



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Maria Inês Cunha Ferreira da Silva

O Papel das Infraestruturas Verdes na Ilha de Calor e Poluição Atmosférica Urbana

outubro de 2021



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Maria Inês Cunha Ferreira da Silva

O Papel das Infraestruturas Verdes na Ilha de Calor e Poluição Atmosférica Urbana

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Urbana

Trabalho realizado sob a orientação da

**Professora Dr^a Lígia Maria Marques Oliveira
Torres Silva**

outubro de 2021

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
CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

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.

Agradecimentos

Aos meus pais e irmã que sempre me apoiaram e incentivaram.

Aos meus amigos por toda a paciência.

O Papel das Infraestruturas Verdes na Ilha de Calor e Poluição Atmosférica Urbana

Resumo

Acompanhando o aumento da população mundial, os reforços das infraestruturas urbanas têm vindo também a aumentar, resultando numa pressão sobre os espaços, ecossistemas e equipamentos e conseqüentemente na concentração de poluição atmosférica urbana e no aumento das temperaturas.

A Ilha de Calor Urbano (ICU) é um fenómeno que se define pelas temperaturas elevadas num centro urbano face às suas áreas rurais envolventes. Este, que apresenta várias origens pode também apresentar várias conseqüências, sendo por isso fundamental analisar as causas deste acontecimento.

Este estudo tem como objetivo apurar as causas, efeitos e medidas de mitigação da Ilha de Calor Urbano, focando-se sobretudo no papel das infraestruturas verdes, salientando os benefícios destas na redução da temperatura e diminuição da poluição atmosférica, e a saúde da população.

Com uma abordagem teórica e analisando os seis casos de estudo, os resultados apresentam uma perspetiva favorável na adoção das infraestruturas verdes para a diminuição da poluição atmosférica e redução das temperaturas, apesar de ser uma medida de mitigação que necessita de ser acompanhada com outras medidas de modo a ser totalmente eficaz.

Palavras Chave: Infraestruturas Verdes, Ilhas de Calor Urbano, Poluição Atmosférica

The Role of Green Infrastructure in the Isle of Heat and Urban Atmospheric Pollution

Abstract

With the increase of world population, the reinforcement of urban infrastructures has also been increasing, resulting in pressure on construction spaces, ecosystems and equipment with urban air pollution and rising temperatures has consequences.

The Urban Heat Island (UHI) is a phenomenon defined by the high temperatures in an urban center compared to its surrounding rural areas. The UHI, which has several origins, can also have several consequences, so it is essential to analyze the causes of this event.

This study aims to investigate the causes, effects and mitigation measures of the Urban Heat Island, focusing mainly on the role of green infrastructure, highlighting the benefits of these in reducing temperature and reducing air pollution, taking into account the well-being of the population.

With a theoretical approach and analyzing the case studies, the results present a favorable perspective on the adoption of green infrastructure slowing air pollution and reducing temperatures, although it is a mitigation measure that requires monitoring of other measures in order to be fully effective.

Keywords: Green Infrastructures, Urban Heat Island, Atmospheric Pollution

Índice

1. Introdução	1
2. Metodologia	6
3. Ilhas de calor urbanos.....	7
3.1 Definição/Causas	7
3.1.1 Destruição do Espaço Verde	9
3.1.2 Mau Planeamento Urbano.....	9
3.1.3 Densidade Populacional e Atividade Antropogénica.....	10
3.1.4 Densidade Construtiva e Impermeabilização do Solo Urbano.....	11
3.2 Consequências das Ilhas de Calor Urbano na População	13
4. Qualidade do Ar.....	15
4.1 Poluentes Atmosféricos.....	15
4.2 Efeitos Negativos dos Poluentes de Ar	20
5. Infraestruturas Verdes.....	24
5.1 Definição	24
5.2 Benefícios das Infraestruturas Verdes.....	36
5.2.1 Nas Ilhas de Calor Urbano.....	37
5.2.2 Na Qualidade de Vida da População.....	40
5.2.3 Na Qualidade do Ar	41
6. Análise de Casos de Estudo.....	48
6.1 Bolonha:	49
6.2 Lisboa	54
6.3 Londres	55
6.4 Melbourne	58
6.5 Manchester.....	66
6.6 Sri Lanka	70
7. Notas Conclusivas e Trabalhos Futuros	74
Referências Bibliográficas.....	77

Índice de Figuras

Figura 1: Empresas por Setor de Atividade em 2019.....	2
Figura 2: Densidade Populacional em 2019.....	2
Figura 3: Fatores base na origem da Ilhas de Calor Urbano.....	3
Figura 4: Variações de Temperatura entre a Superfície e o Ar.....	8
Figura 5:Origens da Ilha de Calor Urbano.....	9
Figura 6: Jardins de Chuva.....	27
Figura 7: Valetas de Retenção.....	28
Figura 8: Telhados Verdes.....	29
Figura 9: Fachada Verde.....	34
Figura 10: Impermeabilidade do Solo face à Evapotranspiração.....	38
Figura 11: Permeabilidade do Solo face à Evapotranspiração.....	39
Figura 12: $0,5 < H/W < 2$	43
Figura 13: $H/W \leq 0,5$	43
Figura 14: $H/W \geq 2$	44
Figura 15: Inexistência de barreiras entre pedestres e automóveis.....	44
Figura 16: Tipos de barreira entre peões e automóveis.....	46
Figura 17: Áreas de Estudo de Bolonha.....	50
Figura 18: Localização da área de estudo de Bolonha:.....	50
Figura 19: Concentrações de CO e NO nas ruas Marconi e Laura Bassi.....	53
Figura 20: Localização do parque na cidade de Lisboa.....	54
Figura 21: Simulação do baixo albedo (2-8).....	56
Figura 22: Simulação do albedo intermédio (3-9).....	56
Figura 23: Simulação do albedo intermédio (6-12).....	56
Figura 24: Simulação do alto albedo (4-10).....	57
Figura 25: Simulação do alto albedo (5-11).....	57
Figura 26: Exemplo do espaço verde em Melbourne em 2010.....	59
Figura 27:Exemplo de espaço edificado em Melbourne, 2010.....	59
Figura 30: Projeção para 2030 de Telhados Verdes em Melbourne.....	63
Figura 31: Apartamentos “Triptych” em Melbourne.....	64
Figura 32: Victorian Desalination Project.....	65
Figura 33: Mapa de Manchester com as Áreas de Estudo.....	67

Figura 34: Variação da Temperatura da Superfície nos Diferentes Cenários em Manchester	69
Figura 35: Variação da Temperatura do Ar nos Diferentes Cenários em Manchester	69
Figura 36: Caso de Estudo 1 e 2 – Sri Lanka	71
Figura 37: Caso de Estudo 3 e 4 – Sri Lanka	71
Figura 38: Caso de Estudo 5 e 6 – Sri Lanka	72

Índice de Tabelas

Tabela 1: Índice de Albedo em Diferentes Superfícies.....	12
Tabela 2: Efeitos da Ilha de Calor Urbano	14
Tabela 3: Efeitos dos Poluentes na Saúde	21
Tabela 4: Coberturas Verdes Extensivas VS Coberturas Verdes Intensivas.....	31
Tabela 5: Jardins Verticais Extensivos VS Jardins Verticais Intensivos.....	32
Tabela 6: Fachada Verde Direta VS Fachada Verde Indireta	33
Tabela 7: Temperatura e Velocidade do Vento nas Áreas de Estudo de Bolonha - Verão	51
Tabela 8: Temperatura e Velocidade do Vento nas Áreas de Estudo de Bolonha - Inverno	51
Tabela 9: Benefícios das Infraestruturas Verdes	61
Tabela 10: Ações Implementadas em Melbourne, no Âmbito das Infraestruturas Verdes.....	62
Tabela 11: Alterações de Temperatura Relativamente ao Tipo de Espaço Verde.....	70

1. Introdução

A ilha de calor urbano é um dos fenómenos que exprime o impacto que as atividades antropogénicas exercem no ambiente dos espaços urbanos. Este fenómeno descreve-se como um padrão de temperaturas mais elevadas no centro urbano, quando comparadas com as áreas periféricas e as menos densamente povoadas.

É importante estudar de que forma este conceito surgiu, evoluiu e continua em constante mutação nos mais diversos pontos do mundo, de modo a percebermos os seus efeitos na sociedade, população e também no território. Este conceito apesar de conhecido pela comunidade científica ainda é bastante incógnito para a maioria da população cidadina, isto é, a população desconhece de que modo este pode afetar a qualidade das suas vidas e que é possível cada um de nós contribuir para a redução deste fenómeno.

Deste modo e para que as populações conheçam os riscos a que a cidade as expõe e possam proteger-se mais facilmente, é fundamental explorar este tema.

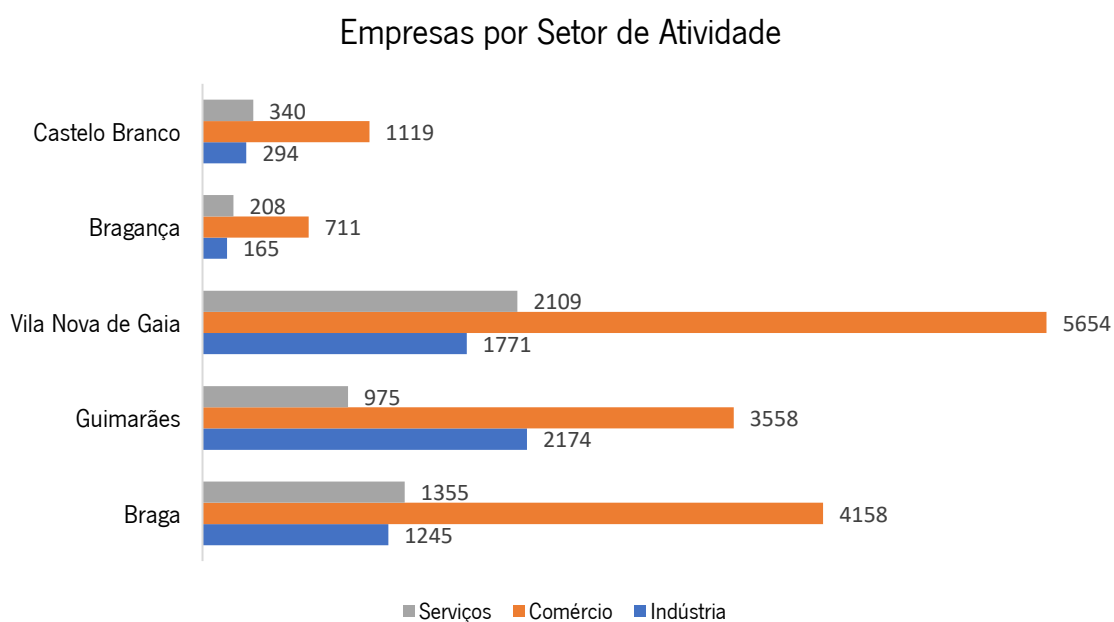
O principal objetivo desta dissertação é perceber os benefícios das infraestruturas verdes nas ilhas de calor urbano e de que forma estas podem auxiliar todas as consequências que sucedem da formação das mesmas.

Crê-se que cerca de 50% da população do mundo está sediada nas cidades, ou nas áreas urbanizadas, e acredita-se que até 2050, segundo a ONU (2019), esta percentagem irá aumentar para 68%, aumentando assim não só a densidade populacional, mas as infraestruturas em que um centro urbano assenta.

Em Portugal, encontrámos uma discrepância enorme relativamente à densidade populacional dos municípios, como podemos verificar pela figura abaixo. Escolhi cinco municípios, três deles do litoral e dois no interior, de modo a ser possível perceber a diferença da densidade populacional entre eles e a nível de setor de atividade. Como podemos verificar, os municípios localizados no litoral apresentam um número mais elevado de serviços, indústria e comércio o que justifica a

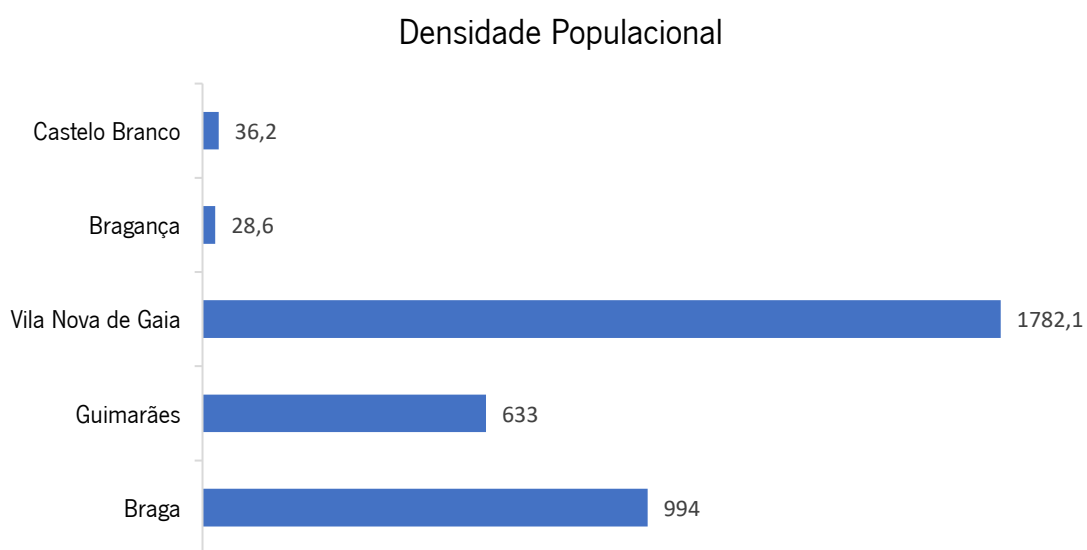
procura por municípios localizados no litoral para viver. Esta procura traduz numa elevada densidade populacional nos mesmos.

Figura 1: Empresas por Setor de Atividade em 2019



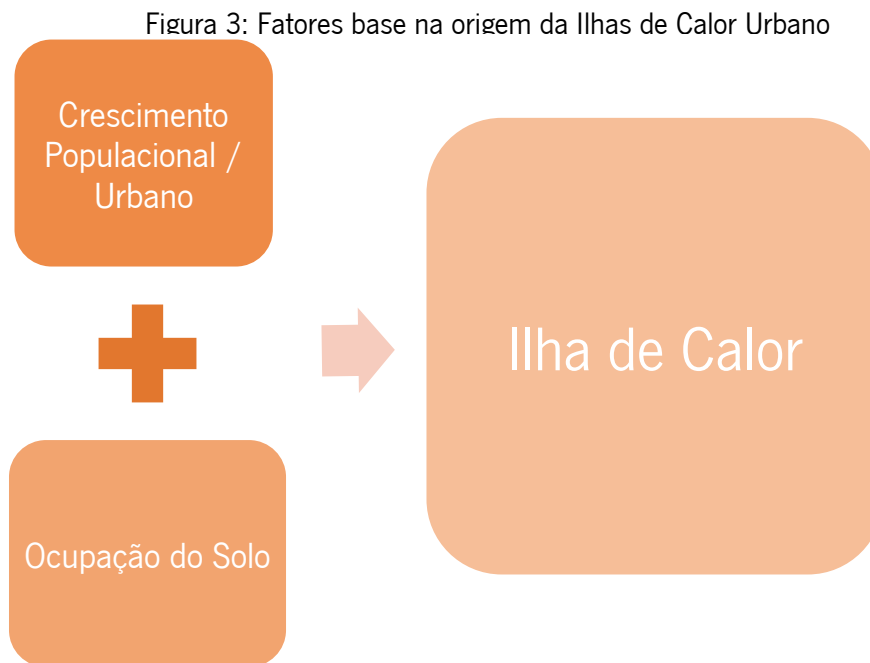
Fonte: Pordata

Figura 2: Densidade Populacional em 2019



Fonte: Pordata

Alguns autores discutem que a crescente urbanização no mundo, e as emergentes ilhas de calor urbano que desta sucedem, é um fator que contribui para o aquecimento global. (Chen et al 2006).



Fonte: Elaboração Própria

Apesar da população se aglomerar nas cidades pela maior oferta de trabalho, de serviços, de infraestruturas, pela existência de um maior fluxo de mercadorias e atividades humanas e por um maior conforto e qualidade de vida, as cidades apresentam desvantagens que podem trazer um grande desconforto a quem nelas habita.

As cidades trazem malefícios sobretudo em relação ao ambiente, pois afetam a biodiversidade da vegetação, dos animais e chocam com as funcionalidades do ecossistema, contribuindo para as alterações do clima urbano e para as alterações climáticas (Luck and Wu 2002).

Como este fenómeno é dificilmente reversível, pois não será possível reduzir/extinguir as cidades onde encontramos uma massificação de construções, e ainda assim as consequências estariam visíveis pois o efeito de estufa é irreversível, resta apenas encontrar medidas de mitigação.

As medidas de mitigação, como o seu significado indica, são medidas introduzidas pelo Homem, de modo a que haja uma redução de um certo impacto ambiental nocivo para as populações e para a natureza.

Após a Segunda Guerra Mundial, e com o aumento do consumo de fontes de energia como o petróleo e os combustíveis fósseis derivado do desenvolvimento económico, há um aumento exacerbado na indústria. Durante vários anos o objetivo das populações era a criação de emprego, o aumento da qualidade de vida a nível financeiro e por isso a criação de novas indústrias a cada dia era observável. Apesar da população se encontrar num caminho de estabilização face aos horríveis acontecimentos da Segunda Guerra, as preocupações ambientais eram postas de lado, fazendo com que houvesse também a destruição de espaços verdes em relação às construções.

Só mais recentemente é que houve um alerta em relação às alterações climáticas e à melhoria da qualidade de vida e do ar pela parte das populações, que levou à criação de espaços livres, jardins e parques públicos uma das soluções para melhorar a qualidade de vida urbana.

Este estudo encontra-se dividido em sete capítulos, sendo os primeiros dois introdutórios e de enquadramento. Os três capítulos seguintes pertencentes ao estado de arte, onde são definidos os três conceitos principais deste estudo: ilha de calor urbano, qualidade do ar e infraestruturas verdes.

No capítulo terceiro, a definição de ilha de calor é com base em diferentes autores, de modo a existir uma definição completa percebendo a importância deste fenómeno, analisando as suas causas que focam sobretudo em quatro pontos: destruição do espaço verde, mau planeamento urbano, densidade populacional e atividade antropogénica e densidade construtiva e impermeabilização do solo urbano. Este capítulo termina com a descrição das consequências e efeitos negativos da ilha de calor urbano na população dos centros urbanos.

No capítulo quarto, o tema é a qualidade do ar, começando por descrever os diferentes tipos de poluentes atmosféricos e a sua origem e os efeitos negativos que estes têm não só na saúde dos habitantes, mas também no ambiente.

Como conclusão da análise bibliográfica no que remete aos conceitos chave deste estudo apresentamos o capítulo quinto relacionado com as infraestruturas verdes. Neste capítulo são apresentados vários tipos de vegetação e infraestruturas verdes, focando sobretudo nos benefícios que estas apresentam nos temas anteriores, respetivamente as ilhas de calor urbano e a qualidade do ar, que interliga com a qualidade de vida da população.

Por fim, são descritos e analisados casos de estudo de centros urbanos onde existem infraestruturas verdes implementadas ou de simulações feitas no âmbito da adoção das infraestruturas verdes como medida de mitigação da poluição e ilha de calor urbana com o objetivo de retirar conclusões sobre o tema.

2. Metodologia

A presente dissertação tem uma base teórica, aprofundando conceitos relacionados com as ilhas de calor urbano, infraestruturas verdes e poluição atmosférica, de modo a serem estudados e discutidos.

Devido à sua base teórica, a pesquisa bibliográfica foi o método principal utilizado, abordando o trabalho de vários autores, recorrendo a artigos científicos e livros já publicados, de onde foram retirados todos os conceitos citados, são o suporte para a obtenção de um vasto leque de informação que permita a aquisição das respostas e resultados procurados em relação ao tema estudado.

Após os conceitos teóricos, serão analisados estudos e casos práticos de cidades onde já se encontram implementadas infraestruturas verdes de forma a serem discutidos os resultados.

Por fim, é feita uma análise e são retiradas conclusões sobre os vários casos práticos apresentados.

3. Ilhas de calor urbanos

Neste capítulo são abordadas as questões primárias para compreensão da Ilha de Calor Urbano, fazendo uma apresentação do conceito, apuramento das causas e explicação das mesmas e por fim enumeradas as consequências deste fenómeno.

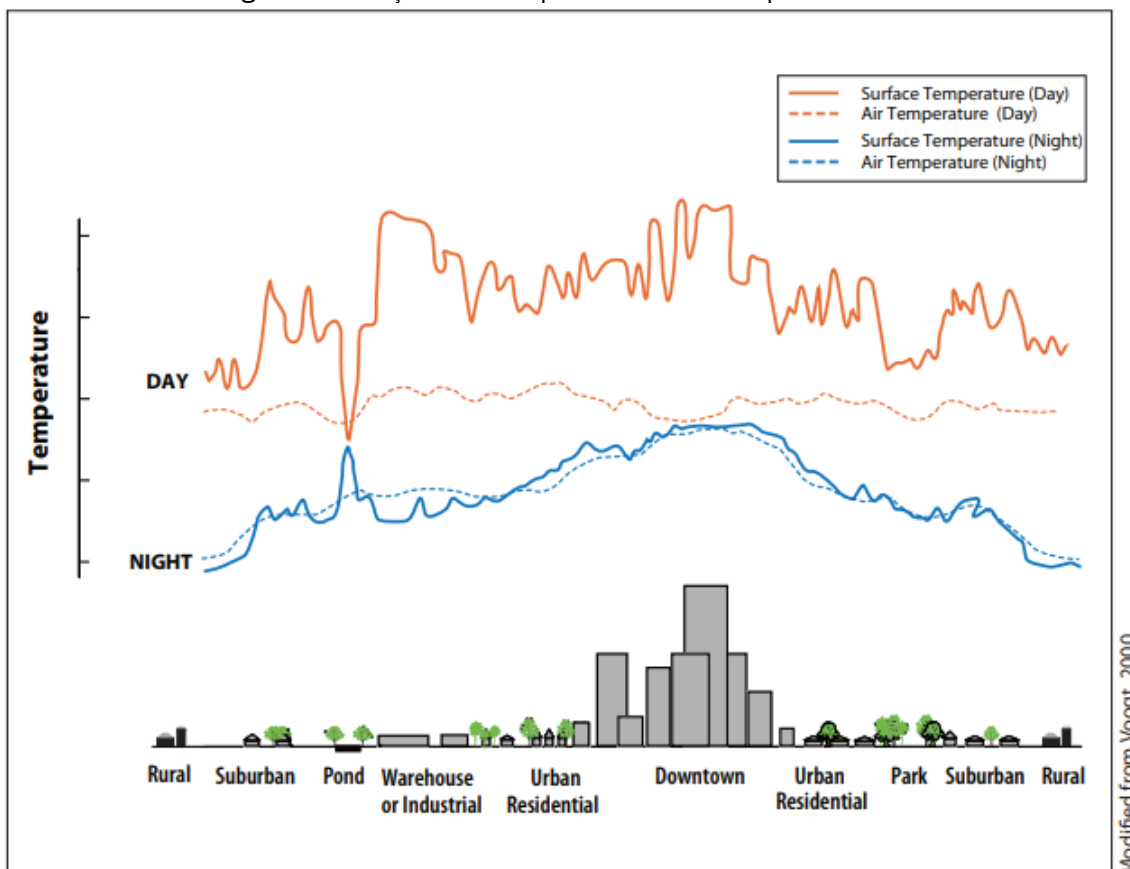
3.1 Definição/Causas

Um dos principais fenómenos que resulta das áreas urbanas é a chamada ‘ilha de calor urbano’ (ICU). O termo é explicado, de forma sucinta, pelo aumento da temperatura nos centros urbanos relativamente às áreas envolventes a estes.

A constituição de uma ilha de calor urbano segundo a United States Environmental Protection Agency, é definida pela diferença de temperatura entre as zonas urbanas e suburbanas em comparação com as zonas rurais. Esta diferença de temperatura entre as diversas zonas urbanas e não urbanas afeta não só o microclima, mas também o consumo de energia e a habitabilidade das cidades (Diab, et al. 2016).

Na Figura 4 é possível observar a diferença de temperatura durante o período da noite e do dia, e ainda entre as zonas urbanas e rurais (United States Environmental Protection Agency – Urban Heat Island Basics), o que nos mostra que as temperaturas são bastante elevadas no centro urbano comparado com a área verde envolvente. Este fenómeno é mais notório durante a noite que durante o dia, pois a irradiação do calor acumulado durante o dia na cidade é mais lenta.

Figura 4: Variações de Temperatura entre a Superfície e o Ar



Fonte: United States Environmental Protection Agency – Urban Heat Island Basics

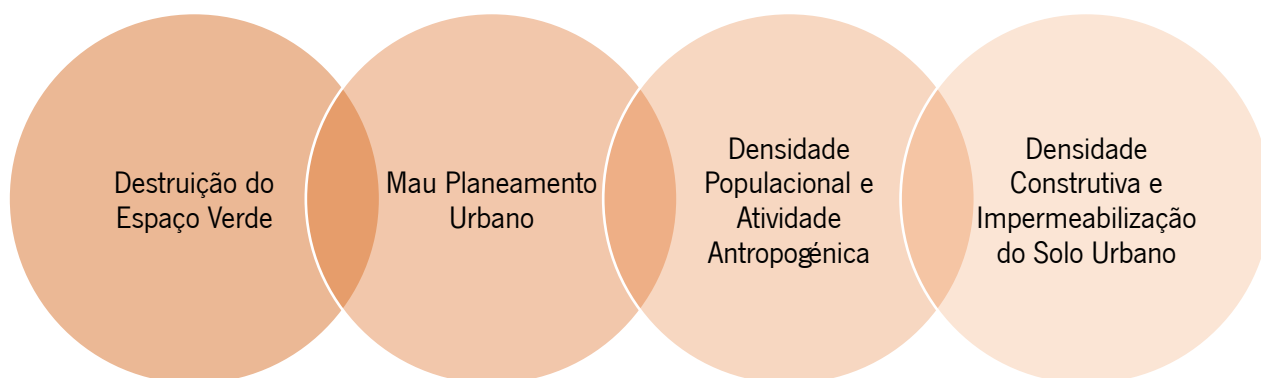
Segundo Yamamoto (2006), este problema surgiu primeiramente na Europa, seguindo-se para as grandes cidades dos Estados Unidos da América e mais recentemente está a ser visível em algumas cidades asiáticas devido à crescente construção de edificado.

Cada vez mais encontramos cidades excessivamente povoadas e edificadas, devido à procura crescente de melhores infraestruturas, infraestruturas estas que vão aumentando, fazendo com que exista um ciclo de oferta/procura.

As várias diferenças entre as áreas rurais e as áreas urbanas, são a causa principal da criação das ICU, e após vários estudos chegou-se à conclusão que estas diferenças assentam em duas grandes categorias que se distinguem pela atuação do ser humano, ou seja, ou são variáveis que o Homem pode controlar, ou que são incontroláveis e dependem de fatores da natureza (Memon, et al. 2008).

Na figura abaixo estão apresentados os fatores que influenciam a formação da ICU.

Figura 5:Origens da Ilha de Calor Urbano



Fonte: Elaboração Própria

3.1.1 Destrução do Espaço Verde

Para procurar resolver as necessidades do espaço urbano, existe uma destruição massificada de espaços verdes a uma larga escala, de modo a existir uma maior área de espaço livre para construção. Os espaços verdes são fundamentais para absorver os gases poluentes e intercepar a radiação solar, fazendo com que o espaço na sua envolvente seja mais fresco e arrefeça, equilibrando a sensação térmica (Akbari et al 2001).

3.1.2 Mau Planeamento Urbano

O planeamento ao nível da malha urbana, está fortemente interligado com a formação das ICU. A opção pela criação de cidades compactas pode trazer alguns benefícios ambientais, nomeadamente os decorrentes da redução da mobilidade de pessoas. Contudo segundo Masson, 2006, o facto de as construções serem projetadas desta forma pode contribuir para o aumento do calor dado ficar retido nos mesmos.

O mau planeamento de áreas urbanas está interligado frequentemente com a elevada pressão de construção, inexistência de zonas verdes, ruas estreitas e com edifícios altos, o que gera uma redução da respirabilidade da cidade. A rugosidade da cidade aumenta originando uma redução velocidade do vento, como resultado o efeito de arrefecimento diminui, intensificando o efeito da ilha de calor (Priyadarsini 2008). O vento e a formação de nuvens tornam-se importantes pois se uma área urbana apresentar ventos fracos, períodos de céu limpo e atmosfera estável apresentam uma maior predisposição para a formação da ICU, pois a quantidade de energia que atinge a superfície urbana é maximizada, enquanto que a quantidade de calor dissipada é minimizada. Áreas densamente edificadas apresentam espaços entre edifícios menores e ruas menos arejadas, obstruindo pontos importantes da dinâmica ecológica da cidade, como os corredores de ventos dominantes.

3.1.3 Densidade Populacional e Atividade Antropogénica

Quanto maior for o número de pessoas a residir em centros urbanos, ou seja, quanto mais elevada for a densidade populacional, maior será a necessidade de aumentar o espaço, o número de habitações, e as infraestruturas existentes de modo a servir toda a população. Este aumento da população acarreta outros fatores, como o crescimento dos níveis de poluição, o aumento da construção, elevação das temperaturas, que originam um desconforto térmico.

A aglomeração de vários indivíduos num espaço faz com que seja gerado calor, calor este que conjugado com alguns fatores, explicados nos subcapítulos seguintes, contribui para o aumento gradual das temperaturas.

Nas áreas urbanas, especialmente nos centros urbanos, a poluição do ar é um problema, os gases dos veículos e das atividades industriais são libertados com elevada frequência no meio ambiente (Bose 2009)

A poluição é em grande parte devida às atividades humanas. A maioria da energia elétrica usada pelo homem assenta em combustível fóssil – a energia fóssil consiste na queima de combustíveis fósseis, isto é, recursos não renováveis, compostos pela decomposição de organismos depositados, quando estes são queimados, o carbono e o hidrogênio reagem com o oxigênio,

durante esta reação é libertado calor que é usado para produzir eletricidade, mas é produzido CO_2 que é emitido para a atmosfera. O CO_2 é um gás efeito de estufa, que absorve a radiação solar retida na superfície, e contribui bastante para o aquecimento, as cidades são assim responsáveis pela emissão de 90% dos GEE (Gases Efeito de Estufa), bem como pela exacerbação do aquecimento global, pois as áreas urbanas apresentam aumentos de temperatura de 3°C - 10°C . (United States Environmental Protection Agency). Com o aumento das emissões CO_2 para atmosfera, a capacidade de reflexão da radiação solar diminui, o que faz aumentar o efeito de estufa e contribui para o aumento das temperaturas.

Com a quantidade de pessoas a aumentar num centro urbano, as quantidades de CO_2 aumentam conseqüentemente, sendo um dos maiores culpados do aumento da temperatura. A forma da população providenciar conforto durante as estações do ano mais quentes é o ar condicionado, que é usado constantemente.

O ar condicionado mantém o edifício interiormente fresco, mas consome energia e liberta calor para a atmosfera (Okwen, 2001), existindo um aumento ainda mais acentuado da temperatura atmosférica.

3.1.4 Densidade Construtiva e Impermeabilização do Solo Urbano

A excessiva construção de edifícios e de infraestruturas nas cidades acarreta também problemas, problemas esses que não só ligados ao facto de a construção ocupar espaço natural ao solo, mas também ligados aos materiais usados na mesma. Os diferentes materiais usados na construção apresentam características diversas e assim efeitos diferentes no ambiente. A importância do tipo de materiais de construção utilizados tem por base a sua capacidade calorífica e a emissividade térmica, pois determinam a forma como a energia solar é refletida, emitida ou absorvida.

O albedo define-se na capacidade de reflexão de um determinado material ou superfície (Growing Green Guide, 2014), isto é, existe um índice que varia de 0 a 1 e quanto maior este índice for, maior é o albedo, logo maior é a capacidade de reflexão da radiação solar pela superfície (Giordano e Kruger, 2013). No caso dos centros urbanos o albedo é baixo, o que se confirma pela elevada temperatura, pois os materiais como o betão absorvem bastante calor, ao contrário por exemplo

onde existe neve, o albedo é maior, pois há assim uma maior reflexão da superfície, fazendo com que não haja tanta absorção de calor, o que torna esses locais mais frescos.

Tabela 1: Índice de Albedo em Diferentes Superfícies

Tipo de Material	Índice de Albedo
Betão	0,1 – 0,35
Betão com cor branca	0,71
Tijolo	0,2 – 0,4
Vidro	0,08

Fonte: Száraz, L. 2014

Devido à grande quantidade de infraestruturas existentes, e a relação entre a altura/distância dos edifícios que geram os chamados Canyons (vales), é definido um índice, denominado de “Fator de Visão de Céu” (FVC), distinguido como a razão entre a porção de céu observado a partir de um determinado ponto da superfície terrestre e aquela que está potencialmente disponível (Memon, et al., 2007). Isto significa que a nossa visão do céu quando nos encontramos no meio dos edifícios é mais reduzida consoante a altura e a proximidade dos mesmos.

O valor do índice varia entre 0 e 1, sendo que 1 corresponde a uma área sem qualquer tipo de obstrução do céu, tendo assim uma vista desimpedida. Este pode influenciar significativamente a temperatura das superfícies e do ar, por exemplo uma rua sem qualquer obstrução do céu encontra-se mais exposta a radiação solar.

Para além dos fatores acima descritos, encontramos também alguns fatores naturais que podem interferir na criação das ilhas de calor urbano, tais como as estações do ano, a localização geográfica de um determinado local, as condições climáticas e ainda o vento e as nuvens. Estas variáveis dependem sobretudo da latitude e longitude, não sendo o Homem capaz de as alterar,

porém algumas poderão sofrer alterações por consequência de atividades antropogénicas (Memon, et al. 2008).

Como anteriormente referido, o clima e a topografia, dependentes da localização geográfica, são cruciais (Wilby 2008). As montanhas podem contribuir para o aumento ou redução dos ventos numa determinada cidade, podendo servir a favor do vento, tornando a cidade mais fresca ou não promover a circulação do ar, tornando a cidade mais quente. (Chen et al. 2006).

Estes fatores combinados fazem com que as Ilhas de Calor Urbano sejam reais, sendo crucial na mudança de temperatura, podendo haver uma alteração até 12 graus (Oke 1982), o que faz com que criem ainda um alerta para serem tomadas medidas de mitigação, visto que erradicar estas “ilhas” seja praticamente impossível.

3.2 Consequências das Ilhas de Calor Urbano na População

As alterações principais no clima urbano, num centro urbano onde predomina o fenómeno da ilha de calor, estão associadas à componente térmica.

Como ilustrado na Tabela 2, há uma redução da evapotranspiração por parte da vegetação, acumulando assim o calor e criando uma zona onde a temperatura aumenta exponencialmente (Baumuller, et al, 2008).

Tabela 2: Efeitos da Ilha de Calor Urbano

	Inverno	Verão
Desconforto da População	✗	✓
Aumento do Consumo da Energia	✗	✓
Mortalidade	✗	✓
Aumento das Doenças Respiratórias	✗	✓
Aumento dos Gases Efeito Estufa	✗	✓
Conforto Térmico	✓	✗
Aquecimento Global	✗	✓

Fonte: Elaboração Própria

Na Tabela 2, identificam-se as consequências da ICU durante as estações de inverno e verão. No inverno o fenómeno ICU apresenta-se como um efeito favorável para a população, as temperaturas mais baixas tornam-se mais amenas, as casas ficam mais quentes devido à absorção do calor, o que traz mais conforto e torna mais agradável a vivência das pessoas. No verão, já se verifica o contrário no que toca ao conforto, a dispersão da energia solar fica reduzida, havendo uma maior absorção da radiação solar pela superfície, aumentando as temperaturas e causando, o chamado ilha de calor, onde é sentido um desconforto devido ao ar quente e abafado (Akbari ,2006)

Este fenómeno influencia direta e indiretamente a saúde e o bem-estar das populações que residem nos centros urbanos, a temperatura durante o dia aumenta e o arrefecimento durante a noite fica reduzido, que juntamente com a poluição torna o ar irrespirável, aparecendo doenças respiratórias, exaustão, doenças cardiovasculares e até mortes (Organização Mundial Da Saúde (2005) Europe Particulate Matter Air Pollution: How It Harms Health)

4. Qualidade do Ar

A qualidade do ar é fundamental para o bom funcionamento dos ecossistemas e da população, é um indicador ambiental que indica o nível de poluição do ar e que deve ser monitorizado de modo a prevenir problemas ambientais e salvaguardar o bem-estar das populações evitando exposições aos poluentes. As fontes de emissão dos poluentes atmosféricos podem ser de origem natural ou de origem antropogénica.

4.1 Poluentes Atmosféricos

Uma das causas mais graves das ilhas de calor urbano assenta na poluição atmosférica, que se tornou num dos principais fatores para a degradação da qualidade de vida das populações nos centros urbanos. Este problema tende a agravar-se devido ao aumento da dimensão dos espaços urbanos e da mobilidade da população (Silva, L. 2012)

A poluição ambiental é maioritariamente originada nas cidades com um grau elevado de urbanização e atividade industrial, decorrentes da atividade humana. As atividades industriais, os automóveis, estão diretamente ligados aos problemas ambientais globais e de saúde pública, uma vez que todas estas atividades emitem gases extremamente poluentes para a atmosfera (Horgnies et al, 2012)

Na Europa, aproximadamente 97% dos cidadãos que habitam em centros urbanos, encontram-se expostos a níveis de poluentes elevados, por exemplo 44% no que diz respeito ao ozono troposférico e 14% ao NO₂ (EEA, 2001), tornando a poluição uma característica das grandes cidades europeias.

A qualidade do ar tornou-se uma das preocupações ao nível da qualidade de vida urbana e assim foram redigidos planos como a Estratégia Temática sobre o Ambiente Urbano, publicada em 2004, que aponta para a adoção de planos de gestão ambiental, nomeadamente a nível de ruído e qualidade do ar. Este documento conta com indicadores de ambiente urbano, os Indicadores

Comuns Europeus, que foram criados com o objetivo de serem a base de tratamento de questões ambientais em zonas urbanas pelas autoridades locais (Silva, L. 2012)

Os poluentes como o monóxido de carbono (CO), os óxidos de azoto (NO_x), o dióxido de enxofre (SO₂), o ozono (O₃), a matéria particulada, como as partículas inaláveis (PM₁₀ e PM_{2,5}) e partículas totais em suspensão (PTS), os compostos orgânicos (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) são gases poluentes, nocivos para o homem e alguns responsáveis pelo efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global e as mudanças climáticas.

- **Óxidos de Azoto (NO_x):**

Os óxidos de azoto (NO_x) são um conjunto de gases altamente reativos, os quais contêm diferentes conteúdos de Oxigénio e Azoto. A maior parte destes são incolores e inodoros fazendo com que passem despercebidos ao ser humano. Estes têm na sua origem combustão, como por exemplo os combustíveis automóveis (Silva, L. 2012)

A elevada temperatura originada da combustão, assim como a velocidade de fluxo no local da combustão e a composição do combustível são alguns dos fatores que estão na base da criação destes óxidos de azoto (Saravanan et. al 2012, Baukal, 2004). As principais fontes emissoras antropogénicas de NO_x são os motores de veículos automóveis (55%), equipamentos elétricos (22%) em paralelo com fontes industriais/comerciais/residenciais (Silva, L. 2012)

A queima de combustíveis fósseis, a combustão de biomassa, as utilizações de fertilizantes originam os óxidos de nitrogénio, que representam duas espécies moleculares, sendo uma o dióxido de nitrogénio (NO₂) e o monóxido de nitrogénio (NO) (Horgnies et al, 2012).

- **Ozono (O_3):**

O Ozono é originado pelos óxidos de azoto e compostos orgânicos voláteis que na presença

de luz solar desencadeiam um conjunto complexo de reações que conduzem à sua formação e ao aumento das concentrações. Este apresenta uma característica que dependendo da sua localização pode causar benefício ou danos à vida na Terra. O ozono encontrado a uma altitude aproximada de 25 km acima da superfície da Terra, a “Camada de Ozono”, na estratosfera desempenha um papel fundamental, pois constitui um filtro aos raios ultravioletas provenientes do Sol, permitindo assim a existência de vida na Terra.

O Ozono ao nível do solo é considerado um poluente, formado na atmosfera em resultado de atividade fotoquímica, sendo denominado um poluente de verão (Silva, L. 2012)

- **Partículas (PM_{10} e $PM_{2,5}$):**

As PM's, são um conjunto de materiais particulados que se encontram suspensos na atmosfera. São denominados pelo seu tamanho, e apesar de terem diferentes variedades, os mais problemáticos são os PM_{10} e $PM_{2,5}$. (Agência de Proteção Ambiental dos Estados)

Estes podem permanecer no ar por longos períodos de tempo ou, devido à gravidade, cair e não se sustentar no ar por muito tempo. As partículas apresentam duas origens, primária ou secundária, a origem primária reflete-se na emissão diretamente para a atmosfera com o tráfego rodoviário, queima de materiais, entre outros. As origens secundárias formam-se indiretamente na atmosfera, através de reações químicas de poluentes atmosféricos. (Silva, L. 2012)

As PM_{10} , são um conjunto de partículas no estado sólido ou líquido com um diâmetro equivalente ou inferior a $10\mu\text{m}$, normalmente classificadas como respiráveis ou fração respirável. As $PM_{2,5}$ são também um conjunto de partículas no estado sólido ou líquido, mas com um diâmetro equivalente ou inferior a $2,5\mu\text{m}$. (Silva, L. 2012)

Em relação à sua composição, este material pode ser composto de inúmeros químicos diferentes, como os poluentes acima referidos, como o sulfato de enxofre e os óxidos de nitrogénio, e são maioritariamente emitidos nos centros urbanos. Os centros urbanos são um aglomerado de indústrias, automóveis, construções, que dão origem ao material particulado. Estes também são originados de forma natural, pela poeira do solo, ao sal do mar, aos distúrbios geológicos, aos restos biológicos, aos incêndios florestais e a oxidação de gases biogênicos reativos, ou qualquer fumo que possa existir na atmosfera (Viana, et al. 2008)

Estas partículas finas têm um tempo de residência longo na atmosfera e podem penetrar profundamente nos pulmões, assim, a toxicidade do material particulado fino é mais elevada do que a de partículas grossas no ar.

Dentro do universo das partículas finas, as que mais chamam atenção em função dos problemas de saúde são as partículas com tamanhos de 10 μm e 2,5 μm , PM10 e PM2,5.

Estas partículas apresentam efeitos negativos no ambiente. Nas grandes cidades encontramos por vezes uma neblina, especialmente nas estações do ano mais húmidas, que degrada a visibilidade e é formada pelo encontro da luz com as partículas em suspensão. Devido ao seu tamanho, as partículas podem ser arrastadas pelo vento nas mais variadas direções, percorrendo distâncias elevadas, acabando por se depositar nos mais variados locais. Quando as mesmas acabam por se depositar em lagos, ou zonas com água, podem contribuir para a acidez do lugar, mudando um ciclo natural, pois mudam o equilíbrio dos nutrientes outrora existentes, de forma a prejudicar a saúde das espécies que lá habitam. O mesmo se passa nas florestas, devido à mudança drástica dos nutrientes no solo, debilitando os lugares mais frágeis do planeta (Castro, H. S., Araújo, R. S. e SILVA. M. M., 2013).

○ **Monóxido de Carbono (CO):**

O Monóxido de Carbono é um gás incolor e inodoro, formado na combustão de combustíveis fósseis devido normalmente a condições de carência de Oxigénio. A fonte mais significativa deste poluente é a fonte automóvel, com valores na ordem dos 85% a 95% (Silva, L. 2012).

Este poluente está majoritariamente presente nas estações mais frias, pois permanecem junto do solo devido às condições de inversão atmosférica.

○ **Dióxido de Carbono (CO_2):**

O dióxido de carbono é um dos gases mais conhecidos como ‘gás efeito de estufa’, sendo responsável pela possibilidade e desenvolvimento de seres pluricelulares, ou seja, seres compostos com várias células, como os seres humanos que dependem do oxigênio para obter energia. Este é emitido através de várias origens: expiração humana, queima de combustíveis fósseis, incêndios, entre outros (Silva, L. 2012).

○ **Benzeno (C_6H_6):**

O benzeno é um composto presente no crude e as suas emissões surgem durante a queima de carvão, a utilização de produtos como a gasolina ou petróleo sobretudo na forma de vapor. Os níveis encontrados no ambiente podem variar de 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em áreas rurais a 349 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em zonas industriais com elevados fluxos de tráfego. Durante o abastecimento de combustível a automóveis, foram encontrados níveis acima de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Este é facilmente dissolvido pela água da chuva (Silva, L. 2012).

O dióxido de enxofre é também um gás tóxico e que possui elevada reatividade quando combinado com outros gases. É um dos gases responsáveis pela chuva ácida e é um dos principais componentes das partículas finas em suspensão no ar.

De acordo com o Relatório de Qualidade do Ar 2019 da Agência Europeia do Meio Ambiente, as cidades excedem regularmente os padrões europeus de qualidade do ar para os níveis de $PM_{2,5}$ prescritos pelas Diretrizes de Qualidade do Ar e pelas Diretrizes de Qualidade do Ar recomendadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

As ilhas de calor urbano de verão muitas vezes aceleram a formação de fumos prejudiciais que contribuem para degradar a vida humana e o ambiente circundante desta.

4.2 Efeitos Negativos dos Poluentes de Ar

Segundo a Organização Mundial de Saúde, a qualidade do ar, ou falta desta, está rotulada como um dos maiores contribuintes para problemas de saúde nas grandes cidades.

Há vários poluentes nos centros urbanos que condicionam a curto e longo prazo a vida da população, assim como das espécies vegetais e animais que nestes habitam. A degradação da qualidade do ar é um problema que atinge o mundo inteiro, apesar disso não é um problema que atinge de forma homogênea o globo (Levieveld et al, 2015).

Afirma-se que a mortalidade mais elevada no que toca à ligação com a qualidade do ar é na China. Em 2015 estimou-se que 53% da população europeia está exposta a doses excessivas de PM10 e que a concentração de PM2.5 juntamente com outros poluentes levam a cerca de 477.500 mortes prematuras (Mori, J., Ferrini, F., et al, 2018). As zonas mais poluídas na Europa são o norte da Itália, Alemanha, Polónia, República Checa e o Sul de Espanha. Mais ainda podemos aferir uma ligação entre a qualidade do ar e as alterações climáticas podendo uma levar à agravação da outra, isto é, as próprias alterações climáticas podem agravar os problemas de poluição do ar. Em muitas regiões do mundo, as alterações climáticas tendem a afetar o clima local, incluindo a frequência das vagas de calor e os episódios de estagnação de massas de ar.

Em baixo, é apresentada uma tabela explicativa dos vários poluentes e dos seus malefícios para a saúde.

Tabela 3: Efeitos dos Poluentes na Saúde

Poluente	Efeitos
Material Particulado	Doenças Respiratórias: Asma, Bronquite; Falta de ar; Mudanças no sistema pulmonar; Doenças Cardiovasculares; Morte.
Ozono (O ₃)	Doenças Respiratórias: Asma, Bronquite; Falta de ar; Infecção Pulmonar; Envelhecimento e deterioramento precoce dos pulmões; Infecções respiratórias; Doenças Cardiovasculares.
Monóxido de Carbono (CO)	Asma; Infecção Pulmonar; Infecções Respiratórias.
Óxido de Azoto (NO _x)	Envelhecimento bastante rápido do sistema respiratório podendo levar a falência dos pulmões; Doenças Cardiovasculares.
Dióxido Sulfúrico (SO ₂)	Dores no peito; Falta de ar aguda; Alterações pulmonares

Fonte: Mori, J., et al, 2018

○ **Óxidos de Azoto (NO_x):**

Os Óxidos de Azoto afetam gravemente a saúde das populações. Por serem gases incolores são mais difíceis de detetar, apesar do seu cheiro característico (Organização Mundial de Saúde). Estes causam inúmeros problemas de saúde, como irritação ocular e pulmonar, originam ainda graves doenças respiratórias como bronquite, cancro ou enfisema pulmonar (Silva, L. 2012)

As faixas etárias mais frágeis, como crianças, idosos e pessoas com doenças pulmonares tais como a asma, são suscetíveis a efeitos adversos, tais como danos nos tecidos pulmonares e redução da função respiratória.

○ **Ozono (O₃):**

O Ozono apresenta uma característica peculiar, este dependendo da sua localização pode trazer benefícios ou malefícios à Terra. Na estratosfera é formada a “Camada de Ozono”, um filtro formado naturalmente para proteger os raios ultravioleta da Terra, de forma a que se forme vida na Terra. Se o mesmo se localizar à superfície, ao nível do solo, é considerado prejudicial pois é

resultado de atividade fotoquímica, tornando-se um poluente (Silva, L. 2012). Este interfere com a saúde da vegetação, quando expostas a este poluente a sua capacidade de armazenar alimento diminuí tornando-as mais suscetíveis a doenças, danificando as suas folhas (Silva, L. 2012).

O ozono é capaz de provocar efeitos negativos mesmo quando a sua concentração é baixa. Este poluente causa irritação e inflamações nos pulmões e dificuldade de respiração.

Em relação aos efeitos negativos no ambiente, verificamos que a poluição atmosférica conduz à degradação ambiental e tem impacto nos ecossistemas naturais e na biodiversidade. O ozono ao nível do solo (O_3) pode danificar culturas, florestas e outras vegetações, prejudicando o seu crescimento e impactando na biodiversidade.

- **Partículas (PM10 e PM2,5):**

As partículas, dependendo do seu tamanho, apresentam impactes na saúde e do meio ambiente. A exposição a elevadas concentrações de partículas inaláveis pelos seres humanos pode causar asma, bronquite, diminuição das funções pulmonares e morte prematura.

Ao nível do ambiente esta é uma das principais causas de perda de visibilidade podendo ter efeitos negativos como acidentes.

- **Monóxido de Carbono (CO):**

Monóxido de Carbono é extremamente perigoso pois tem como efeito o bloqueio do oxigénio aos órgãos mais importantes do corpo, trazendo lesões irreparáveis ao ser humano, como redução da capacidade de compreensão, diminuição da destreza manual e dificuldade na execução de tarefas complexas e ainda problemas visuais graves. A exposição a níveis extremamente elevados pode causar a morte (Silva, L. 2012)

Existem ainda outros poluentes que são prejudiciais, por exemplo a deposição de compostos de azoto pode causar eutrofização, um excesso de oferta de nutrientes. Tal como os compostos de enxofre, os compostos de azoto também têm efeitos acidificantes. Tanto a eutrofização como a acidificação podem afetar os ecossistemas terrestres e aquáticos e podem levar a mudanças na diversidade de espécies e invasões por novas espécies (Duprè, et al., 2010).

A alteração das condições climáticas e o aumento das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e outros poluentes, como o azoto reativo, modificam as respostas da vegetação ao O₃. Além de afetarem o crescimento das plantas, estes modificadores influenciam a quantidade de O₃ recolhida pelas folhas, alterando assim a magnitude dos efeitos no crescimento das plantas, nos rendimentos das culturas e nos serviços do ecossistema (Harmens et al., 2015b).

A vegetação é também capaz de produzir compostos orgânicos voláteis, que podem ser prejudiciais para a saúde humana. Estes são produzidos como uma espécie de mecanismo de defesa contra insetos e doenças, de forma a manterem-se saudáveis. (Fini, et al, 2017)

Estes compostos orgânicos voláteis, na presença de temperaturas elevadas reagem com outros poluentes, aumentando a concentração de ozono mais próximo da superfície e da população (Schollert, et al 2014). Esta reação apesar de ser a uma escala pequena comparativamente aos vários poluentes que se encontram na atmosfera, continua a existir, mas poderá ser facilmente resolvido pela escolha ponderada de espécies vegetais que apresentem uma menor criação destes compostos. (Chang, et al, 2012)

Posto isto, e depois de conhecidos todos os efeitos negativos para o ambiente e população, é necessário tomar medidas para mitigar o efeito.

As estratégias para mitigação da poluição passam pela redução da emissão de poluentes, pela sua deposição/ eliminação ou pela dispersão dos mesmos. Iremos aprofundar uma das estratégias possíveis, que é a adoção de infraestruturas verdes.

5. Infraestruturas Verdes

A Comissão Europeia, na sua comunicação sobre as infraestruturas verdes, descreve as mesmas como “uma ferramenta para fornecer benefícios ecológicos, económicos e sociais por meio de soluções baseadas na natureza, para ajudar a entender as vantagens que a natureza oferece à sociedade humana e para mobilizar investimentos que sustentem e aumentem esses benefícios.” (Agência Europeia Do Ambiente - Green Infrastructure And Territorial Cohesion, 2011).

Por outras palavras áreas naturais ou seminaturais que podem oferecer serviços que sustentem o bem-estar humano e qualidade de vida das populações.

5.1 Definição

A criação de espaços ou infraestruturas verdes aparece pela falta dos mesmos nos centros urbanos, como medida de mitigação para a ilha de calor e para a diminuição da poluição, que são definidas por Madureira (2008), como “um sistema integrado de áreas verdes multifuncionais que relaciona a cidade com a sua envolvente enquanto infraestrutura biofísica e social integrante do território”. Esta definição vai ao encontro à definição de Benedict e McMahon (2006), que refere a infraestrutura verde como “uma rede protetora da terra e da água que suporta as espécies existentes, mantendo os processos ecológicos naturais e os seus recursos, assim como uma rede que contribui para a qualidade de vida das populações”.

A Agência Europeia do Ambiente define que as infraestruturas verdes contribuem na minimização dos riscos de catástrofes naturais, pois ajuda a garantir a sustentabilidade dos ecossistemas, através do aumento da sua resiliência face aos problemas ambientais.

Naumann et. al (2011) definem infraestruturas verdes como uma rede de áreas verdes, podendo estas ser naturais ou seminaturais, que servem para assegurar a biodiversidade, beneficiar a população e para promover o ecossistema.

A importância das áreas verdes no espaço urbano está conectada com a quantidade, a qualidade e a sua distribuição na malha urbana, ou seja, os espaços verdes devem formar uma continuidade no centro urbano. A infraestrutura verde pode ainda fornecer múltiplas funções e benefícios na mesma área espacial. Essas funções podem ser ambientais (por exemplo, conservar a

biodiversidade ou adaptar-se às mudanças climáticas), sociais (parques de lazer) e económicas (fornecer empregos e elevar os preços dos imóveis). (Agência Europeia Do Ambiente - Green Infrastructure And Territorial Cohesion, 2011)

Os espaços verdes urbanos, públicos e privados, devem assumir uma crescente importância nas políticas regionais e municipais, de modo a existir uma ligação ao espaço rural envolvente.

A estrutura verde pode ser distinguida de uma forma genérica, em dois grandes grupos, a estrutura verde principal e a estrutura verde secundária. A sua principal diferença está na localização geográfica de cada uma delas.

A principal é definida como a “transição entre a paisagem rural e urbana”, ou seja, estão incluídas áreas verdes de maior dimensão, como as áreas de produção agrícola, margens dos cursos de água, florestas, entre outros. A secundária, integra-se na parte urbana, sendo mais limitada em termos de espaço e por isso de dimensão menor, nesta estão incluídos os jardins, parques e espaços de recreio no centro urbano, assim como praças e logradouros.

Para além de principal e secundária, podemos ainda desmembrar as infraestruturas verdes em mais dois ramos referentes à sua localização, públicos e privados.

Os privados, maioritariamente jardins e espaços associados a instituições, são de uma dimensão mais reduzida e devem encontrar uma conectividade funcional com os espaços públicos, de modo a aproveitar todos os benefícios que resultam destes espaços.

Os espaços públicos, constituem elementos de sociabilização e são projetados segundo a malha urbana e as características do solo, conseguindo com que estes, jardins ou parques, sejam não só um elemento visual como um elemento que ajuda na permeabilidade do solo.

Incluídos nos espaços públicos, encontraremos um leque de opções que as autarquias podem adotar para melhorar a permeabilização do solo, os escoamentos e a estética visual de uma cidade.

Os jardins de chuva (Figura 6) são depressões que recebem o escoamento da água pluvial. Estes jardins de cotas mais baixas e pequenas dimensões podem ser projetados nas ruas, perto de

edifícios, pois são desenhadas para receber as águas do escoamento superficial de áreas impermeáveis (Herzog, 2009; Martins, 2011; Cingapura 2011).

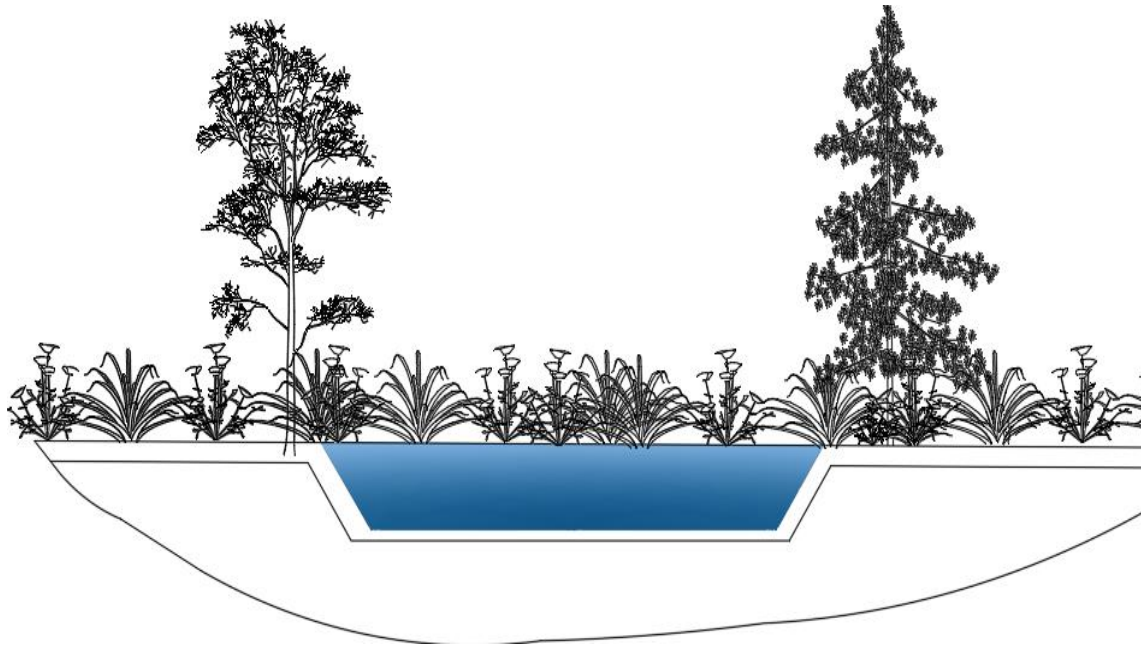
Este método é responsável por gerir as águas pluviais através da sua retenção, de modo a que a água se infiltre no solo, que para além de reduzir o volume de água à superfície, filtra também todos os poluentes e resíduos sólidos que estejam presentes na água.

Os jardins de chuva podem ser integrados num local com um elevado grau de flexibilidade e podem integrar-se bem com outros sistemas de gestão estrutural, incluindo parques de estacionamento. As plantas absorvem poluentes enquanto os microrganismos associados às raízes das plantas e ao solo os decompõem. O solo filtra os poluentes e permite o armazenamento e infiltração de escoamento de águas pluviais, proporcionando controlo de volume.

As técnicas de bio retenção devidamente concebidas fornecem uma camada de composto que age como uma esponja para absorver e segurar o escoamento. A vegetação no jardim da chuva pode ser diversificada, através da utilização de muitas espécies e tipos de plantas, resultando num sistema tolerante a insetos, doenças, poluição e tensões climáticas (Cormier, N., Pellegrino, P. 2008)

Estes são instalados sobretudo em zonas residenciais, onde se pode tirar melhor partido da sua componente estética, uma vez que estes sistemas são concebidos como autênticos jardins, pois contribuem para a melhoria de estética.

Figura 6: Jardins de Chuva



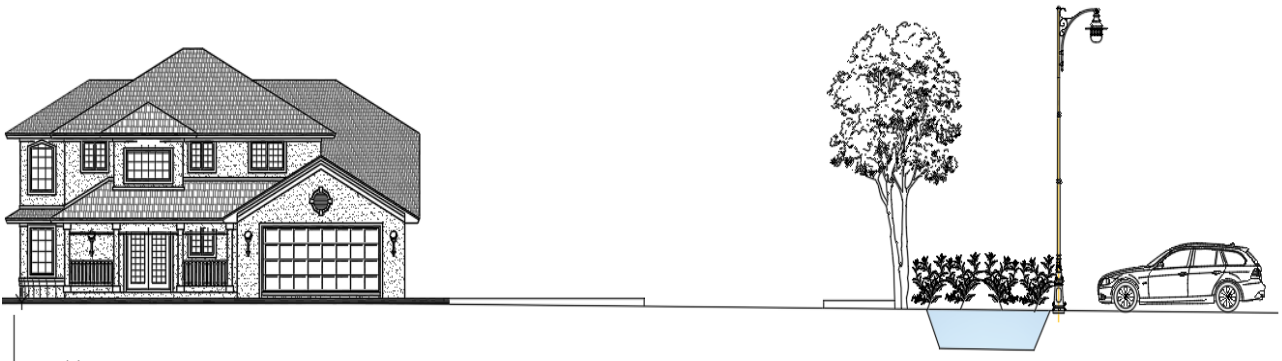
Fonte: Elaboração Própria

As valetas de retenção ou biovaletas (Figura 7) são, como o nome indica, valas ou jardins lineares cujo objetivo é purificar as águas superficiais, pela sedimentação, filtração e absorção (Cormier, N., Pellegrino, P. 2008).

Estas são constituídas por canais amplos, rasos projetados para retardar o escoamento, promover a infiltração e filtrar poluentes e sedimentos no processo de transmissão de escoamento. A água é filtrada através do solo e transportada por tubos, sendo rapidamente drenada, evitando a água parada.

As valetas normalmente são constituídas por uma camada de vegetação, seguindo de uma camada de solo permeável. Estas são instaladas sobretudo perto de estacionamentos ou estradas, devido à sua fácil instalação e ao pequeno espaço que ocupam.

Figura 7: Valetas de Retenção



Fonte: Elaboração Própria

Os telhados verdes (Figura 8), são constituídos por estruturas de vegetação instalada no topo dos edifícios, de modo a que não só retenha a água da chuva, mas também com funções de isolamento do edifício, havendo assim uma poupança energética e diminuição da emissão de gases efeito de estufa. Segundo Wong (2005), em média, os telhados representam cerca de 21 a 26% da área de uma cidade, o que os torna favoráveis à criação de infraestruturas verdes.

Os telhados verdes são adotados sobretudo em cidades com uma malha urbana mais densa, onde o espaço livre entre edifícios é escasso, usando assim o topo dos edifícios na cobertura verde do centro urbano.

Figura 8: Telhados Verdes



Fonte: Elaboração Própria

Esta é uma hipótese vantajosa não só pela sua localização, pois os telhados raramente são utilizados para quaisquer atividades, mas também pela vantagem económica. Está comprovado que os telhados convencionais são reparados inúmeras vezes ao longo dos anos, ação da luz solar e da água das chuvas, por outro lado os telhados verdes aumentam a durabilidade até 20 anos (Henrique, B., Mendes, E. 2014)

Um dos efeitos favoráveis das coberturas verdes é o impacto no ruído. A precipitação, é uma fonte de ruído nos telhados tradicionais e por isso cobrir os mesmos com vegetação ajuda a atenuar o ruído até 20 dB (Kolasa, A., Suszanowicz, D., 2019)

Vários autores corroboram a teoria sobre a redução das partículas finas no ar em locais com vegetação, neste caso telhados verdes, com uma descida de 6% deste material - Currie e Bass (2005) estimam que 109 hectare de telhados verdes na cidade de Toronto, no Canadá, originam

uma descida de 5 a 10% de NO₂ e uma redução de 30 toneladas de material particulado. Yang et.al (2008), confirma ainda que em Chicago, nos Estados Unidos, uma área de 19.8 hectares de telhados verdes, originam uma remoção anual de 1675 kg de poluentes.

As coberturas com materiais com maior absorção geram problemas comunitários como a necessidade de usar mais energia elétrica e maior desperdício devido ao desgaste do material (Gartland, 2011).

A cobertura extensiva consiste na utilização de vegetação que requiere pouca manutenção, sendo esta caracterizada por um substrato de crescimento de pouca espessura, o que limita a diversidade das plantas. Por outro lado, têm de ter a capacidade de resistir às condições climáticas extremas. É utilizada vegetação do tipo musgos. sistemas não são normalmente irrigados e requerem uma manutenção mínima. Destinam-se sobretudo a ser autossustentáveis (Dunnett e Kingsbury, 2008).

A cobertura intensiva, ao contrário das coberturas extensivas são implementadas com vegetação que requiere uma manutenção mais regular, mais irrigação e fertilização. São utilizadas plantas mais rasteiras como arbustos e gramíneas e geralmente são uma solução com um custo menor (Raposo, F. 2013)

Segundo Barbosa e Fontes (2016), cada um apresenta vantagens e desvantagens que devem ser ponderadas antes de implementarem esta solução. Na tabela abaixo é possível observar as diferenças entre os tipos de coberturas verdes extensivos e intensivos.

Tabela 4: Coberturas Verdes Extensivas VS Coberturas Verdes Intensivas

Coberturas Verdes Extensivas	Coberturas Verdes Intensivas
pouca diversidade de espécies, condições menos favoráveis e pouca irrigação	com sistema de irrigação, diversidade, condições mais favoráveis
Vantagens	
Os telhados ficam mais leves	Maior diversidade de plantas
Adaptados para áreas de maior dimensão	Boas propriedades de isolamento
Aplicável em telhados inclinados	Esteticamente mais agradável
Baixa manutenção e extensa duração	
Não é necessário um sistema intenso de irrigação	
Desvantagens	
Menor eficiência energética e menores benefícios na retenção da água	São mais pesadas para os telhados
Escolha limitada de plantas	Precisam de uma maior irrigação. Elevada manutenção

Fonte: Barbosa, M., Fontes, M. 2016

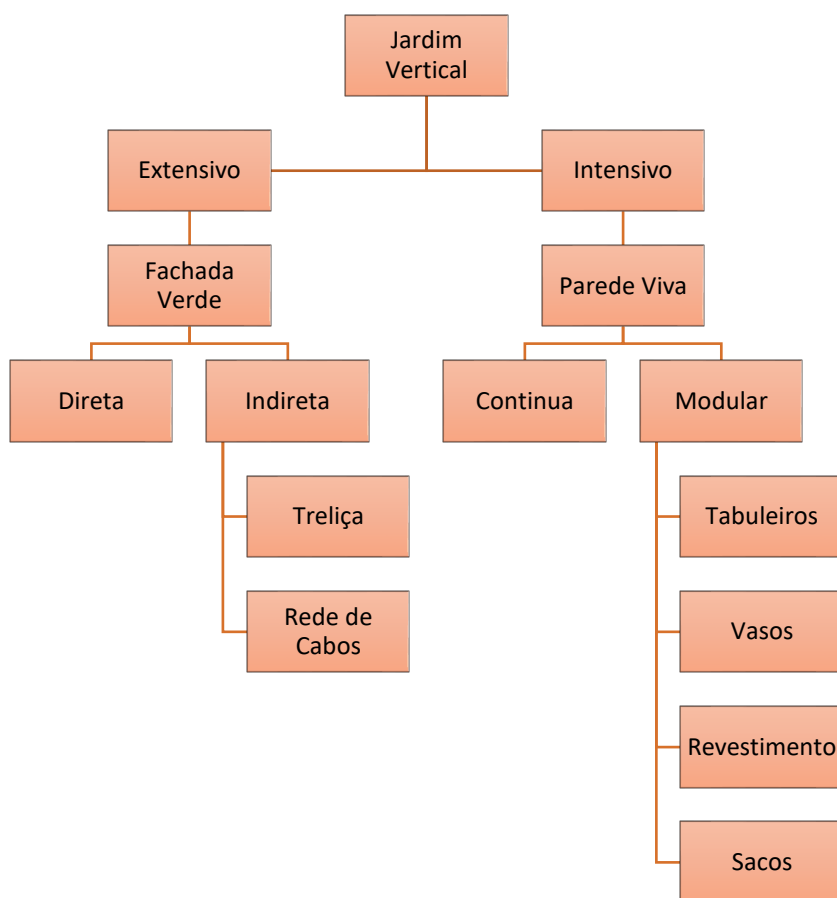
Um estudo feito por Singh, 2015 sobre a importância das coberturas verdes na temperatura dentro dos edifícios, conclui que:

- > Reduz a temperatura da superfície em 8°C durante o dia;
- > A temperatura da superfície do telhado é 1-2°C mais baixa que o ar ambiente, enquanto que num telhado sem cobertura verde é 10°C mais elevada.

Por fim, os jardins verticais, são fachadas revestidas com vegetação. Estas podem ter vegetação a cobrir a parede diretamente encostadas, usando um tipo de planta que se adapte, como plantas trepadeiras, ou por um meio de suporte que simplesmente cobre a parede atrás.

De acordo com Loh (2008), um jardim vertical refere-se à vegetação que cresce diretamente na parede da construção ou em um sistema estrutural separado, que pode ser independente e adjacente ou fixo na parede.

Tabela 5: Jardins Verticais Extensivos VS Jardins Verticais Intensivos



Fonte: Barbosa, M., Fontes, M. 2016

Podemos encontrar dois tipos de jardins verticais, os extensivos e intensivos (tabela 5). A fachada verde, tipo de jardim vertical extensivo, consiste no uso de espécies trepadeiras, podendo estas crescer diretamente na parede, sendo assim diretas ou indiretas se crescerem por um sistema adjacente à parede, com recurso a uma estrutura (Barbosa, M. e Fontes, M., 2016).

Os sistemas indiretos podem ser feitos por uma rede de cabos, isto é, existe uma rede com vários cabos interligados entre si que são fixados na parede, ou então por treliças, que são uma espécie de grelha de metal que direciona o desenvolvimento de plantas ao longo de toda a superfície.

Tabela 6: Fachada Verde Direta VS Fachada Verde Indireta

Fachada Verde Direta	Fachada Verde Indireta
Vantagens	
Baixo Custo de Instalação	Não causa danos na fachada
Fácil Instalação	Menos problemas com a humidade
Pouca Manutenção	
Desvantagens	
Demora na cobertura total da parede	Custo mais elevado
Elevada Humidade	Maior complexidade na construção

Fonte: Barbosa, M. e Fontes, M., 2016

Em relação ao jardim vertical intensivo, as *living walls* ou paredes vivas, são todas as espécies de vegetação que são postas na fachada de uma forma mais artificial, estas podem ser pré-plantadas ou plantadas diretamente na parede, mas são presas em estruturas de suporte. Este tipo de jardim vertical possui alta tecnologia nos processos de produção e instalação, e permite a integração da natureza em edifícios altos. De acordo com Habda et al. (2017), as plantas que aderem diretamente às fachadas de um edifício têm a vantagem de não necessitarem de um sistema de suporte, mas a desvantagem de demorarem anos para cobrir a totalidade da fachada.

Este tipo de jardim vertical, apoia-se na construção de uma estrutura metálica de suporte, placas de PVC e camadas de geotêxtil, a vegetação é plantada no geotêxtil, que deixa a planta crescer livremente sem ficar presa apenas ao seu próprio suporte, este geotêxtil por sua vez está preso a uma placa impermeável de PVC, para tornar o suporte rígido e seguro, sendo este preso por suportes metálicos à fachada, fazendo com que haja uma mistura de espécies de vegetação, constituindo assim a parede viva. Além disso, a estrutura metálica, presa à parede, permite um afastamento entre o sistema e a construção, que transforma o conjunto num sistema eficiente de isolamento térmico e acústico, além de manter a integridade do prédio (Manso e Castro-Gomes, 2015).

Habda et al. (2017), relatam ainda que as espécies vegetais que não possuem raízes adesivas, isto é que não possam crescer diretamente junto a uma fachada, precisam de um sistema de suporte que as ajude a crescer. A vantagem que estes sistemas de suporte trazem é o espaço

entre a parede e as plantas, onde poderá ser instalado um sistema térmico para o edifício, não havendo também uma deterioração tão grande da fachada devido ao crescimento das plantas.

Estas estruturas podem ser feitas em tabuleiros, vasos, revestimentos e sacos flexíveis.

Os jardins verticais apresentam um elevado número de vantagens, sendo estas as seguintes:

- Adequam-se a qualquer edifício;
- Como não têm limite de altura, podem ser de grande dimensão;
- Resultado imediato, não sendo necessário esperar pelo crescimento da vegetação;
- Existe uma escolha de espécies enorme;
- Funcionam como membrana impermeável nos edifícios e isolamento.

Figura 9: Fachada Verde



Fonte: Elaboração Própria

Esta solução apesar de ser mais onerosa, devido à necessidade de uma manutenção mais frequente, é usada sobretudo em locais em que o espaço escasseia, ou em edifícios bastante altos pois estima-se que as plantas como a hera, apenas atinjam uma altura de 10 metros na prática (Habda, L. et al 2017)

5.2 Benefícios das Infraestruturas Verdes

As infraestruturas verdes trazem inúmeros benefícios aos centros urbanos, não só ao nível da mitigação da ilha de calor e da diminuição da poluição atmosférica, mas também a nível cultural, recreativo e ecológico.

Segundo a GEOTA (2007), as áreas verdes desempenham funções ecológicas, recreativas e culturais.

As funções ecológicas passam pelos seguintes pontos:

- Proteção de áreas naturais e de habitats para plantas e animais, contribuindo para a manutenção da biodiversidade;
- Manutenção da vegetação ripícola;
- Filtro de poluentes, melhorando a qualidade do ar e da água;
- Medida de adaptação das comunidades bióticas às mudanças ambientais de longo prazo.

Como função recreativa, ou de lazer, contribuem para a criação de vias para a mobilidade alternativa, como vias pedonais ou ciclovias, que servem não só para interligar a cidade de modo a reduzir o uso de veículo automóvel, mas também para influenciar a população ao exercício físico.

Por fim, como função cultural, os espaços verdes contribuem para a preservação do património histórico e cultural e para a manutenção e valorização da qualidade estética da paisagem, fazendo com que a população se sinta mais confortável (GEOTA 2007)

De acordo com Ferreira, L. (2013), a vegetação tem um impacto positivo também a nível de drenagem dos solos, estabilidade dos solos, ruído, saúde e bem-estar e biodiversidade.

A nível de drenagem dos solos e estabilidade dos mesmos, a vegetação é fundamental para a sua permeabilidade. A retenção da água da chuva é feita através das folhas e troncos, o que contribui para a infiltração da água no solo, de modo a diminuir o escoamento superficial, e contribui ainda para a manutenção da humidade e temperatura do terreno, o que resulta numa menor

probabilidade de erosão. A malha urbana deve estar em união com a impermeabilização do solo, isto é, o solo mais permeável deve ser mantido descoberto ou com vegetação para continuar a circular a água, não havendo margem para inundações. Os espaços com vegetação retêm a água nas suas folhas ou no solo, diminuindo o escoamento.

As infraestruturas verdes, por muito pequenas que sejam, são sempre favoráveis a várias espécies de animais que necessitam de vegetação para sobreviverem. As várias áreas verdes, no seu conjunto formam uma barreira de prevenção de fragmentação da vida animal, havendo assim uma biodiversidade maior.

É importante escolher a vegetação certa para cada local específico, por exemplo os arbustos têm raízes pouco profundas e bastante densas, e são ideais para filtrar a água sem que o solo fique inundado. As árvores mais altas e com maior densidade, são a melhor opção para locais onde a precipitação é abundante, pois ajudam a diminuir o impacto da força da chuva.

5.2.1 Nas Ilhas de Calor Urbano

Em relação às ilhas de calor urbano, as árvores arrefecem os edifícios pela sombra, o que conseqüentemente baixa o uso de meios artificiais para refrigerar os edifícios.

A evapotranspiração consiste na evaporação da água pelas espécies vegetais e pelos solos, na forma de vapor, para a atmosfera (Blowler 2010). Uma árvore individual pode atuar como um fator de arrefecimento natural, usando a evaporação da água para a descida da temperatura. Este processo é responsável pelo consumo de 60% de energia solar incidente na vegetação, podendo uma árvore transpirar até 400 litros de água por dia, dependendo da sua dimensão e da zona geográfica onde se insere.

No inverno, este fenómeno não é tão notório pois com a mudança da estação, as folhas das árvores caem e sendo que as temperaturas não são tão elevadas, a evapotranspiração é menor.

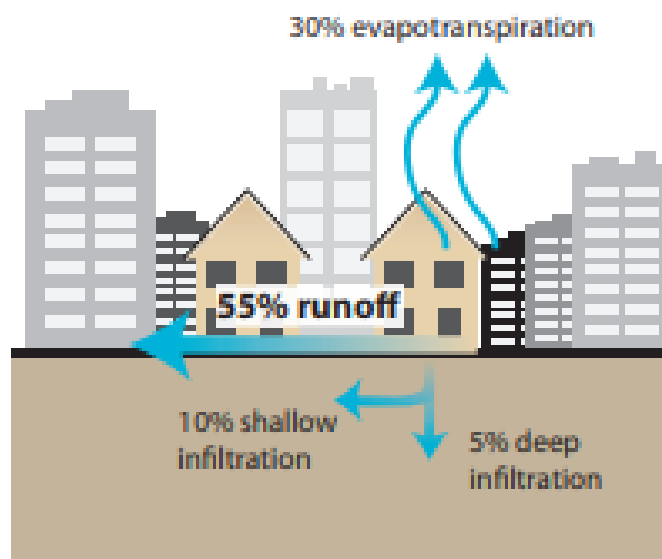
Durante o verão, o fenómeno da evapotranspiração é mais elevado originando um arrefecimento do ar acentuado, reduzindo assim a sensação térmica, de modo a que a população sinta um

conforto térmico muito maior junto das áreas verdes da cidade. Contrariamente nos locais onde a construção é mais intensa, este fenómeno não se faz sentir.

A evapotranspiração torna-se também diferente consoante o tipo de pavimento (impermeável, permeável, com cobertura vegetal ou rígido) existente nas áreas urbanas com superfícies impermeáveis (Figuras 10 e 11). As áreas com maior impermeabilização registam uma menor evapotranspiração, o que contribui também para o aumento da temperatura (United States Environmental Protection Agency – Urban Heat Island Basics, 2012).

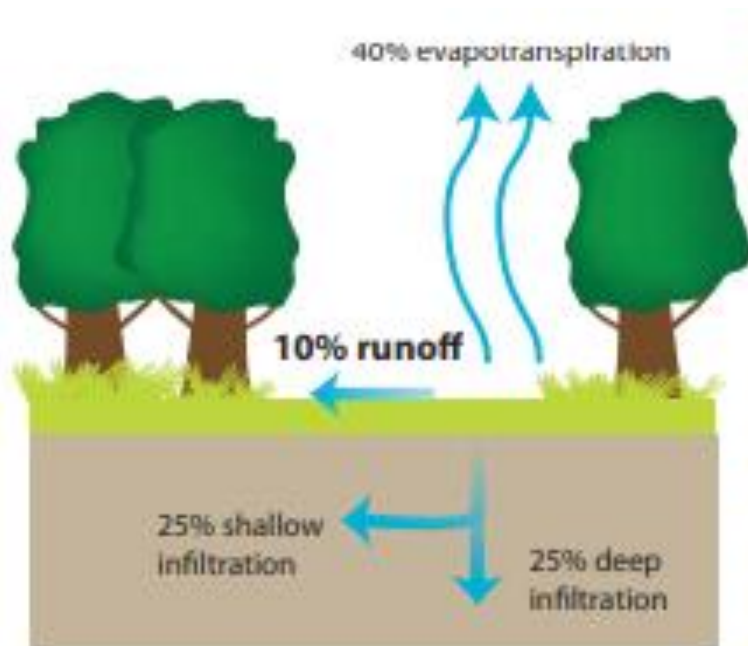
Acredita-se que na evapotranspiração é usada o dobro da água que é perdida dos escoamentos, isto é, as infraestruturas com água ou solos que possam reter a água são fundamentais para a evapotranspiração e para o conseqüente arrefecimento da temperatura.

Figura 10: Impermeabilidade do Solo face à Evapotranspiração



Fonte: United States Environmental Protection Agency – Urban Heat Island Basics

Figura 11: Permeabilidade do Solo face à Evapotranspiração



Fonte: United States Environmental Protection Agency – Urban Heat Island Basics

Para além da evapotranspiração, a vegetação é também responsável pela redução da temperatura pelo meio de sombras, com a plantação de árvores, principalmente nos centros urbanos as superfícies recebem menos radiação solar direta devido à sombra que estas fazem no solo, o que faz com que a radiação solar não seja absorvida pela superfície.

No que toca à ventilação, as áreas verdes, neste caso as árvores e arbustos, conseguem reduzir a velocidade das correntes de ar entre 20% a 50%, estas ocorrem gradualmente o que torna o efeito mais permanente e eficiente na sensação térmica. Além do efeito de abrandamento do vento, a vegetação é responsável pela filtragem do ar, na deflexão e na condução do vento para os diversos corredores formados no tecido urbano.

A nível ambiental, estas reduzem o efeito da ilha de calor urbano refrescando o ar através do fenómeno da evapotranspiração, confirmando-se uma redução de pelo menos 1°C durante o dia e durante a noite em espaços urbanos que instalam infraestruturas verdes. A qualidade do ar é também um ponto fulcral, pois as árvores e outros tipos de vegetação conseguem remover PM's, gases poluentes e gases que causam o aumento de efeito de estufa.

5.2.2 Na Qualidade de Vida da População

Os benefícios das infraestruturas verdes são tanto de âmbito social como ambiental, por exemplo, a nível social, os espaços verdes melhoram a saúde mental pois reduzem o nível de stress e a ansiedade e melhoram a saúde física.

As árvores ao longo dos passeios e à face das estradas, apesar de ocuparem um espaço mais limitado, apresentam ser benéficas para a população assim como para o ambiente. Os níveis de asma são mais baixos em áreas com mais árvores, tal como outras doenças respiratórias e ainda problemas cardiovasculares.

Por fim, a criação destas infraestruturas traz benefícios económicos, pois a sua manutenção é necessária e conseqüentemente há criação de oportunidades de emprego, e há ainda um valor acrescentado às cidades que apostam nestas infraestruturas, devido ao efeito positivo que têm nas populações há uma maior procura por cidades com infraestruturas verdes, e ainda pelos turistas.

Na vertente populacional, as áreas verdes são associadas ao lazer e ao desporto. As autarquias promovem os parques como áreas de convívio social, não só para o exercício de atividade física, mas também para implementar um bem-estar e melhoria na saúde da população que normalmente está rodeada de edifícios.

Um estudo de Ulrich (1984), numa unidade de saúde hospitalar, sobre o benefício das áreas verdes na saúde, mostra que após analisar pacientes em internamento verificou que aqueles que tinham quartos com vista para parques recuperavam mais depressa, e usavam menos medicação. O autor concluiu que há uma ligação entre as áreas verdes e a redução do stress, da ansiedade e da depressão.

Há várias instituições que implementam os chamados “jardins de cura”, sendo estes jardins que incentivam ao convívio com a natureza, principalmente em lares de idosos onde estes são “obrigados” a permanecerem lá (Universidade do Texas, 2003)

Este fenómeno de cura associada, é explicado pela associação que o ser humano faz da natureza com o lazer, ou momentos de serenidade, por outro lado associa a cidade ao ruído, trabalho, tráfego automóvel, o que traz ansiedade (Ulrich, et al. 1984)

5.2.3 Na Qualidade do Ar

É atualmente comprovado que a vegetação apresenta aspetos positivos no que toca à melhoria da qualidade do ar nos centros urbanos (Nowak et al, 2013). Esta influência pode ser ao nível de: meteorologia (temperatura do ar, absorção da radiação), captação de poluentes, e redução das emissões produzidas por atividades antropogénicas (Nowak, D., Rao, S., Civerolo, K. 1999).

Como referido, a redução dos poluentes acontece devido a dois fenómenos, a captação dos poluentes sólidos através das folhas das plantas ou através da absorção de poluentes gasosos e para isto é necessário saber as características das várias espécies de modo a plantar a que melhor se adapta ao propósito pretendido.

Em primeiro lugar, para além da tolerância à poluição atmosférica devem também ter uma baixa emissividade de compostos orgânicos voláteis. As espécies escolhidas devem ser adequadas para as condições específicas de cada local, tendo em conta por exemplo se o local é propício a secas, inundações, neve, sombra, para serem selecionadas de acordo com a sua tolerância a estas variantes (Kumar, P., Barwise, Y. 2019)

A vegetação é importantíssima na filtração do ar, e algumas espécies de vegetação cumprem melhor essa função devido à dimensão das suas folhas e às suas características. Por exemplo, as folhas com características mais rugosas são mais eficazes na captura das partículas ao contrário das superfícies mais lisas (Beckett et al. 2000).

As árvores afetam a qualidade do ar devido a dois grandes processos, sendo estes: arrefecimento da temperatura ambiente, o que faz com que haja uma redução na formação de neblina, e pelo processo de remoção dos poluentes, gasosos ou particulados do ar. As árvores removem poluentes como CO, NO_x, O₃ e SO₂, pelas folhas. Nowak, realizou uma análise da redução de carbono por árvores de várias espécies em função do diâmetro do caule da árvore medido à altura do peito

(dbh). O mesmo autor estima que uma árvore de dimensão média com um dbh de 31–46 cm retém carbono a uma taxa de 19 kgCO₂/ano. Os dados indicam que à medida que as árvores crescem, a taxa de retenção aumenta. Este cálculo sugere que as árvores urbanas desempenham um papel importante no sequestro de CO₂ e, assim, contribuindo para a redução do aquecimento global.

As árvores que melhor cumprem esta função são as perenes, isto é, uma árvore cujas folhas são permanentes ao longo das estações do ano, estas têm um potencial maior na intercepção dos poluentes pois conseguem filtrar ao longo do ano, ao contrário das árvores com folha caduca que perdem as suas folhas sazonalmente (Popek et al, 2013).

A escolha da vegetação é baseada sobretudo na estrutura e dimensionamento da via pública, para tal é necessário calcular o padrão de dispersão dos poluentes, podendo-se para o efeito usar vários parâmetros como o H/W, sendo que H é a altura dos edifícios e W a distância entre os mesmos.

A relação H/W é distinguida entre três intervalos:

- entre 0,5 e 2 – ruas de largura moderadas (Figura 12);
- menor ou igual a 0,5 – ruas mais largas (Figura 13);
- maior ou igual a 2 – ruas estreitas (Figura 14).

No caso das ruas com maior largura é aconselhado o uso de árvores, mas de média ou pequena dimensão, paredes verdes e arbustos para uma melhor filtragem da poluição (Kumar, P., Barwise, Y., 2019).

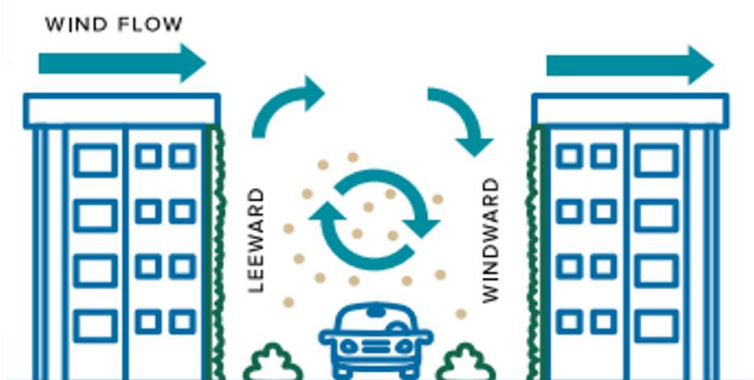
Nas ruas de largura moderadas são mais aconselhadas paredes verdes e vegetação de dimensão mais pequena como os arbustos (Kumar, P., Barwise, Y., 2019).

Por fim, nas ruas mais estreitas é apenas aconselhado o uso de paredes verdes devido à falta de espaço para implementar vegetação de maior dimensão e também para existir uma maior circulação do ar (Kumar, P., Barwise, Y., 2019).

Figura 12: $0,5 < H/W < 2$

$0,5 < H/W < 2$
RUA MODERADA

Recomendado:
Árvores – Não
Arbustos – Sim
Fachadas Verdes - Sim



Fonte: Kumar, P., Barwise, Y., 2019

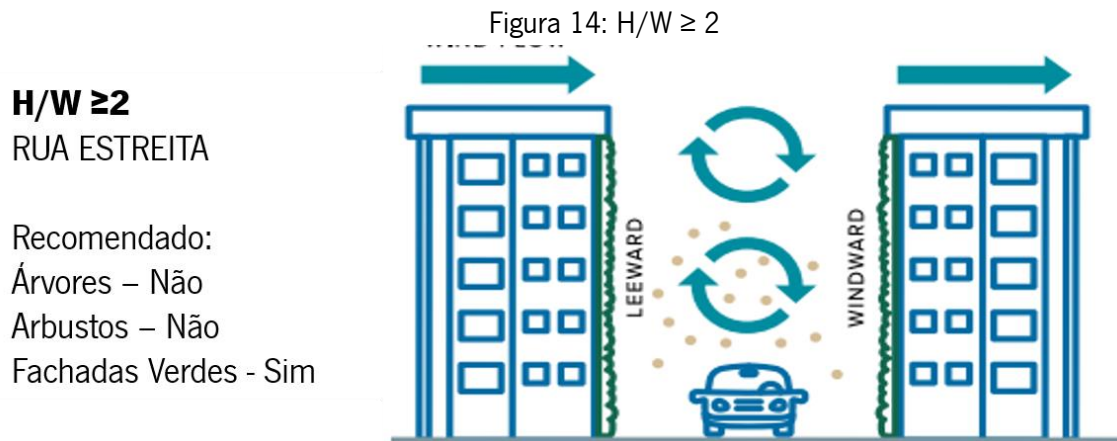
Figura 13: $H/W \leq 0,5$

$H/W \leq 0,5$
RUA EXTENSA

Recomendado:
Árvores – Sim, se apenas
num dos lados da rua
Arbustos – Sim
Fachadas Verdes - Sim



Fonte: Adaptado de Kumar, P., Barwise, Y., 2019

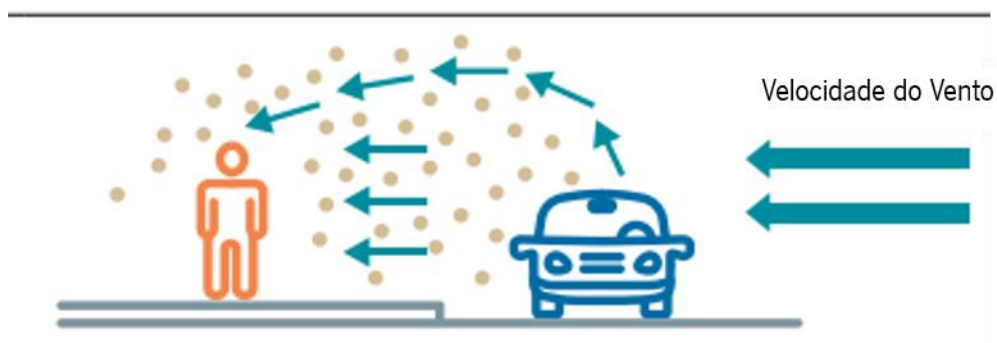


Fonte: Adaptado de Kumar, P., Barwise, Y., 2019

Kumar e Barwise (2019), abordam ainda a plantação de vegetação em locais onde não existe barreiras de separação entre os passeios e a estrada.

Na Figura 15 podemos ver que não existindo qualquer tipo de barreira entre os peões e os automóveis, todas as emissões poluentes originadas pelo tráfego automóvel são projetadas para os peões.

Figura 15: Inexistência de barreiras entre pedestres e automóveis



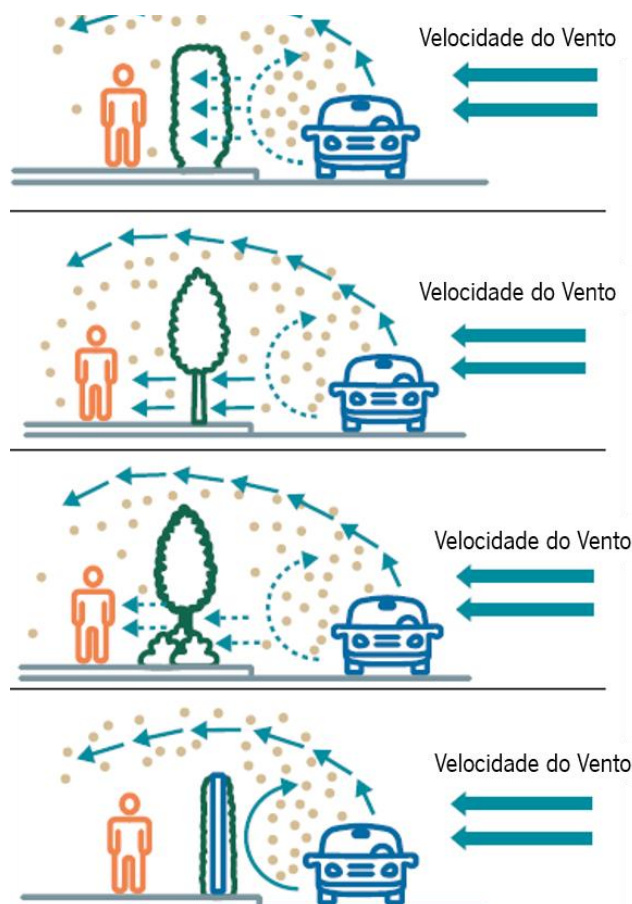
Fonte: Adaptado de Kumar, P., Barwise, Y., 2019

Na Figura 16 é possível confirmar o efeito dos vários tipos de vegetação quando implementadas como barreira, sendo que qualquer tipo de vegetação ajuda na redução da dispersão dos poluentes, existem opções que cumprem melhor esta filtragem.

As árvores quando combinadas com arbustos de pequena dimensão criam uma barreira mais completa e por isso encontramos melhores resultados do que apenas com a plantação de árvores. O que prova proteger melhor os peões das emissões de poluentes são as paredes verdes pois são mais compactas e mais densas.

O recomendado é que a vegetação apresente uma altura mínima de 1,5m e uma espessura de aproximadamente 5m (Kumar e Barwise, 2019).

Figura 16: Tipos de barreira entre peões e automóveis



Fonte: Adaptado de Kumar e Barwise, 2019

Existem plantas que servem melhor os seus propósitos do que outras, por exemplo, no centro da cidade os arbustos formam uma linha ao longo das estradas capazes de filtrar os poluentes sem impedir a passagem do vento, pois a vegetação deve manter uma porosidade que permita a passagem do ar (Al-Dabbous e Kumar, 2014), já em áreas de menor edificado, como estradas mais amplas, as árvores de grande dimensão funcionam melhor devido à altura da vegetação ser superior à da fonte de emissão de poeiras (Etyemezian et al., 2004).

O programa I-Tree Species, foi desenhado para ajudar na escolha das espécies mais apropriadas para cada tipo de local. Baseado sobretudo no potencial máximo que cada vegetação poderá ter de modo a melhor servir os efeitos desejados. Os utilizadores escolhem de 0 a 10 a importância do serviço que pretendem para ser mais fácil o programa calcular a melhor espécie para o pretendido (I-Tree Tools)

No planeamento de uma cidade, as estruturas verdes a serem adotadas no meio urbano devem partir da malha urbana, da forma como esta é estruturada, tendo em conta a dimensão do espaço, a proximidade dos edifícios e até a sua altura.

Num centro urbano denso, a escolha deve recair sobre arbustos ou árvores de dimensão ligeiramente mais reduzida, isto porque árvores de grande porte podem *estagnar* o ar, intensificando a poluição (Salmond et al, 2013). Ao contrário de locais mais amplos, por exemplo, uma autoestrada ou avenidas com um espaçamento elevado, é recomendável usar árvores maiores de modo a abranger uma área superior. Nas autoestradas este princípio é usado sobretudo para formar uma barreira que poderá absorver também o ruído de forma natural.

Assim, segundo Kumar e Barwise, 2019 é recomendado que a plantação seja feita com espaçamento de aproximadamente três metros entre as várias espécies, de modo a que o ar possa circular (Al-Dabbous and Kumar, 2014; Chen et al., 2015).

Nas avenidas com elevada concentração de tráfego automóvel, os arbustos e árvores servem de barreira a que os poluentes dos automóveis não entrem em contacto direto com a população e com as zonas pedonais.

A vantagem principal das infraestruturas verdes é a sua multifuncionalidade. Se forem desenhadas e implementadas de forma eficiente, estas são flexíveis e adaptam-se a qualquer tipo de circunstância urbana, para melhorar a qualidade do ar, a biodiversidade, o conforto térmico e a gestão da água no solo, para além dos benefícios de saúde e de estética.

6. Análise de Casos de Estudo

A nível global existem várias cidades que apresentam intervenções recorrendo a infraestruturas verdes com vista à redução das temperaturas nos centros urbanos e na melhoria da qualidade de vida e conforto da população. Uma intervenção é definida em 5 estágios (Morrison-Saunders, A., Hayes, N., 2012) sendo eles:

- Evitar os danos ambientais – se há medidas que evitem os danos devem ser aplicadas;
- Minimizar os danos – caso não possa ser evitado, deve ser o menor possível;
- Retificar – controlar os danos feitos;
- Reduzir – se não for possível retificar os danos feitos, tentar reduzir ao máximo o dano;
- Compensar/mitigar – Se não puder também ser minimizado, deverá ser compensado com medidas de mitigação;

Derivadas desta necessidade de intervenção, alguns países têm adotado medidas obrigatórias para uma melhor gestão e integração da vegetação no espaço urbano. No caso do Brasil, alguns estados impõem leis como: “desconto no pagamento anual de imposto predial e territorial urbano, na adoção de telhados verdes em imóveis urbanos” – Projeto de Lei nº4887/09; ou o decreto de lei nº14.243/07, onde descreve que “a adoção de telhados verdes em espaços urbanos têm como objetivo: minimizar as chamadas ilhas de calor urbano; minimizar a poluição atmosférica; criar corredores verdes; reduzir o consumo de energia elétrica; atuar como isolamento térmico e/ou acústico e promover o desenvolvimento sustentável”.

Seguidamente são apresentadas boas práticas de algumas cidades baseadas na utilização de soluções e estratégias verdes, tendo como objetivo a melhoria da qualidade ambiental urbana.

6.1 Bolonha:

O projeto iSCAPE (Melhorando o Controle Inteligente da Poluição do Ar na Europa), foi um projeto europeu de investigação e inovação (setembro de 2016 - dezembro de 2019). Este projeto trabalhou na integração e avanço do controle da qualidade do ar e das emissões de carbono em cidades europeias por meio do desenvolvimento de estratégias sustentáveis e passivas de remediação da poluição do ar, intervenções políticas e iniciativas de mudança comportamental. Este projeto envolveu várias cidades europeias, Bolonha, Dublin, Barcelona, entre outras.

Sobre as iniciativas implementadas em Bolonha, no âmbito do iSCAPE, tiveram como objetivo o melhoramento da qualidade do ar e do conforto térmico na malha urbana na cidade de Bolonha em Itália. Estas iniciativas foram desde workshops, de modo a informar a população das alterações climáticas e da poluição do ar e a incentivar a mesma a contribuir para a mudança e resolução dos problemas ambientais, até a estudos e criação de sistemas de controlo da poluição.

Assim, o estudo de Bolonha é um ponto interessante devido à concentração de poluição na cidade, havendo a possibilidade de as infraestruturas verdes oferecerem uma solução para o problema da poluição atmosférica.

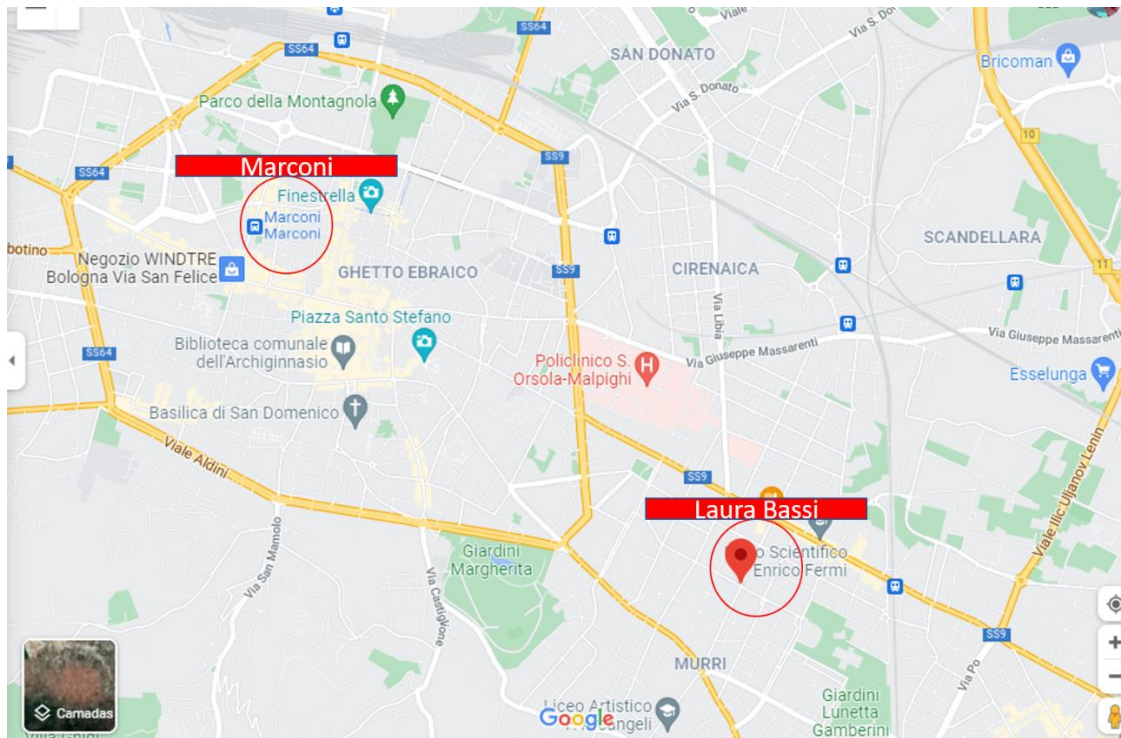
Foram estudadas duas áreas urbanas distintas, Marconi e Laura Bassi num período de verão (18/08/2017 a 24/09/2017) e num período de inverno (16/01/2018 a 14/02/2018). Estes dois locais foram escolhidos pela sua semelhança a nível de orientação (N-S) e a nível de tráfego automóvel, com a distinção da presença de vegetação, que ao contrário da rua Laura Bassi que abunda em árvores, Marconi é quase livre da mesma.

Figura 17: Áreas de Estudo de Bolonha



Fonte: iSCAPE Project 2021

Figura 18: Localização da área de estudo de Bolonha:



Ao longo das duas ruas foram instaladas carrinhas equipadas para recolher dados sobre a poluição atmosférica e dados meteorológicas. Estes laboratórios móveis dispunham de equipamentos para medir as concentrações de poluentes como dióxido de azoto (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), ozono (O₃) e partículas (PM₁₀ e PM_{2.5}) (Air Pollution And Meteorology Monitoring Report, iSCAPE 2018)

Foram também utilizadas câmaras térmicas para quantificar características térmicas dos vários elementos físicos das ruas (fachadas dos edifícios, via pública, passeios, entre outros) e as variações da temperatura.

As Tabelas 7 e 8, registam os dados meteorológicos recolhidos nas duas estações de verão e inverno, em Bolonha.

Tabela 7: Temperatura e Velocidade do Vento nas Áreas de Estudo de Bolonha - Verão

	Local	Média	Mínimo	Máximo
Velocidade do Vento (m s ⁻¹)	Marconi	1.2	0.2	5.8
	Laura Bassi	0.4	0.1	2.5
Temperatura (°C)	Marconi	22.1	12.7	35.4
	Laura Bassi	21.6	11.8	38.5

Fonte: Air Pollution and Meteorology Monitoring Report, iSCAPE 2018

Tabela 8: Temperatura e Velocidade do Vento nas Áreas de Estudo de Bolonha - Inverno

	Local	Média	Mínimo	Máximo
Velocidade do Vento (m s ⁻¹)	Marconi	0.9	0.2	5.7
	Laura Bassi	0.4	0.1	3.3
Temperatura (°C)	Marconi	6.7	0.7	14
	Laura Bassi	5.9	-0.7	16

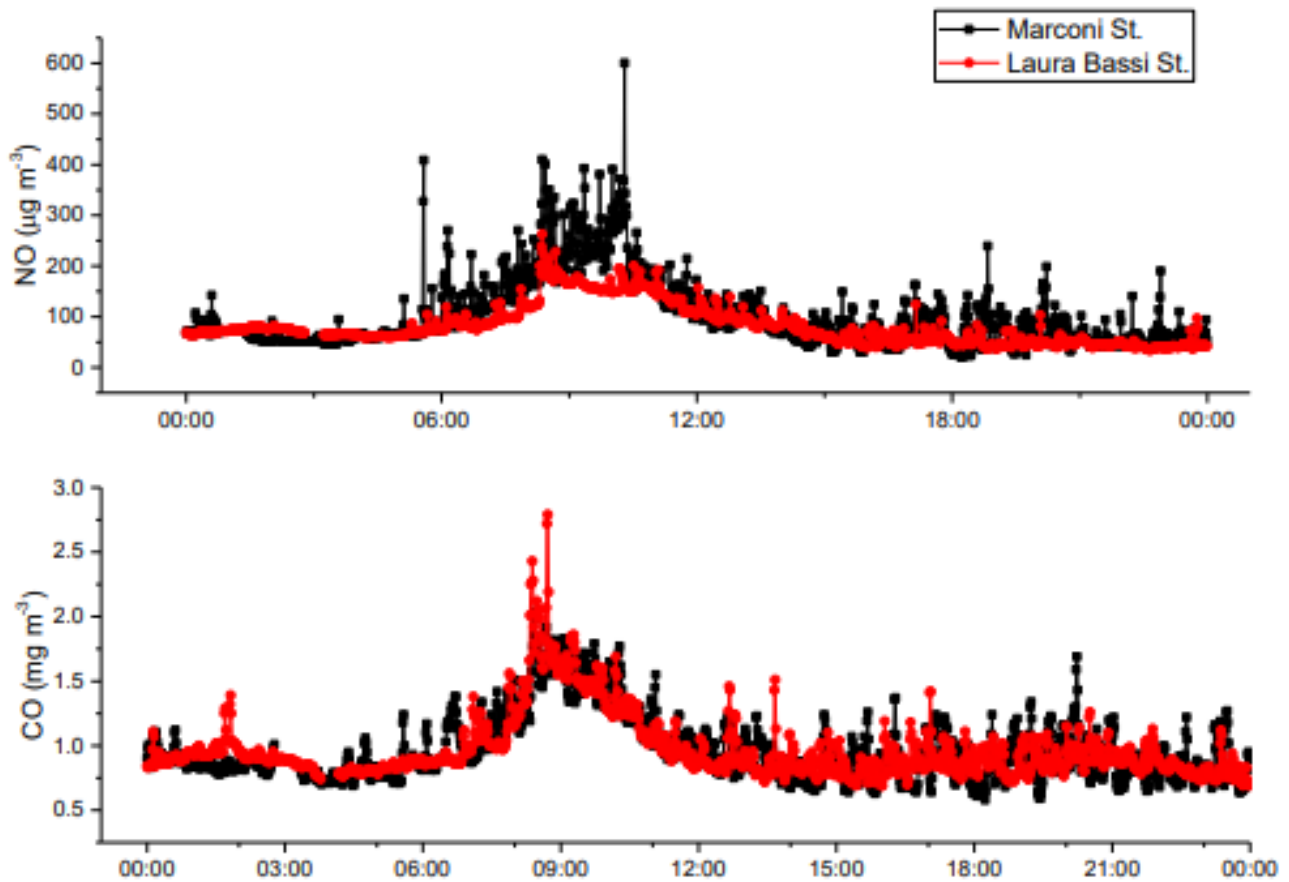
Fonte: Air Pollution and Meteorology Monitoring Report, iSCAPE 2018

Assim podemos verificar que o vento é inferior na rua Laura Bassi durante os dois períodos de tempo, o que poderá estar interligado com a presença de vegetação. Em relação à temperatura na rua Laura Bassi os resultados são também inferiores.

Durante o verão as temperaturas mostram um comportamento típico, atingindo o seu pico por volta das 15:00/16:00h e uma descida até 5°C durante a noite.

A concentração de poluentes é significativamente diferente nos dois cenários (Figura 19), enquanto que os poluentes primários (poluentes provenientes do tráfego automóvel) apresentam valores mais elevados na rua Marconi, em relação aos poluentes secundários já não é possível observar esta diferença pois na rua Laura Bassi existem mais concentrações de PM10 e PM2,5. Estes resultados são explicados pelo facto de na rua Marconi existir um maior tráfego automóvel.

Figura 19: Concentrações de CO e NO nas ruas Marconi e Laura Bassi



Fonte: Air Pollution and Meteorology Monitoring Report, iSCAPE 2018

Os níveis de NO são muito variáveis principalmente durante a manhã devido ao pico de tráfego automóvel.

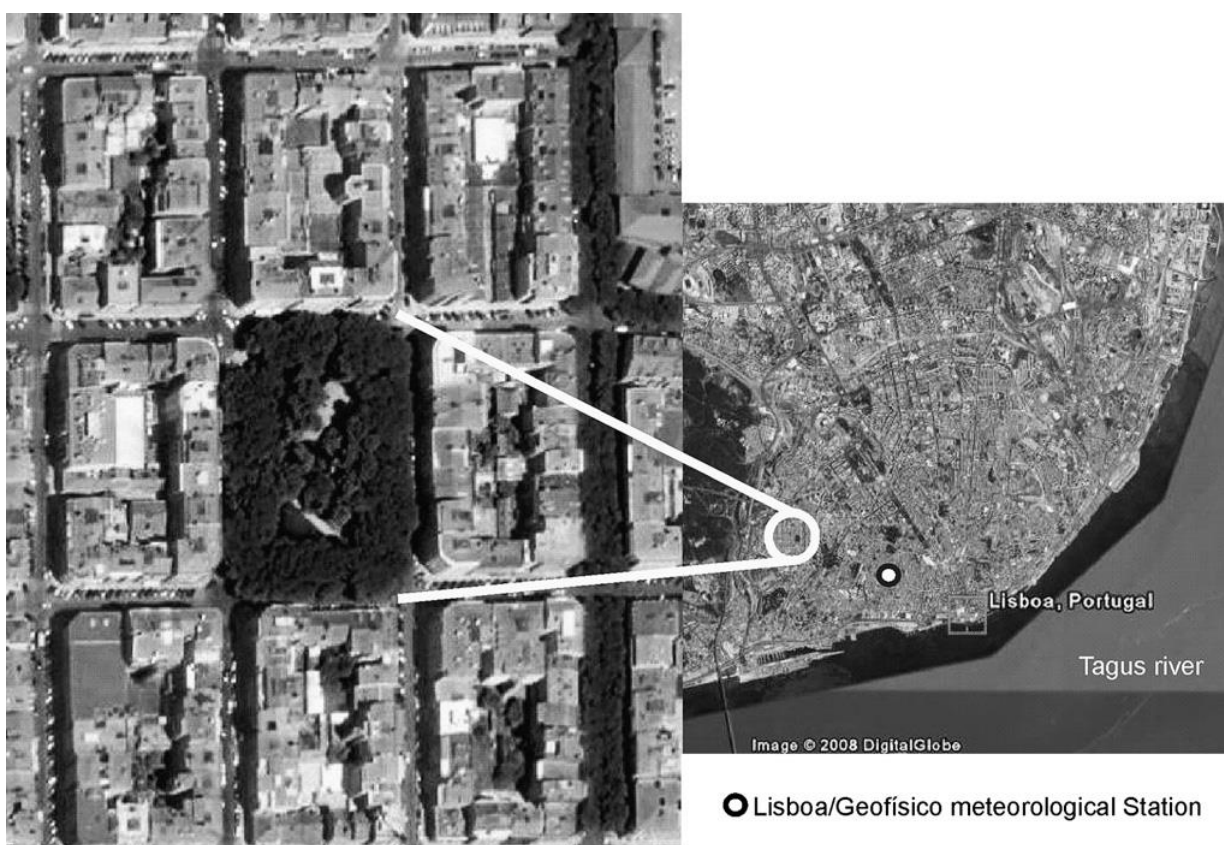
O efeito da Ilha de Calor Urbano é reduzido na Rua Laura Bassi não só devido à presença da vegetação como ao facto de se localizar mais afastada do centro urbano, numa zona residencial nos arredores de Bolonha, onde o conforto térmico é favorecido em relação à Rua Marconi, com uma localização mais central e com edifícios altos, típicos do centro urbano. Além disso, é também concluído pelo estudo, que ambas as ruas são caracterizadas pela inexistência de diferença de temperatura entre as fachadas dos edifícios e entre a temperatura do ar durante a noite (Air Pollution And Meteorology Monitoring Report, iSCAPE 2018)

6.2 Lisboa

A influência de áreas verdes numa área urbana depende de uma imensa variedade de fatores, como o tamanho e a estrutura da vegetação, a estação do ano, a altura do dia, as condições atmosféricas, e a zona obstruída devido ao edificado.

O estudo do Parque Teófilo de Braga (Figura 20), localizado no centro de Lisboa, foi feito durante 6 dias de verão em 2006 e em 2007. O local tem cerca de 2500 edifícios por km², o que nos mostra ser um local bastante edificado e o parque 95x61 metros (Oliveira, S., Andrade, H., Vaz, T., 2011).

Figura 20: Localização do parque na cidade de Lisboa



Fonte: Oliveira, S., Andrade, H., Vaz, T., 2011

Foram escolhidas duas áreas de estudo: uma zona no meio do jardim que, devido à cobertura das árvores, se encontrava sempre com sombra e uma zona completamente contrária, no meio da malha urbana com incidência direta dos raios solares. O SVF é menor no centro de ruas edificadas o que faz com que haja apenas em média 4 horas de luz solar direta, ao passo que na fachada virada para o parque, o SVF é mais elevado o que faz com que haja 11 horas de luz solar direta.

Os resultados confirmam o vasto potencial que uma área verde tem e o seu contributo para a mitigação da ilha de calor, assim como para atenuar os efeitos do aquecimento global. O facto de haver uma grande área de sombra no parque, faz com que a evapotranspiração seja muito superior ao normal, e leva a que a temperatura seja aproximadamente 7°C inferior à área envolvente, confirmando assim que a área verde tem um efeito de arrefecimento.

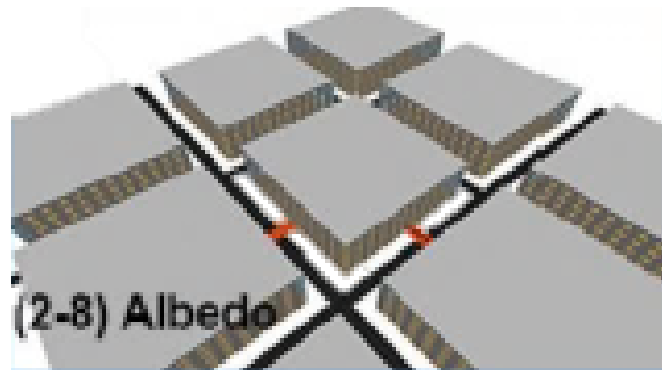
6.3 Londres

O estudo recente de Hashem et al, (2019), feito nas ruas mais poluídas e com elevada população na cidade de Londres (Hence, Central London e Oxford) onde foi avaliada a influência do Sistema Urbano Verde, mostra-nos o impacto que as infraestruturas verdes podem ter no centro urbano.

Londres, sendo uma das mais povoadas cidades do mundo conta com quase 9 milhões de habitantes, tornou-se assim numa cidade propícia à formação de ilha de calor. Um dos desígnios desta cidade é, até 2050, aumentar até 50% a sua área verde, de modo a ser possível mitigar o fenómeno e reduzir o microclima observado no centro, para isso definiu/adoptou algumas medidas, como o aumento do sistema verde urbano.

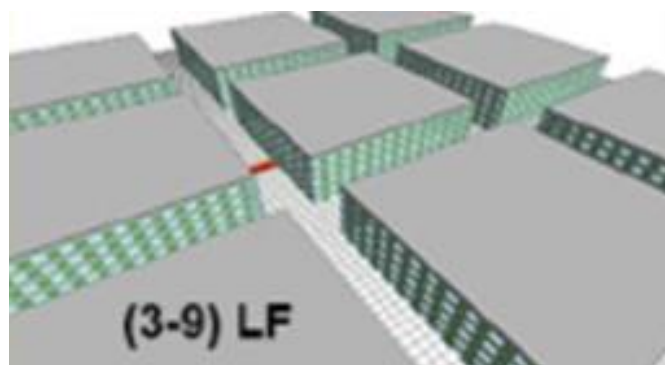
A metodologia adotada no referido estudo procedeu à comparação do efeito resultante da utilização de vários tipos de vegetação como árvores e fachadas verdes e a sua importância no albedo (Figuras 21 a 25).

Figura 21: Simulação do baixo albedo (2-8)



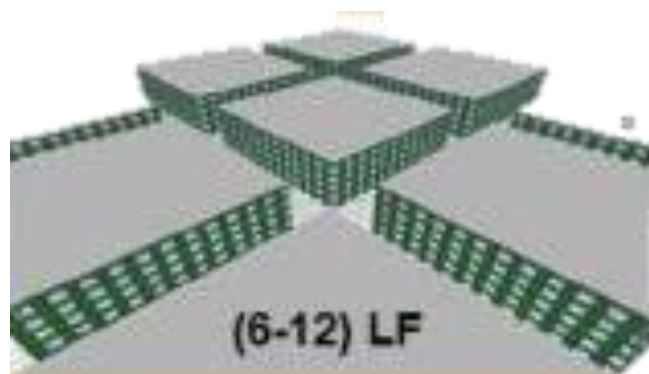
Fonte: Hashem Taher et al, 2019

Figura 22: Simulação do albedo intermédio (3-9)



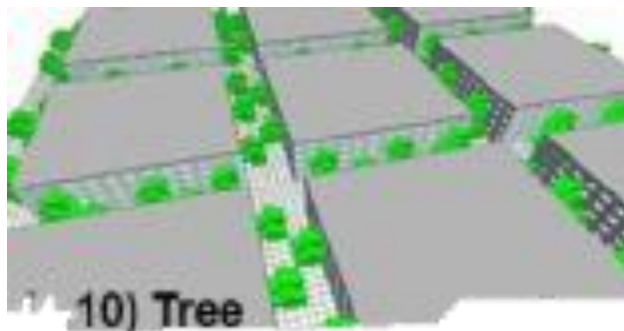
Fonte: Hashem Taher et al, 2019

Figura 23: Simulação do albedo intermédio (6-12)



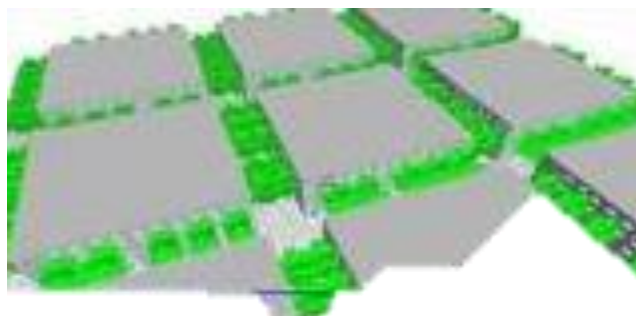
Fonte: Hashem Taher et al, 2019

Figura 24: Simulação do alto albedo (4-10)



Fonte: Hashem Taher et al, 2019

Figura 25: Simulação do alto albedo (5-11)



Fonte: Hashem Taher et al, 2019

No geral, o estudo aponta as seguintes conclusões: uma maior dimensão de área coberta com árvores tem um efeito mais elevado na sensação térmica, seguindo-se as fachadas verdes, e os pavimentos com um maior albedo vêm em último lugar.

De acordo com o mesmo estudo, os materiais com maior albedo e a vegetação mais baixa é mais direcionada para ruas com exposição NS e vegetação maior mais indicadas para ruas onde haja mais movimento de pessoas, de modo a ser reduzido o desconforto térmico e a sensação de temperaturas mais elevadas.

Como verificado nas Figuras 21-25, o albedo apresenta um índice menor na primeira imagem pois não existe qualquer tipo de vegetação, ao contrário da terceira e quinta imagens onde vemos uma abundância de fachadas verdes e árvores, resulta assim num albedo muito superior.

Os resultados concluem que apesar de a vegetação ter um impacto maior na redução do fenómeno de ilha de calor, sozinho não é o suficiente para o mitigar a quase 100%.

6.4 Melbourne

Melbourne é uma cidade localizada na Austrália, que tem vindo a crescer exponencialmente ao nível de população, com este aumento os subúrbios da cidade vão-se densificando havendo a necessidade de criação de espaços verdes para melhorar a qualidade de vida da população. O objetivo da Natural Conservancy (organização ambiental sem fins lucrativos) juntamente com o município de Melbourne, é plantar o maior número de vegetação, de modo a que quando a cidade atingir os oito milhões de habitantes, exista uma floresta urbana extensa (Brown, J., 2019)

A construção de residências está a contribuir para a diminuição de espaço verde em torno das habitações cerca de 15% por década, o que mostra que é urgente arranjar soluções para manter a área verde.

Figura 26: Exemplo do espaço verde em Melbourne em 2010



Fonte: Domain

Figura 27: Exemplo de espaço edificado em Melbourne, 2010



Fonte: Domain

Os espaços verdes urbanos desempenham um papel fundamental no arrefecimento de Melbourne e na redução das ilhas de calor urbano e apesar de algumas partes da cidade apresentam elevadas taxas de espaço verde, outras ficam entre as taxas mais baixas de toda a Austrália (Resilient Melbourne Strategy, 2016)

O diretor da Conservação da Natureza, James Fitzsimons, é um dos principais líderes na mudança e na implementação de infraestruturas verdes em Melbourne. Ele acredita que em 2050, a maioria dos edifícios estarão debaixo das copas das árvores e que apenas serão visíveis os arranha-céus.

Os defensores deste projeto admitem que “ao verdejar a cidade podemos alcançar várias coisas, uma delas o hábito das pessoas plantarem espécies de vegetação, de modo a toda a população fazer parte deste conceito”.

Em 2010, a autarquia de Melbourne elegeu uma equipa de “Paisagem Urbana” de modo a haver mudanças na cidade, havendo assim a criação de dois planos: a Estratégia do Espaço Aberto e a Estratégia Florestal Urbana. Para implementar as mesmas, criou-se o Programa das Infraestruturas Verdes.

O objetivo do Programa das Infraestruturas Verdes (PIV) implementado passa pela criação “de uma cidade dentro de uma floresta” para aumentar a prestação de serviços de ecossistemas (Urban Sustainability Exchange). O resultado desejado é arrefecer as temperaturas em 4 graus. As principais ações do programa incluem:

- Duplicar a cobertura municipal de 20% para 40%;
- Aumentar a permeabilidade da cidade;
- Expandir a rede de recolha de águas pluviais para capturar 50% da água necessária;
- Expandir os espaços verdes em 7,6%.

A sua expectativa é considerar as infraestruturas verdes como as mais importantes na cidade (Urban Sustainability Exchange).

Na Tabela 9 abaixo encontram-se resumidos os benefícios das infraestruturas verdes de acordo com o PIV em Melbourne.

Tabela 9: Benefícios das Infraestruturas Verdes

Público	<ul style="list-style-type: none"> ○ Arrefecimento local (sombra) ○ Poupança de energia ○ Jardins públicos ○ Redução da poluição 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Redução da poluição (ar e água) ○ Aumento da retenção da água ○ Redução da temperatura ○ Conservação da biodiversidade 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Retenção de CO₂ (redução das mudanças climáticas)
Privado	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aumento do valor da propriedade ○ Melhoramento da paisagem privada ○ Poupança de energia ○ Maior tempo de vida dos telhados 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aumento do turismo 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aumento do turismo
	Local	Cidade	Global

Fonte: Quantifying the Benefits of Green Infrastructure in Melbourne

A estratégia de criação de florestas urbanas trará benefícios, se todas as autarquias contribuírem para tal, pois pequenas ações de concelhos isolados não fazem a diferença necessária para haverem mudanças significativas. Os objetivos principais (Resilient Melbourne Strategy, 2016) destas alterações passam por:

- Menor risco de inundação;
- Centros urbanos mais frescos;
- Menos poluição;
- Melhor qualidade de vida.

Como contribuição para o aumento das infraestruturas verdes, a autarquia principal da cidade desenvolveu uma série de guias para os proprietários perceberem a importância das áreas verdes e a melhor forma de implementarem as mesmas nos seus terrenos. Começaram por publicar um guia técnico "Growing Green Guidelines" onde estão descritas as definições de infraestruturas verdes como telhados verdes e fachadas verdes, a sua instalação e manutenção e o modo que estas contribuem para a criação de melhores condições de vida.

O PIV passou por:

- Plantar 15.000 novas árvores desde 2010 e tenciona plantar 3.000 por ano;
- Investir 250.000 dólares para sistemas de irrigação passiva em parques;
- Investir 5 milhões de dólares para a adaptação de paisagem urbana para reajustar 40 ruas a aumentar a permeabilidade;
- Investir na instalação de uma rede de reaproveitamento de águas pluviais.

Esta iniciativa para além de se propor a baixar em 4°C as temperaturas até 2040, propõe-se ainda a:

- Aumentar a resiliência climática ao calor extremo, ao aumento da temperatura, secas e inundações;
- Aumentar a saúde e o bem-estar da comunidade através da disponibilização de espaços públicos mais saudáveis e mais espaços verdes;
- Diminuir a utilização de energia para o arrefecimento;
- Reduzir as emissões de carbono;
- Aumentar a biodiversidade.

Algumas das ações implementadas ao longo dos anos apresentam-se na Tabela 10.

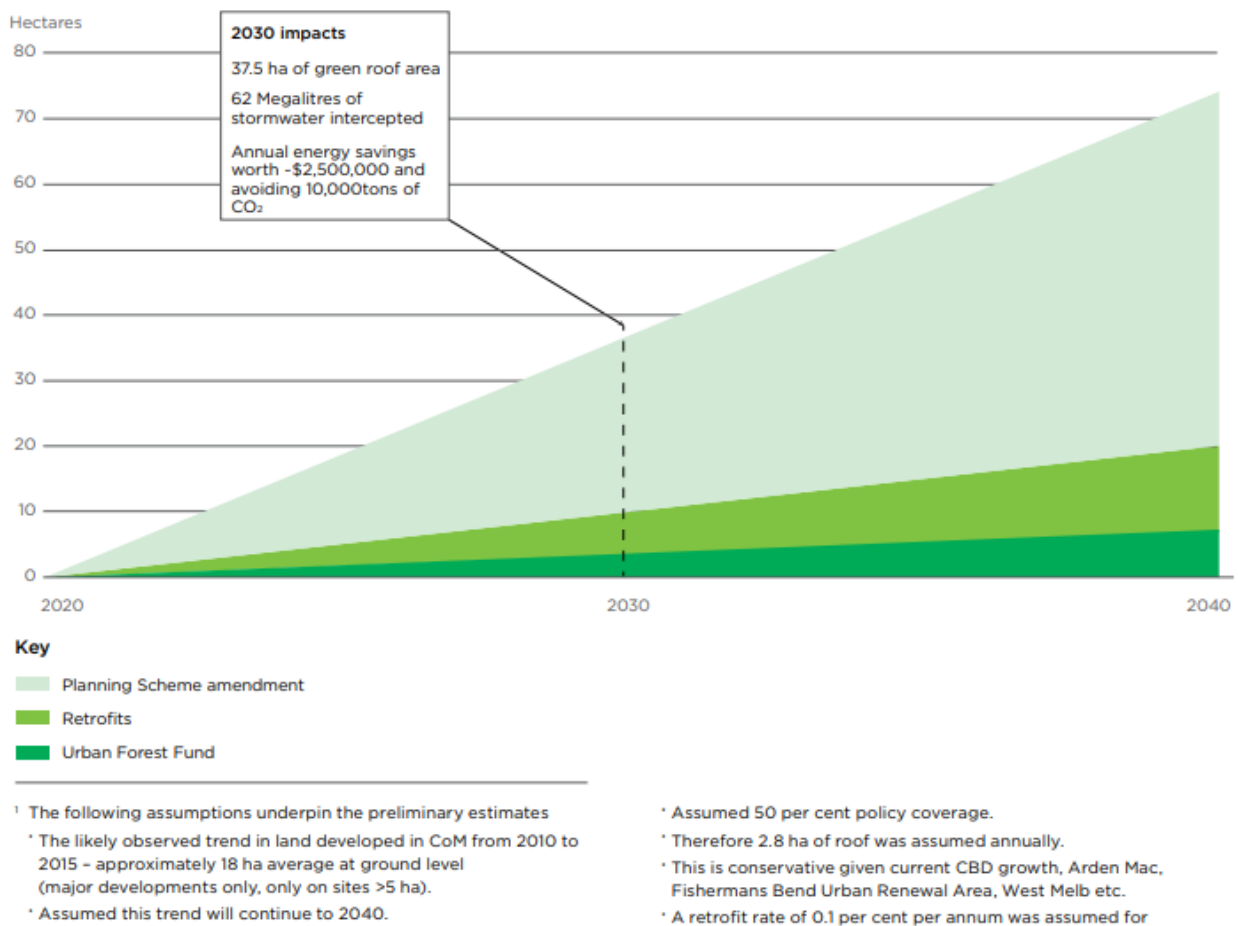
Tabela 10: Ações Implementadas em Melbourne, no Âmbito das Infraestruturas Verdes

Ano	Ação Apresentada
2005	Construção de telhados verdes extensivos e fachadas verdes num edifício principal em Melbourne.
2010	Construção de telhados verdes no Venny.
2010	Estudos da viabilidade de telhados verdes em diferentes edifícios.
2014	Criação de Fachada Verde em Fitzroy Gardens.
2015	Mapeamento de todos os telhados do município de modo a perceber o seu potencial para telhados verdes.
2016	Criação do projeto de sustentabilidade de Melbourne, de modo a coordenar infraestruturas verdes.
2017-2021	Associação com o Departamento de Ambiente, Terra, Água e Planeamento para demonstrar a capacidade dos telhados verdes.

Fonte: Resilient Melbourne Strategy

As estimativas do impacto das estruturas verdes na cidade encontram-se ilustradas na Figura 30, onde podemos ver que está previsto em 2030, existirem 37.5 hectares de área de telhados verdes, que vão interceptar 62 milhões de litros de águas pluviais, havendo uma poupança anual de energia de 2.500,00 dólares, evitando 10 mil toneladas de CO₂.

Figura 28: Projeção para 2030 de Telhados Verdes em Melbourne



Fonte: Resilient Melbourne Strategy

Até à data, o projeto conseguiu realizar alguns objetivos:

- A construção de uma rede de reutilização de águas pluviais, que contribui para garantir 25% da água necessária para a irrigação da paisagem através da captação de

precipitação, esta retenção vai ser útil também para prevenir futuras secas que a cidade possa passar;

- Foram reajustadas ruas que garantem agora a permeabilidade do solo, havendo assim uma maior infiltração da água;
- Existem inúmeros exemplos de dimensão média/pequena na cidade que mostram benefícios da instalação de algumas infraestruturas verdes, como por exemplo a parede verde nos apartamentos Triptych (Figura 31), o telhado verde na instituição Venny, a fachada verde na Universidade RMIT, entre outros.

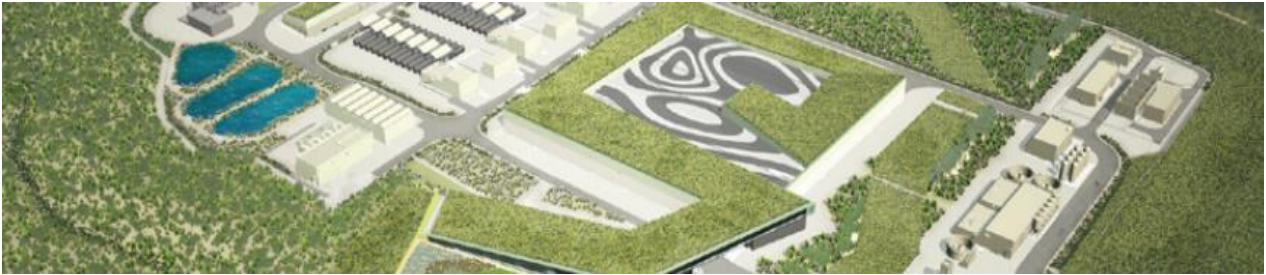
Figura 29: Apartamentos “Triptych” em Melbourne



Fonte: Carbon Neutral Cities Alliance

Outro dos exemplos é “Victorian Desalination Project” ilustrado na Figura 32, que inclui um telhado verde de elevadas dimensões, o maior telhado verde no hemisfério sul, que cobre os edifícios industriais da fábrica de dessalinização, de modo a que estes estejam encobertos quando vistos das áreas públicas circundantes, fazendo uma ligação da paisagem de modo mais uniforme (Growing Green Guide, 2014).

Figura 30: Victorian Desalination Project



Fonte: Growing Green Guide, 2014

Para além do foco estético, são vários os resultados da criação do telhado verde:

- restauração ecológica da área;
- aumento do desempenho térmico do edifício;
- minimização do som da central;
- proteção do telhado dos efeitos nocivos da radiação solar;
- a água recuperada pelo escoamento permite que seja reutilizada 80% da mesma.

A inclusão do telhado verde no projeto Victorian Desalination inicialmente foi vista como um risco, mas o telhado verde provou ser um dos elementos mais bem-sucedidos deste projeto desafiante e representa o crescimento da indústria de telhados verdes em Melbourne (Growing Green Guide, 2014)

6.5 Manchester

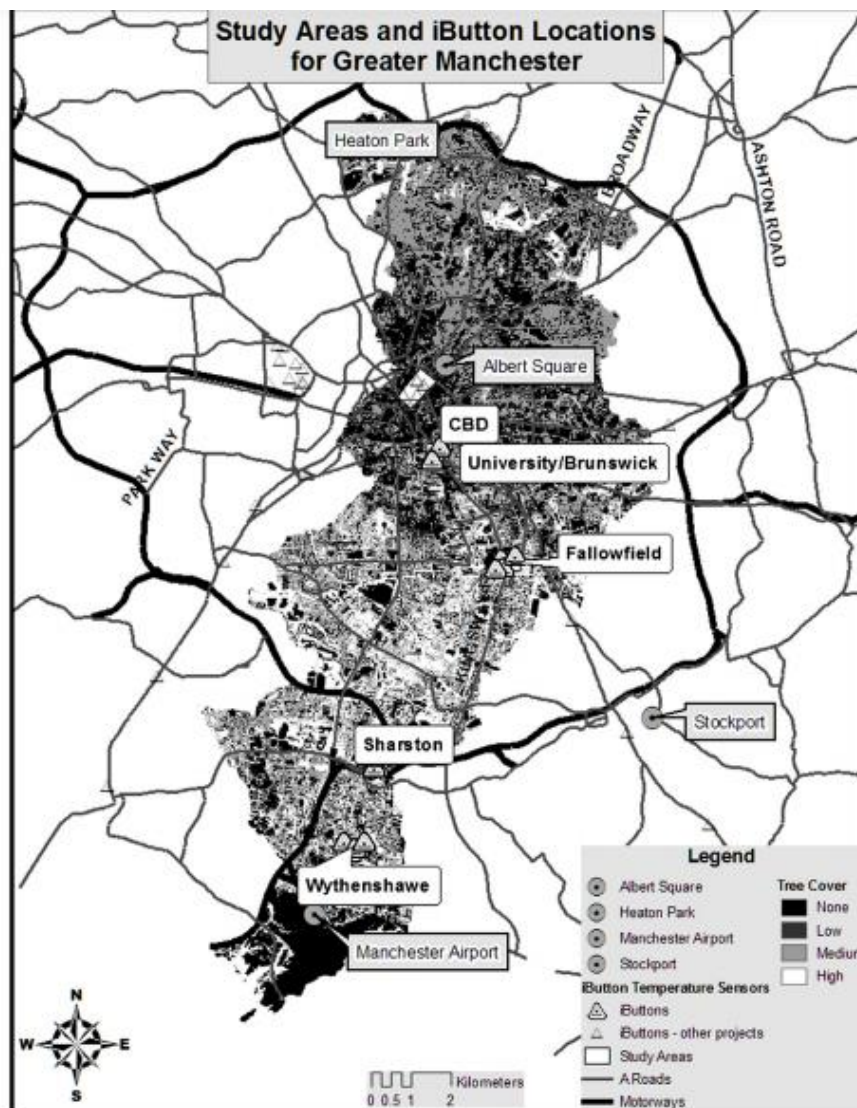
A cidade de Manchester tem aproximadamente 1300km² e uma população de 2.5 milhões de habitantes. O aumento do espaço verde é uma das estratégias definidas pelo município para mitigação e combate das elevadas temperaturas decorrentes da crescente urbanização. O estudo feito por Skelhorna et al. 2014, testa sete cenários de espaço verde que podem ser aplicados bem como as mudanças resultantes dessas aplicações.

O objetivo do estudo de Skelhorna et al. 2014, prende-se não só com o estudo do efeito dos diferentes espaços verdes na temperatura, mas também na utilidade o recurso a um software específico (Envi-Met) para simular climas em ambientes urbanos e avaliar os efeitos da atmosfera, vegetação, arquitetura e materiais na cidade.

O ENVI-met foi escolhido pela vertente de superfície-plantas-ar que apresenta, havendo uma maior facilidade em introduzir os dados necessários.

O centro da cidade de Manchester apresenta uma mistura de edifícios de habitação, escritórios, retalho densamente desenvolvidos e uma baixa porção de cobertura verde (3-4%), enquanto que as áreas suburbanas apresentam 25% de espaços verdes (Skelhorna et al. 2014) Foram escolhidas cinco áreas com características diferentes no que respeita à quantidade de edifícios e de vegetação (Figura 33).

Figura 31: Mapa de Manchester com as Áreas de Estudo



Fonte: Skelhorna et al, 2014

Os parques e jardins são o tipo de espaço verde dominante, com espaços naturais e seminaturais como segundo e terceiro mais comum. Em termos globais, Manchester apresenta 11% de espaço verde controlado pela autarquia, somando aproximadamente 13.28 km².

Foram colocados sensores de temperatura nas diversas áreas de estudo (Wythenshawe, Sharston, Fallowfield, CBD e Brunswick), de forma a monitorizar as temperaturas ao longo do tempo de estudo. Nas cinco áreas de estudo foram estudados sete cenários hipotéticos, desde a substituição de toda a vegetação já existente em todas estas áreas até ao aumento de vegetação nas mesmas. Os sete cenários são os seguintes:

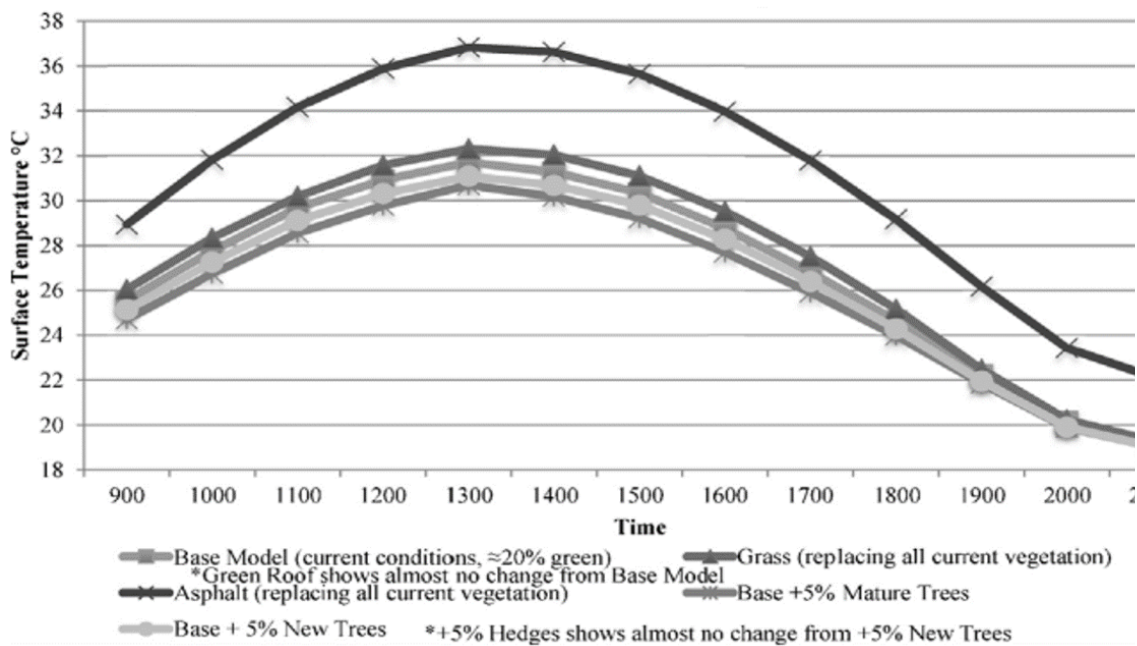
1. Espaço verde existente como modelo base;
2. Inexistência de espaço verde, no qual todo o espaço verde existente é substituído por zonas construídas;
3. Todo o espaço verde existente substituído apenas por relva;
4. O modelo base com um acréscimo de 5% de árvores plantadas;
5. O modelo base com um acréscimo de 5% de árvores já maduras;
6. O modelo base com um acréscimo de 5% de arbustos e sebes;
7. O modelo base com os edifícios cobertos com telhados verdes.

Os resultados apresentados por este estudo mostram que os vários cenários apresentam efeitos diferentes na temperatura a nível atmosférico e de superfície.

A nível da superfície (Figura 34), o cenário 5 apresenta uma redução da temperatura de 1°C, enquanto que os cenários 4 e 6 apresentam uma redução da temperatura inferior de apenas 0.5°C, apesar de a plantação de novas árvores ser ligeiramente mais eficaz que os arbustos devido à sombra. O cenário 3 aumenta as temperaturas em cerca de 0.6°C, o que se mostra ineficaz e o cenário 7 reduz a temperatura do edifício, mas não apresenta resultados na redução da temperatura à superfície.

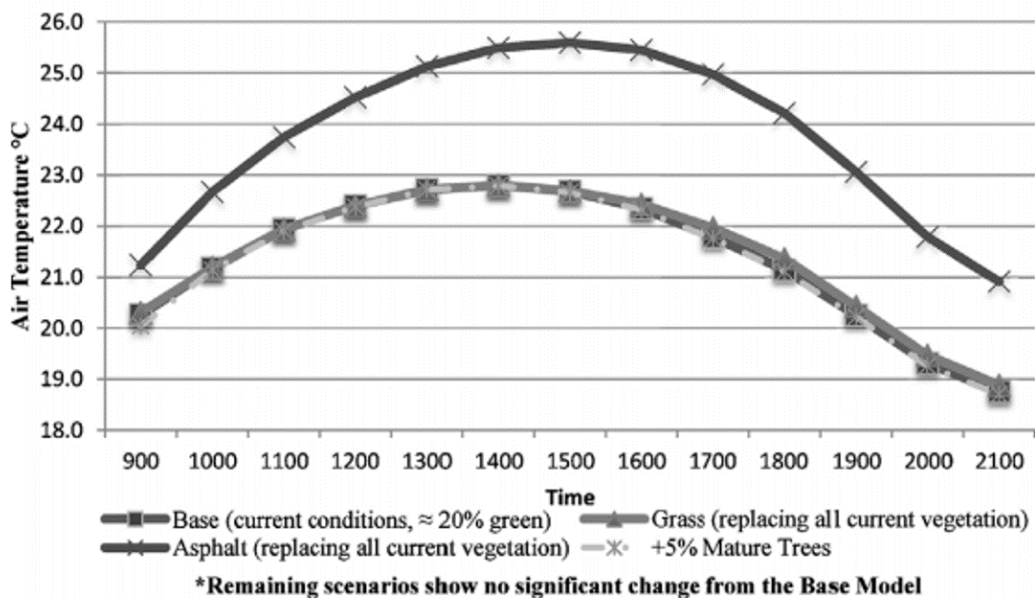
No que se refere à temperatura atmosférica, os efeitos das várias alterações do solo são insignificantes, exceto no cenário 2, onde se substituiria todo o espaço verde por zonas construídas, que aumentaria a temperatura em 2.4°C.

Figura 32: Variação da Temperatura da Superfície nos Diferentes Cenários em Manchester



Fonte: Skelhorna et al, 2014

Figura 33: Variação da Temperatura do Ar nos Diferentes Cenários em Manchester



Fonte: Skelhorna et al, 2014

Tabela 11: Alterações de Temperatura Relativamente ao Tipo de Espaço Verde

Tipo de Alteração	Média da alteração da temperatura (°C)
+5% de árvores adultas	-1.00
+5% de árvores novas	-0.51
+5% de arbustos	-0.46
Apenas relva, substituir toda a vegetação existente	0.62
Apenas materiais cinzentos, substituindo toda a área de vegetação	4.69

Fonte: Adaptado de Skelhorna et al, 2014

Em conclusão os resultados destes cenários foram pouco significativos, não havendo nenhuma infraestrutura verde que se destacasse significativamente em relação à redução das temperaturas de superfície e atmosféricas. Destaca-se apenas a substituição de todo o espaço verde, que se reflete num aumento significativo da temperatura, concluindo assim que os espaços verdes são sempre importantes num centro urbano (Skelhorna et al, 2014)

6.6 Sri Lanka

O estudo recente de Javasinghe et al, 2017, analisa a implicação da infraestrutura verde urbana no aumento das condições microclimáticas no Sri Lanka. A região metropolitana de Colombo situa-se no Sri Lanka e alberga 5.6 milhões de habitantes aproximadamente e possui um clima tropical caracterizado por temperatura e humidade elevadas.

Neste estudo foram selecionados seis casos distintos, com base em três tipos de vegetação: árvores, telhados verdes e paredes verdes. Os casos de estudo, ilustrados nas figuras seguintes, são descritos seguidamente:

T1: Condição atual;

T2: Plantação de árvores ao longo dos passeios;

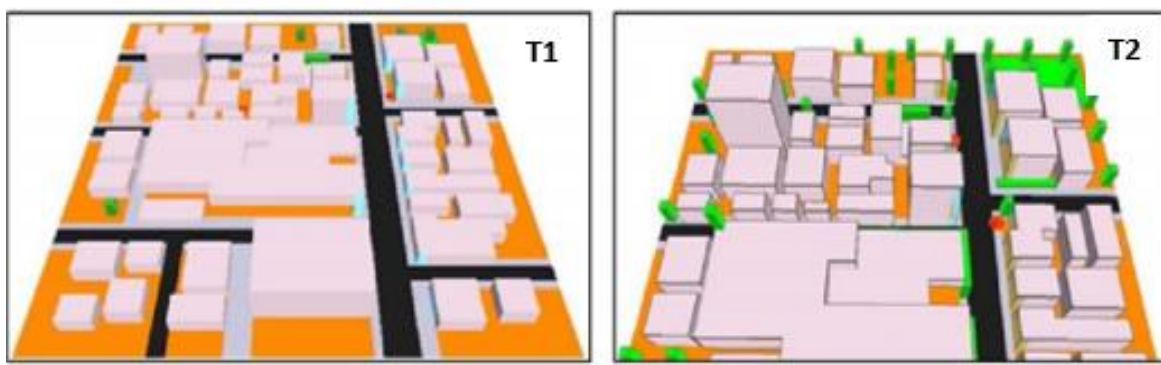
T3: Conversão da totalidade dos telhados para telhados verdes;

T4: Conversão de 50% dos telhados para telhados verdes;

T5: Conversão fachadas para paredes verdes;

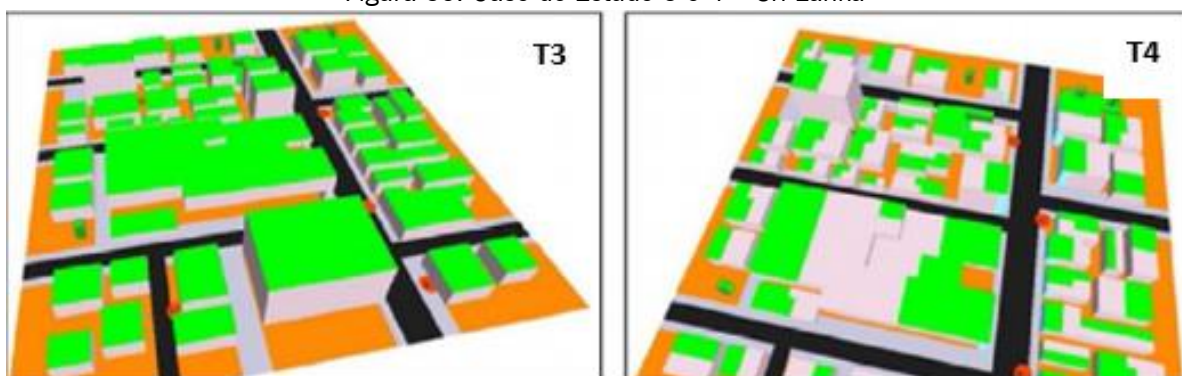
T6: Plantação de árvores + 50% de telhados verdes + 50% de paredes verdes.

Figura 34: Caso de Estudo 1 e 2 – Sri Lanka



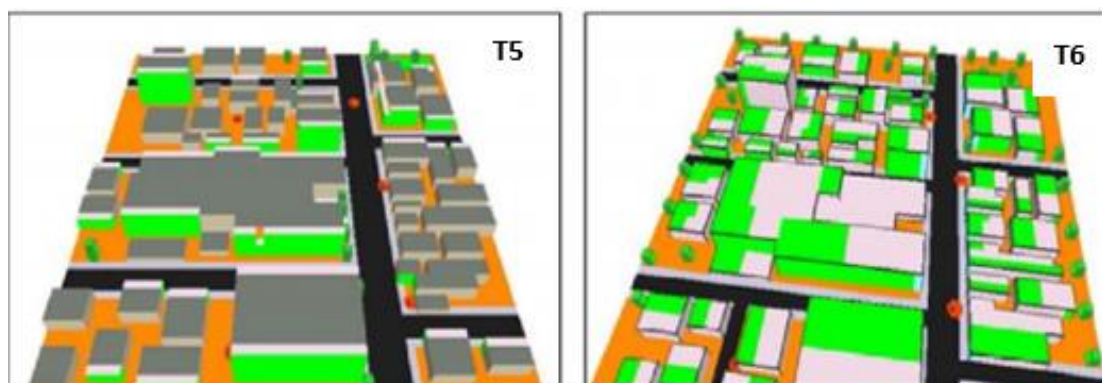
Fonte: Javasinghe et al, 2017

Figura 35: Caso de Estudo 3 e 4 – Sri Lanka



Fonte: Javasinghe et al, 2017

Figura 36: Caso de Estudo 5 e 6 – Sri Lanka



Fonte: Javasinghe, G.Y. et al, 2017

As principais conclusões do estudo de Javasinghe et al (2017) apontam para impactos na temperatura e humidade após a introdução das estruturas verdes.

Na condição atual (T1) os valores médios de temperatura variam entre os 27°C e os 34°C e a temperatura mais alta, às 15:00h é de 34,67°C.

No segundo caso (T2), com a plantação de árvores ao longo do caminho pedonal, a evapotranspiração aumenta, aumentando consequentemente a humidade relativa, apresentando um valor máximo de 69,5% às 12:00h, sendo ainda assim inferior à humidade relativa proporcionada pelos telhados verdes (T3) que chega a atingir 83,51%. Neste cenário, a conversão da totalidade dos edifícios para telhados verdes reduz a temperatura mais alta para 32,88°C, tendo um decréscimo de 1,79°C. O telhado verde funciona como dissipador de calor pois existe uma absorção dos raios solares pela superfície mais reduzida.

A conversão de apenas 50% dos telhados em telhados verdes apresenta um resultado semelhante à conversão total dos mesmos. A redução da temperatura em relação ao T1 é de 1,79°C ficando a temperatura máxima nos 32,91°C, concluindo assim que ambas as opções de coberturas verdes mostram uma redução significativa na temperatura.

O albedo é definido pela capacidade de reflexão da radiação solar e por isso quanto maior o seu índice, maior capacidade de reflexão existe no material. Neste caso a vegetação apresenta um albedo superior a uma superfície cinzenta, o que se traduz numa menor absorção do calor. As paredes verdes (T5) reduzem a temperatura comparativamente a paredes em tijolo, e são uma

melhor alternativa aos telhados verdes pois encontram-se por toda a fachada reduzindo a temperatura pela totalidade do edifício.

Por fim, no caso 6, a plantação de árvores juntamente com 50% das paredes verdes e 50% dos telhados verdes apresenta uma descida de temperatura de 1,9°C, sendo a temperatura máxima 32,77°C.

Concluiu-se que a vegetação influencia a criação de microclimas e ajuda a mitigar as ilhas de calor urbano, podendo haver uma redução de temperatura até 2°C, o que afeta o conforto térmico da população.

7. Notas Conclusivas e Trabalhos Futuros

Através dos resultados, baseados nos estudos teóricos feitos anteriormente podemos responder ao principal objetivo da dissertação, que é perceber os benefícios das infraestruturas verdes nas ilhas de calor urbano e na poluição.

É importante referir que este estudo foi feito baseando-se apenas em estudos publicados em artigos científicos e projetos implementados em cidades, o que dificultou a perceção real do problema proposto no início. Desta forma, não tendo sido possível fazer trabalho de campo pois a pandemia de COVID-19 interferiu na redação e investigação desta dissertação, as notas conclusivas aqui apresentadas não se basearam em suportes práticos elaboradas pela autora, mas sim, sobretudo, em estudos feitos por outros autores e boas práticas implementadas em cidades.

Como pudemos verificar, e segundo Luck et al, (2002), a construção intensa e expansão das cidades pode trazer consequências para a biodiversidade, para as condições climáticas e para o ambiente como a poluição intensa, que conduz à degradação ambiental e tem impacto nos ecossistemas naturais, havendo assim a necessidade de mitigar estas consequências.

As infraestruturas verdes podem ser importantes para a mitigação das ilhas de calor urbano, e de acordo com a Agência Europeia do Ambiente minimizam riscos de catástrofes naturais, através do aumento da sua resiliência face aos problemas ambientais. A nível cultural, o peso dos espaços verdes torna-se cada vez mais elevado devido à crescente importância que a preservação do património histórico e cultural manifesta na sociedade e ainda pela manutenção e valorização da qualidade estética da paisagem (GEOTA, 2007)

De acordo com o estudado, a evapotranspiração ajuda na redução da temperatura, refrescando o ar em pelo menos 1°C em certas zonas dos centros urbanos e até 8°C segundo Singh, M. O., (2015), relativamente aos telhados verdes. A atenuação de ruído é também salientada como um benefício resultante das infraestruturas (Ferreira, 2013).

É comprovada ainda a teoria sobre a redução das partículas finas no ar por parte da vegetação com uma descida de 6% deste material, Currie e Bass (2005). Confirma-se que as árvores de grande porte são capazes de remover 70 vezes mais poluentes que as árvores de pequeno porte, pois existe uma deposição de poluentes nas folhas das plantas (Fowler et al. 1989).

No que remete aos casos de estudo, concluímos que a aposta futura, em cidades onde existe tendência de crescimento populacional e de edificado, será na adoção de infraestruturas verdes, pois cada vez mais são os benefícios encontrados nas mesmas.

Conclui-se ainda que alguns tipos de infraestruturas são mais eficientes dependendo do local onde se instalam, como por exemplo os arbustos e árvores de pequeno porte apresentam melhores resultados nas vias de circulação mais centrais, pois servem de barreira aos poluentes dos automóveis (Al-Dabbous and Kumar, 2014; Chen et al. 2015)

Todos casos estudados concluíram que as infraestruturas verdes são favoráveis à redução da ilha de calor e da poluição atmosférica, apesar de não ser o suficiente para mitigar a 100% estes problemas (Hashem et al, 2019). Podemos verificar reduções de temperatura até 2°C utilizando infraestruturas verdes (Javasinghe et al. 2017) e aumento até 5°C em superfícies cobertas de materiais impermeáveis. (Skelhorna et al. 2014)

Concluindo, as áreas verdes urbanas são fundamentais e devem ser implantadas para atenuar significativamente os efeitos negativos das ilhas de calor urbano, sendo elas imprescindíveis no sucesso de um planeamento urbano sustentável.

Como continuação da presente dissertação são apontadas abaixo algumas linhas de desenvolvimento futuro.

É importante entender o valor que as infraestruturas verdes têm, não só na poluição, mas também no conforto da população, assim seria importante analisar a percepção da população, recorrendo a inquéritos sobre o bem-estar das mesmas, comparando duas ou mais cidades com características diferentes em relação à existência de infraestruturas deste tipo.

Uma das maiores limitações observadas no presente estudo residiu na falta de informação sobre medições reais de poluentes nos centros urbanos antes e após implementação de infraestruturas verdes, existindo sobretudo simulações e previsões. Idealmente dever-se-ia recorrer a medições in loco antes e após a implementação de medida para avaliar o real efeito da vegetação.

Referências Bibliográficas

Agência Europeia Do Ambiente (2011). Green Infrastructure And Territorial Cohesion: The Concept Of Green Infrastructure And Its Integration into Policies Using Monitoring Systems.

Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool Surfaces And Shade Trees To Reduce Energy Use And Improve Air Quality In Urban Areas

Akbari, H., Shade Trees Reduce Building Energy Use And CO2 Emissions From Power Plants

Andrews, C. An Effective Model For Green Roofs In San Diego County. California Polytechnic State University San Luis Obispo

Arabi, R., Kamal, M., Shahidan, M., Et Al (2015) Mitigating Urban Heat Island Through Green Roofs. Current World Environment Vol. 10

Baukal, C.E. (2004) Industrial Combustion Pollution And Control, Marcel Dekker Inc., New York

Benedict, M.; McMahon, E. (2002). Green Infrastructure: Smart Conservation For The 21st Century. Renewable Resources Journal.

Beckett, K. P, Freer-Smith P, Taylor G. (2000). Effective Tree Species For Local Air Quality Management.

Bousse, Y. S. (2009). Mitigating The Urban Heat Island Effect With An Intensive Green Roof During Summer In Reading, UK. University Of Reading.

Bowler, D. E., Pulling, A.S., Et Al. A Systematic Review Of Evidence For The Added Benefits To Health Of Exposure To Natural Environments

Brown, J., (2019) A Bold Plan For Melbourne: By 2050, Have The World's Most Extensive Urban Forest

City Hall Of Melbourne. Strategic Action Plan "Green Our City" 2017-2021, Vertical And Rooftop Greening In Melbourne

Currie, B, A., Bass, B. (2008) Estimates Of Air Pollution Mitigation With Green Plants And Green Roofs Using The UFORE Model

Fowler, D., Cape JN, Unsworth MH. (1989). Deposition Of Atmospheric Pollutants On Forests

Gartland, L. (2011), Heat Islands: Understanding And Mitigating Heat In Urban Áreas.

GEOTA - Grupo De Estudos De Ordenamento Do Território E Ambiente (2007), Corredores Verdes: Conceitos Base E Algumas Propostas Para A Área Metropolitana De Lisboa

Giordano, D. E., Kruger, E. (2013), Potencial De Redução Da Temperatura De Superfície Pelo Aumento Do Albedo Nas Diversas Regiões Brasileiras. XXI Encontro Nacional E VIII Latinoamericano De Conforto No Ambiente Construído

Hadba L., Mendonça P. And Silva L. T. (2017), Green Walls: An Efficient Solution For Hygrothermal, Noise And Air Pollution Control In The Buildings. Architecture Media Politics And Society - Living And Sustainability: An Environmental Critique Of Design And Building Practices, Locally And Globally. London South Bank University. AMPS London.

Hashem, T., Heba, E., Newport, D. (2019). The Influence Of Urban Green Systems On The Urban Heat Island Effect In London, IOP Conference Series: Earth And Environmental Science

Hayes, Nicole and Angus Morrison-Saunders, (2007). Effectiveness of environmental offsets in environmental impact assessment: practitioner perspective from Western Australia. Impact Assessment and Project Appraisal

Henrique, B., Mendes, E., (2014) Tetos Verdes e Políticas Públicas Uma Abordagem Multifacetada. Universidade de São Paulo

Herath, H.M.P.I.K., Halwatura, R.U., Jayasinghe, G.Y. (2018) Evaluation of Green Infrastructure Effects on Tropical Sri Lankan Urban Context as an Urban Heat Island Adaptation Strategy. Urban Forestry & Urban Greening

iSCAPE Project (2018) Air Pollution and Meteorology Monitoring Report

Kumar, P., Barwise, T., Omidvarborna, H. (2019) Improving Air Quality And Climate With Green Infrastructure Iscape Project

Luck, M. Wu, J. (2002) A Gradient Analysis Of Urban Landscape Pattern: A Case Study From The Phoenix Metropolitan Region, Landscape Ecology, Kluwer Academic Publishers

L U C A R O Z Á L I A S Z Á R A Z The Impact Of Urban Green Spaces On Climate And Air Quality In Cities, Geographical Locality Studies 2014 Volume 2, Number

Madureira, H (2008). A Infraestrutura Verde Da Bacia Do Leça. Uma Estratégia Para O Desenvolvimento Sustentável Na Região Metropolitana Do Porto. Porto: FCUP

Manso, M., Castro-Gomes, J. (2015). Green Wall Systems: A Review Of Their Characteristics. Renewable And Sustainable Energy Reviews,

Masson, V. (2006). Urban Surface Modeling And The Mesoscale Impact Of Cities. Theoretical And Applied Climatology

Memon, R., Leung, D. And Chunho, L. (2008). A Review On The Generation, Determination And Mitigation Of Urban Heat Island. Journal Of Environmental Sciences

Nowak, D., Heisler, G., (2010). Air Quality Effects Of Urban Trees And Parks

Nowak, D., Crane, D; Stevens, J (2006). Air Pollution Removal By Urban Trees And Shrubs In The United States. Urban Forestry & Urban Greening

Nowak, D.J. (1994). Atmospheric Carbon Dioxide Reduction By Chicago's Urban Forest.

Naumann, S., Mckenna, D., Timo K., (2011): Design, Implementation And Cost Elements Of Green Infrastructure Projects. Final Report To The European Commission

Oliveira, S., Andrade, H., Vaz, T. (2011) The Cooling Effect Of Green Spaces As A Contribution To The Mitigation Of Urban Heat: A Case Study In Lisbon. Building And Environment 46

Oke, T. R. (1982). The Energetic Basis Of The Urban Heat Island.- Quarterly Journal Of The Royal Meteorological Society

Oke T.R., (1987). Boundary Layer Climates, Second Edition., London.

Okwen, R., Pu, R., & Cunningham, J. (2011). Remote Sensing Of Temperature Variations Around Major Power Plants As Point Sources Of Heat. International Journal Of Remote Sensing Vol. 32

Organização Mundial Da Saúde (2005), Air Quality Guidelines Global Update

Organização Mundial Da Saúde (2005), Europe Particulate Matter Air Pollution: How It Harms Health;

Raposo, F. (2013). Manual de Boas Práticas de Coberturas Verdes. Faculdade Técnica de Lisboa

Resilient Melbourne, (2020)

Rottermund, R. M., Motta, V. P.; Almeida, V. D. S. (2012) Estudo sobre a perda de mudas arbóreas plantadas no sistema viário da cidade de São Paulo. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, Piracicaba

Singh, M. O., (2015) A Study on Indoor Air Temperature by Cool and Green Roofs. School of Environment, Asian Institute Of Technology

Silva L.T., Mendes J.F.G. (2012), City Noise-Air: an environmental quality index for cities, Sustainable Cities and Society, Elsevier, vol 4, issue 1, pp 1-11, DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scs.2012.03.001>.

Skelhorn, C., Lindley, S., & Levermore, G. (2014). The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning*, 129-140

State of Victoria (2014) *Growing Green Guidelines: A guide to green roofs, walls and facades in Melbourne and Victoria, Australia*

Texas A&M University (2003) *Gardens Have The Potential To Improve Health*

Ulrich, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science*,

United States Environmental Protection Agency *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*

Viana, M., Harrison, R.M, Miranda, A. I., et al (2008) Source apportionment of particulate matter in Europe: a review of methods and results. *Journal of Aerosol Science*

Yamamoto, Y. (2006) Measures to Mitigate Urban Heat Islands. *Quarterly Review* n°18

Wiecek, A. K., Suszanowicz, D. (2019). The Impact of Green Roofs on the Parameters of the Environment in Urban Areas

Wilby, R. (2007) *Consulting Climate Change Scenarios of Urban Heat Island Intensity and Air Quality*.

Wong, N. H., Tan, P. Y. and Chen, Y., (2007). Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate, *Building and Environment*.