APÊNDICE XII – ASSINATURA TÉRMICA DAS COMPONENTES BIOFÍSICAS NOS MUNICÍPIOS DE BRAGA E DE GUIMARÃES (1984-2016) 876

APÊNDICE XIII – ASSINATURA TÉRMICA DAS COMPONENTES BIOFÍSICAS NO INTERIOR E EXTERIOR DO PERÍMETRO URBANO DOS MUNICÍPIOS DE BRAGA E DE GUIMARÃES (1984-2016) 883

APÊNDICE XIV – REPARTIÇÃO ESPACIAL DAS CATEGORIAS DECORRENTES DA ANÁLISE ESTATÍSTICA *CLUSTER* E *OUTLIER* (ANSELIN LOCAL MORAN'S I), NA AUBG E NOS MUNICÍPIOS DE BRAGA E DE GUIMARÃES (1984-2016) 896

APÊNDICE XV – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS *PIXEL-BY-PIXEL* DE TS PARA AS ÁREAS COM E SEM ILHA DE CALOR DE SUPERFÍCIE NA AUBG (1984-2016) 898

APÊNDICE XVI – REPARTIÇÃO ESPACIAL DA ILHA DE CALOR DE SUPERFÍCIE NA AUBG E NOS MUNICÍPIOS DE BRAGA E DE GUIMARÃES (1984-2016) 900

APÊNDICE XVII – SOBREPOSIÇÃO E DIFERENÇAS DA ILHA DE FRESCURA DE SUPERFÍCIE DE TS E DO NDVI NA AUBG (1984-2016) 903

APÊNDICE XVIII – AUMENTOS E DIMINUIÇÕES DE TS EM FUNÇÃO DAS MUDANÇAS NAS COMPONENTES BIOFÍSICAS (1984-2016) 907

APÊNDICE XIX – ESTATÍSTICAS DOS VETORES DE MUDANÇA DECORRENTES DA TRAJETÓRIA TEMPORAL DOS PIXÉIS NO ESPAÇO TVX (1984-2016) 919

APÊNDICE XX – INCERTEZA NA ANÁLISE DA TRAJETÓRIA DE MUDANÇA (ÁREAS COM E SEM MUDANÇA) NOS MUNICÍPIOS DE BRAGA E DE GUIMARÃES (1984-2016) 922

APÊNDICE XXI – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE TS ÀS 01:30, 10:30, 13:30 E 23:30 (ARQUIVO MODIS) NA AUBG (2003-2016) 935

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Ap.1 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC), NDVI e NDWI por componente biofísica na AUBG em 1984 870
Figura Ap.2 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC), NDVI e NDWI por componente biofísica na AUBG em 1999 871
Figura Ap.3 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC), NDVI e NDWI por componente biofísica na AUBG em 2003 872
Figura Ap.4 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC), NDVI e NDWI por componente biofísica na AUBG em 2007 873
Figura Ap.5 – Estatísticas descritivas de Ts(ºC), NDVI e NDWI por componente biofísica na AUBG em 2010 874
Figura Ap.6 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC), NDVI e NDWI por componente biofísica na AUBG em 2016 875
Figura Ap.7 – Configuração espacial da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG em 1984 904
Figura Ap.8 – Configuração espacial da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG em 1999 904
Figura Ap.9 – Configuração espacial da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG em 2003 905
Figura Ap.10 – Configuração espacial da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG em 2007 905
Figura Ap.11 – Configuração espacial da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG em 2010 906
Figura Ap.12 – Configuração espacial da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG em 2016 906
Figura Ap.13 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Braga entre 1984 e 1999 923
Figura Ap.14 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Braga entre 1999 e 2003 924

Figura Ap.15 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Braga entre 2003 e 2007 925
Figura Ap.16 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Braga entre 2007 e 2010 926
Figura Ap.17 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Braga entre 2010 e 2016 927
Figura Ap.18 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Braga entre 1984 e 2016 928
Figura Ap.19 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Guimarães entre 1984 e 1999 929
Figura Ap.20 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Guimarães entre 1999 e 2003 930
Figura Ap.21 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Guimarães entre 2003 e 2007 931
Figura Ap.22 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Guimarães entre 2007 e 2010 932
Figura Ap.23 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Guimarães entre 2010 e 2016 933
Figura Ap.24 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Guimarães entre 1984 e 2016 934
Figura Ap.25 – Distribuição de Ts (ºC) na AUBG em 11 de julho de 2003 936
Figura Ap.26 – Distribuição de Ts (ºC) na AUBG em 06 de julho de 2007 936
Figura Ap.27 – Distribuição de Ts (ºC) na AUBG em 30 de julho de 2010 937
Figura Ap.28 – Distribuição de Ts (ºC) na AUBG em 14 de julho de 2016 937

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela Ap.1 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m²) em Braga entre 1984 e 1999 818
Tabela Ap.2 – Matriz de transição das componentes biofísicas (%) em Braga entre 1984 e 1999 818
Tabela Ap.3 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m²) em Braga entre 1999 e 2003 819
Tabela Ap.4 – Matriz de transição das componentes biofísicas (%) em Braga entre 1999 e 2003 819
Tabela Ap.5 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m²) em Braga entre 2003 e 2007 820
Tabela Ap.6 – Matriz de transição componentes biofísicas (%) em Braga entre 2003 e 2007 . 820
Tabela Ap.7 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m²) em Braga entre 2007 e 2010 821
Tabela Ap.8 – Matriz de transição das componentes biofísicas (%) em Braga entre 2007 e 2010 821
Tabela Ap.9 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m²) em Braga entre 2010 e 2016 822
Tabela Ap.10 – Matriz de transição das componentes biofísicas (%) em Braga entre 2010 e 2016 822
Tabela Ap.11 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m²) em Guimarães entre 1984 e 1999..... 823
Tabela Ap.12 – Matriz de transição das componentes biofísicas (%) em Guimarães entre 1984 e 1999..... 823
Tabela Ap.13 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m²) em Guimarães entre 1999 e 2003..... 824
Tabela Ap.14 – Matriz de transição das componentes biofísicas (%) em Guimarães entre 1999 e 2003..... 824
Tabela Ap.15 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m²) em Guimarães entre 2003 e 2007..... 825

Tabela Ap.16 – Matriz de transição componentes biofísicas (%) em Guimarães entre 2003 e 2007 825
Tabela Ap.17 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m²) em Guimarães entre 2007 e 2010..... 826
Tabela Ap.18 – Matriz de transição das componentes biofísicas (%) em Guimarães entre 2007 e 2010..... 826
Tabela Ap.19 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m²) em Guimarães entre 2010 e 2016..... 827
Tabela Ap.20 – Matriz de transição das componentes biofísicas (%) em Guimarães entre 1999 e 2003..... 827
Tabela Ap.21 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Braga em 1984..... 829
Tabela Ap.22 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Braga em 1999..... 829
Tabela Ap.23 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Braga em 2003..... 830
Tabela Ap.24 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Braga em 2007..... 830
Tabela Ap.25 – Área Urbana (m2 e %) nas freguesias de Braga em 2010..... 831
Tabela Ap.26 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Braga em 2016..... 831
Tabela Ap.27 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 1984 832
Tabela Ap.28 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 1999 832
Tabela Ap.29 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 2003 833
Tabela Ap.30 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 2007 833
Tabela Ap.31 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 2010 834
Tabela Ap.32 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 2016 834
Tabela Ap.33 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Braga em 1984..... 836
Tabela Ap.34 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Braga em 1999..... 836
Tabela Ap.35 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Braga em 2003..... 837
Tabela Ap.36 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Braga em 2007..... 837
Tabela Ap.37 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Braga em 2010..... 838

Tabela Ap.38 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Braga em 2016 838
Tabela Ap.39 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 1984 839
Tabela Ap.40 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 1999 839
Tabela Ap.41 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 2003 840
Tabela Ap.42 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 2007 840
Tabela Ap.43 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 2010 841
Tabela Ap.44 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 2016 841
Tabela Ap.45 – Teste de Friedman aplicado à Ts na AUBG entre 1984 e 2016: *Pairwise comparisons** 843
Tabela Ap.46 – Teste de Friedman aplicado à Ts na AUBG entre 1984 e 2016: *p*-valor 843
Tabela Ap.47 – Teste de Friedman aplicado à Ts na AUBG entre 1984 e 2016: diferenças significativas 843
Tabela Ap.48 – Teste de Friedman aplicado ao NDVI na AUBG entre 1984 e 2016: *Pairwise comparisons** 844
Tabela Ap.49 – Teste de Friedman aplicado ao NDVI na AUBG entre 1984 e 2016: *p*-valor ... 844
Tabela Ap.50 – Teste de Friedman aplicado ao NDVI na AUBG entre 1984 e 2016: diferenças significativas 844
Tabela Ap.51 – Teste de Friedman aplicado ao NDWI na AUBG entre 1984 e 2016: *Pairwise comparisons** 845
Tabela Ap.52 – Teste de Friedman aplicado ao NDWI na AUBG entre 1984 e 2016: *p*-valor .. 845
Tabela Ap.53 – Teste de Friedman aplicado ao NDWI na AUBG entre 1984 e 2016: diferenças significativas 845
Tabela Ap.54 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de NDVI na AUBG entre 1984 e 2016.... 847
Tabela Ap.55 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de NDWI na AUBG entre 1984 e 2016... 847
Tabela Ap.56 – Estatísticas descritivas de NDVI na AUBG entre 1984 e 2016 849

Tabela Ap.57 – Estatísticas descritivas de NDWI na AUBG entre 1984 e 2016 849
Tabela Ap.58 – Estatísticas descritivas de NDVI nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016..... 851
Tabela Ap.59 – Estatísticas descritivas de NDWI nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016..... 851
Tabela Ap.60 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman entre Ts, NDVI e NDWI, por componente biofísica, na AUBG em 1984..... 853
Tabela Ap.61 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman entre Ts, NDVI e NDWI, por componente biofísica, na AUBG em 1999..... 854
Tabela Ap.62 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman entre Ts, NDVI e NDWI, por componente biofísica, na AUBG em 2003..... 855
Tabela Ap.63 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman entre Ts, NDVI e NDWI, por componente biofísica, na AUBG em 2007..... 856
Tabela Ap.64 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman entre Ts, NDVI e NDWI, por componente biofísica, na AUBG em 2010..... 857
Tabela Ap.65 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman entre Ts, NDVI e NDWI, por componente biofísica, na AUBG em 2016..... 858
Tabela Ap.66 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) *pixel-pixel-pixel* por componente biofísica na AUBG em 1984..... 860
Tabela Ap.67 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) *pixel-pixel-pixel* por componente biofísica na AUBG em 1999..... 860
Tabela Ap.68 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) *pixel-pixel-pixel* por componente biofísica na AUBG em 2003..... 860
Tabela Ap.69 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) *pixel-pixel-pixel* por componente biofísica na AUBG em 2007..... 861
Tabela Ap.70 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) *pixel-pixel-pixel* por componente biofísica na AUBG em 2010..... 861
Tabela Ap.71 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) *pixel-pixel-pixel* por componente biofísica na AUBG em 2016..... 861
Tabela Ap.72 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) por componente biofísica na AUBG em 1984 863
Tabela Ap.73 – Estatísticas descritivas do NDVI por componente biofísica na AUBG em 1984 863

Tabela Ap.74 – Estatísticas descritivas do NDWI por componente biofísica na AUBG em 1984 863
Tabela Ap.75 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) por componente biofísica na AUBG em 1999 864
Tabela Ap.76 – Estatísticas descritivas do NDVI por componente biofísica na AUBG em 1999 864
Tabela Ap.77 – Estatísticas descritivas do NDWI por componente biofísica na AUBG em 1999 864
Tabela Ap.78 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) por componente biofísica na AUBG em 2003 865
Tabela Ap.79 – Estatísticas descritivas do NDVI por componente biofísica na AUBG em 2003 865
Tabela Ap.80 – Estatísticas descritivas do NDWI por componente biofísica na AUBG em 2003 865
Tabela Ap.81 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) por componente biofísica na AUBG em 2007 866
Tabela Ap.82 – Estatísticas descritivas do NDVI por componente biofísica na AUBG em 2007 866
Tabela Ap.83 – Estatísticas descritivas do NDWI por componente biofísica na AUBG em 2007 866
Tabela Ap.84 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) por componente biofísica na AUBG em 2010 867
Tabela Ap.85 – Estatísticas descritivas do NDVI por componente biofísica na AUBG em 2010 867
Tabela Ap.86 – Estatísticas descritivas do NDWI por componente biofísica na AUBG em 2010 867
Tabela Ap.87 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) por componente biofísica na AUBG em 2016 868
Tabela Ap.88 – Estatísticas descritivas do NDVI por componente biofísica na AUBG em 2016 868
Tabela Ap.89 – Estatísticas descritivas do NDWI por componente biofísica na AUBG em 2016 868
Tabela Ap.90 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Braga em 1984..... 877
Tabela Ap.91 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Braga em 1999..... 877

Tabela Ap.92 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Braga em 2003 878
Tabela Ap.93 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Braga em 2007 878
Tabela Ap.94 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Braga em 2010 879
Tabela Ap.95 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Braga em 2016 879
Tabela Ap.96 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Guimarães em 1984 880
Tabela Ap.97 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Guimarães em 1999 880
Tabela Ap.98 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Guimarães em 2003 881
Tabela Ap.99 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Guimarães em 2007 881
Tabela Ap.100 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Guimarães em 2010 882
Tabela Ap.101 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Guimarães em 2016 882
Tabela Ap.102 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Braga em 1984 884
Tabela Ap.103 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Braga em 1984 884
Tabela Ap.104 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Braga em 1999 885
Tabela Ap.105 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Braga em 1999 885
Tabela Ap.106 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Braga em 2003 886
Tabela Ap.107 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Braga em 2003 886

Tabela Ap.108 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Braga em 2007 887
Tabela Ap.109 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Braga em 2007 887
Tabela Ap.110 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Braga em 2010 888
Tabela Ap.111 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Braga em 2010 888
Tabela Ap.112 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Braga em 2016 889
Tabela Ap.113 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Braga em 2016 889
Tabela Ap.114 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Guimarães em 1984 890
Tabela Ap.115 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Guimarães em 1984 890
Tabela Ap.116 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Guimarães em 1999 891
Tabela Ap.117 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Guimarães em 1999 891
Tabela Ap.118 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Guimarães em 2003 892
Tabela Ap.119 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Guimarães em 2003 892
Tabela Ap.120 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Guimarães em 2007 893
Tabela Ap.121 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Guimarães em 2007 893
Tabela Ap.122 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Guimarães em 2010 894
Tabela Ap.123 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Guimarães em 2010 894

Tabela Ap.124 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Guimarães em 2016 895
Tabela Ap.125 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Guimarães em 2016 895
Tabela Ap.126 – Repartição espacial (%) das categorias da análise estatística *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I) na AUBG entre 1984 e 2016 897
Tabela Ap.127 – Repartição espacial (%) das categorias da análise estatística *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I) no município de Braga entre 1984 e 2016 897
Tabela Ap.128 – Repartição espacial (%) das categorias da análise estatística *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I) no município de Guimarães entre 1984 e 2016..... 897
Tabela Ap.129 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) para as áreas com e sem ilha de calor de superfície na AUBG em 1984 899
Tabela Ap.130 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) para as áreas com e sem ilha de calor de superfície na AUBG em 1999 899
Tabela Ap.131 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) para as áreas com e sem ilha de calor de superfície na AUBG em 2003 899
Tabela Ap.132 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) para as áreas com e sem ilha de calor de superfície na AUBG em2007 899
Tabela Ap.133 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) para as áreas com e sem ilha de calor de superfície na AUBG em 2010 899
Tabela Ap.134 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) para as áreas com e sem ilha de calor de superfície na AUBG em 2016 899
Tabela Ap.135 – Repartição espacial (%) da ilha de calor de superfície na AUBG entre 1984 e 2016..... 901
Tabela Ap.136 – Repartição espacial (%) da ilha de calor de superfície no município de Braga entre 1984 e 2016..... 901
Tabela Ap.137 – Repartição espacial (%) da ilha de calor de superfície no município de Guimarães entre 1984 e 2016..... 902
Tabela Ap.138 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 1984 e 1999..... 908
Tabela Ap.139 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 1999 e 2003..... 909

Tabela Ap.140 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 2003 e 2007 910
Tabela Ap.141 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 2007 e 2010 911
Tabela Ap.142 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 2010 e 2016 912
Tabela Ap.143 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 1984 e 1999 913
Tabela Ap.144 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 1999 e 2003 914
Tabela Ap.145 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 2003 e 2007 915
Tabela Ap.146 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 2007 e 2010 916
Tabela Ap.147 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 2010 e 2016 917
Tabela Ap.148 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 1984 e 2016 918
Tabela Ap. 149 – Estatísticas dos vetores de mudança decorrentes da trajetória temporal no espaço TVX das componentes biofísicas permeáveis convertidas em industrial/pedreiras no município de Braga entre 1984 e 2016 920
Tabela Ap. 150 – Estatísticas dos vetores de mudança decorrentes da trajetória temporal no espaço TVX das componentes biofísicas permeáveis convertidas em superfícies impermeáveis no município de Braga entre 1984 e 2016 920
Tabela Ap. 151 – Estatísticas dos vetores de mudança decorrentes da trajetória temporal no espaço TVX das componentes biofísicas permeáveis convertidas em industrial/pedreiras no município de Guimarães entre 1984 e 2016 921
Tabela Ap. 152 – Estatísticas dos vetores de mudança decorrentes da trajetória temporal no espaço TVX das componentes biofísicas permeáveis convertidas em superfícies impermeáveis no município de Guimarães entre 1984 e 2016 921

Apêndice I – MATRIZ DE TRANSIÇÃO DAS COMPONENTES BIOFÍSICAS NOS MUNICÍPIOS DE BRAGA E DE GUIMARÃES (1984-2016)

Tabela Ap.1 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m^2) em Braga entre 1984 e 1999

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**154800**	189900	27000	1800	36900	93600	504000
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	597600	**6574500**	137700	567900	1504800	2700	9385200
Vegetação Arbórea e/ou Densa	361800	2742300	**28190700**	21413700	9357300	900	62066700
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	626400	6621300	14742000	**32562000**	21392100	0	75943800
Solo Nu	432000	6654600	5746500	8306100	**13380300**	33300	34552800
Água	3600	2700	26100	0	44100	**744300**	820800
Total	2176200	22785300	48870000	62851500	45715500	874800	**183273300**

Tabela Ap.2 – Matriz de transição das componentes biofísicas (%) em Braga entre 1984 e 1999

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**0,08**	0,10	0,01	0,00	0,02	0,05	0,27
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,33	**3,59**	0,08	0,31	0,82	0,00	5,12
Vegetação Arbórea e/ou Densa	0,20	1,50	**15,38**	11,68	5,11	0,00	33,87
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	0,34	3,61	8,04	**17,77**	11,67	0,00	41,44
Solo Nu	0,24	3,63	3,14	4,53	**7,30**	0,02	18,85
Água	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	**0,41**	0,45
Total	1,19	12,43	26,67	34,29	24,94	0,48	**100**

Tabela Ap.3 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m^2) em Braga entre 1999 e 2003

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**1435500**	722700	0	0	16200	1800	2176200
Superfícies Impermeáveis	936000	**17865900**	66600	566100	3348000	2700	22785300
Vegetação Arbórea e/ou Densa	117900	1915200	**24828300**	13185900	8815500	7200	48870000
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	198900	4653000	10877400	**34664400**	12454200	3600	62851500
Solo Nu	263700	7155000	3732300	13871700	**20682900**	9900	45715500
Água	46800	0	0	0	54900	**773100**	874800
Total	2998800	32311800	39504600	62288100	45371700	798300	**183273300**

Tabela Ap.4 – Matriz de transição das componentes biofísicas (%) em Braga entre 1999 e 2003

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**0,78**	0,39	0,00	0,00	0,01	0,00	1,19
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,51	**9,75**	0,04	0,31	1,83	0,00	12,43
Vegetação Arbórea e/ou Densa	0,06	1,04	**13,55**	7,19	4,81	0,00	26,67
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	0,11	2,54	5,94	**18,91**	6,80	0,00	34,29
Solo Nu	0,14	3,90	2,04	7,57	**11,29**	0,01	24,94
Água	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	**0,42**	0,48
Total	1,64	17,63	21,56	33,99	24,76	0,44	**100**

Tabela Ap.5 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m^2) em Braga entre 2003 e 2007

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**2261700**	608400	3600	8100	45900	71100	2998800
Superfícies Impermeáveis	1361700	**22717800**	295200	2332800	5602500	1800	32311800
Vegetação Arbórea e/ou Densa	39600	357300	**22842000**	12028500	4236300	900	39504600
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	85500	2087100	13694400	**33494400**	12926700	0	62288100
Solo Nu	120600	5516100	5582700	13324500	**20742300**	85500	45371700
Água	1800	4500	0	0	17100	**774900**	798300
Total	3870900	31291200	42417900	61188300	43570800	934200	**183273300**

Tabela Ap.6 – Matriz de transição componentes biofísicas (%) em Braga entre 2003 e 2007

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**1,23**	0,33	0,00	0,00	0,03	0,04	1,64
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,74	**12,40**	0,16	1,27	3,06	0,00	17,63
Vegetação Arbórea e/ou Densa	0,02	0,19	**12,46**	6,56	2,31	0,00	21,56
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	0,05	1,14	7,47	**18,28**	7,05	0,00	33,99
Solo Nu	0,07	3,01	3,05	7,27	**11,32**	0,05	24,76
Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	**0,42**	0,44
Total	2,11	17,07	23,14	33,39	23,77	0,51	**100**

Tabela Ap.7 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m^2) em Braga entre 2007 e 2010

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**2641500**	1185300	0	1800	32400	9900	3870900
Superfícies Impermeáveis	693900	**25470900**	165600	782100	4177800	900	31291200
Vegetação Arbórea e/ou Densa	73800	481500	**29524500**	8380800	3949200	8100	42417900
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	90900	1828800	14319900	**27715500**	17228700	4500	61188300
Solo Nu	65700	6192000	6600600	8707500	**21973500**	31500	43570800
Água	0	2700	4500	0	49500	**877500**	934200
Total	3565800	35161200	50615100	45587700	47411100	932400	**183273300**

Tabela Ap.8 – Matriz de transição das componentes biofísicas (%) em Braga entre 2007 e 2010

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**1,44**	0,65	0,00	0,00	0,02	0,01	2,11
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,38	**13,90**	0,09	0,43	2,28	0,00	17,07
Vegetação Arbórea e/ou Densa	0,04	0,26	**16,11**	4,57	2,15	0,00	23,14
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	0,05	1,00	7,81	**15,12**	9,40	0,00	33,39
Solo Nu	0,04	3,38	3,60	4,75	**11,99**	0,02	23,77
Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	**0,48**	0,51
Total	1,95	19,19	27,62	24,87	25,87	0,51	**100**

Tabela Ap.9 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m^2) em Braga entre 2010 e 2016

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**3353400**	192600	900	900	2700	15300	3565800
Superfícies Impermeáveis	4335300	**27856800**	322200	991800	1627200	27900	35161200
Vegetação Arbórea e/ou Densa	27000	1075500	**36785700**	9529200	3182400	15300	50615100
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	64800	4101300	16426800	**20006100**	4988700	0	45587700
Solo Nu	238500	12447900	8209800	14138100	**12310200**	66600	47411100
Água	1800	900	18900	900	8100	**901800**	932400
Total	8020800	45675000	61764300	44667000	22119300	1026900	**183273300**

Tabela Ap.10 – Matriz de transição das componentes biofísicas (%) em Braga entre 2010 e 2016

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**1,83**	0,11	0,00	0,00	0,00	0,01	1,95
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	2,37	**15,20**	0,18	0,54	0,89	0,02	19,19
Vegetação Arbórea e/ou Densa	0,01	0,59	**20,07**	5,20	1,74	0,01	27,62
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	0,04	2,24	8,96	**10,92**	2,72	0,00	24,87
Solo Nu	0,13	6,79	4,48	7,71	**6,72**	0,04	25,87
Água	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	**0,49**	0,51
Total	4,38	24,92	33,70	24,37	12,07	0,56	**100**

Tabela Ap.11 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m²) em Guimarães entre 1984 e 1999

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**64800**	303300	0	2700	19800	0	390600
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	460800	**6904800**	68400	630900	1755000	3600	9823500
Vegetação Arbórea e/ou Densa	315900	3512700	**44627400**	34587000	14579100	13500	97635600
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	446400	7797600	18399600	**42154200**	26827200	3600	95628600
Solo Nu	306000	8043300	3899700	9373500	**15642900**	19800	37285200
Água	0	0	4500	900	6300	**11700**	**23400**
Total	1593900	26561700	66999600	86749200	58830300	52200	**240786900**

Tabela Ap.12 – Matriz de transição das componentes biofísicas (%) em Guimarães entre 1984 e 1999

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**0,03**	0,13	0,00	0,00	0,01	0,00	0,16
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,19	**2,87**	0,03	0,26	0,73	0,00	4,08
Vegetação Arbórea e/ou Densa	0,13	1,46	**18,53**	14,36	6,05	0,01	40,55
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	0,19	3,24	7,64	**17,51**	11,14	0,00	39,72
Solo Nu	0,13	3,34	1,62	3,89	**6,50**	0,01	15,48
Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,00**	0,01
Total	0,66	11,03	27,83	36,03	24,43	0,02	**100**

Tabela Ap.13 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m^2) em Guimarães entre 1999 e 2003

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**739800**	850500	0	0	3600	0	1593900
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	793800	**19201500**	118800	891900	5554800	900	26561700
Vegetação Arbórea e/ou Densa	64800	1458900	**31955400**	23785200	9734400	900	66999600
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	129600	4095000	14033700	**51346800**	17140500	3600	86749200
Solo Nu	148500	7130700	4216500	20026800	**27307800**	0	58830300
Água	5400	900	4500	12600	26100	**2700**	52200
Total	1881900	32737500	50328900	96063300	59767200	8100	**240786900**

Tabela Ap.14 – Matriz de transição das componentes biofísicas (%) em Guimarães entre 1999 e 2003

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**0,31**	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,33	**7,97**	0,05	0,37	2,31	0,00	11,03
Vegetação Arbórea e/ou Densa	0,03	0,61	**13,27**	9,88	4,04	0,00	27,83
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	0,05	1,70	5,83	**21,32**	7,12	0,00	36,03
Solo Nu	0,06	2,96	1,75	8,32	**11,34**	0,00	24,43
Água	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	**0,00**	0,02
Total	0,78	13,60	20,90	39,90	24,82	0,00	**100**

Tabela Ap.15 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m^2) em Guimarães entre 2003 e 2007

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**1489500**	360900	2700	10800	12600	5400	1881900
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	1483200	**22631400**	215100	2538900	5868900	0	32737500
Vegetação Arbórea e/ou Densa	54000	544500	**34014600**	12048300	3667500	0	50328900
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	87300	2912400	27434700	**50433300**	15195600	0	96063300
Solo Nu	119700	7416900	7817400	19281600	**25126200**	5400	59767200
Água	0	900	0	900	1800	**4500**	8100
Total	3233700	33867000	69484500	84313800	49872600	15300	**240786900**

Tabela Ap.16 – Matriz de transição componentes biofísicas (%) em Guimarães entre 2003 e 2007

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreira	**0,62**	0,15	0,00	0,00	0,01	0,00	0,78
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,62	**9,40**	0,09	1,05	2,44	0,00	13,60
Vegetação Arbórea e/ou Densa	0,02	0,23	**14,13**	5,00	1,52	0,00	20,90
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	0,04	1,21	11,39	**20,95**	6,31	0,00	39,90
Solo Nu	0,05	3,08	3,25	8,01	**10,44**	0,00	24,82
Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,00**	**0,00**
Total	1,34	14,07	28,86	35,02	20,71	0,01	**100**

Tabela Ap.17 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m²) em Guimarães entre 2007 e 2010

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**1403100**	1634400	20700	62100	111600	1800	3233700
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	1085400	**21397500**	493200	2669400	8221500	0	33867000
Vegetação Arbórea e/ou Densa	72000	1227600	**36844200**	21694500	9635400	10800	69484500
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	153900	5718600	17802900	**34319700**	26313300	5400	84313800
Solo Nu	178200	9282600	6122700	12678300	**21603600**	7200	49872600
Água	1800	2700	900	0	6300	**3600**	15300
Total	2894400	39263400	61284600	71424000	65891700	28800	**240786900**

Tabela Ap.18 – Matriz de transição das componentes biofísicas (%) em Guimarães entre 2007 e 2010

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**0,58**	0,68	0,01	0,03	0,05	0,00	1,34
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,45	**8,89**	0,20	1,11	3,41	0,00	14,07
Vegetação Arbórea e/ou Densa	0,03	0,51	**15,30**	9,01	4,00	0,00	28,86
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	0,06	2,37	7,39	**14,25**	10,93	0,00	35,02
Solo Nu	0,07	3,86	2,54	5,27	**8,97**	0,00	20,71
Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,00**	0,01
Total	1,20	16,31	25,45	29,66	27,37	0,01	**100**

Tabela Ap.19 – Matriz de transição das componentes biofísicas (m²) em Guimarães entre 2010 e 2016

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**2651400**	174600	37800	7200	1800	21600	2894400
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	4274100	**31025700**	603000	1379700	1972800	8100	39263400
Vegetação Arbórea e/ou Densa	131400	1307700	**45215100**	11394900	3223800	11700	61284600
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	225000	5889600	26976600	**30741300**	7591500	0	71424000
Solo Nu	360900	17926200	10083600	20169000	**17324100**	27900	65891700
Água	0	1800	8100	0	2700	**16200**	28800
Total	7642800	56325600	82924200	63692100	30116700	85500	**240786900**

Tabela Ap.20 – Matriz de transição das componentes biofísicas (%) em Guimarães entre 1999 e 2003

Componente Biofísica	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea e/ou Densa	Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	Solo Nu	Água	Total
Industrial/Pedreiras	**1,10**	0,07	0,02	0,00	0,00	0,01	1,20
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	1,78	**12,89**	0,25	0,57	0,82	0,00	16,31
Vegetação Arbórea e/ou Densa	0,05	0,54	**18,78**	4,73	1,34	0,00	25,45
Vegetação Herbácea/ Arbustiva e/ou Esparsa	0,09	2,45	11,20	**12,77**	3,15	0,00	29,66
Solo Nu	0,15	7,44	4,19	8,38	**7,19**	0,01	27,37
Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,01**	0,01
Total	3,17	23,39	34,44	26,45	12,51	0,04	**100**

Apêndice II – *RANKING* DAS FREGUESIAS DOS MUNICÍPIOS DE BRAGA E DE GUIMARÃES EM FUNÇÃO DA ÁREA URBANA (1984-2016)

Tabela Ap.21 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Braga em 1984

Maior área urbana

Freguesia	Área (m²)
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	1175125
Braga (S.Vítor)	980200
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	900550
UF de Celeirós, Aveleda e Vimieiro	629825
UF de Real, Dume e Semelhe	599525

Maior percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	48,36
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	35,11
Braga (S.Vítor)	29,02
Braga (S.Vicente)	28,23
UF de Ferreiros e Gondizalves	11,98

Menor área urbana

Freguesia	Área (m²)
Lamas	13375
Sobreposta	21125
Pedralva	23175
UF de Guisande e Oliveira (S.Pedro)	29925
Figueiredo	37850

Menor percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
Pedralva	0,29
Sobreposta	0,35
UF de Guisande e Oliveira (S.Pedro)	0,69
UF de Este (S.Pedro e S.Mamede)	1,01
Lamas	1,07

Tabela Ap.22 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Braga em 1999

Maior área urbana

Freguesia	Área (m²)
Braga (S.Vítor)	2078675
UF de Nogueira, Fraião e Lamaçães	1787850
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	1621400
UF de Celeirós, Aveleda e Vimieiro	1562525
Palmeira	1530975

Maior percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	66,72
Braga (S.Vítor)	61,55
Braga (S.Vicente)	54,06
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	54,01
UF de Ferreiros e Gondizalves	25,26

Menor área urbana

Freguesia	Área (m²)
Lamas	91475
Sobreposta	133650
Pedralva	150800
Tadim	152225
Figueiredo	158375

Menor percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
Pedralva	1,54
Sobreposta	2,22
UF de Crespos e Pousada	4,13
UF de Escudeiros e Penso (Santo Estêvão e São Vicente)	4,33
UF de Este (S.Pedro e S.Mamede)	4,60

Tabela Ap.23 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Braga em 2003

Maior área urbana

Freguesia	Área (m²)
UF de Celeirós, Aveleda e Vimieiro	2823175
UF de Nogueira, Fraião e Lamaçães	2314250
Braga (S.Vítor)	2227900
UF de Real, Dume e Semelhe	2155075
Palmeira	2070225

Maior percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	70,86
Braga (S.Vítor)	65,96
Braga (S.Vicente)	61,50
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	60,73
UF de Ferreiros e Gondizalves	39,51

Menor área urbana

Freguesia	Área (m²)
Pedralva	128075
Sobreposta	143700
Lamas	177025
Esporões	238150
UF de Guisande e Oliveira (S.Pedro)	255700

Menor percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
Pedralva	1,69
Sobreposta	2,54
UF de Crespos e Pousada	4,35
UF de Guisande e Oliveira (S.Pedro)	5,97
Espinho	6,08

Tabela Ap.24 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Braga em 2007

Maior área urbana

Freguesia	Área (m²)
UF de Nogueira, Fraião e Lamaçães	2443650
UF de Celeirós, Aveleda e Vimieiro	2438550
Braga (S.Vítor)	2369375
Palmeira	2081000
UF de Real, Dume e Semelhe	1983600

Maior percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
Braga (S.Vítor)	70,15
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	67,92
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	60,30
Braga (S.Vicente)	58,84
UF de Ferreiros e Gondizalves	38,52

Menor área urbana

Freguesia	Área (m²)
Lamas	181475
UF de Guisande e Oliveira (S.Pedro)	240550
Tadim	242425
Esporões	318825
Figueiredo	324400

Menor percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
Pedralva	4,93
UF de Guisande e Oliveira (S.Pedro)	5,56
Sobreposta	5,60
UF de Crespos e Pousada	5,92
UF de Escudeiros e Penso (Santo Estêvão e S.Vicente)	7,87

Tabela Ap.25 – Área Urbana (m2 e %) nas freguesias de Braga em 2010

Maior área urbana	
Freguesia	**Área (m²)**
Braga (S.Vítor)	2770600
UF de Nogueira, Fraião e Lamaçães	2618850
UF de Celeirós, Aveleda e Vimieiro	2554975
UF de Real, Dume e Semelhe	2501575
Palmeira	2272775

Maior percentagem de área urbana	
Freguesia	**Área (%)**
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	68,00
Braga (S.Vítor)	67,90
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	61,07
Braga (S.Vicente)	50,88
UF de Ferreiros e Gondizalves	40,71

Menor área urbana	
Freguesia	**Área (m²)**
Lamas	238900
Tadim	293400
UF de Guisande e Oliveira (S.Pedro)	327900
Ruilhe	350000
Figueiredo	368075

Menor percentagem de área urbana	
Freguesia	**Área (%)**
Pedralva	5,38
UF de Crespos e Pousada	5,62
UF de Guisande e Oliveira (S.Pedro)	6,97
Sobreposta	7,41
UF de Escudeiros e Penso (Santo Estêvão e S.Vicente)	8,84

Tabela Ap.26 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Braga em 2016

Maior área urbana	
Freguesia	**Área (m²)**
UF de Nogueira, Fraião e Lamaçães	3370500
UF de Real, Dume e Semelhe	3188850
UF de Celeirós, Aveleda e Vimieiro	3176475
Palmeira	2841175
Braga (S.Vítor)	2616675

Maior percentagem de área urbana	
Freguesia	**Área (%)**
Braga (S.Vítor)	77,48
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	74,79
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	66,26
Braga (S.Vicente)	64,41
UF de Ferreiros e Gondizalves	48,97

Menor área urbana	
Freguesia	**Área (m²)**
Lamas	351400
Tadim	407800
Figueiredo	518625
Ruilhe	578225
Esporões	614475

Menor percentagem de área urbana	
Freguesia	**Área (%)**
Pedralva	11,86
Sobreposta	14,17
UF de Crespos e Pousada	15,54
UF de Escudeiros e Penso (Santo Estêvão e S.Vicente)	15,98
UF de Sta. Lucrécia de Algeriz e Navarra	16,29

Tabela Ap.27 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 1984

Maior área urbana

Freguesia	Área (m²)
Selho (S.Jorge)	788025
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	697975
Moreira de Cónegos	691250
Ponte	528275
Creixomil	501600

Maior percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	44,91
Creixomil	16,69
Selho (S.Jorge)	15,16
Moreira de Cónegos	14,64
Azurém	14,16

Menor área urbana

Freguesia	Área (m²)
Longos	10800
Prazins (Sta. Eufémia)	17050
UF de Leitões, Oleiros e Figueiredo	21825
Aldão	31950
UF de Prazins Santo Tirso e Corvite	34950

Menor percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
Longos	0,15
UF de Leitões, Oleiros e Figueiredo	0,25
UF de Atães e Rendufe	0,73
UF de Briteiros S.Salvador e Briteiros Sta. Leocádia	0,80
Infantas	0,81

Tabela Ap.28 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 1999

Maior área urbana

Freguesia	Área (m²)
Lordelo	1355950
Selho (S.Jorge)	1354925
Ponte	1317400
Creixomil	1281275
Moreira de Cónegos	1232825

Maior percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	65,76
Creixomil	42,64
Azurém	37,81
Gondar	27,88
Caldelas	27,46

Menor área urbana

Freguesia	Área (m²)
Prazins (Sta. Eufémia)	89950
Pinheiro	102300
UF de Arosa e Castelões	139625
Longos	147000
UF de Serzedo e Calvos	152725

Menor percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
Longos	2,03
UF de Leitões, Oleiros e Figueiredo	2,39
UF de Arosa e Castelões	2,53
Infantas	2,58
UF de Atães e Rendufe	3,23

Tabela Ap.29 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 2003

Maior área urbana

Freguesia	Área (m²)
Lordelo	1936825
Ponte	1659600
Selho (S.Jorge)	1648625
Creixomil	1504175
Moreira de Cónegos	1491800

Maior percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	63,76
Creixomil	50,06
Azurém	40,08
Lordelo	38,98
Gondar	35,10

Menor área urbana

Freguesia	Área (m²)
Infantas	88100
UF de Arosa e Castelões	105800
Pinheiro	117125
Prazins (Sta. Eufémia)	147525
Longos	168200

Menor percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
Infantas	1,38
UF de Arosa e Castelões	1,92
Longos	2,33
UF de Abação e Gémeos	2,89
UF de Briteiros S.Salvador e Briteiros Sta. Leocádia	3,32

Tabela Ap.30 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 2007

Maior área urbana

Freguesia	Área (m²)
Ponte	1591250
Creixomil	1537175
UF de Souto Sta. Maria, Souto S.Salvador e Gondomar	1489775
Lordelo	1457600
Selho (S.Jorge)	1426550

Maior percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	65,10
Creixomil	51,15
Azurém	42,18
Caldelas	33,49
Urgezes	32,62

Menor área urbana

Freguesia	Área (m²)
Prazins (Sta. Eufémia)	160975
UF de Arosa e Castelões	222025
Aldão	227025
Infantas	234950
Pinheiro	248950

Menor percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
Infantas	3,69
Longos	3,77
UF de Arosa e Castelões	4,02
UF de Atães e Rendufe	4,96
UF de Briteiros S.Salvador e Briteiros Sta. Leocádia	5,81

Tabela Ap.31 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 2010

Maior área urbana

Freguesia	Área (m²)
Ponte	1790800
UF de Souto Sta. Maria, Souto S.Salvador e Gondomar	1784400
Lordelo	1605600
Selho (S.Jorge)	1580800
Creixomil	1483000

Maior percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	67,29
Creixomil	49,37
Azurém	42,27
Caldelas	40,17
Urgezes	34,06

Menor área urbana

Freguesia	Área (m²)
Aldão	254100
Prazins (Sta. Eufémia)	264800
UF de Arosa e Castelões	279200
Infantas	323100
Longos	328500

Menor percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
Longos	4,54
Infantas	4,98
UF de Arosa e Castelões	5,06
UF de Briteiros S.Salvador e Briteiros Sta. Leocádia	5,96
UF de Leitões, Oleiros e Figueiredo	6,52

Tabela Ap.32 – Área Urbana (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 2016

Maior área urbana

Freguesia	Área (m2)
UF de Souto Sta. Maria, Souto S.Salvador e Gondomar	2494775
Ponte	2289700
Lordelo	2140475
Moreira de Cónegos	2036375
UF de Airão Sta. Maria, Airão S.João e Vermil	2022925

Maior percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	79,34
Creixomil	61,80
Azurém	52,35
Caldelas	49,97
Moreira de Cónegos	43,13

Menor área urbana

Freguesia	Área (m²)
Aldão	443600
Prazins (Sta. Eufémia)	476800
Barco	505675
Pinheiro	575000
Pencelo	616725

Menor percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
Longos	9,98
UF de Arosa e Castelões	12,69
UF de Sande S.Lourenço e Balazar	13,12
Infantas	13,60
Gonça	14,00

Apêndice III – *RANKING* DAS FREGUESIAS DE BRAGA E DE GUIMARÃES EM FUNÇÃO DA VEGETAÇÃO ARBÓREA E/OU DENSA (1984-2016)

Tabela Ap.33 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Braga em 1984

Maior área com vegetação densa

Freguesia	Área (m²)
UF de Escudeiros e Penso (Santo Estêvão e S.Vicente)	3650800
UF de Este (S.Pedro e S.Mamede)	3314625
Adaúfe	3067875
UF de Nogueira, Fraião e Lamaçães	3021225
UF de Arentim e Cunha	2816250

Maior percentagem de área com vegetação densa

Freguesia	Área (%)
UF de Nogueiró e Tenões	54,77
Tadim	49,92
UF de Arentim e Cunha	49,27
UF de Guisande e Oliveira (S.Pedro)	47,46
Espinho	46,71

Menor área com vegetação densa

Freguesia	Área (m²)
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	247625
Braga (S.Vicente)	286700
Gualtar	368075
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	446775
Braga (S.Vítor)	487825

Menor percentagem de área com vegetação densa

Freguesia	Área (%)
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	10,19
Braga (S.Vicente)	14,16
Braga (S.Vítor)	14,44
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	17,42
Padim da Graça	18,69

Tabela Ap.34 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Braga em 1999

Maior área com vegetação densa

Freguesia	Área (m²)
UF de Este (S.Pedro e S.Mamede)	3557975
UF de Nogueira, Fraião e Lamaçães	2643000
Adaúfe	2578225
UF de Crespos e Pousada	2372700
UF de Sta. Lucrécia de Algeriz e Navarra	2205975

Maior percentagem de área com vegetação densa

Freguesia	Área (%)
Tadim	49,86
UF de Este (S.Pedro e S.Mamede)	42,82
UF de Nogueiró e Tenões	42,58
Espinho	37,29
UF de Arentim e Cunha	36,52

Menor área com vegetação densa

Freguesia	Área (m²)
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	150300
Braga (S. Vicente)	164400
Braga (S. Vítor)	234825
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	259575
Lamas	305775

Menor percentagem de área com vegetação densa

Freguesia	Área (%)
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	6,19
Braga (S.Vítor)	6,95
Braga (S.Vicente)	8,12
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	10,12
UF de Vilaça e Fradelos	15,14

Tabela Ap.35 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Braga em 2003

Maior área com vegetação densa

Freguesia	Área (m²)
UF de Este (S.Pedro e S.Mamede)	2819300
UF de Crespos e Pousada	2512900
Adaúfe	2459625
Palmeira	1992025
UF de Sta. Lucrécia de Algeriz e Navarra	1789850

Maior percentagem de área urbana

Freguesia	Área (%)
Espinho	39,49
UF de Nogueiró e Tenões	37,42
UF de Crespos e Pousada	34,27
UF de Este (S.Pedro e S.Mamede)	33,93
Esporões	32,97

Menor área com vegetação densa

Freguesia	Área (m²)
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	150300
Braga (S.Vicente)	164400
Braga (S.Vítor)	234825
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	259575
Lamas	305775

Menor percentagem de área com vegetação densa

Freguesia	Área (%)
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	2,44
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	6,11
Braga (S.Vítor)	6,12
Braga (S.Vicente)	6,57
UF de Celeirós, Aveleda e Vimieiro	7,21

Tabela Ap.36 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Braga em 2007

Maior área com vegetação densa

Freguesia	Área (m²)
Adaúfe	2434600
UF de Crespos e Pousada	2337925
UF de Arentim e Cunha	2151400
UF de Escudeiros e Penso (Santo Estêvão e S.Vicente)	2108200
Palmeira	2056825

Maior percentagem de área com vegetação densa

Freguesia	Área (%)
UF de Nogueiró e Tenões	43,30
UF de Guisande e Oliveira (S.Pedro)	41,62
Tadim	41,29
UF de Arentim e Cunha	37,64
Padim da Graça	32,81

Menor área com vegetação densa

Freguesia	Área (m²)
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	146700
Braga (S.Vítor)	165000
Lamas	203325
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	204875
Braga (S.Vicente)	205825

Menor percentagem de área com vegetação densa

Freguesia	Área (%)
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	146700
Braga (S.Vítor)	165000
Lamas	203325
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	204875
Braga (S.Vicente)	205825

Tabela Ap.37 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Braga em 2010

Maior área com vegetação densa

Freguesia	Área (m²)
UF de Escudeiros e Penso (Santo Estêvão e S.Vicente)	3254300
Adaúfe	3063925
UF de Este (S.Pedro e S.Mamede)	2919725
UF de Arentim e Cunha	2675625
UF de Crespos e Pousada	2494700

Maior percentagem de área com vegetação densa

Freguesia	Área (%)
Tadim	50,07
UF de Arentim e Cunha	46,81
UF de Nogueiró e Tenões	43,01
UF de Guisande e Oliveira (S.Pedro)	42,31
Espinho	41,07

Menor área com vegetação densa

Freguesia	Área (m²)
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	144000
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	161825
Braga (S.Vítor)	253825
Gualtar	311600
Braga (S.Vicente)	451625

Menor percentagem de área com vegetação densa

Freguesia	Área (%)
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	5,93
Braga (S.Vítor)	6,22
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	6,31
Gualtar	11,40
UF de Ferreiros e Gondizalves	14,39

Tabela Ap.38 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Braga em 2016

Maior área com vegetação densa

Freguesia	Área (m²)
UF de Este (S.Pedro e S.Mamede)	3980400
Adaúfe	3758175
UF de Escudeiros e Penso (Santo Estêvão e S.Vicente)	3706675
UF de Crespos e Pousada	2984900
UF de Sta. Lucrécia de Algeriz e Navarra	2782325

Maior percentagem de área com vegetação densa

Freguesia	Área (%)
Tadim	49,48
UF de Este (S.Pedro e S.Mamede)	47,90
UF de Arentim e Cunha	46,85
UF de Escudeiros e Penso (Santo Estêvão e S.Vicente)	46,60
UF de Nogueiró e Tenões	45,26

Menor área com vegetação densa

Freguesia	Área (m²)
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	131375
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	251400
Braga (S.Vítor)	251475
Gualtar	382750
Braga (S.Vicente)	391750

Menor percentagem de área com vegetação densa

Freguesia	Área (%)
UF de Braga (S.José de S.Lázaro e S.João do Souto)	5,41
Braga (S.Vítor)	7,45
UF de Braga (Maximinos, Sé e Cividade)	9,80
UF de Merelim (S.Pedro) e Frossos	15,09
Braga (S.Vicente)	19,34

Tabela Ap.39 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 1984

Maior área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (m²)**
UF de Atães e Rendufe	6485825
Longos	4207675
UF de Souto Sta. Maria, Souto S.Salvador e Gondomar	4048525
S.Torcato	3901375
UF de Abação e Gémeos	3781925

Maior percentagem de área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (%)**
Longos	58,19
Costa	57,79
Infantas	57,64
UF de Abação e Gémeos	56,20
UF de Selho S.Lourenço e Gominhães	55,31

Menor área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (m²)**
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	99750
Gondar	546400
Barco	652000
Moreira de Cónegos	685150
Aldão	704000

Menor percentagem de área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (%)**
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	6,42
Moreira de Cónegos	14,51
Lordelo	17,72
Ronfe	21,38
Gondar	21,79

Tabela Ap.40 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 1999

Maior área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (m²)**
UF de Atães e Rendufe	4531700
Longos	3501700
Infantas	2849950
UF de Souto Sta. Maria, Souto S.Salvador e Gondomar	2838075
UF de Abação e Gémeos	2540525

Maior percentagem de área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (%)**
Longos	48,43
Costa	47,96
Infantas	44,74
UF de Arosa e Castelões	38,81
UF de Atães e Rendufe	38,50

Menor área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (m²)**
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	17100
Creixomil	220875
Gondar	358400
Azurém	393825
Aldão	400125

Menor percentagem de área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (%)**
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	1,10
Creixomil	7,35
Moreira de Cónegos	9,17
Lordelo	10,59
Guardizela	12,53

Tabela Ap.41 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 2003

Maior área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (m²)**
UF de Atães e Rendufe	3761775
Infantas	2798650
Longos	2775850
UF de Abação e Gémeos	2586575
Gonça	2162975

Maior percentagem de área urbana	
Freguesia	**Área (%)**
Infantas	43,93
Costa	43,84
UF de Abação e Gémeos	38,44
Longos	38,39
UF de Tabuadelo e S.Faustino	35,21

Menor área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (m²)**
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	3750
Gondar	204000
Moreira de Cónegos	244250
Azurém	269050
Barco	275525

Menor percentagem de área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (%)**
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	0,24
Moreira de Cónegos	5,17
Lordelo	5,79
Ronfe	7,14
Brito	7,40

Tabela Ap.42 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 2007

Maior área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (m²)**
UF de Atães e Rendufe	4864975
UF de Souto Sta. Maria, Souto S.Salvador e Gondomar	3733125
Gonça	3530475
Longos	3171975
Infantas	-

Maior percentagem de área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (%)**
Costa	50,65
Gonça	50,28
Longos	43,87
UF de Arosa e Castelões	42,03
Infantas	41,36

Menor área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (m²)**
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	33700
Creixomil	307900
Barco	420975
Aldão	441500
Caldelas	473225

Menor percentagem de área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (%)**
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	2,17
Lordelo	9,92
Creixomil	10,25
Moreira de Cónegos	10,53
Guardizela	14,43

Tabela Ap.43 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 2010

Maior área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (m²)**
Longos	3344400
UF de Atães e Rendufe	3072300
UF de Briteiros S.Salvador e Briteiros Sta. Leocádia	2760300
Infantas	2732100
UF de Leitões, Oleiros e Figueiredo	2704000

Maior percentagem de área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (%)**
Longos	46,26
Costa	43,95
Infantas	42,10
UF de Tabuadelo e S.Faustino	39,79
UF de Abação e Gémeos	37,17

Menor área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (m²)**
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	21500
Creixomil	342100
Aldão	393500
Caldelas	406800
Barco	414800

Menor percentagem de área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (%)**
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	1,38
Lordelo	9,53
Moreira de Cónegos	10,30
Creixomil	11,39
Barco	13,77

Tabela Ap.44 – Área com vegetação arbórea e/ou densa (m² e %) nas freguesias de Guimarães em 2016

Maior área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (m²)**
UF de Atães e Rendufe	5758125
UF de Souto Sta. Maria, Souto S.Salvador e Gondomar	4092250
Longos	3816675
Gonça	3338075
UF de Leitões, Oleiros e Figueiredo	3145750

Maior percentagem de área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (%)**
Longos	52,78
UF de Atães e Rendufe	48,92
Costa	47,67
Gonça	47,54
UF de Tabuadelo e S.Faustino	47,04

Menor área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (m²)**
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	40150
Creixomil	358550
Caldelas	476350
Aldão	514925
Barco	562225

Menor percentagem de área com vegetação densa	
Freguesia	**Área (%)**
UF de Oliveira, S.Paio e S.Sebastião	2,58
Creixomil	11,93
Caldelas	17,74
Guardizela	18,00
Lordelo	18,60

Apêndice IV – APLICAÇÃO DO TESTE DE FRIEDMAN ÀS SÉRIES DE TS, NDVI E NDWI DA AUBG (1984-2016)

Tabela Ap.45 – Teste de Friedman aplicado à Ts na AUBG entre 1984 e 2016: *Pairwise comparisons**

Variável	*Pairwise comparisons**					
	Ts_1984	**Ts_1999**	**Ts_2003**	**Ts_2007**	**Ts_2010**	**Ts_2016**
Ts_1984	0	**-2,64**	**-1,53**	**-2,89**	**-4,36**	**-3,48**
Ts_1999	**2,64**	0	**1,11**	**-0,25**	**-1,71**	**-0,84**
Ts_2003	**1,53**	**-1,11**	0	**-1,36**	**-2,83**	**-1,95**
Ts_2007	**2,89**	**0,25**	**1,36**	0	**-1,46**	**-0,59**
Ts_2010	**4,36**	**1,71**	**2,83**	**1,46**	0	**0,87**
Ts_2016	**3,48**	**0,84**	**1,95**	**0,59**	**-0,87**	0

*Diferença Crítica: 0,0760

Tabela Ap.46 – Teste de Friedman aplicado à Ts na AUBG entre 1984 e 2016: *p*-valor

Variável	***p*-valor**					
	Ts_1984	**Ts_1999**	**Ts_2003**	**Ts_2007**	**Ts_2010**	**Ts_2016**
Ts_1984	1	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**
Ts_1999	**< 0,0001**	1	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**
Ts_2003	**< 0,0001**	**< 0,0001**	1	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**
Ts_2007	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	1	**< 0,0001**	**< 0,0001**
Ts_2010	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	1	**< 0,0001**
Ts_2016	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	1

Tabela Ap.47 – Teste de Friedman aplicado à Ts na AUBG entre 1984 e 2016: diferenças significativas

Variável	**Diferenças Significativas**					
	Ts_1984	**Ts_1999**	**Ts_2003**	**Ts_2007**	**Ts_2010**	**Ts_2016**
Ts_1984	Não	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**
Ts_1999	**Sim**	Não	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**
Ts_2003	**Sim**	**Sim**	Não	**Sim**	**Sim**	**Sim**
Ts_2007	**Sim**	**Sim**	**Sim**	Não	**Sim**	**Sim**
Ts_2010	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**	Não	**Sim**
Ts_2016	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**	Não

Tabela Ap.48 – Teste de Friedman aplicado ao NDVI na AUBG entre 1984 e 2016: *Pairwise comparisons**

Variável	*Pairwise comparisons**					
	NDVI_1984	**NDVI_1999**	**NDVI_2003**	**NDVI_2007**	**NDVI_2010**	**NDVI_2016**
NDVI_1984	0,00	**0,69**	**1,10**	**0,85**	**1,10**	**0,36**
NDVI_1999	**-0,69**	0,00	**0,41**	**0,16**	**0,42**	**-0,32**
NDVI_2003	**-1,10**	**-0,41**	0,00	**-0,25**	0,01	**-0,73**
NDVI_2007	**-0,85**	**-0,16**	**0,25**	0,00	**0,26**	**-0,48**
NDVI_2010	**-1,10**	**-0,42**	-0,01	**-0,26**	0,00	**-0,74**
NDVI_2016	**-0,36**	**0,32**	**0,73**	**0,48**	**0,74**	0,00

*Diferença Crítica: 0,0760

Tabela Ap.49 – Teste de Friedman aplicado ao NDVI na AUBG entre 1984 e 2016: *p*-valor

Variável	***p*-valor**					
	NDVI_1984	**NDVI_1999**	**NDVI_2003**	**NDVI_2007**	**NDVI_2010**	**NDVI_2016**
NDVI_1984	1	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**
NDVI_1999	**< 0,0001**	1	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**
NDVI_2003	**< 0,0001**	**< 0,0001**	1	**< 0,0001**	1,000	**< 0,0001**
NDVI_2007	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	1	**< 0,0001**	**< 0,0001**
NDVI_2010	**< 0,0001**	**< 0,0001**	1,000	**< 0,0001**	1	**< 0,0001**
NDVI_2016	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	1

Tabela Ap.50 – Teste de Friedman aplicado ao NDVI na AUBG entre 1984 e 2016: diferenças significativas

Variável	**Diferenças Significativas**					
	NDVI_1984	**NDVI_1999**	**NDVI_2003**	**NDVI_2007**	**NDVI_2010**	**NDVI_2016**
NDVI_1984	Não	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**
NDVI_1999	**Sim**	Não	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**
NDVI_2003	**Sim**	**Sim**	Não	**Sim**	Não	**Sim**
NDVI_2007	**Sim**	**Sim**	**Sim**	Não	**Sim**	**Sim**
NDVI_2010	**Sim**	**Sim**	Não	**Sim**	Não	**Sim**
NDVI_2016	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**	Não

Tabela Ap.51 – Teste de Friedman aplicado ao NDWI na AUBG entre 1984 e 2016: *Pairwise comparisons**

Variável	*Pairwise comparisons**					
	NDWI_1984	**NDWI_1999**	**NDWI_2003**	**NDWI_2007**	**NDWI_2010**	**NDWI_2016**
NDWI_1984	0,00	**0,82**	**0,30**	**0,72**	**0,91**	**0,10**
NDWI_1999	**-0,82**	0,00	**-0,52**	**-0,10**	**0,09**	**-0,72**
NDWI_2003	**-0,30**	**0,52**	0,00	**0,42**	**0,61**	**-0,20**
NDWI_2007	**-0,72**	**0,10**	**-0,42**	0,00	**0,19**	**-0,62**
NDWI_2010	**-0,91**	**-0,09**	**-0,61**	**-0,19**	0,00	**-0,81**
NDWI_2016	**-0,102**	**0,718**	**0,197**	**0,619**	**0,806**	0

*Diferença Crítica: 0,0760

Tabela Ap.52 – Teste de Friedman aplicado ao NDWI na AUBG entre 1984 e 2016: *p*-valor

Variável	***p*-valor**					
	NDWI_1984	**NDWI_1999**	**NDWI_2003**	**NDWI_2007**	**NDWI_2010**	**NDWI_2016**
NDWI_1984	1	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**0,002**
NDWI_1999	**< 0,0001**	1	**< 0,0001**	**0,003**	**0,013**	**< 0,0001**
NDWI_2003	**< 0,0001**	**< 0,0001**	1	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**
NDWI_2007	**< 0,0001**	**0,003**	**< 0,0001**	1	**< 0,0001**	**< 0,0001**
NDWI_2010	**< 0,0001**	**0,013**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	1	**< 0,0001**
NDWI_2016	**0,002**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	1

Tabela Ap.53 – Teste de Friedman aplicado ao NDWI na AUBG entre 1984 e 2016: diferenças significativas

Variável	**Diferenças Significativas**					
	NDWI_1984	**NDWI_1999**	**NDWI_2003**	**NDWI_2007**	**NDWI_2010**	**NDWI_2016**
NDWI_1984	Não	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**
NDWI_1999	**Sim**	Não	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**
NDWI_2003	**Sim**	**Sim**	Não	**Sim**	**Sim**	**Sim**
NDWI_2007	**Sim**	**Sim**	**Sim**	Não	**Sim**	**Sim**
NDWI_2010	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**	Não	**Sim**
NDWI_2016	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**	**Sim**	Não

Apêndice V – Estatísticas Descritivas *Pixel-by-Pixel* de NDVI e NDWI na AUBG (1984 e 2016)

Tabela Ap.54 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de NDVI na AUBG entre 1984 e 2016

Estatística	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-Padrão
1984	-1,00	1,00	0,68	0,15
1999	-0,49	0,96	0,61	0,18
2003	-0,23	0,92	0,60	0,18
2007	-0,71	0,93	0,60	0,19
2010	-1,00	0,96	0,59	0,21
2016	-1,00	1,00	0,61	0,22

Tabela Ap.55 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de NDWI na AUBG entre 1984 e 2016

Estatística	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-Padrão
1984	-1,00	1,00	0,23	0,13
1999	-0,44	1,00	0,18	0,15
2003	-0,34	0,60	0,21	0,14
2007	-0,78	0,59	0,18	0,15
2010	-1,00	0,73	0,18	0,16
2016	-1,00	0,68	0,21	0,17

Apêndice VI – Estatísticas Descritivas, com base numa Amostra de 10000 Pontos, de NDVI e NDWI na AUBG (1984-2016)

Tabela Ap.56 – Estatísticas descritivas de NDVI na AUBG entre 1984 e 2016

Estatística	1984	1999	2003	2007	2010	2016
Mínimo	-0,33	-0,03	0,00	-0,14	-0,26	-1
Máximo	1	0,92	0,89	0,93	0,95	0,95
1º Quartil	0,62	0,50	0,50	0,48	0,44	0,47
Mediana	0,72	0,65	0,65	0,65	0,63	0,66
3º Quartil	0,78	0,76	0,74	0,76	0,76	0,79
Média	0,68	0,61	0,60	0,60	0,59	0,61
Variância	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
Desvio-Padrão	0,15	0,18	0,18	0,19	0,21	0,22
Coeficiente de Variação	0,22	0,30	0,30	0,32	0,35	0,36

Tabela Ap.57 – Estatísticas descritivas de NDWI na AUBG entre 1984 e 2016

Estatística	1984	1999	2003	2007	2010	2016
Mínimo	-0,30	-0,30	-0,31	-0,28	-0,75	-1
Máximo	0,58	0,56	0,57	0,55	0,60	0,62
1º Quartil	0,15	0,07	0,10	0,07	0,04	0,08
Mediana	0,25	0,18	0,22	0,19	0,18	0,21
3º Quartil	0,33	0,29	0,32	0,30	0,31	0,35
Média	0,23	0,18	0,21	0,18	0,18	0,21
Variância	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Desvio-Padrão	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Coeficiente de Variação	0,13	0,15	0,14	0,14	0,16	0,17

Apêndice VII – Estatísticas Descritivas, com base na Amostra de 10000 Pontos, de NDVI e NDWI nos Municípios de Braga e de Guimarães (1984-2016)

Tabela Ap.58 – Estatísticas descritivas de NDVI nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Estatística	1984		1999		2003		2007		2010		2016	
	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães
Mínimo	-0,33	0,04	-0,03	0,01	0,00	0,03	-0,14	-0,02	-0,26	-0,12	-1,00	-0,97
Máximo	1,00	0,92	0,92	0,92	0,89	0,89	0,90	0,93	0,93	0,95	0,95	0,95
1º Quartil	0,61	0,62	0,49	0,51	0,47	0,51	0,45	0,50	0,43	0,46	0,46	0,47
Mediana	0,71	0,72	0,65	0,65	0,65	0,65	0,63	0,66	0,63	0,63	0,66	0,67
3º Quartil	0,77	0,79	0,76	0,76	0,74	0,74	0,74	0,77	0,76	0,75	0,79	0,79
Média	0,67	0,68	0,61	0,62	0,59	0,61	0,58	0,62	0,58	0,59	0,61	0,62
Variância	0,02	0,02	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05
Desvio-Padrão	0,15	0,15	0,19	0,18	0,19	0,17	0,20	0,19	0,22	0,20	0,23	0,21
Coeficiente de Variação	0,23	0,22	0,32	0,29	0,33	0,28	0,34	0,30	0,38	0,33	0,38	0,34

Tabela Ap.59 – Estatísticas descritivas de NDWI nos municípios de Braga e de Guimarães entre 1984 e 2016

Estatística	1984		1999		2003		2007		2010		2016	
	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães	Braga	Guimarães
Mínimo	-0,27	-0,30	-0,25	-0,30	-0,26	-0,31	-0,28	-0,28	-0,75	-0,26	-1,00	-0,85
Máximo	0,58	0,57	0,56	0,54	0,57	0,56	0,55	0,52	0,58	0,60	0,58	0,62
1º Quartil	0,15	0,15	0,06	0,07	0,09	0,11	0,05	0,08	0,04	0,05	0,07	0,08
Mediana	0,25	0,25	0,18	0,18	0,21	0,22	0,17	0,20	0,18	0,17	0,21	0,21
3º Quartil	0,33	0,33	0,30	0,29	0,33	0,31	0,29	0,31	0,32	0,30	0,35	0,35
Média	0,23	0,23	0,17	0,18	0,21	0,21	0,17	0,19	0,18	0,17	0,21	0,21
Variância	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03
Desvio-Padrão	0,13	0,13	0,15	0,14	0,15	0,13	0,15	0,14	0,17	0,16	0,18	0,17
Coeficiente de Variação	0,58	0,56	0,88	0,82	0,74	0,65	0,89	0,73	0,95	0,91	0,86	0,79

Apêndice VIII – Coeficiente de Correlação e Determinação (R^2) de Spearman entre Ts, NDVI e NDWI por Componente Biofísica na AUBG (1984-2016)

Tabela Ap.60 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman entre Ts, NDVI e NDWI, por componente biofísica, na AUBG em 1984

			Ts	NDVI	NDWI
Industrial/ Pedreiras	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	0,122	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,015	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	0,071	0,377	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,005	0,142	1
		N.º de Observações	19	19	19
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,624**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,389	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,616**	0,889**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,379	0,790	1
		N.º de Observações	433	433	433
Vegetação Arbórea e/ou Densa	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,144**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,021	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,429**	0,635**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,184	0,403	1
		N.º de Observações	3735	3735	3735
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,381**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,145	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,411**	0,711**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,17	0,506	1
		N.º de Observações	4086	4086	4086
Solo Nu	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,781**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,608	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,770**	0,818**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,529	0,670	1
		N.º de Observações	1716	1716	1716
Água	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	0,584	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,341	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	0,575	0,236	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,331	0,056	1
		N.º de Observações	11	11	11

**Correlação significativa no nível 0,01.

Tabela Ap.61 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman entre Ts, NDVI e NDWI, por componente biofísica, na AUBG em 1999

			Ts	NDVI	NDWI
Industrial/ Pedreiras	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	0,093	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,009	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	0,164	0,440**	1
		Coeficiente de Determinação (R_2)	0,027	0,194	1
		N.º de Observações	105	105	105
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,604**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,365	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,587**	0,887**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,345	0,787	1
		N.º de Observações	1122	1122	1122
Vegetação Arbórea e/ou Densa	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,381**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,145	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,520**	0,583**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,270	0,340	1
		N.º de Observações	2721	2721	2721
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,498**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,248	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,420**	0,732**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,176	0,536	1
		N.º de Observações	3536	3536	3536
Solo Nu	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,705**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,498	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,678**	0,780**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,460	0,608	1
		N.º de Observações	2502	2502	2502
Água	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,380	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,144	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,310	0,174	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,096	0,030	1
		N.º de Observações	14	14	14

**Correlação significativa no nível 0,01.

Tabela Ap.62 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman entre Ts, NDVI e NDWI, por componente biofísica, na AUBG em 2003

			Ts	NDVI	NDWI
Industrial/ Pedreiras	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,064	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,004	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,141	0,386**	1
		Coeficiente de Determinação (R_2)	0,020	0,149	1
		N.º de Observações	122	122	122
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,632**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,40	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,614**	0,913**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,378	0,833	1
		N.º de Observações	1474	1474	1474
Vegetação Arbórea e/ou Densa	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,179**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,032	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,469**	0,558**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,22	0,311	1
		N.º de Observações	2178	2178	2178
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,430**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,185	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,424**	0,786**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,180	0,618	1
		N.º de Observações	3674	3674	3674
Solo Nu	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,749**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,561	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,750**	0,866**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,563	0,750	1
		N.º de Observações	2538	2538	2538
Água	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	0,288	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,083	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,033	0,402	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,001	0,162	1
		N.º de Observações	14	14	14

**Correlação significativa no nível 0,01.

Tabela Ap.63 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman entre Ts, NDVI e NDWI, por componente biofísica, na AUBG em 2007

			Ts	NDVI	NDWI
Industrial/ Pedreiras	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,023	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,001	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,075	0,223**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,001	0,050	1
		N.º de Observações	182	182	182
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,479**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,23	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,438**	0,873**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,192	0,762	1
		N.º de Observações	1515	1515	1515
Vegetação Arbórea e/ou Densa	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,206**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,042	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,433**	0,683**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,187	0,047	1
		N.º de Observações	2710	2710	2710
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,350**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,123	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,281**	0,725**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,080	0,526	1
		N.º de Observações	3364	3364	3364
Solo Nu	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,545**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,300	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,460**	0,746**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,212	0,557	1
		N.º de Observações	2207	2207	2207
Água	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	0,656**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,430	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,049	0,137	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,002	0,019	1
		N.º de Observações	22	22	22

**Correlação significativa no nível 0,01.

Tabela Ap.64 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman entre Ts, NDVI e NDWI, por componente biofísica, na AUBG em 2010

			Ts	NDVI	NDWI
Industrial/ Pedreiras	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,155	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,024	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,093	0,277**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,009	0,077	1
		N.º de Observações	142	142	142
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,517**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,268	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,474**	0,829**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,225	0,687	1
		N.º de Observações	1767	1767	1767
Vegetação Arbórea e/ou Densa	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,207**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,043	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,444**	0,657**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,197	0,432	1
		N.º de Observações	2677	2677	2677
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,371**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,138	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,395**	0,767**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,156	0,588	1
		N.º de Observações	2718	2718	2718
Solo Nu	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,690**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,476	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,667**	0,858**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,445	0,736	1
		N.º de Observações	2683	2683	2683
Água	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,198	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,040	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,171	0,874**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,030	0,764	1
		N.º de Observações	13	13	13

**Correlação significativa no nível 0,01.

Tabela Ap.65 – Coeficiente de correlação e determinação (R^2) de Spearman entre Ts, NDVI e NDWI, por componente biofísica, na AUBG em 2016

			Ts	NDVI	NDWI
Industrial/ Pedreiras	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,162**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,026	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,184**	0,556**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,034	0,309	1
		N.º de Observações	380	380	380
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,615**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,378	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,589**	0,913**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,347	0,834	1
		N.º de Observações	2415	2415	2415
Vegetação Arbórea e/ou Densa	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,243**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,060	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,435**	0,787**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,190	0,619	1
		N.º de Observações	3390	3390	3390
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,330**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,109	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,358**	0,803**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,128	0,645	1
		N.º de Observações	2573	2573	2573
Solo Nu	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	-0,443**	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,11	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	-0,389**	0,783**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,151	0,613	1
		N.º de Observações	1222	1222	1222
Água	**Ts**	Coeficiente de Correlação	1		
		Coeficiente de Determinação (R^2)	1		
	NDVI	Coeficiente de Correlação	0,431	1	
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,190	1	
	NDWI	Coeficiente de Correlação	0,476*	0,902**	1
		Coeficiente de Determinação (R^2)	0,227	0,814	1
		N.º de Observações	20	20	20

**Correlação significativa no nível 0,01.

Apêndice IX – Estatísticas Descritivas *Pixel-by-Pixel* de Ts por Componente Biofísica na AUBG (1984-2016)

Tabela Ap.66 – Estatísticas descritivas de Ts (°C) *pixel-pixel-pixel* por componente biofísica na AUBG em 1984

Componentes Biofísicas	Temperatura de Superfície (°C)				
	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	Desvio-Padrão
Industrial/Pedreiras	21,40	40,32	18,91	31,18	3,86
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	21,98	42,11	20,14	32,26	2,46
Vegetação Arbórea e/ou Densa	21,74	34,40	12,66	26,14	1,52
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	21,83	35,73	13,90	27,54	1,54
Solo Nu	21,11	42,31	21,21	29,12	2,86
Água	19,62	32,21	12,60	23,91	2,06

Tabela Ap.67 – Estatísticas descritivas de Ts (°C) *pixel-pixel-pixel* por componente biofísica na AUBG em 1999

Componentes Biofísicas	Temperatura de Superfície (°C)				
	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	Desvio-Padrão
Industrial/Pedreiras	22,78	54,93	32,14	41,09	3,38
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	26,96	53,71	26,74	40,31	2,95
Vegetação Arbórea e/ou Densa	23,01	41,66	18,66	32,28	1,63
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	26,56	46,50	19,94	34,96	1,78
Solo Nu	23,38	56,06	32,68	37,72	2,94
Água	20,93	54,79	33,86	25,87	4,46

Tabela Ap.68 – Estatísticas descritivas de Ts (°C) *pixel-pixel-pixel* por componente biofísica na AUBG em 2003

Componentes Biofísicas	Temperatura de Superfície (°C)				
	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	Desvio-Padrão
Industrial/Pedreiras	25,75	52,47	26,73	38,96	3,13
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	26,20	53,15	26,95	37,61	2,79
Vegetação Arbórea e/ou Densa	25,13	43,06	17,93	31,07	1,80
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	25,03	45,83	20,80	33,16	1,76
Solo Nu	24,01	52,22	28,21	34,54	3,07
Água	24,07	41,48	17,42	28,05	1,86

Tabela Ap.69 – Estatísticas descritivas de Ts (°C) *pixel-pixel-pixel* por componente biofísica na AUBG em 2007

Componentes Biofísicas	Temperatura de Superfície (°C)				
	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	Desvio-Padrão
Industrial/Pedreiras	28,46	59,32	30,87	41,98	3,32
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	29,02	59,95	30,93	40,12	3,12
Vegetação Arbórea e/ou Densa	25,52	44,54	19,02	32,88	2,07
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	26,08	48,19	22,11	35,44	2,19
Solo Nu	25,56	53,68	28,12	37,44	2,92
Água	22,53	53,93	31,40	28,75	3,25

Tabela Ap.70 – Estatísticas descritivas de Ts (°C) *pixel-pixel-pixel* por componente biofísica na AUBG em 2010

Componentes Biofísicas	Temperatura de Superfície (°C)				
	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	Desvio-Padrão
Industrial/Pedreiras	30,03	58,53	28,49	44,31	3,10
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	28,23	60,93	32,71	42,63	3,09
Vegetação Arbórea e/ou Densa	26,06	47,16	21,10	34,80	2,27
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	28,65	57,36	28,70	37,64	2,42
Solo Nu	26,60	62,85	36,26	39,90	3,75
Água	24,68	55,73	31,05	29,98	3,55

Tabela Ap.71 – Estatísticas descritivas de Ts (°C) *pixel-pixel-pixel* por componente biofísica na AUBG em 2016

Componentes Biofísicas	Temperatura de Superfície (°C)				
	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	Desvio-Padrão
Industrial/Pedreiras	28,19	59,91	31,72	42,77	3,47
Superfícies Impermeáveis Antrópicas	27,89	55,31	27,41	40,57	3,38
Vegetação Arbórea e/ou Densa	26,08	46,50	20,42	33,37	2,85
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	27,76	48,96	21,20	36,67	2,86
Solo Nu	25,16	54,84	29,68	39,39	3,18
Água	25,11	51,32	26,21	29,87	2,73

Apêndice X – Estatísticas Descritivas, com base na Amostra de 10000 Pontos, de Ts, NDVI e NDWI por Componente Biofísica na AUBG (1984-2016)

Tabela Ap.72 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) por componente biofísica na AUBG em 1984

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	24,47	23,90	21,74	22,87	21,97	20,96
Máximo	37,93	40,83	32,78	34,81	40,70	29,12
1º Quartil	29,25	30,55	25,24	26,53	27,48	21,62
Mediana	32,21	32,22	26,10	27,59	29,54	22,28
3º Quartil	34,49	34,00	27,38	28,59	31,06	24,84
Média	31,77	32,30	26,13	27,57	29,27	23,73
Variância	16,28	6,47	2,35	2,45	8,47	7,95
Desvio-Padrão	4,03	2,54	1,53	1,57	2,91	2,82
Coeficiente de Variação	0,13	0,08	0,06	0,06	0,10	0,12

Tabela Ap.73 – Estatísticas descritivas do NDVI por componente biofísica na AUBG em 1984

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	0,02	0,07	0,75	0,57	0,17	-0,33
Máximo	0,28	0,63	1,00	0,75	0,75	0,35
1º Quartil	0,05	0,21	0,77	0,64	0,45	-0,30
Mediana	0,09	0,30	0,80	0,68	0,52	-0,22
3º Quartil	0,12	0,39	0,83	0,72	0,56	0,04
Média	0,10	0,30	0,80	0,67	0,52	-0,12
Variância	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,05
Desvio-Padrão	0,06	0,12	0,04	0,05	0,13	0,23
Coeficiente de Variação	0,64	0,40	0,04	0,08	0,25	-1,92

Tabela Ap.74 – Estatísticas descritivas do NDWI por componente biofísica na AUBG em 1984

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	-0,15	-0,19	0,13	-0,08	-0,30	-0,14
Máximo	0,19	0,29	0,58	0,39	0,46	0,58
1º Quartil	-0,04	-0,06	0,31	0,16	0,01	-0,01
Mediana	0,00	0,01	0,35	0,21	0,08	0,10
3º Quartil	0,03	0,08	0,39	0,25	0,17	0,33
Média	0,00	0,01	0,35	0,20	0,10	0,16
Variância	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,05
Desvio-Padrão	0,09	0,09	0,06	0,07	0,14	0,23
Coeficiente de Variação	20,43	6,43	0,17	0,33	1,36	1,41

Tabela Ap.75 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) por componente biofísica na AUBG em 1999

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	32,44	31,27	27,06	28,50	26,91	23,32
Máximo	49,84	51,12	38,96	46,40	56,02	54,20
1º Quartil	39,57	38,47	30,99	33,77	36,11	24,07
Mediana	41,41	40,40	32,43	34,90	37,84	25,31
3º Quartil	43,12	42,21	33,38	36,12	39,49	26,74
Média	41,28	40,38	32,32	34,98	37,82	27,54
Variância	11,57	8,36	2,77	3,20	9,23	58,02
Desvio-Padrão	3,40	2,89	1,66	1,79	3,04	7,62
Coeficiente de Variação	0,08	0,07	0,05	0,05	0,08	0,28

Tabela Ap.76 – Estatísticas descritivas do NDVI por componente biofísica na AUBG em 1999

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	-0,03	0,06	0,75	0,57	0,09	0,01
Máximo	0,47	0,68	0,92	0,75	0,75	0,67
1º Quartil	0,07	0,21	0,78	0,62	0,42	0,22
Mediana	0,11	0,30	0,80	0,66	0,50	0,34
3º Quartil	0,16	0,40	0,83	0,71	0,55	0,51
Média	0,12	0,31	0,81	0,66	0,49	0,36
Variância	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03
Desvio-Padrão	0,08	0,12	0,04	0,05	0,11	0,19
Coeficiente de Variação	0,67	0,39	0,05	0,08	0,23	0,51

Tabela Ap.77 – Estatísticas descritivas do NDWI por componente biofísica na AUBG em 1999

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	-0,15	-0,28	0,17	-0,06	-0,25	-0,30
Máximo	0,31	0,36	0,56	0,39	0,44	0,53
1º Quartil	-0,04	-0,05	0,31	0,13	-0,02	0,19
Mediana	-0,01	0,01	0,35	0,18	0,05	0,32
3º Quartil	0,06	0,08	0,39	0,23	0,11	0,41
Média	0,01	0,02	0,35	0,18	0,06	0,27
Variância	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,04
Desvio-Padrão	0,07	0,10	0,06	0,06	0,12	0,19
Coeficiente de Variação	7,49	5,54	0,17	0,36	2,10	0,72

Tabela Ap.78 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) por componente biofísica na AUBG em 2003

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	32,53	27,93	25,73	27,33	25,73	26,18
Máximo	48,38	47,84	38,25	41,69	48,95	30,74
1º Quartil	37,51	35,95	29,84	32,08	32,66	27,97
Mediana	39,30	37,71	30,99	33,23	34,93	28,87
3º Quartil	41,16	39,52	32,13	34,35	36,66	29,61
Média	39,43	37,75	31,04	33,19	34,62	28,73
Variância	8,74	7,64	3,46	3,15	9,76	1,77
Desvio-Padrão	2,96	2,76	1,86	1,77	3,12	1,33
Coeficiente de Variação	0,07	0,07	0,06	0,05	0,09	0,05

Tabela Ap.79 – Estatísticas descritivas do NDVI por componente biofísica na AUBG em 2003

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	0,00	0,06	0,75	0,57	0,15	0,06
Máximo	0,40	0,74	0,89	0,75	0,75	0,44
1º Quartil	0,07	0,23	0,77	0,62	0,45	0,12
Mediana	0,11	0,32	0,79	0,67	0,52	0,18
3º Quartil	0,17	0,41	0,81	0,71	0,57	0,34
Média	0,13	0,33	0,79	0,66	0,53	0,23
Variância	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02
Desvio-Padrão	0,08	0,12	0,03	0,05	0,12	0,13
Coeficiente de Variação	0,61	0,38	0,04	0,08	0,23	0,55

Tabela Ap.80 – Estatísticas descritivas do NDWI por componente biofísica na AUBG em 2003

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	-0,26	-0,22	0,22	0,00	-0,31	0,09
Máximo	0,22	0,39	0,57	0,41	0,47	0,44
1º Quartil	-0,02	-0,03	0,34	0,19	0,04	0,27
Mediana	0,03	0,04	0,37	0,23	0,11	0,30
3º Quartil	0,08	0,10	0,41	0,28	0,20	0,34
Média	0,03	0,04	0,37	0,23	0,13	0,29
Variância	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01
Desvio-Padrão	0,07	0,10	0,05	0,06	0,14	0,08
Coeficiente de Variação	2,11	2,35	0,13	0,27	1,01	0,29

Tabela Ap.81 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) por componente biofísica na AUBG em 2007

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	32,73	31,99	26,81	29,08	28,58	25,92
Máximo	53,91	54,06	41,91	45,99	48,74	32,96
1º Quartil	39,65	38,32	31,46	33,82	35,78	28,36
Mediana	41,95	40,27	33,17	35,29	37,50	29,73
3º Quartil	44,51	42,17	34,29	36,74	39,26	30,30
Média	41,81	40,31	32,97	35,37	37,46	29,51
Variância	12,42	8,81	4,49	4,73	8,23	2,84
Desvio-Padrão	3,52	2,97	2,12	2,18	2,87	1,69
Coeficiente de Variação	0,08	0,07	0,06	0,06	0,08	0,06

Tabela Ap.82 – Estatísticas descritivas do NDVI por componente biofísica na AUBG em 2007

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	-0,08	0,03	0,75	0,28	0,23	-0,14
Máximo	0,73	0,71	0,93	0,75	0,75	0,70
1º Quartil	0,04	0,24	0,77	0,62	0,43	0,14
Mediana	0,10	0,32	0,80	0,67	0,50	0,23
3º Quartil	0,16	0,41	0,83	0,71	0,54	0,37
Média	0,11	0,33	0,80	0,66	0,49	0,24
Variância	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03
Desvio-Padrão	0,10	0,11	0,04	0,05	0,11	0,18
Coeficiente de Variação	0,89	0,35	0,04	0,08	0,22	0,73

Tabela Ap.83 – Estatísticas descritivas do NDWI por componente biofísica na AUBG em 2007

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	-0,11	-0,28	0,17	-0,05	-0,27	-0,28
Máximo	0,34	0,35	0,55	0,38	0,43	0,36
1º Quartil	-0,01	-0,03	0,31	0,15	0,00	0,01
Mediana	0,03	0,03	0,35	0,20	0,06	0,16
3º Quartil	0,06	0,09	0,39	0,24	0,12	0,29
Média	0,03	0,03	0,35	0,20	0,07	0,13
Variância	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03
Desvio-Padrão	0,07	0,09	0,05	0,07	0,11	0,18
Coeficiente de Variação	2,15	3,01	0,15	0,34	1,58	1,39

Tabela Ap.84 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) por componente biofísica na AUBG em 2010

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	38,12	31,73	27,20	30,89	30,00	27,77
Máximo	57,59	55,72	43,21	53,79	61,67	34,61
1º Quartil	42,32	40,94	33,29	35,90	37,56	28,77
Mediana	44,38	42,90	34,90	37,43	40,13	29,31
3º Quartil	46,41	44,89	36,50	38,97	42,27	30,31
Média	44,40	42,85	34,86	37,51	39,90	29,99
Variância	7,91	9,11	5,49	5,70	13,74	3,04
Desvio-Padrão	2,81	3,02	2,34	2,39	3,71	1,74
Coeficiente de Variação	0,06	0,07	0,07	0,06	0,09	0,06

Tabela Ap.85 – Estatísticas descritivas do NDVI por componente biofísica na AUBG em 2010

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	-0,12	-0,03	0,75	0,57	0,09	-0,26
Máximo	0,36	0,72	0,95	0,75	0,75	0,51
1º Quartil	0,03	0,22	0,78	0,62	0,43	0,04
Mediana	0,07	0,30	0,81	0,66	0,50	0,17
3º Quartil	0,11	0,39	0,84	0,71	0,55	0,41
Média	0,08	0,31	0,81	0,66	0,50	0,17
Variância	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,05
Desvio-Padrão	0,07	0,12	0,04	0,05	0,12	0,22
Coeficiente de Variação	0,91	0,38	0,05	0,08	0,24	1,31

Tabela Ap.86 – Estatísticas descritivas do NDWI por componente biofísica na AUBG em 2010

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	-0,18	-0,30	0,17	-0,02	-0,33	-0,75
Máximo	0,21	0,39	0,60	0,38	0,44	0,24
1º Quartil	-0,03	-0,06	0,33	0,15	0,00	-0,24
Mediana	0,02	0,00	0,37	0,20	0,06	-0,13
3º Quartil	0,07	0,06	0,42	0,25	0,13	0,18
Média	0,02	0,00	0,37	0,20	0,08	-0,07
Variância	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,08
Desvio-Padrão	0,07	0,09	0,06	0,07	0,13	0,28
Coeficiente de Variação	3,73	18,48	0,17	0,33	1,59	-3,81

Tabela Ap.87 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC) por componente biofísica na AUBG em 2016

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	31,38	28,82	26,27	28,54	28,97	26,93
Máximo	57,97	52,58	43,42	45,24	49,21	37,88
1º Quartil	40,83	38,76	31,23	34,30	37,76	28,22
Mediana	43,18	40,98	33,07	36,50	39,74	29,69
3º Quartil	45,21	42,99	35,38	38,48	41,57	31,53
Média	42,87	40,72	33,39	36,37	39,49	30,67
Variância	13,75	10,86	8,37	7,79	9,28	10,10
Desvio-Padrão	3,71	3,30	2,89	2,79	3,05	3,18
Coeficiente de Variação	0,09	0,08	0,09	0,08	0,08	0,10

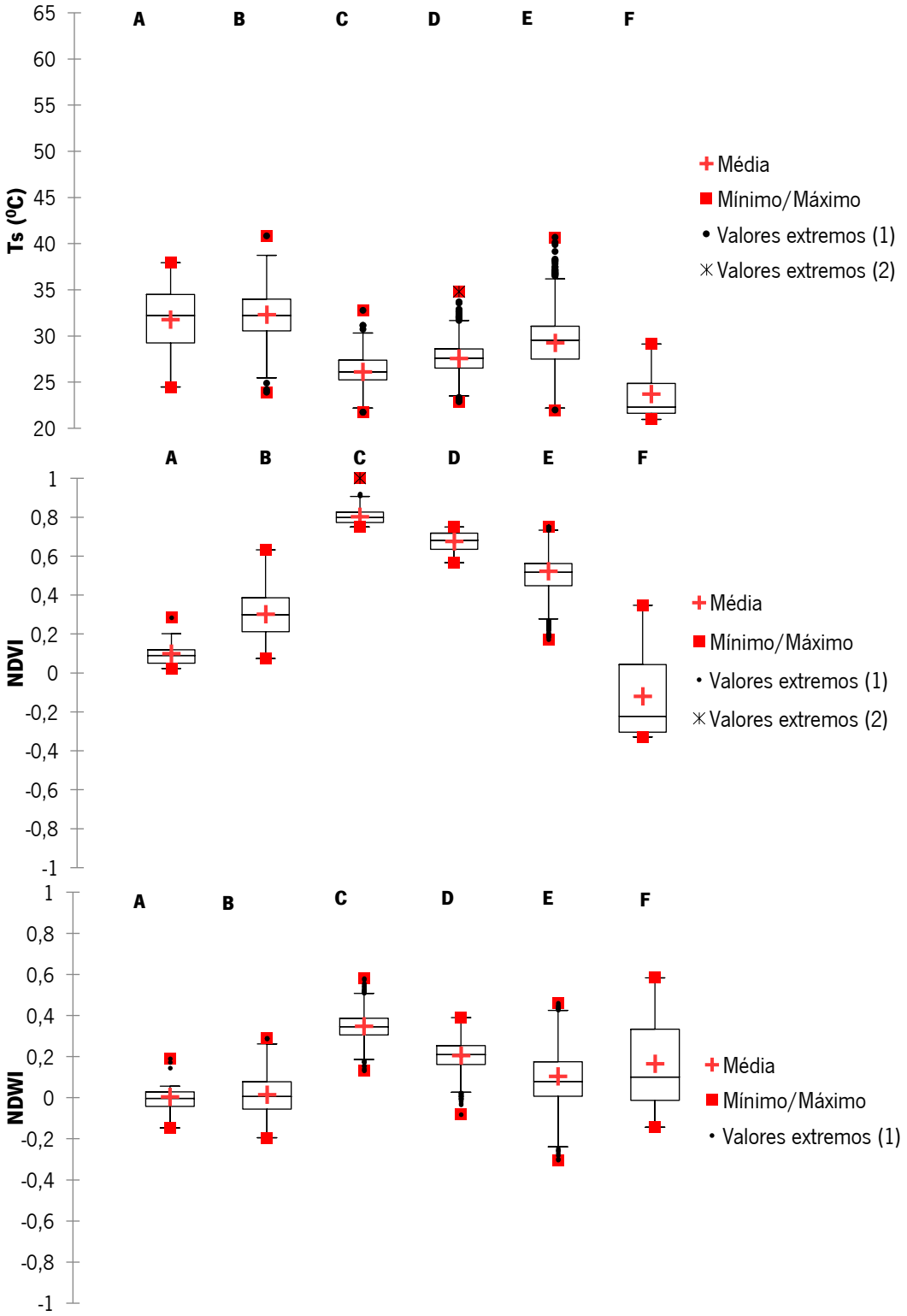
Tabela Ap.88 – Estatísticas descritivas do NDVI por componente biofísica na AUBG em 2016

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	-0,07	0	0,75	0,56	0,18	-1
Máximo	0,53	0,75	0,95	0,75	0,75	0,76
1º Quartil	0,04	0,29	0,79	0,63	0,43	-1,00
Mediana	0,13	0,39	0,83	0,67	0,49	-0,56
3º Quartil	0,22	0,50	0,87	0,71	0,54	0,17
Média	0,14	0,40	0,83	0,67	0,48	-0,36
Variância	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,46
Desvio-Padrão	0,12	0,14	0,05	0,05	0,09	0,68
Coeficiente de Variação	0,85	0,36	0,06	0,08	0,18	-1,90

Tabela Ap.89 – Estatísticas descritivas do NDWI por componente biofísica na AUBG em 2016

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	-0,18	-0,27	0,15	-0,09	-0,20	-1,00
Máximo	0,25	0,40	0,62	0,42	0,40	0,34
1º Quartil	-0,05	-0,01	0,34	0,17	-0,01	-1,00
Mediana	0,00	0,06	0,39	0,21	0,05	-0,78
3º Quartil	0,05	0,14	0,44	0,26	0,10	-0,07
Média	0,01	0,07	0,39	0,21	0,05	-0,52
Variância	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,27
Desvio-Padrão	0,08	0,11	0,07	0,07	0,09	0,52
Coeficiente de Variação	9,04	1,70	0,17	0,31	1,93	-0,99

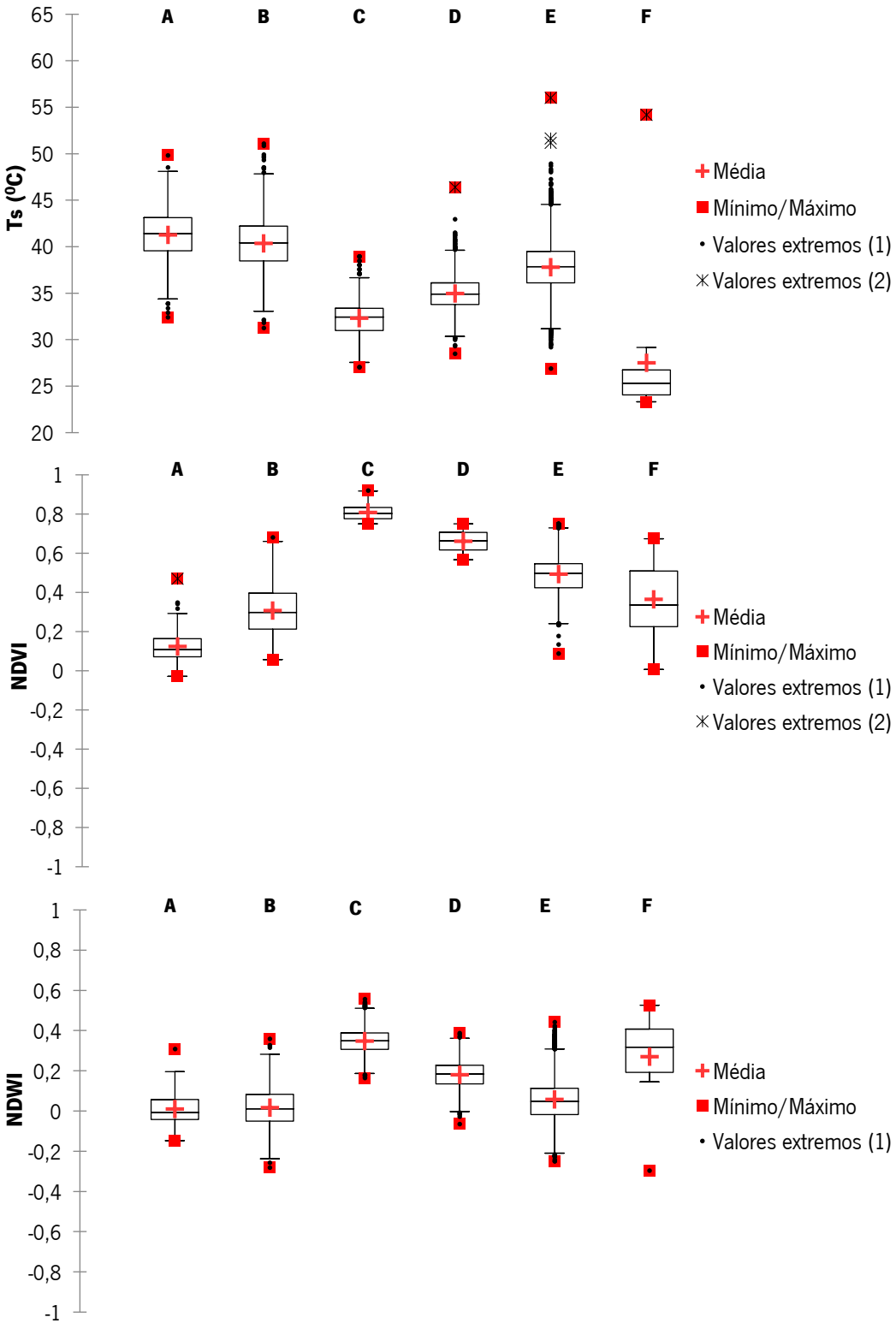
Apêndice XI – Caixa de Bigodes de Ts, NDVI e NDWI, com base na Amostra de 10000 Pontos, por Componente Biofísica na AUBG (1984-2016)



Limite inferior = x(i), sendo que {x(i)-[Q1-1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q1-1,5 (Q3-Q1). Limite superior = x(i), sendo que {x(i)-[Q3+1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q3+1,5 (Q3-Q1) em que, Q1=1.º quartil; Q3=3.ºquartil. São considerados valores anómalos, aqueles que se localizam fora do intervalo]Q1-3 (Q3-Q1; Q3+3 (Q3-Q1)[— representados por •; e os que se localizam nos intervalos [Q1-3 (Q3-Q1); Q1-1,5 (Q3-Q1)] ou [Q3+1,5 (Q3-Q1); Q3+3 (Q3-Q1)] — representados por Ж.

A – Industrial/Pedreiras; B - Superfícies Impermeáveis Antrópicas; C - Vegetação Arbórea e/ou Densa;
D - Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa; E - Solo Nu; F – Água.

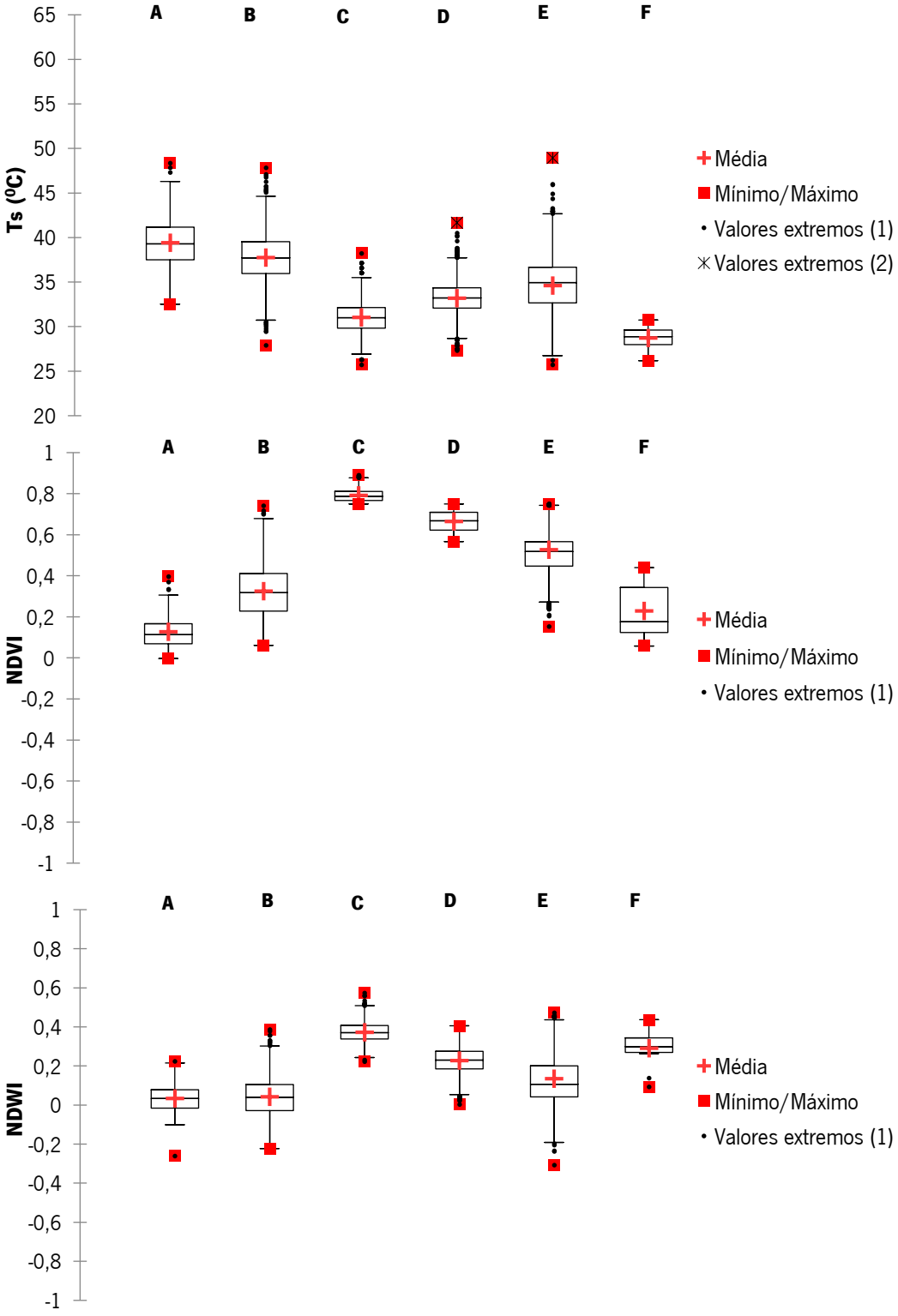
Figura Ap.1 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC), NDVI e NDWI por componente biofísica na AUBG em 1984



Limite inferior = x(i), sendo que {x(i)-[Q1-1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q1-1,5 (Q3-Q1). Limite superior = x(i), sendo que {x(i)-[Q3+1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q3+1,5 (Q3-Q1) em que, Q1=1.º quartil; Q3=3.ºquartil. São considerados valores anómalos, aqueles que se localizam fora do intervalo]Q1-3 (Q3-Q1; Q3+3 (Q3-Q1)[— representados por •; e os que se localizam nos intervalos [Q1-3 (Q3-Q1); Q1-1,5 (Q3-Q1)] ou [Q3+1,5 (Q3-Q1); Q3+3 (Q3-Q1)] — representados por Ж.

A – Industrial/Pedreiras; B - Superfícies Impermeáveis Antrópicas; C - Vegetação Arbórea e/ou Densa;
D - Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa; E - Solo Nu; F – Água.

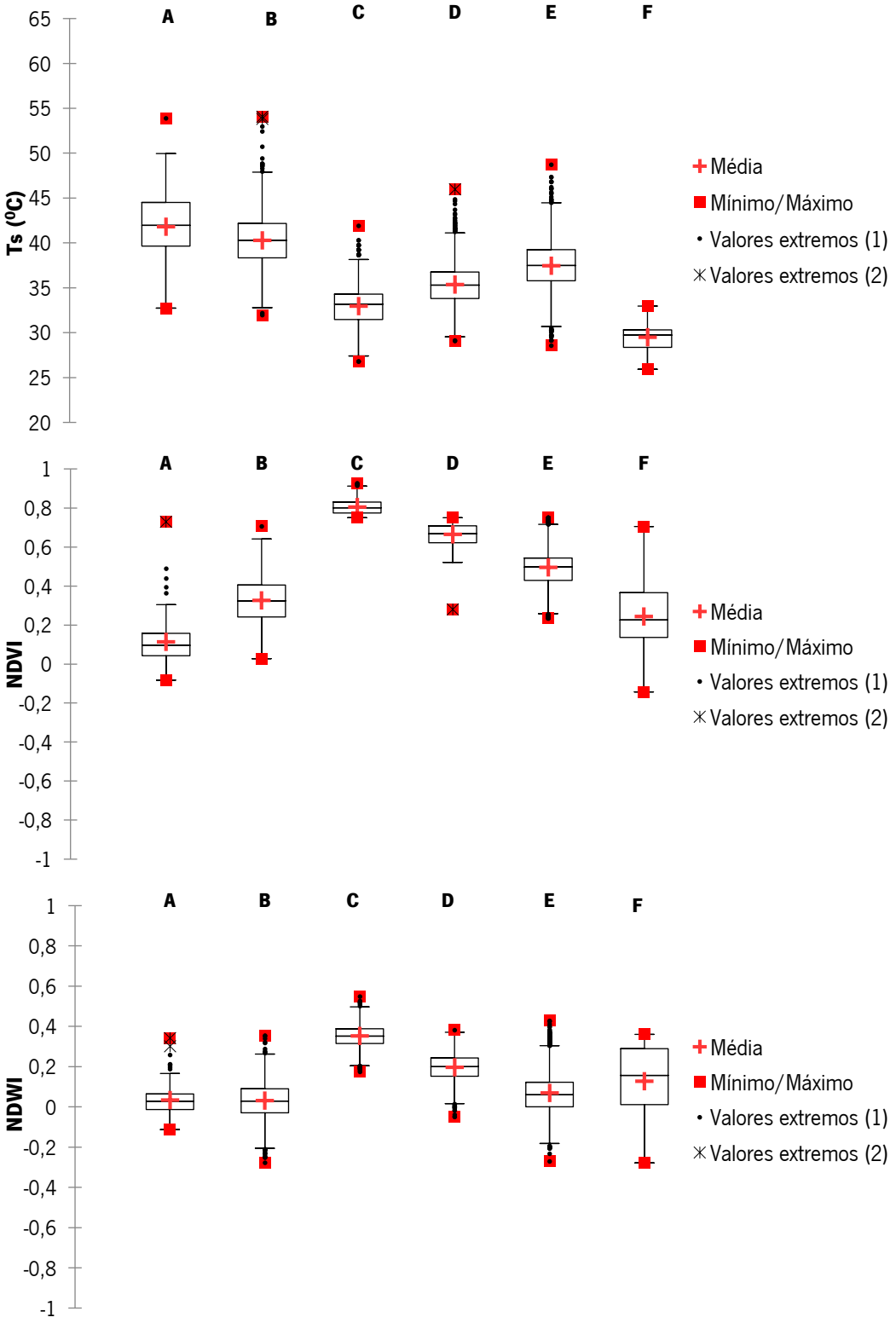
Figura Ap.2 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC), NDVI e NDWI por componente biofísica na AUBG em 1999



Limite inferior = x(i), sendo que {x(i)-[Q1-1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q1-1,5 (Q3-Q1). Limite superior = x(i), sendo que {x(i)-[Q3+1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q3+1,5 (Q3-Q1) em que, Q1=1.º quartil; Q3=3.ºquartil. São considerados valores anómalos, aqueles que se localizam fora do intervalo]Q1-3 (Q3-Q1; Q3+3 (Q3-Q1)[— representados por •; e os que se localizam nos intervalos [Q1-3 (Q3-Q1); Q1-1,5 (Q3-Q1)] ou [Q3+1,5 (Q3-Q1); Q3+3 (Q3-Q1)] — representados por Ж.

A – Industrial/Pedreiras; B - Superfícies Impermeáveis Antrópicas; C - Vegetação Arbórea e/ou Densa; D - Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa; E - Solo Nu; F – Água.

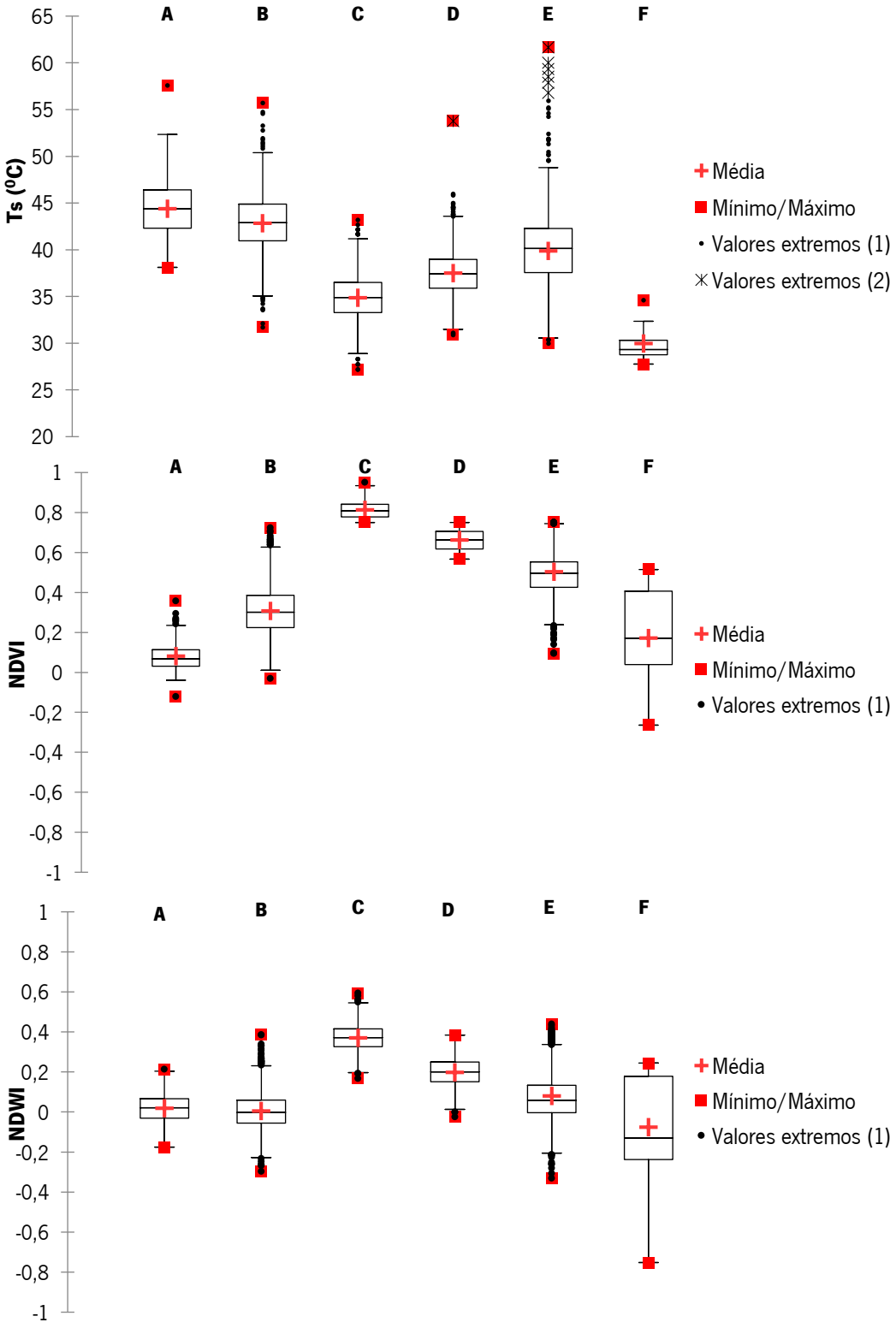
Figura Ap.3 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC), NDVI e NDWI por componente biofísica na AUBG em 2003



Limite inferior = x(i), sendo que {x(i)-[Q1-1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q1-1,5 (Q3-Q1). Limite superior = x(i), sendo que {x(i)-[Q3+1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q3+1,5 (Q3-Q1) em que, Q1=1.º quartil; Q3=3.ºquartil. São considerados valores anómalos, aqueles que se localizam fora do intervalo]Q1-3 (Q3-Q1; Q3+3 (Q3-Q1)[— representados por •; e os que se localizam nos intervalos [Q1-3 (Q3-Q1); Q1-1,5 (Q3-Q1)] ou [Q3+1,5 (Q3-Q1); Q3+3 (Q3-Q1)] — representados por ✳.

A – Industrial/Pedreiras; B - Superfícies Impermeáveis Antrópicas; C - Vegetação Arbórea e/ou Densa; D - Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa; E - Solo Nu; F – Água.

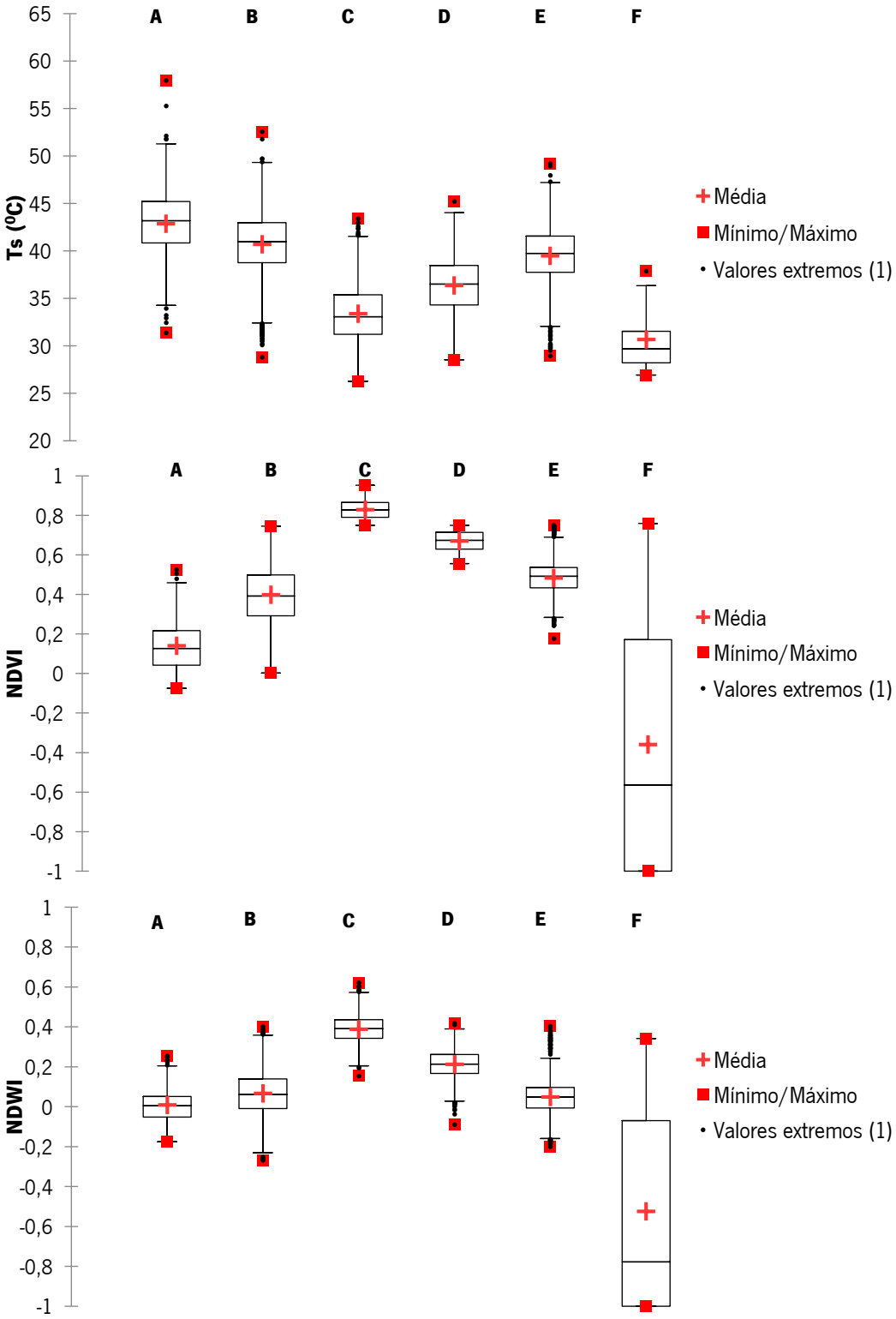
Figura Ap.4 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC), NDVI e NDWI por componente biofísica na AUBG em 2007



A – Limite inferior = x(i), sendo que {x(i)-[Q1-1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q1-1,5 (Q3-Q1). Limite superior = x(i), sendo que {x(i)-[Q3+1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q3+1,5 (Q3-Q1) em que, Q1=1.º quartil; Q3=3.ºquartil. São considerados valores anómalos, aqueles que se localizam fora do intervalo]Q1-3 (Q3-Q1; Q3+3 (Q3-Q1)[— representados por •; e os que se localizam nos intervalos [Q1-3 (Q3-Q1); Q1-1,5 (Q3-Q1)] ou [Q3+1,5 (Q3-Q1); Q3+3 (Q3-Q1)] — representados por Ж.

Industrial/Pedreiras; B - Superfícies Impermeáveis Antrópicas; C - Vegetação Arbórea e/ou Densa; D - Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa; E - Solo Nu; F – Água.

Figura Ap.5 – Estatísticas descritivas de Ts(ºC), NDVI e NDWI por componente biofísica na AUBG em 2010



Limite inferior = x(i), sendo que {x(i)-[Q1-1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q1-1,5 (Q3-Q1). Limite superior = x(i), sendo que {x(i)-[Q3+1,5 (Q3-Q1)]} é mínimo e x(i)=Q3+1,5 (Q3-Q1) em que, Q1=1.° quartil; Q3=3.°quartil. São considerados valores anómalos, aqueles que se localizam fora do intervalo]Q1-3 (Q3-Q1; Q3+3 (Q3-Q1)[— representados por •; e os que se localizam nos intervalos [Q1-3 (Q3-Q1); Q1-1,5 (Q3-Q1)] ou [Q3+1,5 (Q3-Q1); Q3+3 (Q3-Q1)] — representados por ☒.

A – Industrial/Pedreiras; B - Superfícies Impermeáveis Antrópicas; C - Vegetação Arbórea e/ou Densa; D - Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa; E - Solo Nu; F – Água.

Figura Ap.6 – Estatísticas descritivas de Ts (ºC), NDVI e NDWI por componente biofísica na AUBG em 2016

Apêndice XII – Assinatura Térmica das Componentes Biofísicas nos Municípios de Braga e de Guimarães (1984-2016)

Tabela Ap.90 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Braga em 1984

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	24,47	23,90	21,74	22,87	21,97	20,96
Máximo	36,73	38,02	30,32	32,84	38,02	29,12
1º Quartil	25,25	30,15	24,81	26,10	25,86	21,62
Mediana	29,47	31,78	25,67	27,17	28,82	22,28
3º Quartil	33,14	33,51	26,96	28,23	30,60	24,84
Média	29,72	31,65	25,67	27,18	28,51	23,73
Variância	19,29	7,21	2,53	2,45	9,34	7,95
Desvio-Padrão	4,39	2,68	1,59	1,57	3,06	2,82
Coeficiente de Variação	0,15	0,08	0,06	0,06	0,11	0,12

Tabela Ap.91 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Braga em 1999

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	32,44	31,27	27,06	28,50	26,91	23,32
Máximo	49,84	47,98	38,50	41,28	46,80	29,17
1º Quartil	40,03	38,34	30,99	33,62	35,90	24,03
Mediana	41,41	40,40	31,95	34,70	37,50	25,12
3º Quartil	43,56	42,30	33,38	35,76	39,22	26,74
Média	41,68	40,31	32,11	34,70	37,45	25,49
Variância	11,41	8,18	2,63	2,83	8,61	3,60
Desvio-Padrão	3,38	2,86	1,62	1,68	2,93	1,90
Coeficiente de Variação	0,08	0,07	0,05	0,05	0,08	0,07

Tabela Ap.92 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Braga em 2003

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	32,53	27,93	25,73	27,33	25,73	26,18
Máximo	48,38	46,95	38,25	41,69	48,95	30,74
1º Quartil	37,64	35,67	28,68	31,60	31,55	27,97
Mediana	40,29	37,73	30,42	32,84	34,35	28,87
3º Quartil	42,03	39,66	32,13	34,09	36,55	29,61
Média	40,03	37,69	30,56	32,90	34,17	28,73
Variância	10,52	8,43	4,10	3,85	12,68	1,77
Desvio-Padrão	3,24	2,90	2,03	1,96	3,56	1,33
Coeficiente de Variação	0,08	0,08	0,07	0,06	0,10	0,05

Tabela Ap.93 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Braga em 2007

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	33,02	31,99	26,81	29,16	28,58	25,92
Máximo	53,91	53,00	40,31	45,99	48,74	32,96
1º Quartil	40,32	38,11	30,89	33,67	35,51	28,36
Mediana	42,26	40,21	32,60	34,97	37,23	29,73
3º Quartil	44,63	42,07	34,29	36,44	38,97	30,30
Média	42,39	40,14	32,53	35,12	37,18	29,51
Variância	11,59	8,04	5,09	4,59	7,92	2,84
Desvio-Padrão	3,40	2,84	2,26	2,14	2,81	1,69
Coeficiente de Variação	0,08	0,07	0,07	0,06	0,08	0,06

Tabela Ap.94 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Braga em 2010

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	38,12	31,73	27,20	30,89	30,00	27,77
Máximo	57,59	55,72	42,70	53,79	61,67	34,61
1º Quartil	42,71	40,94	32,75	35,43	36,93	28,77
Mediana	44,41	42,78	34,37	37,02	39,74	29,31
3º Quartil	46,41	44,64	35,97	38,59	41,78	30,31
Média	44,58	42,74	34,37	37,08	39,48	29,99
Variância	8,33	8,48	5,26	5,28	15,45	3,04
Desvio-Padrão	2,89	2,91	2,29	2,30	3,93	1,74
Coeficiente de Variação	0,06	0,07	0,07	0,06	0,10	0,06

Tabela Ap.95 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Braga em 2016

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	31,38	30,23	26,27	28,76	28,97	26,93
Máximo	57,97	49,76	42,97	45,24	47,97	37,88
1º Quartil	41,89	39,22	31,24	34,33	38,08	28,22
Mediana	43,81	41,41	33,07	36,69	40,09	29,69
3º Quartil	45,64	43,52	35,51	38,61	41,72	31,41
Média	43,75	41,18	33,44	36,47	39,67	30,41
Variância	12,36	11,33	8,82	8,28	9,93	9,24
Desvio-Padrão	3,52	3,37	2,97	2,88	3,15	3,04
Coeficiente de Variação	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,10

Tabela Ap.96 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Guimarães em 1984

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	27,97	28,50	22,63	23,69	23,21	
Máximo	37,93	40,83	32,78	34,81	40,70	
1º Quartil	31,37	31,21	25,24	26,86	28,63	
Mediana	33,26	32,92	26,53	27,81	29,95	
3º Quartil	35,10	34,34	27,38	28,82	31,42	
Média	33,27	32,92	26,42	27,86	29,93	
Variância	8,79	4,98	2,02	2,26	6,77	
Desvio-Padrão	2,96	2,23	1,42	1,50	2,60	
Coeficiente de Variação	0,09	0,07	0,05	0,05	0,09	

Tabela Ap.97 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Guimarães em 1999

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	33,41	33,06	27,56	29,33	29,22	
Máximo	48,10	51,12	38,96	46,40	56,02	
1º Quartil	39,11	38,56	31,47	33,85	36,38	
Mediana	41,16	40,40	32,43	35,16	38,07	
3º Quartil	42,77	42,15	33,38	36,35	39,70	
Média	40,70	40,43	32,46	35,18	38,10	
Variância	11,25	8,51	2,82	3,37	9,51	
Desvio-Padrão	3,35	2,92	1,68	1,83	3,08	
Coeficiente de Variação	0,08	0,07	0,05	0,05	0,08	

Tabela Ap.98 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Guimarães em 2003

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	34,46	29,45	27,51	28,07	27,91	
Máximo	44,14	47,84	37,16	40,24	44,92	
1º Quartil	36,73	36,09	30,42	32,20	33,26	
Mediana	38,75	37,70	31,57	33,32	35,18	
3º Quartil	39,73	39,33	32,70	34,40	36,70	
Média	38,52	37,82	31,44	33,36	34,96	
Variância	4,63	6,87	2,59	2,65	7,33	
Desvio-Padrão	2,15	2,62	1,61	1,63	2,71	
Coeficiente de Variação	0,06	0,07	0,05	0,05	0,08	

Tabela Ap.99 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Guimarães em 2007

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	32,73	32,21	28,58	29,08	29,74	
Máximo	48,82	54,06	41,91	44,88	47,37	
1º Quartil	39,22	38,49	32,03	34,13	35,88	
Mediana	41,41	40,32	33,17	35,42	37,64	
3º Quartil	43,57	42,25	34,29	36,97	39,46	
Média	41,26	40,46	33,22	35,55	37,71	
Variância	12,59	9,45	3,97	4,76	8,37	
Desvio-Padrão	3,55	3,07	1,99	2,18	2,89	
Coeficiente de Variação	0,09	0,08	0,06	0,06	0,08	

Tabela Ap.100 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Guimarães em 2010

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	38,12	32,13	30,00	31,65	30,55	
Máximo	48,91	54,59	43,21	45,99	52,42	
1º Quartil	41,93	40,96	33,83	36,11	37,98	
Mediana	44,38	43,07	35,43	37,58	40,49	
3º Quartil	46,30	45,10	37,02	39,30	42,71	
Média	44,17	42,96	35,26	37,78	40,19	
Variância	7,27	9,66	5,32	5,77	12,35	
Desvio-Padrão	2,70	3,11	2,31	2,40	3,51	
Coeficiente de Variação	0,06	0,07	0,07	0,06	0,09	

Tabela Ap.101 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no município de Guimarães em 2016

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Mínimo	32,46	28,82	26,35	28,54	29,76	
Máximo	51,04	52,58	43,42	44,03	49,21	
1º Quartil	39,51	38,40	31,22	34,27	37,57	
Mediana	42,27	40,63	33,07	36,40	39,59	
3º Quartil	44,51	42,63	35,31	38,39	41,24	
Média	41,86	40,37	33,35	36,31	39,36	
Variância	13,44	10,22	8,03	7,45	8,76	
Desvio-Padrão	3,67	3,20	2,83	2,73	2,96	
Coeficiente de Variação	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	

Apêndice XIII – Assinatura Térmica das Componentes Biofísicas no Interior e Exterior do Perímetro Urbano dos Municípios de Braga e de Guimarães (1984-2016)

Tabela Ap.102 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Braga em 1984

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	5,00	140,00	253,00	422,00	239,00	2,00
Mínimo	24,47	25,88	23,94	23,94	23,84	21,84
Máximo	36,73	38,02	29,90	31,24	36,18	26,10
1º Quartil	25,36	30,88	25,67	26,53	28,85	22,91
Mediana	30,53	32,63	26,53	27,73	30,31	23,97
3º Quartil	34,69	34,08	27,38	28,53	31,66	25,04
Média	30,36	32,60	26,49	27,59	30,20	23,97
Variância	23,80	4,99	1,51	1,93	5,38	4,53
Desvio-Padrão	4,88	2,23	1,23	1,39	2,32	2,13
Coeficiente de Variação	0,16	0,07	0,05	0,05	0,08	0,09

Tabela Ap.103 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Braga em 1984

Estatística	Industrial/ Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	3,00	72,00	1209,00	1338,00	558,00	9,00
Mínimo	24,92	23,90	21,74	22,87	21,97	20,96
Máximo	32,63	35,62	30,32	32,84	38,02	29,12
1º Quartil	26,66	28,32	24,38	25,97	25,14	21,40
Mediana	28,40	29,72	25,67	26,96	28,01	22,28
3º Quartil	30,51	31,07	26,53	28,10	29,90	23,59
Média	28,65	29,81	25,49	27,05	27,79	23,67
Variância	9,94	6,38	2,57	2,55	9,29	8,70
Desvio-Padrão	3,15	2,53	1,60	1,60	3,05	2,95
Coeficiente de Variação	0,11	0,08	0,06	0,06	0,11	0,12

Tabela Ap.104 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Braga em 1999

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	46,00	313,00	158,00	257,00	284,00	3,00
Mínimo	34,86	31,27	30,02	30,50	30,22	23,32
Máximo	49,84	47,98	36,66	40,37	46,80	28,84
1º Quartil	40,49	39,77	32,43	34,19	37,24	23,99
Mediana	42,30	41,27	33,38	35,18	38,58	24,67
3º Quartil	44,57	43,05	34,33	36,43	40,19	26,75
Média	42,66	41,29	33,39	35,29	38,85	25,61
Variância	8,28	6,80	1,87	2,67	6,27	5,53
Desvio-Padrão	2,88	2,61	1,37	1,63	2,50	2,35
Coeficiente de Variação	0,07	0,06	0,04	0,05	0,06	0,09

Tabela Ap.105 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Braga em 1999

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	16,00	194,00	970,00	1204,00	795,00	10,00
Mínimo	32,44	31,85	27,06	28,50	26,91	23,35
Máximo	42,85	46,68	38,50	41,28	45,90	29,17
1º Quartil	37,27	37,32	30,99	33,48	35,24	24,07
Mediana	39,33	38,55	31,95	34,54	37,12	25,31
3º Quartil	41,15	40,44	32,90	35,62	38,80	26,62
Média	38,85	38,72	31,90	34,58	36,95	25,45
Variância	9,60	6,34	2,44	2,78	8,49	3,02
Desvio-Padrão	3,10	2,52	1,56	1,67	2,91	1,74
Coeficiente de Variação	0,08	0,07	0,05	0,05	0,08	0,07

Tabela Ap.106 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Braga em 2003

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	51,00	405,00	121,00	242,00	238,00	4,00
Mínimo	35,39	30,18	28,10	28,50	29,07	27,22
Máximo	48,38	46,95	37,16	38,83	42,89	29,04
1º Quartil	39,57	37,38	30,42	32,59	35,48	28,11
Mediana	40,94	39,21	32,13	33,78	37,14	28,71
3º Quartil	42,96	40,69	32,70	35,05	38,44	29,02
Média	41,27	39,07	31,91	33,83	36,98	28,42
Variância	7,86	5,97	2,98	3,54	6,29	0,55
Desvio-Padrão	2,80	2,44	1,73	1,88	2,51	0,74
Coeficiente de Variação	0,07	0,06	0,05	0,06	0,07	0,03

Tabela Ap.107 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Braga em 2003

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	23,00	318,00	856,00	1138,00	844,00	10,00
Mínimo	32,53	27,93	25,73	27,33	25,73	26,18
Máximo	42,03	45,76	38,25	41,69	48,95	30,74
1º Quartil	36,42	34,32	28,68	31,47	30,52	28,04
Mediana	37,14	36,01	30,42	32,70	33,75	29,02
3º Quartil	38,67	37,49	32,13	33,92	35,56	29,89
Média	37,27	35,92	30,37	32,71	33,37	28,85
Variância	5,40	6,02	3,97	3,70	11,61	2,21
Desvio-Padrão	2,32	2,45	1,99	1,92	3,41	1,49
Coeficiente de Variação	0,06	0,07	0,07	0,06	0,10	0,05

Tabela Ap.108 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Braga em 2007

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	58,00	419,00	129,00	225,00	224,00	6,00
Mínimo	37,56	34,74	29,16	30,32	29,58	27,13
Máximo	53,91	53,00	40,31	42,05	44,54	32,08
1º Quartil	41,41	39,87	32,60	34,92	37,52	29,31
Mediana	43,57	41,49	34,29	36,11	39,08	30,09
3º Quartil	45,05	42,92	35,41	37,79	40,65	30,21
Média	43,53	41,40	34,27	36,27	38,99	29,78
Variância	8,53	6,17	4,64	4,75	5,46	2,20
Desvio-Padrão	2,92	2,48	2,15	2,18	2,34	1,48
Coeficiente de Variação	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05

Tabela Ap.109 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Braga em 2007

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	31,00	305,00	873,00	1169,00	795,00	16,00
Mínimo	33,02	31,99	26,81	29,16	28,58	25,92
Máximo	46,55	45,18	39,24	45,99	48,74	32,96
1º Quartil	38,11	36,74	30,32	33,58	35,18	28,18
Mediana	40,32	38,35	32,03	34,79	36,85	29,49
3º Quartil	42,34	39,90	33,73	36,19	38,28	30,34
Média	40,27	38,41	32,28	34,90	36,67	29,41
Variância	10,41	5,44	4,65	4,26	7,43	3,05
Desvio-Padrão	3,23	2,33	2,16	2,06	2,73	1,75
Coeficiente de Variação	0,08	0,06	0,07	0,06	0,07	0,06

Tabela Ap.110 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Braga em 2010

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	58,00	436,00	132,00	183,00	249,00	3,00
Mínimo	40,76	33,58	31,11	31,52	32,67	30,31
Máximo	57,59	54,75	42,19	43,41	50,15	32,35
1º Quartil	43,37	42,32	34,37	36,52	40,24	30,73
Mediana	45,14	43,87	36,50	38,26	41,84	31,15
3º Quartil	46,41	45,46	37,55	39,81	43,29	31,75
Média	45,20	43,87	36,20	38,11	41,75	31,27
Variância	7,67	6,65	5,19	5,34	5,90	0,70
Desvio-Padrão	2,77	2,58	2,28	2,31	2,43	0,84
Coeficiente de Variação	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,03

Tabela Ap.111 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Braga em 2010

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	22,00	400,00	1053,00	853,00	851,00	10,00
Mínimo	38,12	31,73	27,20	30,89	30,00	27,77
Máximo	47,41	55,72	42,70	53,79	61,67	34,61
1º Quartil	41,28	39,90	32,75	35,31	35,87	28,75
Mediana	43,09	41,53	33,83	36,80	38,96	29,29
3º Quartil	44,42	43,16	35,43	38,31	40,84	29,67
Média	42,94	41,50	34,14	36,86	38,81	29,61
Variância	6,36	7,55	4,80	4,99	16,28	3,10
Desvio-Padrão	2,52	2,75	2,19	2,23	4,04	1,76
Coeficiente de Variação	0,06	0,07	0,06	0,06	0,10	0,06

Tabela Ap.112 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Braga em 2016

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	127,00	475,00	176,00	151,00	128,00	4,00
Mínimo	36,33	33,13	30,24	31,92	34,39	30,00
Máximo	57,97	49,76	42,64	45,24	47,97	31,33
1º Quartil	43,18	41,41	34,43	37,86	40,38	30,01
Mediana	44,79	43,19	36,65	39,42	41,65	30,52
3º Quartil	46,38	44,71	38,41	40,47	42,84	31,10
Média	44,94	43,03	36,42	39,11	41,68	30,59
Variância	9,89	6,34	7,10	5,70	5,08	0,35
Desvio-Padrão	3,15	2,52	2,66	2,39	2,25	0,59
Coeficiente de Variação	0,07	0,06	0,07	0,06	0,05	0,02

Tabela Ap.113 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Braga em 2016

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	77,00	571,00	1247,00	888,00	392,00	14,00
Mínimo	31,38	30,23	26,27	28,76	28,97	26,93
Máximo	49,51	49,12	42,97	42,52	46,91	37,88
1º Quartil	39,88	37,82	31,01	33,99	37,30	27,99
Mediana	42,21	39,93	32,67	36,24	39,48	28,81
3º Quartil	44,18	41,76	34,96	38,08	41,11	31,71
Média	41,79	39,64	33,02	36,02	39,01	30,36
Variância	10,25	10,24	7,64	7,33	9,76	11,77
Desvio-Padrão	3,20	3,20	2,76	2,71	3,12	3,43
Coeficiente de Variação	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,11

Tabela Ap.114 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Guimarães em 1984

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº Observações	2,00	71,00	119,00	147,00	90,00	
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Máximo	30,11	28,97	23,07	24,65	24,81	
1º Quartil	34,28	37,72	30,73	32,09	36,92	
Mediana	31,15	31,56	26,10	27,30	29,82	
3º Quartil	32,19	33,83	27,38	28,29	31,08	
Média	33,24	35,10	28,23	29,24	32,49	
Variância	32,19	33,40	27,31	28,25	31,38	
Desvio-Padrão	4,36	4,93	2,11	2,13	6,42	
Coeficiente de Variação	2,09	2,22	1,45	1,46	2,53	

Tabela Ap.115 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Guimarães em 1984

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	9,00	150,00	2154,00	2179,00	829,00	
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Máximo	27,97	28,50	22,63	23,69	23,21	
1º Quartil	37,93	40,83	32,78	34,81	40,70	
Mediana	31,37	31,10	25,24	26,82	28,44	
3º Quartil	33,26	32,63	26,53	27,81	29,82	
Média	35,92	33,96	27,38	28,78	31,29	
Variância	33,50	32,69	26,37	27,83	29,77	
Desvio-Padrão	9,46	4,84	1,97	2,25	6,55	
Coeficiente de Variação	3,08	2,20	1,40	1,50	2,56	

Tabela Ap.116 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Guimarães em 1999

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	11,00	150,00	51,00	109,00	108,00	
Mínimo	37,70	33,28	30,50	31,95	32,13	
Máximo	43,70	48,54	37,58	46,40	45,20	
1º Quartil	39,34	39,35	31,95	34,81	37,19	
Mediana	42,03	41,36	33,38	35,98	38,56	
3º Quartil	42,59	43,00	34,56	36,91	40,52	
Média	41,04	41,30	33,51	35,97	38,72	
Variância	3,89	7,64	3,33	3,77	6,20	
Desvio-Padrão	1,97	2,76	1,82	1,94	2,49	
Coeficiente de Variação	0,05	0,07	0,05	0,05	0,06	

Tabela Ap.117 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Guimarães em 1999

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	32,00	465,00	1542,00	1966,00	1315,00	1,00
Mínimo	33,41	33,06	27,56	29,33	29,22	54,20
Máximo	48,10	51,12	38,96	42,99	56,02	54,20
1º Quartil	39,00	38,30	31,47	33,85	36,32	54,20
Mediana	41,06	40,06	32,43	35,09	38,02	54,20
3º Quartil	43,14	41,75	33,38	36,24	39,65	54,20
Média	40,58	40,15	32,42	35,13	38,05	54,20
Variância	13,72	8,47	2,76	3,31	9,75	9,75
Desvio-Padrão	3,70	2,91	1,66	1,82	3,12	3,12
Coeficiente de Variação	0,09	0,07	0,05	0,05	0,08	0,06

Tabela Ap.118 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Guimarães em 2003

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	9,00	162,00	39,00	117,00	102,00	
Mínimo	34,82	33,26	29,26	30,22	29,78	
Máximo	40,40	45,75	37,16	38,62	42,92	
1º Quartil	38,75	37,80	30,99	33,32	35,14	
Mediana	39,30	39,60	31,57	34,24	37,00	
3º Quartil	39,42	40,99	33,27	35,48	38,35	
Média	38,82	39,45	32,13	34,35	36,96	
Variância	2,22	5,55	2,40	2,64	5,19	
Desvio-Padrão	1,49	2,36	1,55	1,63	2,28	
Coeficiente de Variação	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	

Tabela Ap.119 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Guimarães em 2003

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	39,00	589,00	1162,00	2177,00	1354,00	
Mínimo	34,46	29,45	27,51	28,07	27,91	
Máximo	44,14	47,84	37,16	40,24	44,92	
1º Quartil	36,52	35,89	30,42	32,14	33,11	
Mediana	38,19	37,44	31,57	33,27	35,08	
3º Quartil	39,85	38,69	32,70	34,39	36,57	
Média	38,45	37,37	31,41	33,31	34,81	
Variância	5,16	6,30	2,58	2,59	7,17	
Desvio-Padrão	2,27	2,51	1,61	1,61	2,68	
Coeficiente de Variação	0,06	0,07	0,05	0,05	0,08	

Tabela Ap.120 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Guimarães em 2007

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	21,00	167,00	61,00	86,00	94,00	
Mínimo	36,83	34,88	30,89	32,03	34,29	
Máximo	48,31	50,74	38,70	42,29	47,37	
1º Quartil	40,57	39,90	33,17	35,97	37,15	
Mediana	41,41	41,85	34,29	37,09	39,10	
3º Quartil	43,57	44,12	35,96	39,24	41,64	
Média	42,27	42,11	34,71	37,42	39,64	
Variância	8,36	8,36	3,35	5,18	9,46	
Desvio-Padrão	2,89	2,89	1,83	2,28	3,08	
Coeficiente de Variação	0,07	0,07	0,05	0,06	0,08	

Tabela Ap.121 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Guimarães em 2007

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	72,00	624,00	1647,00	1884,00	1094,00	
Mínimo	32,73	32,21	28,58	29,08	29,74	
Máximo	48,82	54,06	41,91	44,88	46,85	
1º Quartil	38,67	38,10	31,46	34,09	35,81	
Mediana	41,28	39,99	33,17	35,41	37,58	
3º Quartil	43,57	41,87	34,29	36,86	39,31	
Média	40,96	40,02	33,17	35,46	37,54	
Variância	13,43	8,82	3,91	4,58	7,93	
Desvio-Padrão	3,66	2,97	1,98	2,14	2,82	
Coeficiente de Variação	0,09	0,07	0,06	0,06	0,08	

Tabela Ap.122 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Guimarães em 2010

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	13,00	174,00	47,00	77,00	118,00	
Mínimo	39,91	36,75	32,20	34,27	35,35	
Máximo	45,99	49,75	43,21	44,48	46,66	
1º Quartil	43,35	42,71	34,63	38,07	40,03	
Mediana	43,87	44,41	36,50	39,84	41,78	
3º Quartil	44,66	45,64	38,59	40,92	43,89	
Média	43,74	44,18	36,82	39,58	41,96	
Variância	2,62	5,92	6,77	5,81	6,04	
Desvio-Padrão	1,62	2,43	2,60	2,41	2,46	
Coeficiente de Variação	0,04	0,06	0,07	0,06	0,06	

Tabela Ap.123 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Guimarães em 2010

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	49,00	757,00	1445,00	1605,00	1465,00	
Mínimo	38,12	32,13	30,00	31,65	30,55	
Máximo	48,91	54,59	42,19	45,99	52,42	
1º Quartil	41,80	40,53	33,29	36,03	37,69	
Mediana	44,89	42,67	34,90	37,55	40,36	
3º Quartil	46,41	44,86	36,50	39,11	42,57	
Média	44,28	42,68	35,21	37,69	40,05	
Variância	8,44	10,09	5,19	5,61	12,58	
Desvio-Padrão	2,91	3,18	2,28	2,37	3,55	
Coeficiente de Variação	0,07	0,07	0,06	0,06	0,09	

Tabela Ap.124 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no interior do perímetro urbano de Guimarães em 2016

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	39,00	206,00	70,00	75,00	39,00	
Mínimo	34,27	32,35	29,55	33,58	36,28	
Máximo	48,45	49,32	40,98	41,89	45,69	
1º Quartil	40,42	40,20	33,73	36,49	39,00	
Mediana	42,29	42,08	35,63	38,08	40,86	
3º Quartil	44,17	43,46	37,37	38,99	43,24	
Média	42,33	41,64	35,47	37,81	40,97	
Variância	9,56	8,09	7,07	3,58	6,94	
Desvio-Padrão	3,09	2,84	2,66	1,89	2,64	
Coeficiente de Variação	0,07	0,07	0,07	0,05	0,06	

Tabela Ap.125 – Assinatura térmica (ºC) das componentes biofísicas no exterior do perímetro urbano de Guimarães em 2016

Estatística	Industrial/Pedreiras	Superfícies Impermeáveis Antrópicas	Vegetação Arbórea/Densa	Vegetação Herbácea/Esparsa	Solo Nu	Água
Nº de Observações	137,00	1163,00	1459,00	663,00	1897,00	2,00
Mínimo	32,46	28,82	28,54	29,76	26,35	30,69
Máximo	51,04	52,58	44,03	49,21	43,42	36,34
1º Quartil	39,23	38,23	34,20	37,52	31,19	32,10
Mediana	42,15	40,30	36,32	39,49	32,98	33,51
3º Quartil	44,70	42,43	38,32	41,15	35,19	34,93
Média	41,72	40,15	36,23	39,27	33,27	33,51
Variância	14,46	10,27	7,52	8,71	7,90	8,00
Desvio-Padrão	3,80	3,20	2,74	2,95	2,81	2,83
Coeficiente de Variação	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

Apêndice XIV – Repartição Espacial das Categorias decorrentes da análise estatística *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I), na AUBG e nos Municípios de Braga e de Guimarães (1984-2016)

Tabela Ap.126 – Repartição espacial (%) das categorias da análise estatística *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I) na AUBG entre 1984 e 2016

Categorias	1984-1999		1999-2003		2003-2007		2007-2010		2010-2016	
	m²	%	m²	%	m²	%	m²	%	m²	%
NS	121391100	28,6	114127200	26,9	164688300	38,8	145990800	34,4	69926400	16,5
HH	64170000	15,1	138185100	32,6	64095300	15,1	56539800	13,3	63298800	14,9
HL	24624000	5,8	86700600	20,4	18653400	4,4	16840800	4,0	19317600	4,6
LH	88735500	20,9	24756300	5,8	56652300	13,4	70722000	16,7	188213400	44,4
LL	125116200	29,5	60268500	14,2	119948400	28,3	133944300	31,6	83239200	19,6

Tabela Ap.127 – Repartição espacial (%) das categorias da análise estatística *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I) no município de Braga entre 1984 e 2016

Categorias	1984-1999		1999-2003		2003-2007		2007-2010		2010-2016	
	m²	%	m²	%	m²	%	m²	%	m²	%
NS	48136500	26,3	28501200	15,6	40341600	22,0	75398400	41,1	31310100	17,1
HH	45877500	25,0	68194800	37,2	35345700	19,3	18979200	10,4	45044100	24,6
HL	3821400	2,1	41612400	22,7	8022600	4,4	8208900	4,5	3882600	2,1
LH	59736600	32,6	11340000	6,2	25980300	14,2	35262900	19,2	85986900	46,9
LL	25691400	14,0	33615900	18,3	73574100	40,1	45414900	24,8	16999200	9,3

Tabela Ap.128 – Repartição espacial (%) das categorias da análise estatística *Cluster* e *Outlier* (Anselin Local Moran's I) no município de Guimarães entre 1984 e 2016

Categorias	1984-1999		1999-2003		2003-2007		2007-2010		2010-2016	
	m²	%	m²	%	m²	%	m²	%	m²	%
NS	73254600	30,4	85626000	35,6	124346700	51,6	70592400	29,3	38616300	16,0
HH	18292500	7,6	69990300	29,1	28749600	11,9	37560600	15,6	18254700	7,6
HL	20802600	8,6	45088200	18,7	10630800	4,4	8631900	3,6	15435000	6,4
LH	28998900	12,0	13416300	5,6	30672000	12,7	35459100	14,7	102226500	42,5
LL	99424800	41,3	26652600	11,1	46374300	19,3	88529400	36,8	66240000	27,5

Apêndice XV – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS *PIXEL-BY-PIXEL* DE TS PARA AS ÁREAS COM E SEM ILHA DE CALOR DE SUPERFÍCIE NA AUBG (1984-2016)

Tabela Ap.129 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) para as áreas com e sem ilha de calor de superfície na AUBG em 1984

1984	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	Desvio-Padrão
Sem ICS	19,62	28,70	9,08	26,45	1,41
Com ICS	28,70	42,31	13,61	30,70	1,87

ICS – ilha de calor de superfície.

Tabela Ap.130 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) para as áreas com e sem ilha de calor de superfície na AUBG em 1999

1999	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	Desvio-Padrão
Sem ICS	20,93	37,35	16,42	33,84	2,06
Com ICS	37,35	56,06	18,71	40,09	2,30

ICS – ilha de calor de superfície.

Tabela Ap.131 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) para as áreas com e sem ilha de calor de superfície na AUBG em 2003

2003	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	Desvio-Padrão
Sem ICS	24,01	35,35	11,34	32,26	1,90
Com ICS	35,35	53,15	17,80	37,79	2,06

ICS – ilha de calor de superfície.

Tabela Ap.132 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) para as áreas com e sem ilha de calor de superfície na AUBG em2007

2007	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	Desvio-Padrão
Sem ICS	22,53	37,80	15,27	34,27	2,16
Com ICS	37,80	59,95	22,15	40,55	2,28

ICS – ilha de calor de superfície.

Tabela Ap.133 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) para as áreas com e sem ilha de calor de superfície na AUBG em 2010

2010	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	Desvio-Padrão
Sem ICS	24,68	40,50	15,82	36,31	2,48
Com ICS	40,50	62,85	22,35	43,41	2,38

ICS – ilha de calor de superfície.

Tabela Ap.134 – Estatísticas descritivas *pixel-by-pixel* de Ts (°C) para as áreas com e sem ilha de calor de superfície na AUBG em 2016

2016	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	Desvio-Padrão
Sem ICS	25,11	39,20	14,09	34,65	2,86
Com ICS	39,20	59,91	20,71	42,05	2,17

ICS – ilha de calor de superfície.

Apêndice XVI – Repartição Espacial da Ilha de Calor de Superfície na AUBG e nos Municípios de Braga e de Guimarães (1984-2016)

Tabela Ap.135 – Repartição espacial (%) da ilha de calor de superfície na AUBG entre 1984 e 2016

1984	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	0,53	4,21	4,74
Não Urbano	74,77	20,49	95,26
Total	75,30	24,70	100

1999	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	2,25	10,29	12,54
Não Urbano	69,98	17,49	87,72
Total	72,22	27,78	100

2003	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	3,48	13,01	16,49
Não Urbano	68,65	14,86	83,51
Total	72,13	27,87	100

2007	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	3,63	13,42	17,05
Não Urbano	68,39	14,56	81,47
Total	72,02	27,98	100

2010	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	4,45	14,64	19,09
Não Urbano	65,41	15,51	80,92
Total	69,86	30,14	100

2016	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	8,38	19,38	27,76
Não Urbano	59,60	12,64	72,24
Total	67,98	32,02	100

Tabela Ap.136 – Repartição espacial (%) da ilha de calor de superfície no município de Braga entre 1984 e 2016

1984	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	1,05	4,35	5,47
Não Urbano	77,67	16,93	94,67
Total	78,71	21,29	100

1999	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	3,03	10,60	13,63
Não Urbano	70,32	16,05	86,37
Total	73,35	26,65	100

2003	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	4,92	14,36	19,28
Não Urbano	67,49	13,24	80,73
Total	72,41	27,59	100

2007	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	4,16	15,03	19,19
Não Urbano	67,83	12,98	80,81
Total	71,99	28,01	100

2010	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	5,14	16,00	21,14
Não Urbano	66,10	12,76	78,86
Total	71,24	28,76	100

2016	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	7,48	21,83	29,31
Não Urbano	57,10	13,59	70,69
Total	64,58	35,42	100

Tabela Ap.137 – Repartição espacial (%) da ilha de calor de superfície no município de Guimarães entre 1984 e 2016

1984	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	0,14	4,10	4,24
Não Urbano	72,57	23,19	95,76
Total	72,71	27,29	100

1999	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	1,65	10,05	11,7
Não Urbano	69,72	18,58	88,3
Total	71,38	28,62	100

2003	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	2,39	11,99	14,38
Não Urbano	69,52	16,10	85,62
Total	71,92	28,08	100

2007	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	3,23	12,18	15,41
Não Urbano	68,83	15,76	84,86
Total	72,06	27,94	100

2010	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	3,92	13,59	
Não Urbano	64,90	17,59	
Total	68,81	31,19	

2016	Sem ICS	Com ICS	Total
Urbano	9,07	17,50	26,57
Não Urbano	61,51	11,92	73,43
Total	70,59	29,41	100

Apêndice XVII – SOBREPOSIÇÃO E DIFERENÇAS DA ILHA DE FRESCURA DE SUPERFÍCIE DE TS E DO NDVI NA AUBG (1984-2016)

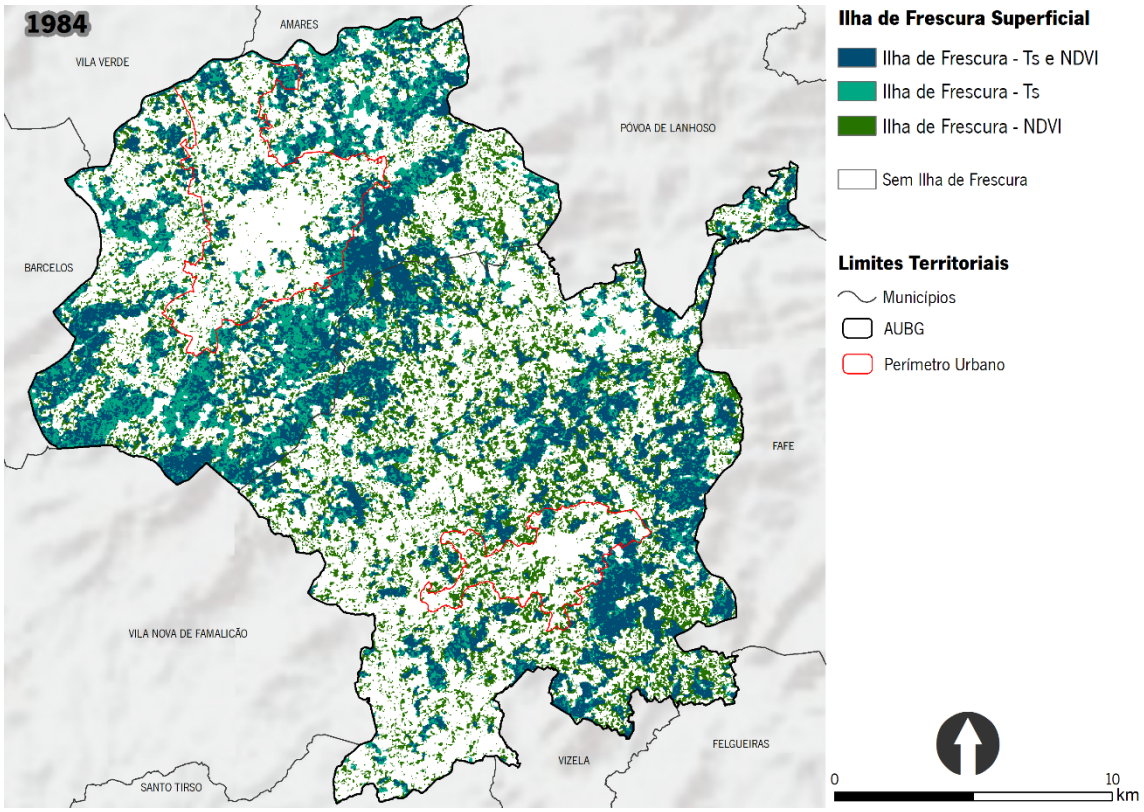


Figura Ap.7 – Configuração espacial da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG em 1984

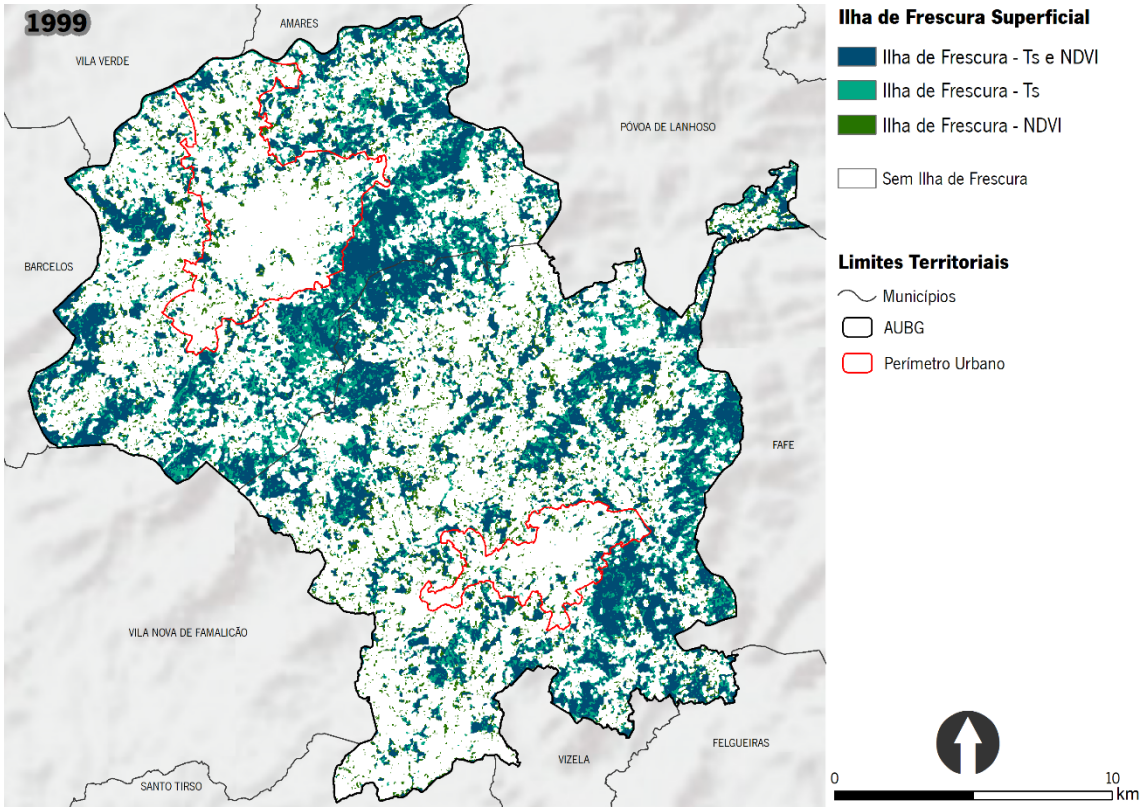


Figura Ap.8 – Configuração espacial da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG em 1999

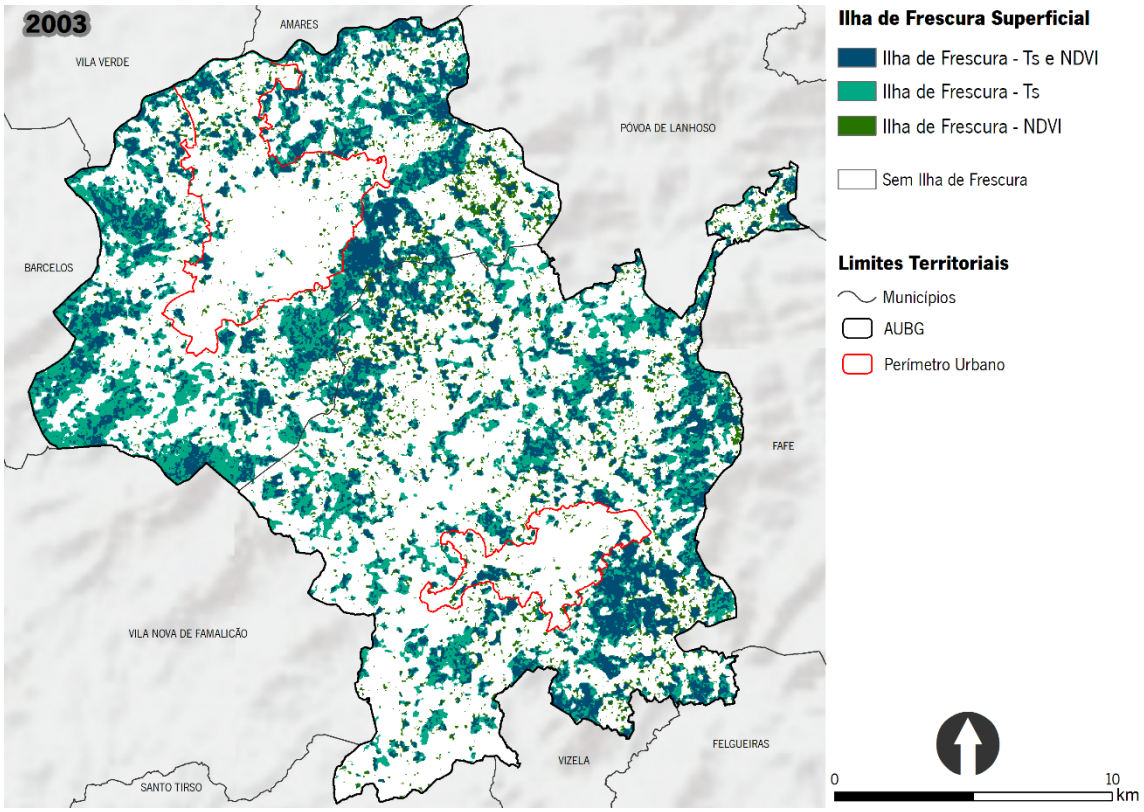


Figura Ap.9 – Configuração espacial da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG em 2003

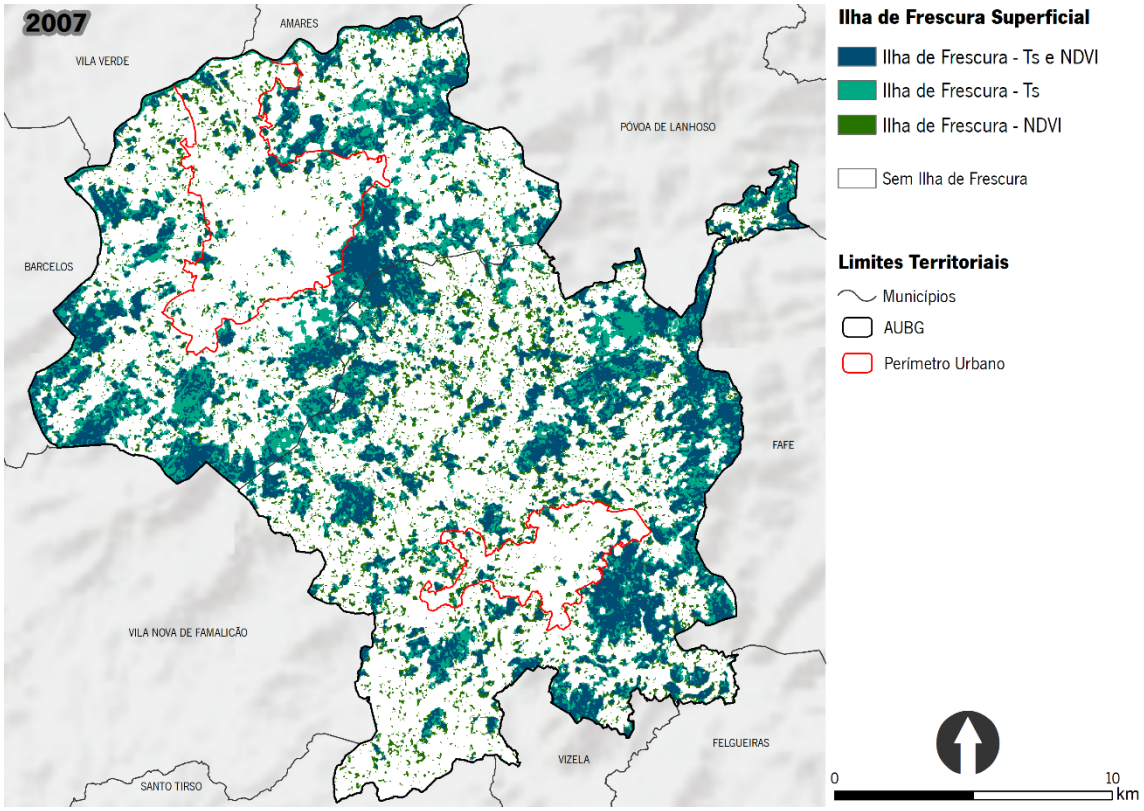


Figura Ap.10 – Configuração espacial da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG em 2007

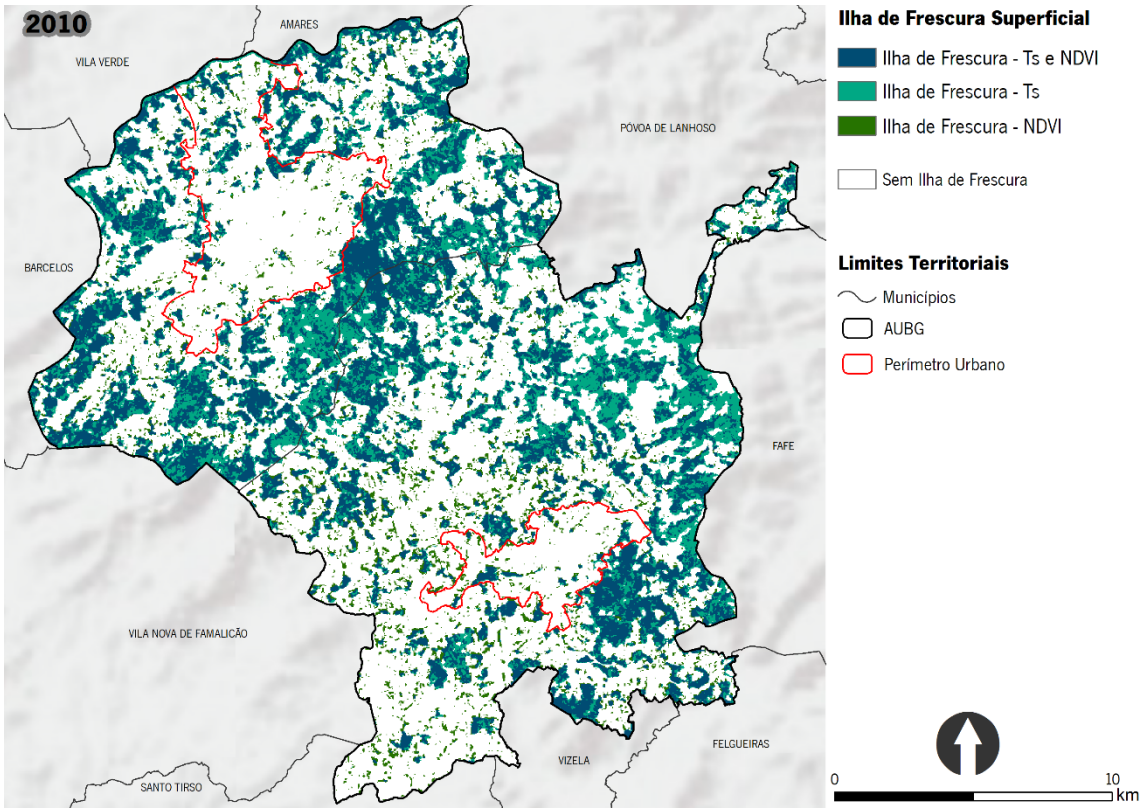


Figura Ap.11 – Configuração espacial da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG em 2010

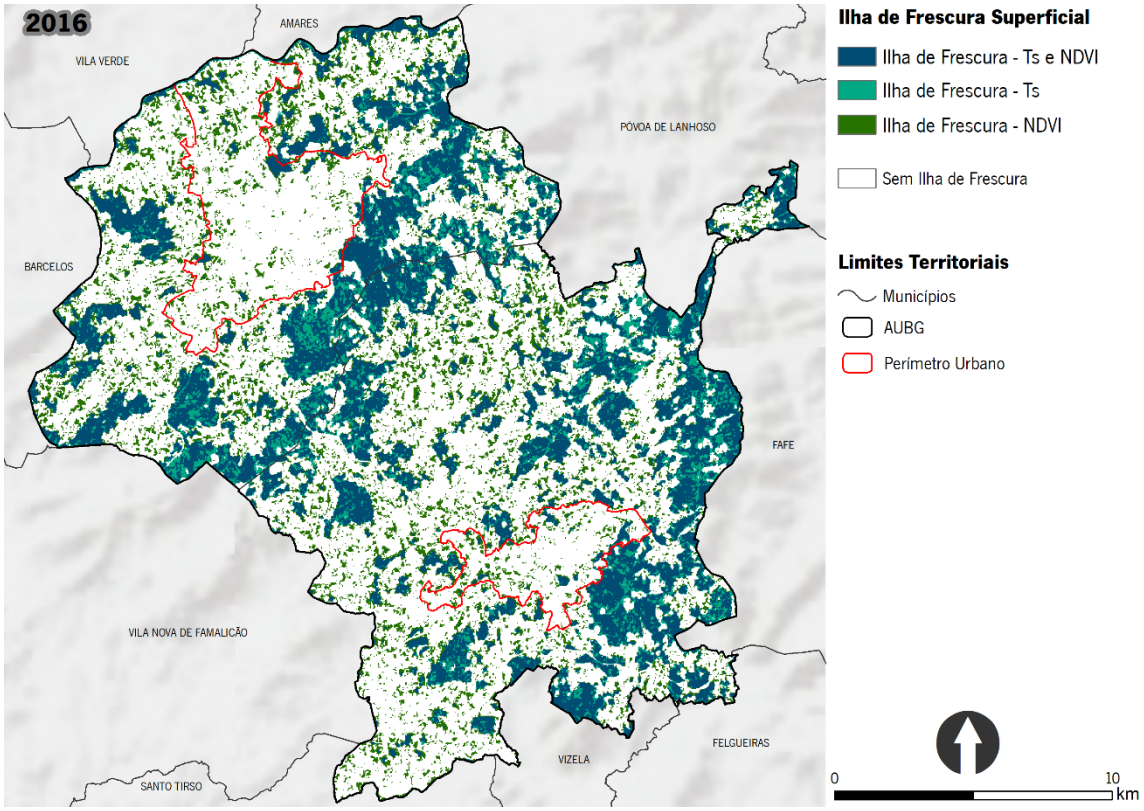


Figura Ap.12 – Configuração espacial da ilha de frescura de superfície de Ts e do NDVI na AUBG em 2016

Apêndice XVIII – AUMENTOS E DIMINUIÇÕES DE TS EM FUNÇÃO DAS MUDANÇAS NAS COMPONENTES BIOFÍSICAS (1984-2016)

Tabela Ap.138 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 1984 e 1999

Mudança nas Componentes Biofísicas	Diferença de Ts (Média)	Área (m^2)
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Industrial/Pedreiras	0,32	361800
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,25**	**2742300**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Industrial/Pedreiras	0,21	626400
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Solo Nu	**0,17**	**9353700**
Água para Industrial/Pedreiras	0,15	3600
Água para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,14	2700
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,13**	**6621300**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Solo Nu	**0,06**	**21382200**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**0,06**	**21401100**
Solo Nu para Industrial/Pedreiras	0,03	432000
Solo Nu para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,01**	**6650100**
Industrial/Pedreiras para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	-0,01	1800
Solo Nu para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,02**	**5739300**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Água	-0,02	900
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Industrial/Pedreiras	-0,03	597600
Industrial/Pedreiras para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	-0,03	189900
Industrial/Pedreiras para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,05	27000
Solo Nu para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**-0,07**	**8298900**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,07**	**14738400**
Água para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,08	26100
Industrial/Pedreiras para Solo Nu	-0,08	36900
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Solo Nu	**-0,09**	**1503900**
Água para Solo Nu	-0,09	44100
Solo Nu para Água	-0,13	33300
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	-0,14	567000
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,18	137700
Industrial/Pedreiras para Água	-0,22	93600
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Água	-0,36	2700

*Os valores a **negrito** indicam as mudanças nas componentes biofísicas que ocupam maior percentagem de área.

Tabela Ap.139 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 1999 e 2003

Mudança nas Componentes Biofísicas	Diferença de Ts (Média)	Área (m²)
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Industrial/Pedreiras	0,31	117900
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,25**	**1915200**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Industrial/Pedreiras	0,24	198900
Solo Nu para Industrial/Pedreiras	0,15	263700
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,13**	**4649400**
Industrial/Pedreiras para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,08	722700
Solo Nu para Água	0,08	9900
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Água	0,06	2700
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Solo Nu	**0,06**	**12447000**
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Industrial/Pedreiras	0,06	936000
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**0,06**	**13173300**
Solo Nu para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,04**	**7154100**
Água para Industrial/Pedreiras	0,04	46800
Água para Solo Nu	0,04	54900
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Água	0,02	3600
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Solo Nu	**0,01**	**8809200**
Industrial/Pedreiras para Solo Nu	0,00	16200
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Solo Nu	**0,00**	**3347100**
Industrial/Pedreiras para Água	-0,01	1800
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Água	-0,02	7200
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,09**	**10874700**
Solo Nu para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**-0,12**	**13860000**
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	-0,14	565200
Solo Nu para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,23**	**3732300**
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,44	66600

*Os valores a **negrito** indicam as mudanças nas componentes biofísicas que ocupam maior percentagem de área.

Tabela Ap.140 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 2003 e 2007

Mudança nas Componentes Biofísicas	Diferença de Ts (Média)	Área (m^2)
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Industrial/Pedreiras	0,28	39600
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Industrial/Pedreiras	0,28	85500
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,25	357300
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Solo Nu	**0,20**	**4236300**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,12**	**2087100**
Água para Industrial/Pedreiras	0,11	1800
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**0,11**	**12026700**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Solo Nu	**0,09**	**12919500**
Solo Nu para Industrial/Pedreiras	0,04	120600
Solo Nu para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,03**	**5515200**
Água para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,03	4500
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Industrial/Pedreiras	0,01	1361700
Industrial/Pedreiras para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,01	608400
Solo Nu para Água	0,00	85500
Água para Solo Nu	-0,01	17100
Industrial/Pedreiras para Água	-0,01	71100
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,02	295200
Industrial/Pedreiras para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,02	3600
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Solo Nu	**-0,02**	**5601600**
Industrial/Pedreiras para Solo Nu	-0,03	45900
Solo Nu para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,03**	**5573700**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Água	-0,04	900
Industrial/Pedreiras para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	-0,05	8100
Solo Nu para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**-0,05**	**13316400**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,06**	**13680000**
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**-0,06**	**2330100**
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Água	-0,22	1800

*Os valores a **negrito** indicam as mudanças nas componentes biofísicas que ocupam maior percentagem de área.

Tabela Ap.141 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 2007 e 2010

Mudança nas Componentes Biofísicas	**Diferença de Ts (Média)**	**Área (m^2)**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Industrial/Pedreiras	0,41	73800
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,27	481500
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Industrial/Pedreiras	0,19	90900
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Solo Nu	**0,14**	**3942900**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Água	0,13	8100
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,08**	**1828800**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**0,06**	**8378100**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Solo Nu	**0,06**	**17224200**
Solo Nu para Água	0,02	31500
Solo Nu para Industrial/Pedreiras	0,02	65700
Industrial/Pedreiras para Solo Nu	0,01	32400
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Água	0,00	900
Industrial/Pedreiras para Água	0,00	9900
Solo Nu para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**-0,01**	**6192000**
Água para Solo Nu	-0,03	49500
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Solo Nu	**-0,03**	**4177800**
Água para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	-0,04	2700
Industrial/Pedreiras para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**-0,07**	**1185300**
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	-0,08	782100
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Industrial/Pedreiras	-0,08	693900
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,10**	**14305500**
Solo Nu para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**-0,11**	**8703000**
Industrial/Pedreiras para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	-0,14	1800
Solo Nu para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,19**	**6597000**
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,38	165600

*Os valores a **negrito** indicam as mudanças nas componentes biofísicas que ocupam maior percentagem de área.

Tabela Ap.142 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Braga entre 2010 e 2016

Mudança nas Componentes Biofísicas	Diferença de Ts (Média)	Área (m^2)
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Solo Nu	**0,21**	**3180600**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,14	1075500
Industrial/Pedreiras para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	0,14	900
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Industrial/Pedreiras	0,13	27000
Industrial/Pedreiras para Solo Nu	0,11	2700
Água para Solo Nu	0,10	8100
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Industrial/Pedreiras	0,09	64800
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**0,09**	**9520200**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Solo Nu	**0,09**	**4986900**
Água para Industrial/Pedreiras	0,08	1800
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,04**	**4099500**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Água	0,04	15300
Industrial/Pedreiras para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,02	192600
Solo Nu para Industrial/Pedreiras	0,01	238500
Solo Nu para Água	0,00	66600
Solo Nu para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,00**	**12447000**
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Industrial/Pedreiras	**-0,01**	**4333500**
Água para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	-0,02	900
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Solo Nu	**-0,03**	**1627200**
Solo Nu para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**-0,08**	**14126400**
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	-0,08	991800
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,08**	**16417800**
Solo Nu para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,16**	**8205300**
Industrial/Pedreiras para Água	-0,18	11700
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,18	322200
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Água	-0,22	24300
Industrial/Pedreiras para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,64	900

*Os valores a **negrito** indicam as mudanças nas componentes biofísicas que ocupam maior percentagem de área.

Tabela Ap.143 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 1984 e 1999

Mudança nas Componentes Biofísicas	**Diferença de Ts (Média)**	**Área (m^2)**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Industrial/Pedreiras	0,15	315900
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,10**	**3511800**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Industrial/Pedreiras	0,08	444600
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Água	0,04	13500
Água para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	0,02	900
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,02**	**7791300**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Solo Nu	**0,00**	**14575500**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Água	-0,04	3600
Solo Nu para Água	-0,05	19800
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Solo Nu	**-0,06**	**26805600**
Solo Nu para Industrial/Pedreiras	-0,11	306000
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,13**	**18385200**
Solo Nu para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**-0,13**	**8042400**
Água para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,14	4500
Industrial/Pedreiras para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	-0,17	303300
Solo Nu para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,18**	**3897000**
Solo Nu para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**-0,21**	**9362700**
Água para Solo Nu	-0,21	6300
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Industrial/Pedreiras	-0,23	460800
Industrial/Pedreiras para Solo Nu	-0,25	19800
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Solo Nu	**-0,26**	**1754100**
Industrial/Pedreiras para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	-0,26	2700
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**-0,28**	**630000**
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,33	68400
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Água	-0,37	3600

*Os valores a **negrito** indicam as mudanças nas componentes biofísicas que ocupam maior percentagem de área.

Tabela Ap.144 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 1999 e 2003

Mudança nas Componentes Biofísicas	**Diferença de Ts (Média)**	**Área (m²)**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Industrial/Pedreiras	0,41	64800
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,32**	**1458900**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Industrial/Pedreiras	0,28	129600
Água para Industrial/Pedreiras	0,27	5400
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,17**	**4086900**
Água para Solo Nu	0,15	26100
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Solo Nu	**0,11**	**9723600**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**0,10**	**23768100**
Solo Nu para Industrial/Pedreiras	0,08	148500
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Solo Nu	**0,07**	**17126100**
Solo Nu para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,05**	**7125300**
Industrial/Pedreiras para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,05	849600
Água para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,02	900
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Industrial/Pedreiras	0,01	793800
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Água	0,01	3600
Industrial/Pedreiras para Solo Nu	-0,01	3600
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Água	-0,02	900
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Água	-0,04	900
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Solo Nu	**-0,04**	**5552100**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,07**	**14028300**
Solo Nu para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**-0,14**	**20014200**
Água para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,22	4500
Solo Nu para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,26**	**4214700**
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,53	118800
Água para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	-0,54	12600

*Os valores a **negrito** indicam as mudanças nas componentes biofísicas que ocupam maior percentagem de área.

Tabela Ap.145 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 2003 e 2007

Mudança nas Componentes Biofísicas	**Diferença de Ts (Média)**	**Área (m²)**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Industrial/Pedreiras	0,27	54000
Água para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	0,24	900
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,23	544500
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Industrial/Pedreiras	0,21	87300
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Solo Nu	**0,17**	**3667500**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,14**	**2910600**
Solo Nu para Industrial/Pedreiras	0,12	119700
Solo Nu para Água	0,10	5400
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Solo Nu	**0,08**	**15187500**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**0,07**	**12042900**
Solo Nu para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,04**	**7412400**
Água para Solo Nu	0,02	1800
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Industrial/Pedreiras	**0,01**	**1483200**
Industrial/Pedreiras para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,00	360000
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Solo Nu	**-0,01**	**5865300**
Industrial/Pedreiras para Água	-0,01	5400
Industrial/Pedreiras para Solo Nu	-0,03	12600
Solo Nu para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**-0,06**	**19260000**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,07**	**27405000**
Solo Nu para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,07**	**7812000**
Água para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	-0,08	900
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,09	215100
Industrial/Pedreiras para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,15	2700
Industrial/Pedreiras para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	-0,22	10800

*Os valores a **negrito** indicam as mudanças nas componentes biofísicas que ocupam maior percentagem de área.

Tabela Ap.146 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 2007 e 2010

Mudança nas Componentes Biofísicas	**Diferença de Ts (Média)**	**Área (m^2)**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Água	0,36	5400
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Industrial/Pedreiras	0,30	72000
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Água	0,17	10800
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,11	1226700
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Solo Nu	**0,11**	**9629100**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Industrial/Pedreiras	0,07	153900
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**0,06**	**21671100**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Solo Nu	**0,04**	**26297100**
Água para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,03	2700
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,01**	**5714100**
Industrial/Pedreiras para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	0,00	62100
Solo Nu para Água	-0,01	7200
Água para Solo Nu	-0,01	6300
Industrial/Pedreiras para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,01	20700
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Solo Nu	**-0,01**	**8217900**
Solo Nu para Industrial/Pedreiras	-0,02	178200
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**-0,02**	**2667600**
Água para Industrial/Pedreiras	-0,03	1800
Solo Nu para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**-0,04**	**9279900**
Industrial/Pedreiras para Solo Nu	-0,04	111600
Solo Nu para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**-0,05**	**12674700**
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Industrial/Pedreiras	-0,05	1083600
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,07**	**17787600**
Industrial/Pedreiras para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	-0,08	1634400
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,09	493200
Solo Nu para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,16**	**6117300**
Industrial/Pedreiras para Água	-0,23	1800

*Os valores a **negrito** indicam as mudanças nas componentes biofísicas que ocupam maior percentagem de área.

Tabela Ap.147 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 2010 e 2016

Mudança nas Componentes Biofísicas	Diferença de Ts (Média)	Área (m^2)
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Solo Nu	**0,16**	**3222000**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Industrial/Pedreiras	0,12	131400
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	0,10	1307700
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Solo Nu	**0,05**	**7586100**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**0,04**	**11384100**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Industrial/Pedreiras	0,03	225000
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Água	0,01	9900
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,00**	**5887800**
Solo Nu para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**-0,05**	**17916300**
Solo Nu para Industrial/Pedreiras	-0,05	360000
Solo Nu para Água	-0,05	27900
Industrial/Pedreiras para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	-0,07	174600
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Industrial/Pedreiras	**-0,07**	**4269600**
Água para Solo Nu	-0,08	2700
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Solo Nu	**-0,08**	**1972800**
Solo Nu para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**-0,10**	**20154600**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,12**	**26949600**
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	-0,13	1378800
Solo Nu para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,17**	**10075500**
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,19	602100
Industrial/Pedreiras para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,20	37800
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Água	-0,22	8100
Industrial/Pedreiras para Solo Nu	-0,24	1800
Industrial/Pedreiras para Água	-0,25	21600
Água para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	-0,43	1800
Água para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,50	8100

*Os valores a **negrito** indicam as mudanças nas componentes biofísicas que ocupam maior percentagem de área.

Tabela Ap.148 – Aumentos e diminuições de Ts em função das mudanças verificadas nas componentes biofísicas em Guimarães entre 1984 e 2016

Mudança nas Componentes Biofísicas	**Diferença de Ts (Média)**	**Área (m^2)**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Industrial/Pedreiras	0,13	1733400
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Solo Nu	**0,06**	**9561600**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,06**	**13157100**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Industrial/Pedreiras	**0,05**	**2673000**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**0,00**	**23164200**
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Solo Nu	**-0,01**	**13643100**
Água para Solo Nu	-0,02	5400
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**-0,02**	**25657200**
Solo Nu para Industrial/Pedreiras	-0,08	1575900
Água para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	-0,10	1800
Água para Industrial/Pedreiras	-0,11	900
Solo Nu para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	**-0,12**	**13513500**
Industrial/Pedreiras para Superfícies Impermeáveis Antrópicas	-0,15	212400
Solo Nu para Água	-0,16	14400
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,18**	**27456300**
Vegetação Arbórea e/ou Densa para Água	-0,18	28800
Solo Nu para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	**-0,22**	**8586000**
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Industrial/Pedreiras	-0,22	1510200
Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa para Água	-0,22	29700
Industrial/Pedreiras para Solo Nu	-0,23	13500
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Solo Nu	-0,24	857700
Solo Nu para Vegetação Arbórea e/ou Densa	**-0,26**	**7548300**
Água para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	-0,27	3600
Industrial/Pedreiras para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	-0,29	18000
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Herbácea/Arbustiva e/ou Esparsa	-0,31	797400
Industrial/Pedreiras para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,31	4500
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Vegetação Arbórea e/ou Densa	-0,38	399600
Superfícies Impermeáveis Antrópicas para Água	-0,49	5400

*Os valores a **negrito** indicam as mudanças nas componentes biofísicas que ocupam maior percentagem de área.

Apêndice XIX – ESTATÍSTICAS DOS VETORES DE MUDANÇA DECORRENTES DA TRAJETÓRIA TEMPORAL DOS PIXÉIS NO ESPAÇO TVX (1984-2016)

Tabela Ap. 149 – Estatísticas dos vetores de mudança decorrentes da trajetória temporal no espaço TVX das componentes biofísicas permeáveis convertidas em industrial/pedreiras no município de Braga entre 1984 e 2016

Mudanças nas Componentes Biofísicas		1984-1999		1999-2003		2003-2007		2007-2010		2010-2016		1984-2016	
		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor	
De	**Para**	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão
Arbórea	Arbórea	0,118*	0,073	0,105*	0,065	0,124*	0,074	0,088*	0,058	0,093*	0,057	0,128*	0,081
Arbórea	Industrial	0,667	0,152	0,682	0,197	0,602	0,158	0,682	0,158	0,399	0,211	0,502	0,174
Arbustiva	Arbustiva	0,171*	0,095	0,136*	0,088	0,167*	0,101	0,126*	0,075	0,108*	0,067	0,158*	0,100
Arbustiva	Industrial	0,542	0,164	0,500	0,206	0,427	0,210	0,409	0,165	0,288	0,179	0,398	0,170
Solo	Solo	0,221*	0,120	0,157*	0,105	0,196*	0,125	0,138*	0,099	0,112*	0,085	0,198*	0,124
Solo	Industrial	0,389	0,159	0,320	0,169	0,180	0,104	0,214	0,099	0,143	0,122	0,301	0,158

* Indica os valores médios que foram utilizados como limiares na análise da incerteza associada à trajetória de mudanças (*i.e.*, os valores que constituem os pontos de controle).

Tabela Ap. 150 – Estatísticas dos vetores de mudança decorrentes da trajetória temporal no espaço TVX das componentes biofísicas permeáveis convertidas em superfícies impermeáveis no município de Braga entre 1984 e 2016

Mudanças nas Componentes Biofísicas		1984-1999		1999-2003		2003-2007		2007-2010		2010-2016		1984-2016	
		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor	
De	**Para**	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão
Arbórea	Arbórea	0,118*	0,073	0,105*	0,065	0,124*	0,074	0,088*	0,058	0,093*	0,057	0,128*	0,081
Arbórea	Impermeável	0,516	0,199	0,529	0,253	0,471	0,176	0,509	0,188	0,292	0,206	0,312	0,163
Arbustiva	Arbustiva	0,171*	0,095	0,136*	0,088	0,167*	0,101	0,126*	0,075	0,108*	0,067	0,158*	0,100
Arbustiva	Impermeável	0,376	0,176	0,326	0,210	0,251	0,147	0,222	0,141	0,145	0,116	0,233	0,128
Solo	Solo	0,221*	0,120	0,157*	0,105	0,196*	0,125	0,138*	0,099	0,112*	0,085	0,198*	0,124
Solo	Impermeável	0,272	0,141	0,202	0,138	0,179	0,106	0,134	0,085	0,099	0,071	0,201	0,112

* Indica os valores médios que foram utilizados como limiares na análise da incerteza associada à trajetória de mudanças (*i.e.*, os valores que constituem os pontos de controle).

Tabela Ap. 151 – Estatísticas dos vetores de mudança decorrentes da trajetória temporal no espaço TVX das componentes biofísicas permeáveis convertidas em industrial/pedreiras no município de Guimarães entre 1984 e 2016

Mudanças nas Componentes Biofísicas		1984-1999		1999-2003		2003-2007		2007-2010		2010-2016		1984-2016	
		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor	
De	**Para**	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão
Arbórea	Arbórea	0,111*	0,069	0,092*	0,058	0,108*	0,060	0,091*	0,059	0,113*	0,061	0,143*	0,085
Arbórea	Industrial	0,682	0,080	0,787	0,134	0,534	0,181	0,544	0,214	0,454	0,183	0,448	0,164
Arbustiva	Arbustiva	0,154*	0,072	0,111*	0,068	0,155*	0,084	0,130*	0,079	0,114*	0,067	0,166*	0,095
Arbustiva	Industrial	0,542	0,086	0,598	0,105	0,329	0,148	0,348	0,172	0,306	0,156	0,343	0,130
Solo	Solo	0,215*	0,101	0,140*	0,104	0,211*	0,111	0,135*	0,090	0,123*	0,078	0,224*	0,126
Solo	Industrial	0,394	0,104	0,369	0,158	0,205	0,102	0,232	0,114	0,195	0,114	0,269	0,120

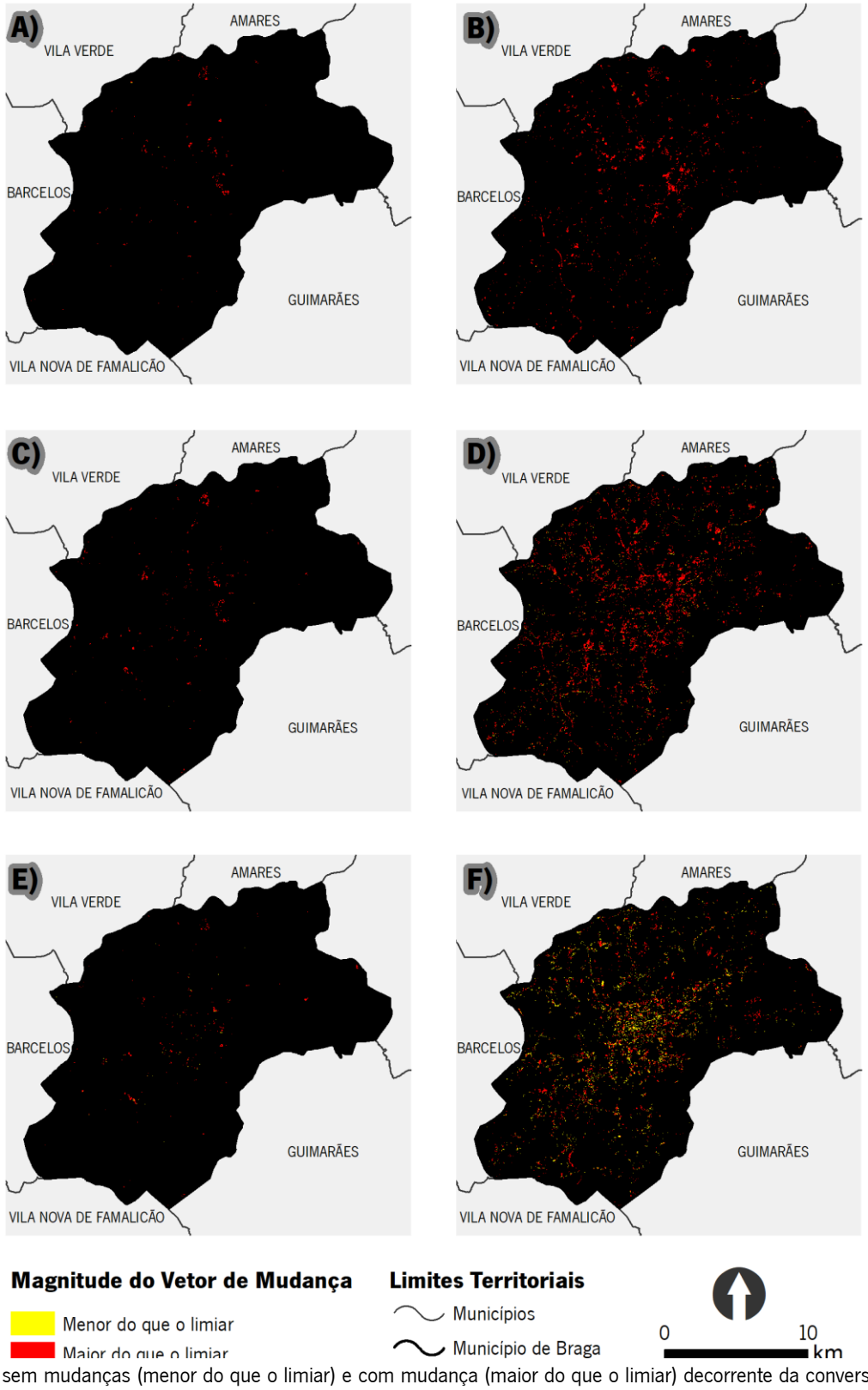
* Indica os valores médios que foram utilizados como limiares na análise da incerteza associada à trajetória de mudanças (*i.e.*, os valores que constituem os pontos de controle).

Tabela Ap. 152 – Estatísticas dos vetores de mudança decorrentes da trajetória temporal no espaço TVX das componentes biofísicas permeáveis convertidas em superfícies impermeáveis no município de Guimarães entre 1984 e 2016

Mudanças nas Componentes Biofísicas		1984-1999		1999-2003		2003-2007		2007-2010		2010-2016		1984-2016	
		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor		Magnitude do vetor	
De	**Para**	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão
Arbórea	Arbórea	0,111*	0,069	0,092*	0,058	0,108*	0,060	0,091*	0,059	0,113*	0,061	0,143*	0,085
Arbórea	Impermeável	0,406	0,130	0,645	0,191	0,411	0,171	0,301	0,183	0,267	0,174	0,277	0,144
Arbustiva	Arbustiva	0,154*	0,072	0,111*	0,068	0,155*	0,084	0,130*	0,079	0,114*	0,067	0,166*	0,095
Arbustiva	Impermeável	0,267	0,101	0,377	0,181	0,236	0,130	0,197	0,118	0,150	0,107	0,216	0,103
Solo	Solo	0,215*	0,101	0,140*	0,104	0,211*	0,111	0,135*	0,090	0,123*	0,078	0,224*	0,126
Solo	Impermeável	0,519	0,162	0,193	0,125	0,195	0,101	0,151	0,091	0,117	0,078	0,211	0,102

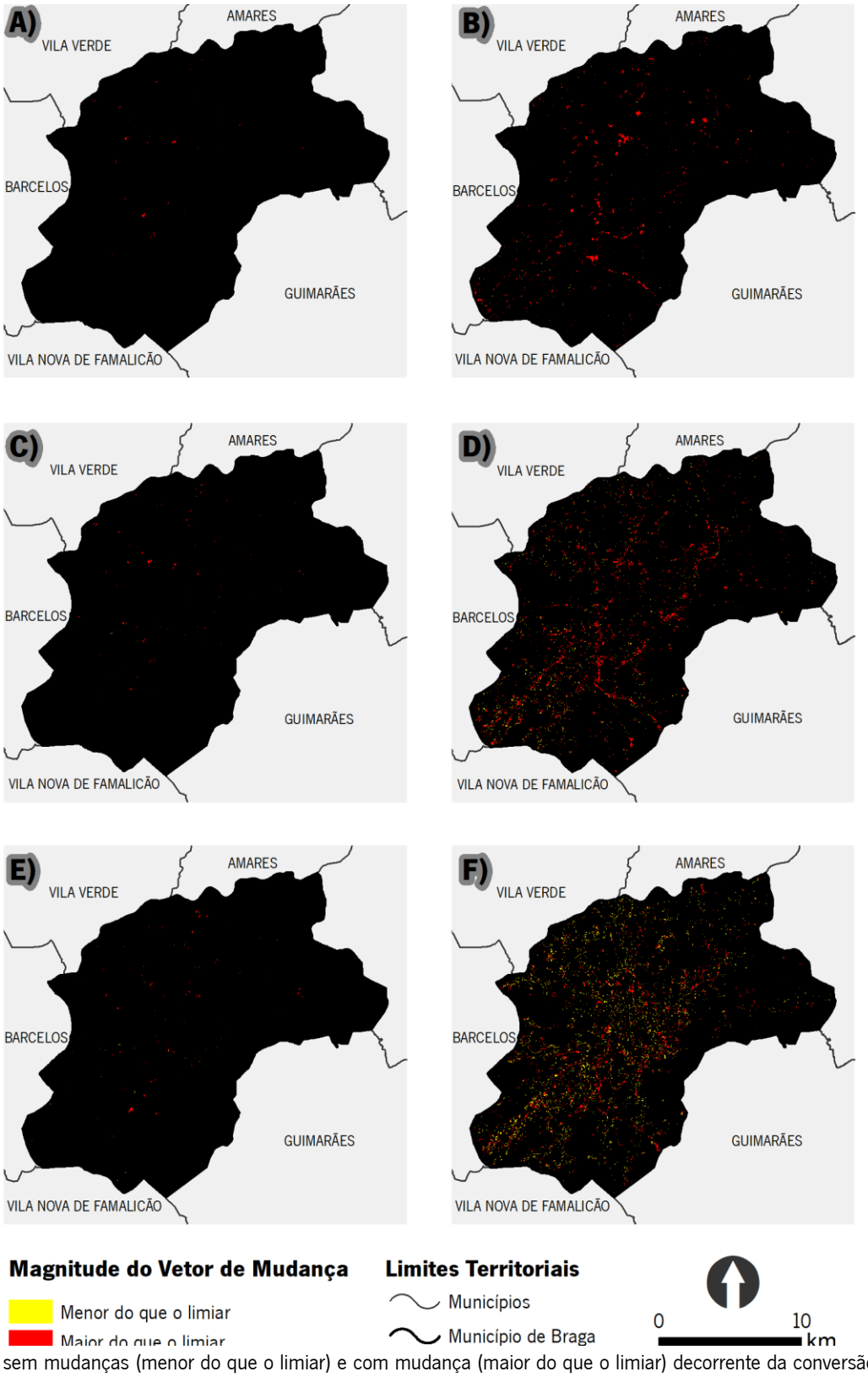
* Indica os valores médios que foram utilizados como limiares na análise da incerteza associada à trajetória de mudanças (*i.e.*, os valores que constituem os pontos de controle).

Apêndice XX – INCERTEZA NA ANÁLISE DA TRAJETÓRIA DE MUDANÇA (ÁREAS COM E SEM MUDANÇA) NOS MUNICÍPIOS DE BRAGA E DE GUIMARÃES (1984-2016)



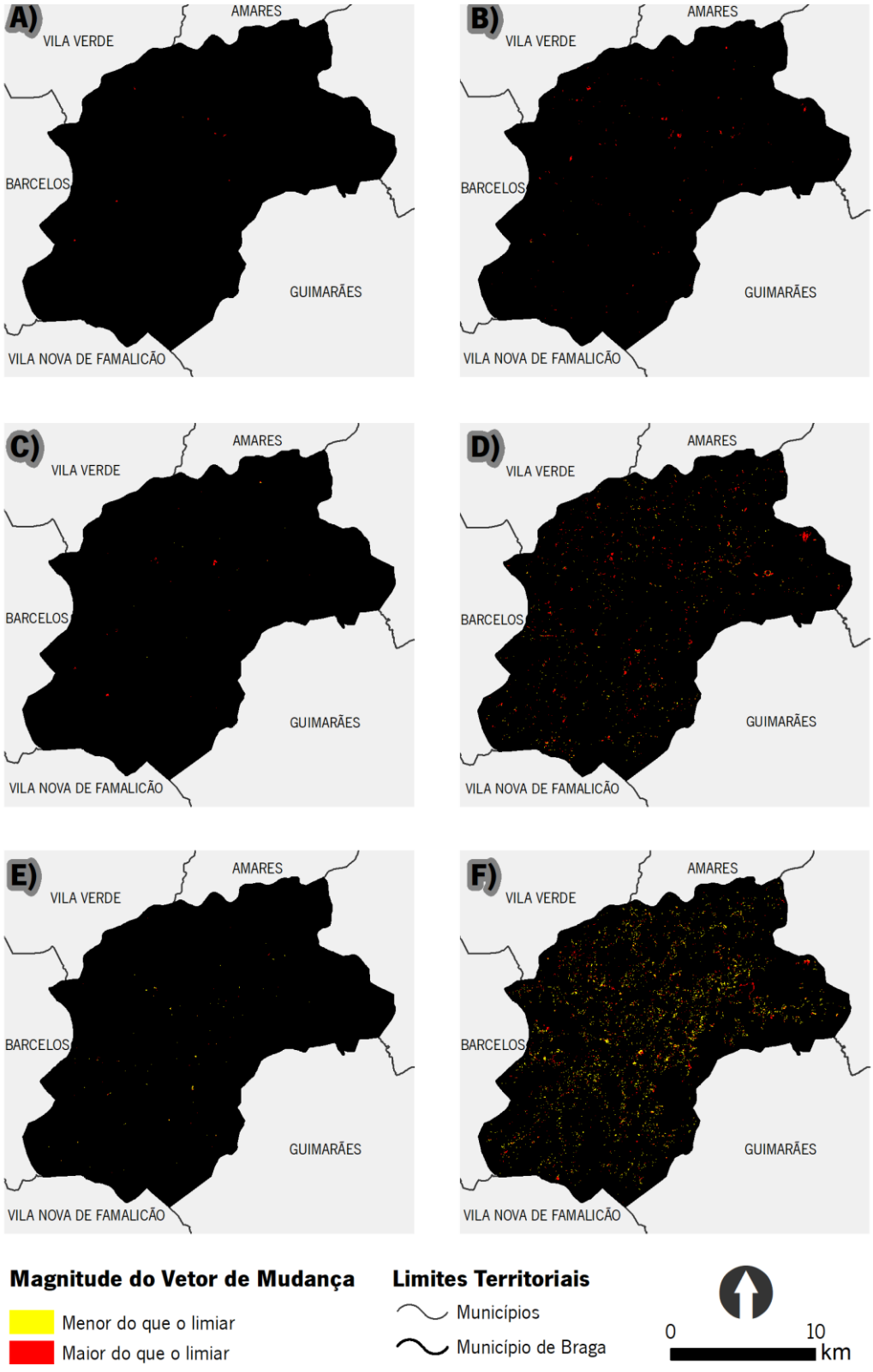
Áreas sem mudanças (menor do que o limiar) e com mudança (maior do que o limiar) decorrente da conversão: **A)** vegetação arbórea e/ou densa para industrial/pedreiras; **B)** vegetação arbórea e/ou densa para superfícies impermeáveis antrópicas; **C)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para industrial/pedreiras; **D)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para superfícies impermeáveis antrópicas; **E)** solo nu para industrial/pedreiras; **F)** solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas.

Figura Ap.13 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Braga entre 1984 e 1999



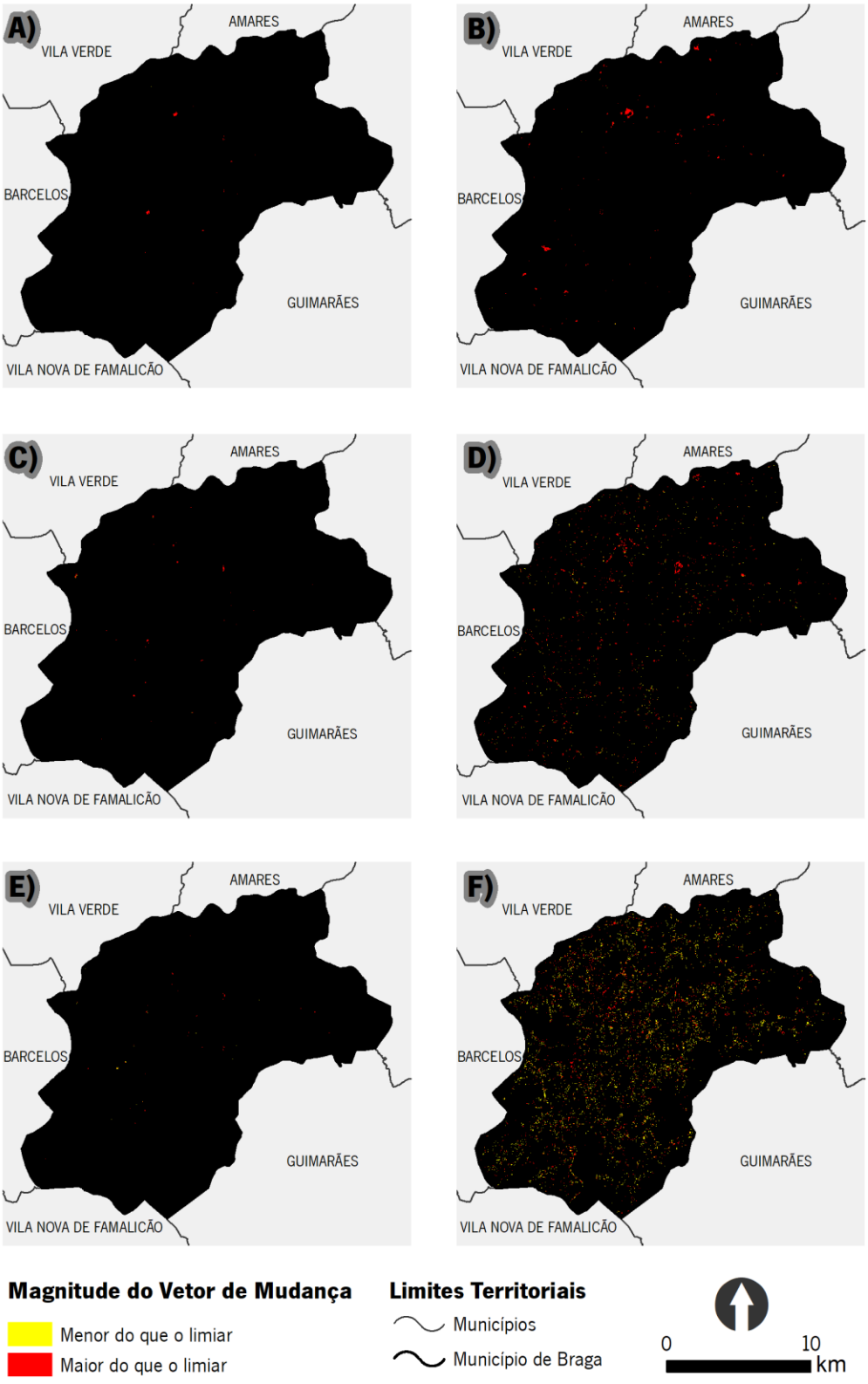
Áreas sem mudanças (menor do que o limiar) e com mudança (maior do que o limiar) decorrente da conversão: **A)** vegetação arbórea e/ou densa para industrial/pedreiras; **B)** vegetação arbórea e/ou densa para superfícies impermeáveis antrópicas; **C)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para industrial/pedreiras; **D)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para superfícies impermeáveis antrópicas; **E)** solo nu para industrial/pedreiras; **F)** solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas.

Figura Ap.14 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Braga entre 1999 e 2003



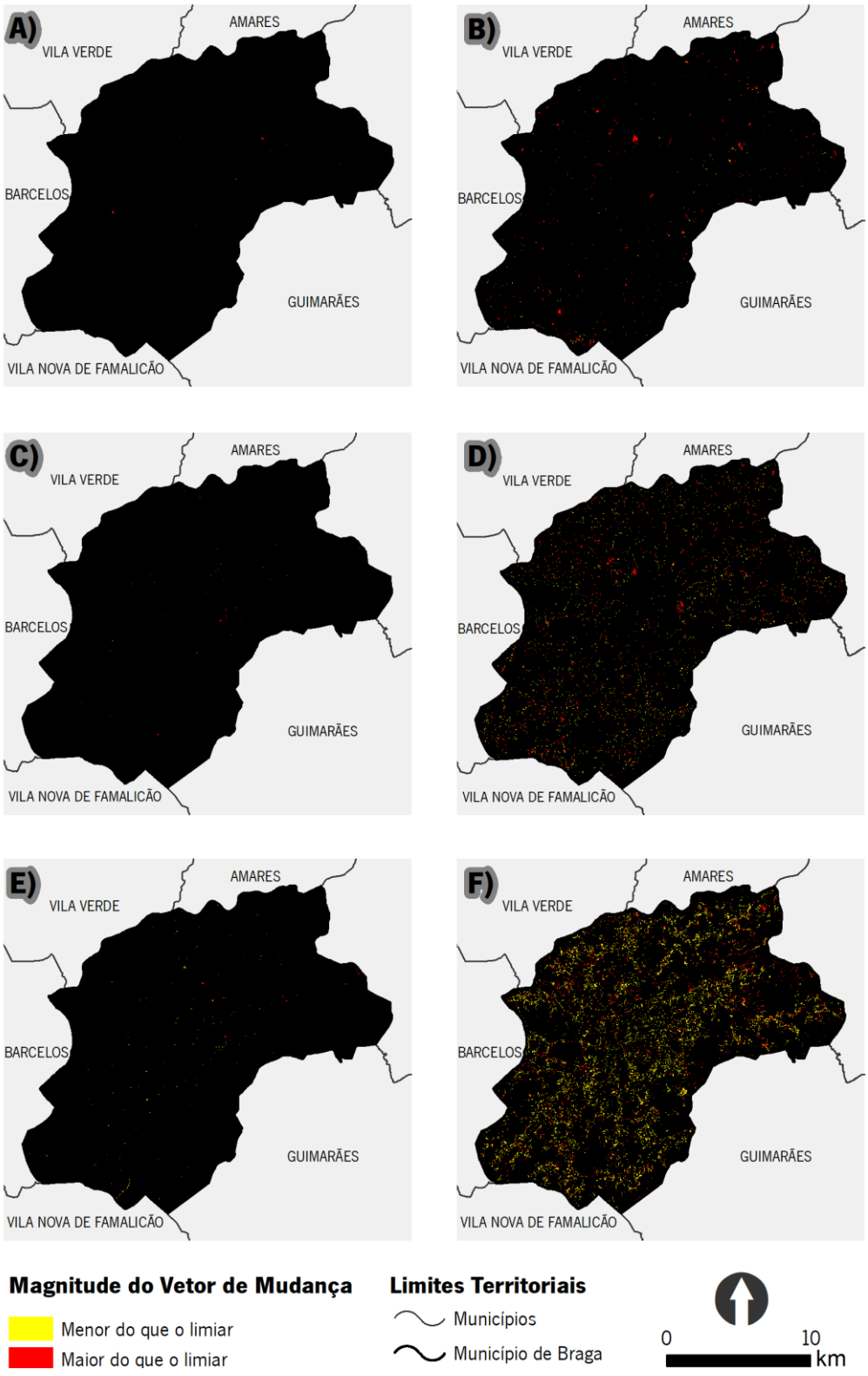
Áreas sem mudanças (menor do que o limiar) e com mudança (maior do que o limiar) decorrente da conversão: **A)** vegetação arbórea e/ou densa para industrial/pedreiras; **B)** vegetação arbórea e/ou densa para superfícies impermeáveis antrópicas; **C)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para industrial/pedreiras; **D)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para superfícies impermeáveis antrópicas; **E)** solo nu para industrial/pedreiras; **F)** solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas.

Figura Ap.15 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Braga entre 2003 e 2007



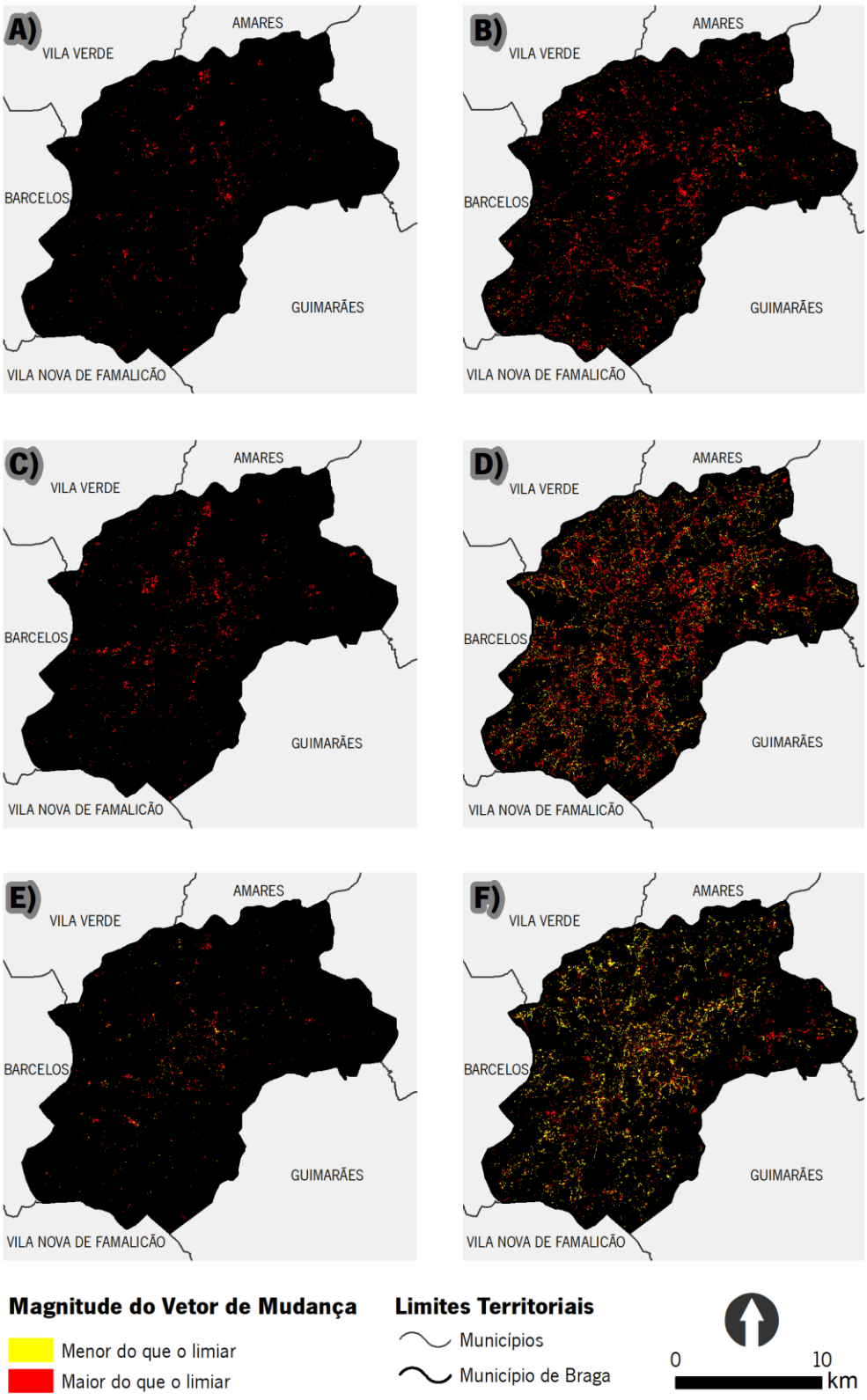
Áreas sem mudanças (menor do que o limiar) e com mudança (maior do que o limiar) decorrente da conversão: **A)** vegetação arbórea e/ou densa para industrial/pedreiras; **B)** vegetação arbórea e/ou densa para superfícies impermeáveis antrópicas; **C)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para industrial/pedreiras; **D)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para superfícies impermeáveis antrópicas; **E)** solo nu para industrial/pedreiras; **F)** solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas.

Figura Ap.16 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Braga entre 2007 e 2010



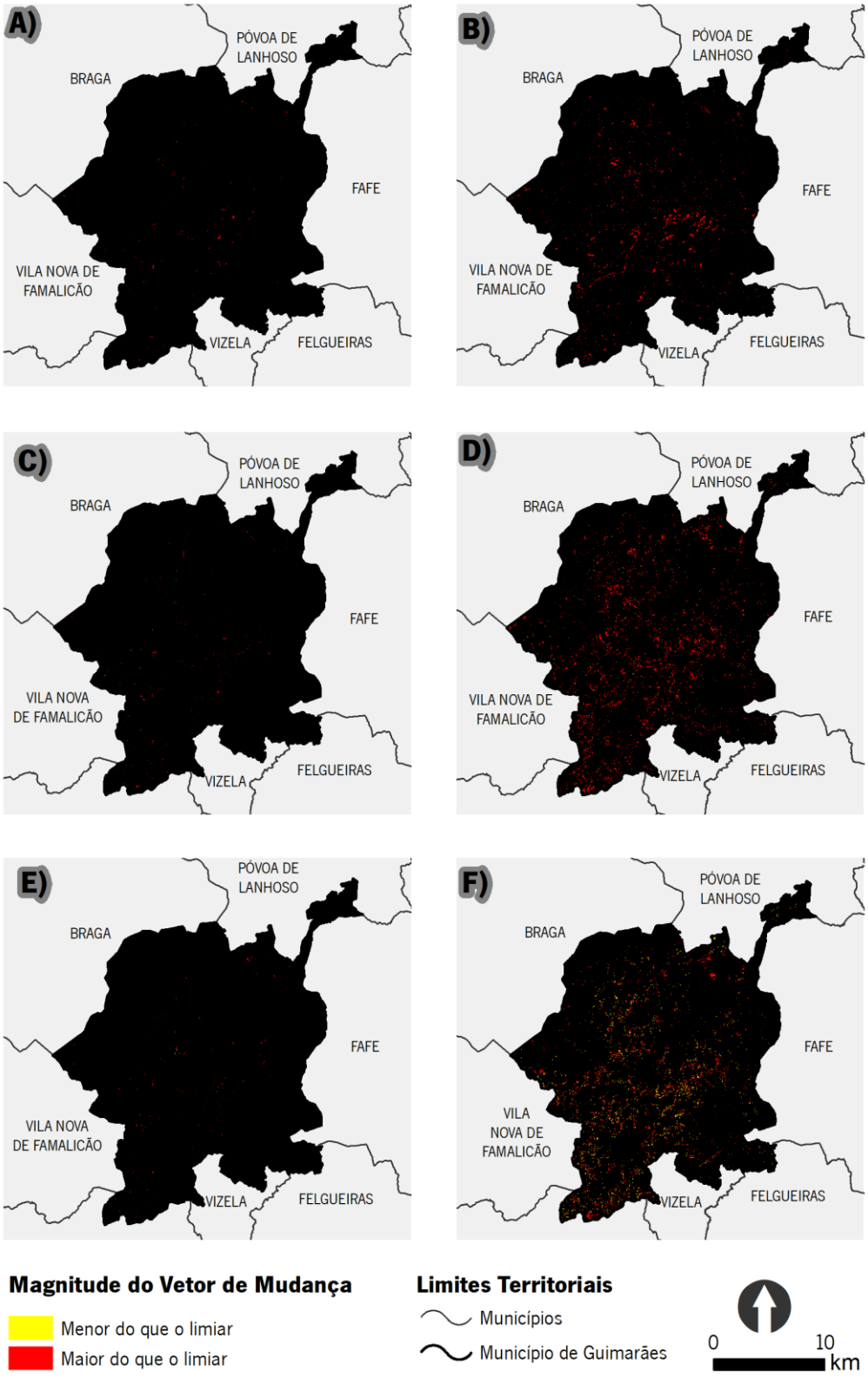
Áreas sem mudanças (menor do que o limiar) e com mudança (maior do que o limiar) decorrente da conversão: **A)** vegetação arbórea e/ou densa para industrial/pedreiras; **B)** vegetação arbórea e/ou densa para superfícies impermeáveis antrópicas; **C)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para industrial/pedreiras; **D)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para superfícies impermeáveis antrópicas; **E)** solo nu para industrial/pedreiras; **F)** solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas.

Figura Ap.17 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Braga entre 2010 e 2016



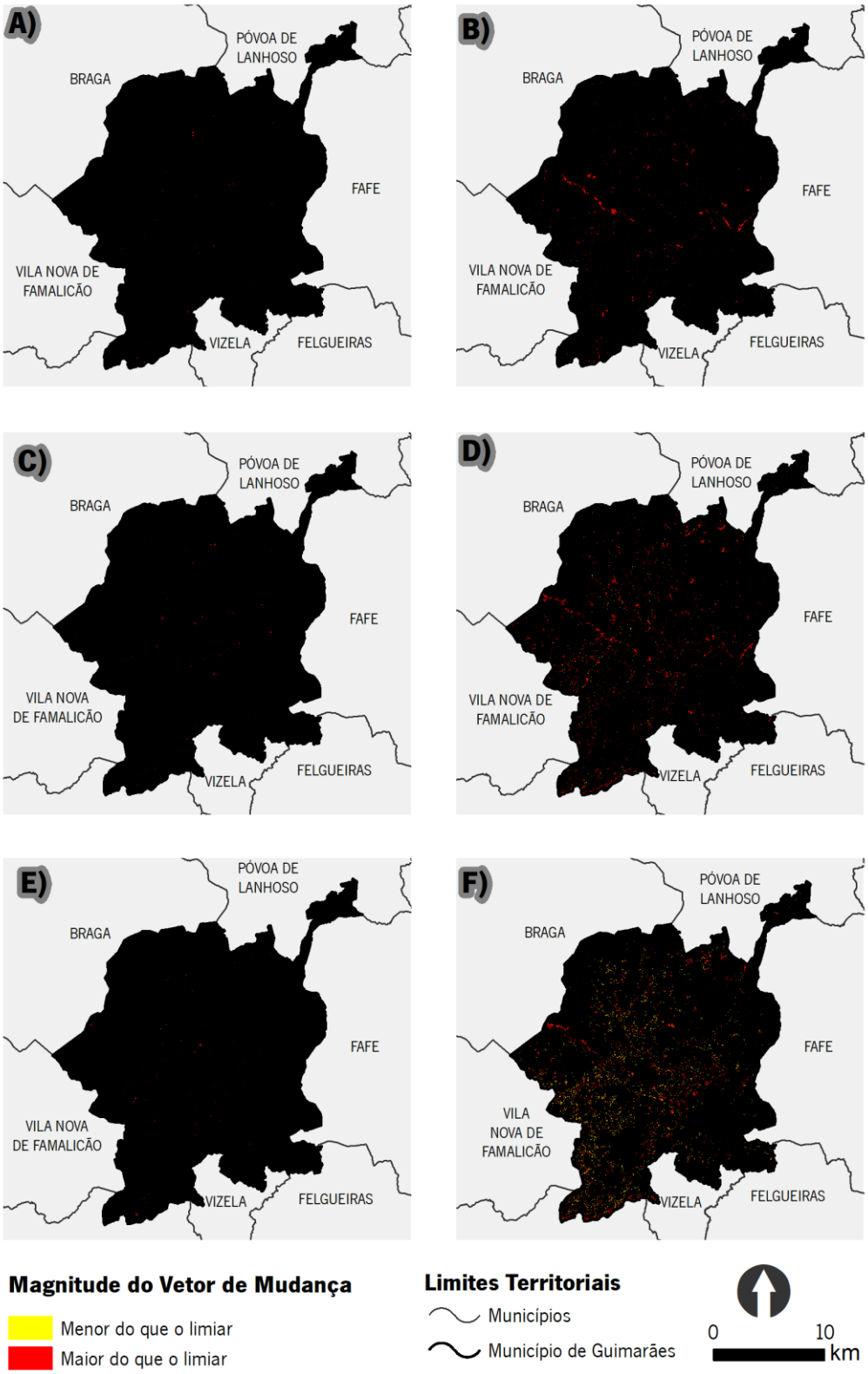
Áreas sem mudanças (menor do que o limiar) e com mudança (maior do que o limiar) decorrente da conversão: **A)** vegetação arbórea e/ou densa para industrial/pedreiras; **B)** vegetação arbórea e/ou densa para superfícies impermeáveis antrópicas; **C)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para industrial/pedreiras; **D)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para superfícies impermeáveis antrópicas; **E)** solo nu para industrial/pedreiras; **F)** solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas.

Figura Ap.18 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Braga entre 1984 e 2016



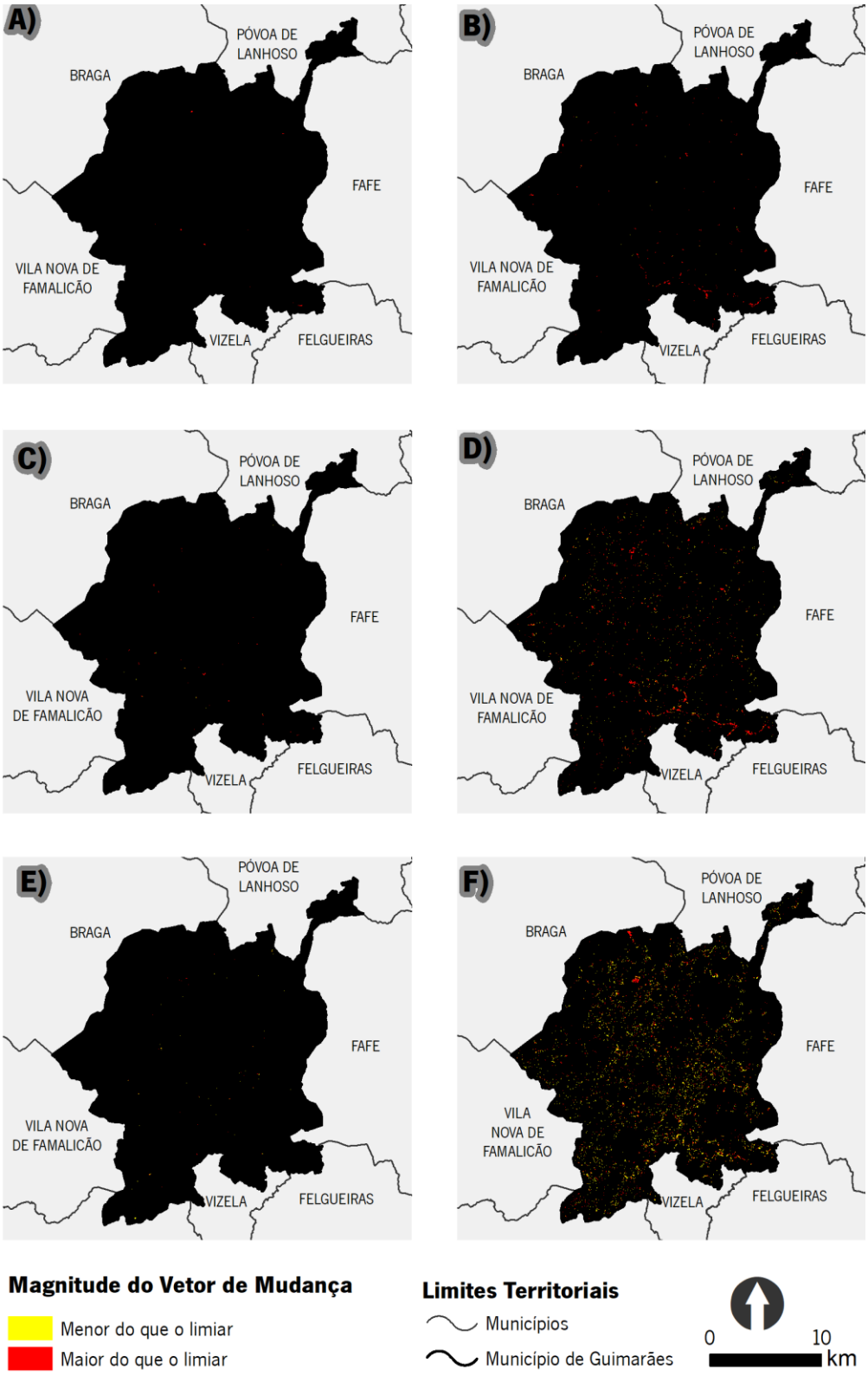
Áreas sem mudanças (menor do que o limiar) e com mudança (maior do que o limiar) decorrente da conversão: **A)** vegetação arbórea e/ou densa para industrial/pedreiras; **B)** vegetação arbórea e/ou densa para superfícies impermeáveis antrópicas; **C)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para industrial/pedreiras; **D)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para superfícies impermeáveis antrópicas; **E)** solo nu para industrial/pedreiras; **F)** solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas.

Figura Ap.19 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Guimarães entre 1984 e 1999



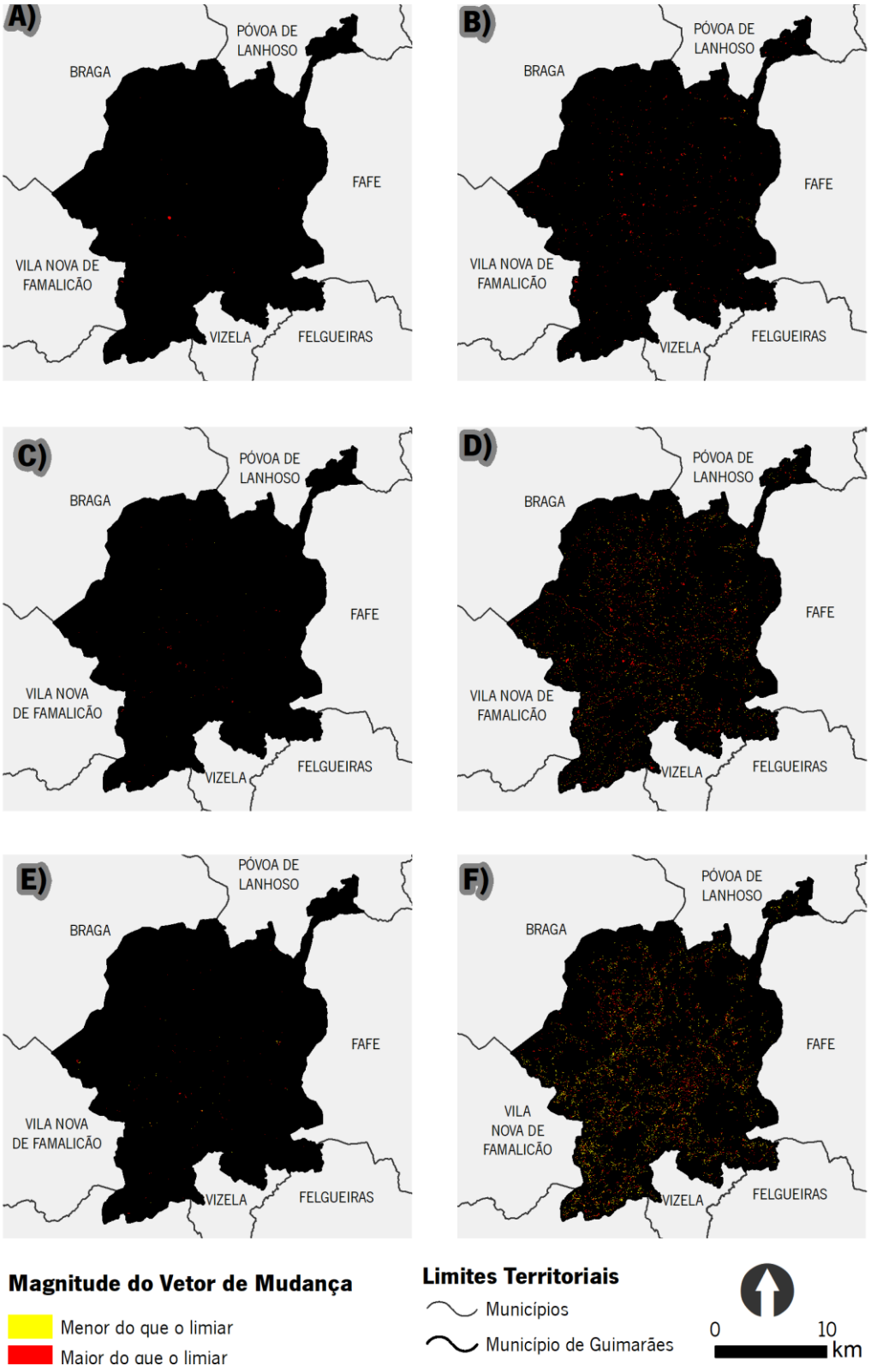
Áreas sem mudanças (menor do que o limiar) e com mudança (maior do que o limiar) decorrente da conversão: **A)** vegetação arbórea e/ou densa para industrial/pedreiras; **B)** vegetação arbórea e/ou densa para superfícies impermeáveis antrópicas; **C)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para industrial/pedreiras; **D)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para superfícies impermeáveis antrópicas; **E)** solo nu para industrial/pedreiras; **F)** solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas.

Figura Ap.20 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Guimarães entre 1999 e 2003



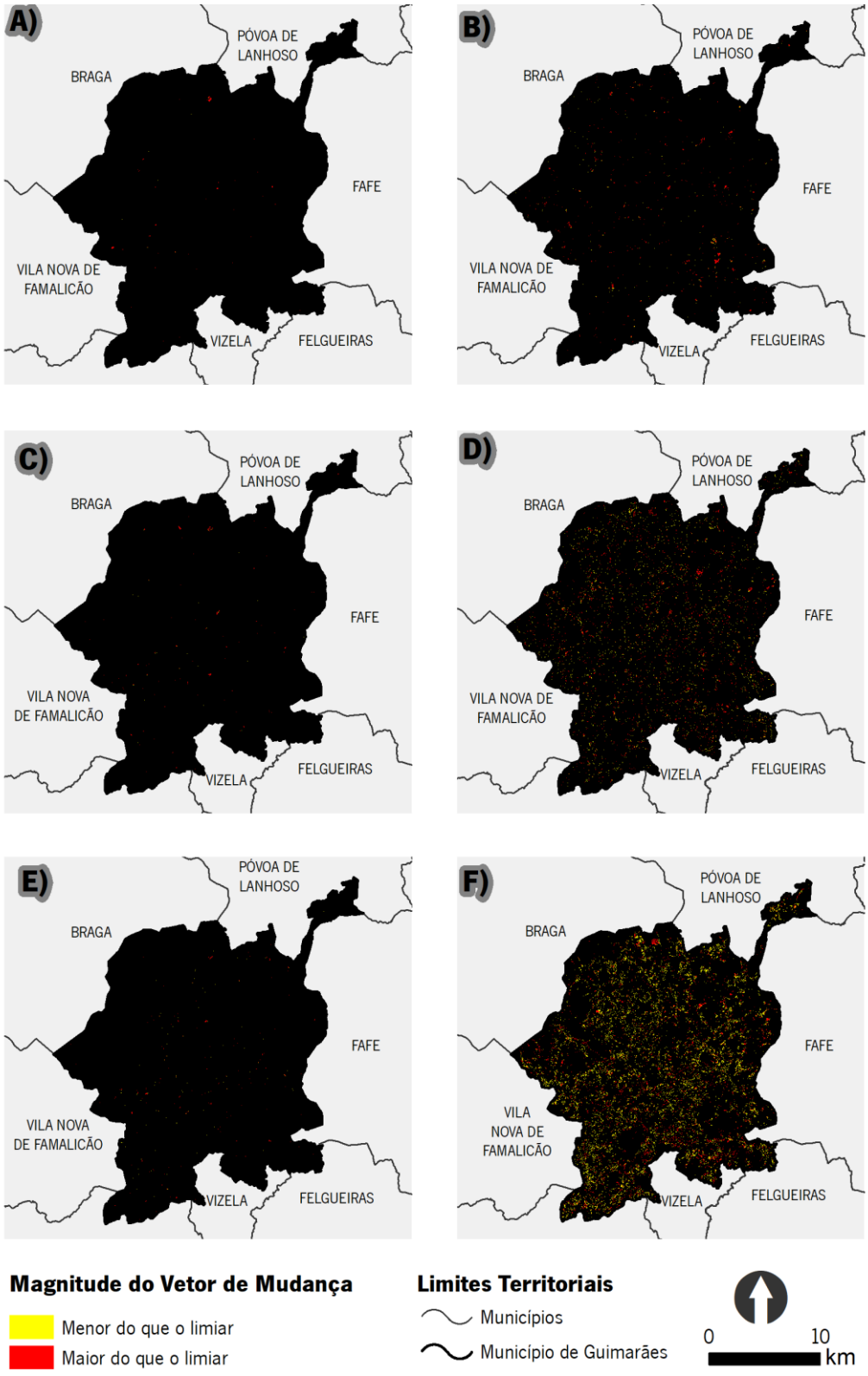
Áreas sem mudanças (menor do que o limiar) e com mudança (maior do que o limiar) decorrente da conversão: **A)** vegetação arbórea e/ou densa para industrial/pedreiras; **B)** vegetação arbórea e/ou densa para superfícies impermeáveis antrópicas; **C)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para industrial/pedreiras; **D)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para superfícies impermeáveis antrópicas; **E)** solo nu para industrial/pedreiras; **F)** solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas.

Figura Ap.21 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Guimarães entre 2003 e 2007



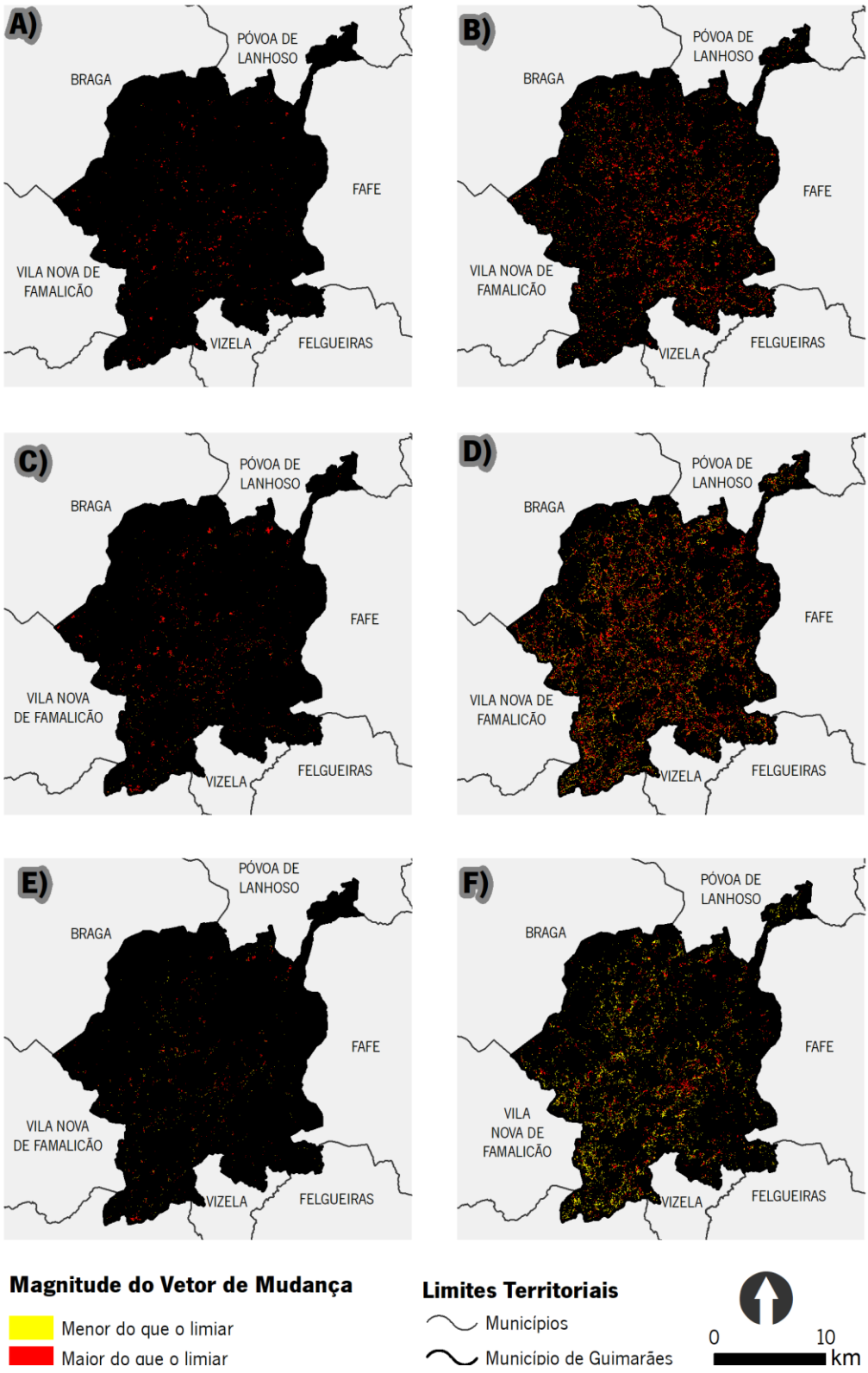
Áreas sem mudanças (menor do que o limiar) e com mudança (maior do que o limiar) decorrente da conversão: **A)** vegetação arbórea e/ou densa para industrial/pedreiras; **B)** vegetação arbórea e/ou densa para superfícies impermeáveis antrópicas; **C)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para industrial/pedreiras; **D)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para superfícies impermeáveis antrópicas; **E)** solo nu para industrial/pedreiras; **F)** solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas.

Figura Ap.22 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Guimarães entre 2007 e 2010



Áreas sem mudanças (menor do que o limiar) e com mudança (maior do que o limiar) decorrente da conversão: **A)** vegetação arbórea e/ou densa para industrial/pedreiras; **B)** vegetação arbórea e/ou densa para superfícies impermeáveis antrópicas; **C)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para industrial/pedreiras; **D)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para superfícies impermeáveis antrópicas; **E)** solo nu para industrial/pedreiras; **F)** solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas.

Figura Ap.23 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Guimarães entre 2010 e 2016



Áreas sem mudanças (menor do que o limiar) e com mudança (maior do que o limiar) decorrente da conversão: **A)** vegetação arbórea e/ou densa para industrial/pedreiras; **B)** vegetação arbórea e/ou densa para superfícies impermeáveis antrópicas; **C)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para industrial/pedreiras; **D)** vegetação herbácea arbustiva e/ou esparsa para superfícies impermeáveis antrópicas; **E)** solo nu para industrial/pedreiras; **F)** solo nu para superfícies impermeáveis antrópicas.

Figura Ap.24 – Incerteza na análise da trajetória de mudança no município de Guimarães entre 1984 e 2016

Apêndice XXI – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE TS ÀS 01:30, 10:30, 13:30 E 23:30 (ARQUIVO MODIS) NA AUBG (2003-2016)

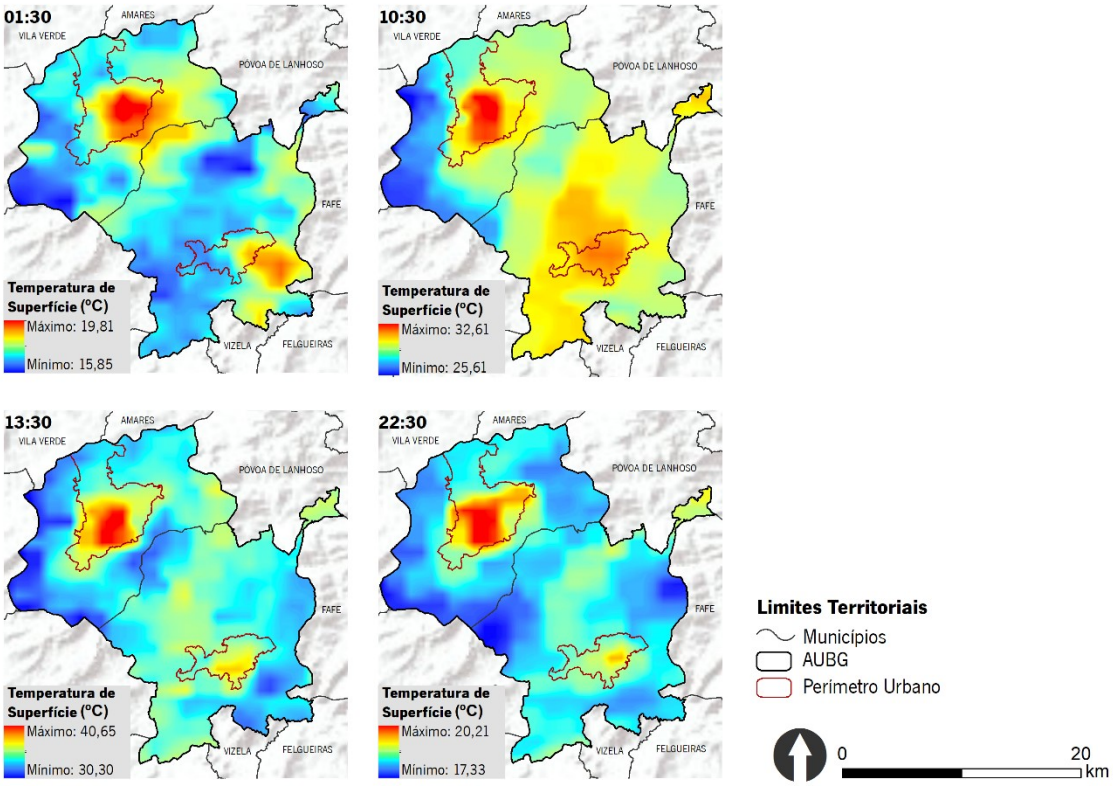


Figura Ap.25 – Distribuição de Ts (°C) na AUBG em 11 de julho de 2003

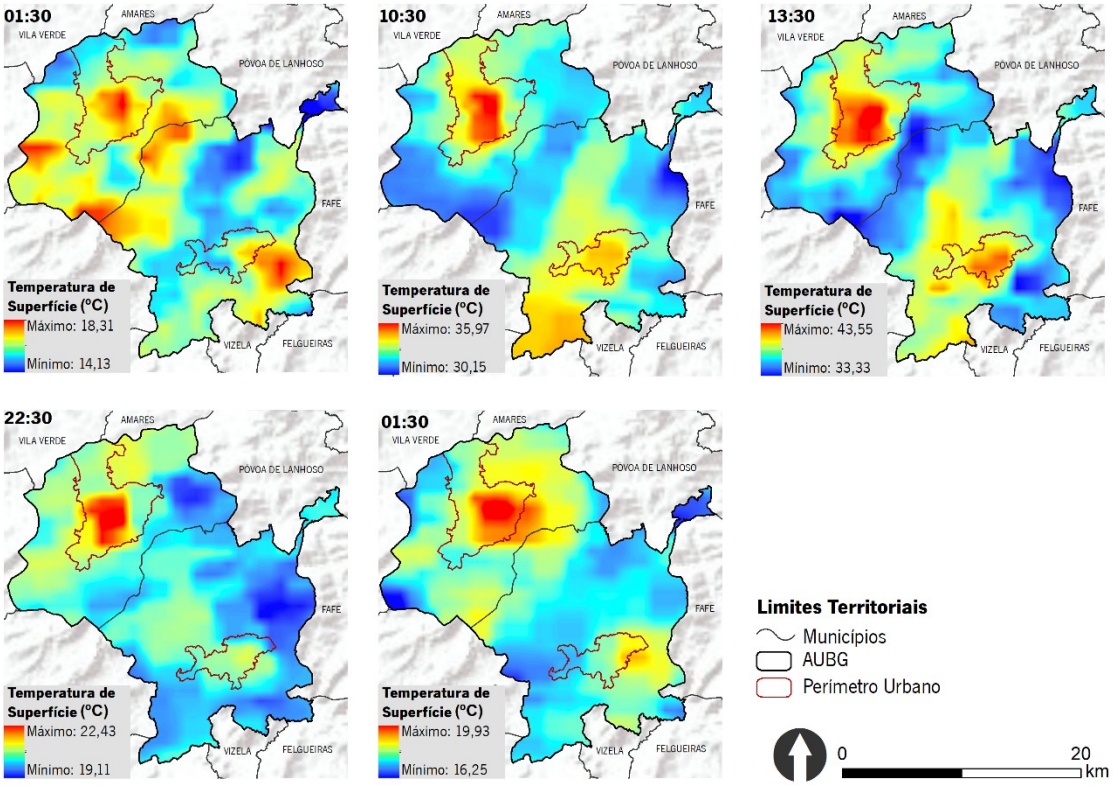


Figura Ap.26 – Distribuição de Ts (°C) na AUBG em 06 de julho de 2007

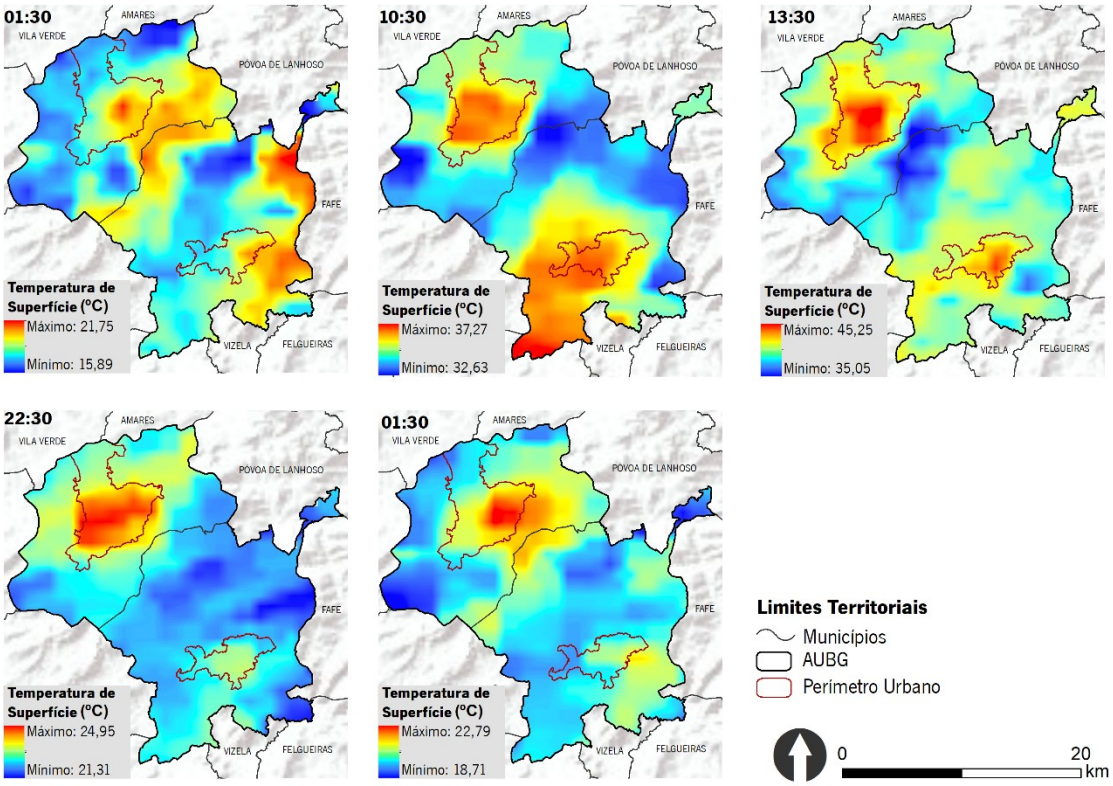


Figura Ap.27 – Distribuição de Ts (°C) na AUBG em 30 de julho de 2010

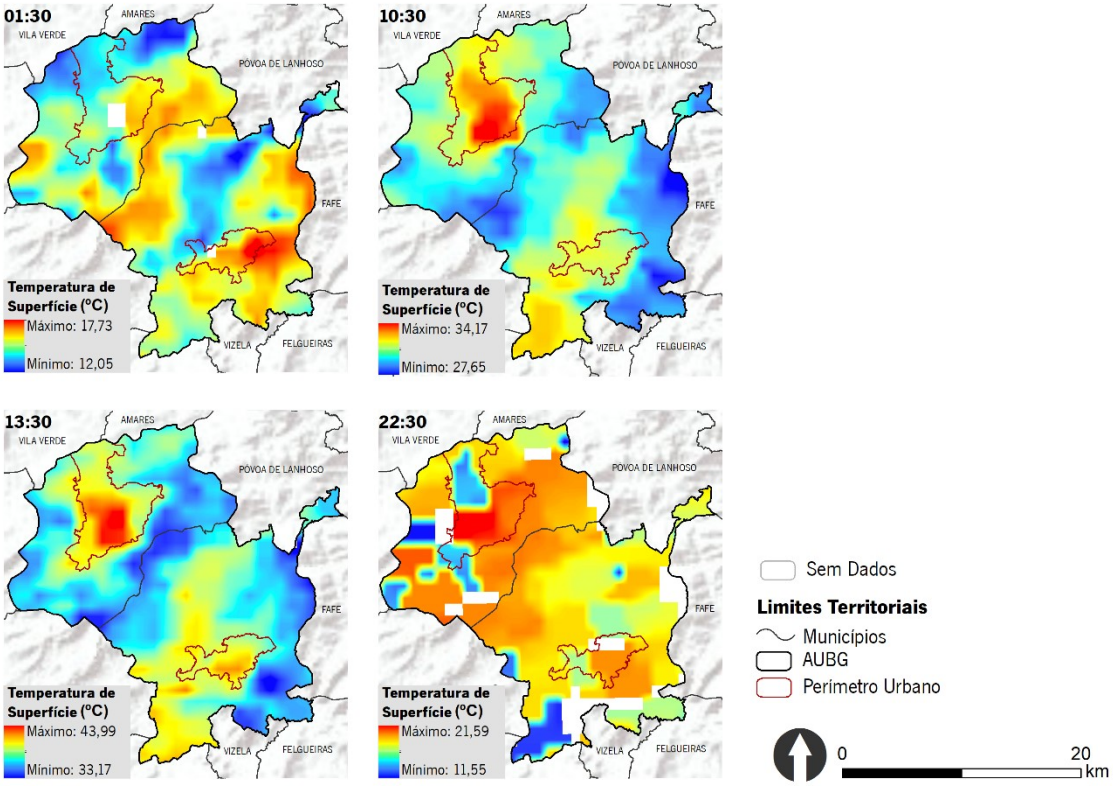


Figura Ap.28 – Distribuição de Ts (°C) na AUBG em 14 de julho de 2016