Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Miguel da Costa Morbey Souto

Melhoria da eficiência energética em edifícios dos anos 70: Implementação de soluções sustentáveis low-tech e low-cost

dezembro de 2014

Melhoria da eficiência energética em edifícios dos anos 70:
Implementação de soluções sustentáveis low-tech e low-cost
Rui Miguel da Costa Morbey Souto
UMinho | 2014

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Miguel da Costa Morbey Souto

Melhoria da eficiência energética em edifícios dos anos 70: Implementação de soluções sustentáveis low-tech e low-cost

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Ricardo Filipe Mesquita da Silva Mateus

e coorientação do
Professor Doutor Luís Manuel Bragança de Miranda Lopes

dezembro de 2014

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Ricardo Mateus, pelo estímulo, orientação e disponibilidade demonstrados ao longo do período de elaboração deste trabalho.

Ao Professor Doutor Luís Bragança agradeço a partilha da visão alargada do seu conhecimento e no incentivo tático das suas palavras.

Ao Engenheiro Daniel Pinheiro, do Laboratório de Física e Tecnologia das Construções (LFTC), pelos esclarecimentos e apoio ao longo do período de medições.

À Universidade do Minho pelas facilidades concedidas, especialmente ao seu LFTC na confiança do equipamento para a realização das medições.

Aos colegas e amigos que me acompanharam neste percurso, em especial ao Guilherme Castanheira, pela amizade, pelo apoio e partilha de ideias. Ao meu bom amigo António Frias, pela disponibilidade e ajuda na montagem *da Blowerdoor* no primeiro dia das medições. Ao José Amarílio e à Catarina Araújo pelas dicas sobre os cálculos da taxa de ventilação. E à colega Andreia Araújo a partilha da experiência dos primeiros ensaios com a *Blowerdoor,* em Famalicão, para a realização do seu trabalho.

Não posso também deixar de agradecer a quem teve a gentileza de abrir as portas da sua casa para a realização da campanha de ensaios. À família Gaspar e à minha família agradeço a paciência e disponibilidade de me receberem com todo o equipamento. De outra forma não seria possível a comparação entre as duas frações do Estudo de Caso.

Ao Nuno e à Ana por terem desculpado as ausências mais prolongadas de os acompanhar nas brincadeiras e na falta de paciência de alguns momentos.

À Antónia pela visão objetiva das suas opiniões críticas.

À Xanduca pelas palavras de incentivo e ajuda na revisão do texto.

Por último tenho que estar grato aos meus pais pelo apoio incondicional em todas as etapas da vida mas também pelo carinho e dedicação que nunca faltaram.

A casa vivida não é uma caixa inerte.

O espaço habitado transcende o espaço geométrico.

Bachelard, 1996

RESUMO

No âmbito da reabilitação, a problemática da eficiência energética dos edifícios antigos assume hoje uma posição cada vez mais destacada. Dos aspetos com mais relevo neste campo, os relacionados com a ineficiência energética e o desconforto dos edifícios, são motivos de grande preocupação.

Em Portugal, a reabilitação energética de edifícios existentes dos anos 70, representa um elevado potencial de poupança que interessa explorar, mas deve ser apoiada nos princípios da sustentabilidade e com custos de intervenção adequados à realidade nacional.

Por essa razão, a implementação de soluções construtivas *low-tech* a *low-cost* no parque edificado existente, pode apresentar-se como uma alternativa sustentável para resolver este problema e alcançar as metas mais exigentes da União Europeia num futuro próximo.

Através do estudo de uma situação real, comparam-se duas frações habitacionais de 1965, com caraterísticas idênticas, mas onde uma delas beneficiou de medidas de reforço térmico. Deste modo, pretendeu-se apurar até que ponto existem benefícios para as soluções implementadas e que tipo de medidas se podem aplicar a casos semelhantes, tendo em vista a otimização do desempenho energético, como a diminuição de consumo de energia e melhoria de conforto interior, com reconhecidas vantagens ambientais e económicas.

A realização deste trabalho permite afirmar que a melhoria do conforto interior e do desempenho energético de um edifício existente, empregando pouca tecnologia a um nível de investimento acessível, é possível. Foram propostas oito soluções e todas elas apresentam uma poupança de energia muito significativa existindo, no entanto, apenas uma com a melhor nota de sustentabilidade.

Através dos resultados obtidos, para a solução com o desempenho mais eficiente e sustentável, verifica-se que o tempo de retorno do investimento é muito longo. Essa solução utiliza a cortiça como isolante integrada numa aplicação pelo exterior. A solução com bom desempenho energético e económico, com o tempo de retorno menor, utiliza a lã mineral como isolante numa aplicação pelo interior.

Tratando-se de um estudo que incide apenas num dos componentes da construção e, também, não inclui utilização de energias renováveis, é prematuro tirar outras conclusões. À luz dos regulamentos atuais, quatro das soluções propostas são suficientes para atingir as metas da U.E. para 2020.

Palavras-chave: alternativa sustentável; eficiência energética; *low-tech*; *low-cost*; reabilitação sustentável;

ABSTRACT

In the context of rehabilitation, the issue of energy efficiency of existing buildings assumes an increasingly prominent position. The most relevant aspects in this field, those related to energy inefficiency and discomfort of buildings, are issues of great concern.

In Portugal, the energy rehabilitation of existing buildings of the seventies, has a high potential savings to be explored, but it must be underpinned by the principles of sustainability and appropriate to national conditions intervention costs.

For this reason, the implementation of low-cost and low-tech building solutions in existing building can be a sustainable alternative to solve this problem and achieve the highest goals of the European Union in the near future.

Through the study of a real situation, we compare two dwellings from 1965, with identical features, but one was submitted to a thermal retrofitting. Thus, we sought to determine to what extent benefits are for the solutions implemented and what kind of measures can be applied to similar cases, with to a view to of optimizing energy performance, such as reduced energy consumption and improved interior comfort, with recognized environmental and economic advantages.

This work allows us to state that improving indoor comfort and energy performance of an existing building, using low technology with an affordable investment, it is possible. Eight solutions have been proposed and they all exhibit a very significant energy saving there is, however, only with the best sustainability score.

The results obtained for the solution with the most efficient and sustainable performance, it appears that the time to payback is too long. This solution uses cork as an application integrated into the exterior insulation. The solution with good energy and economic performance with time lower return uses mineral wool as the insulating the inside an application.

As this is a study that focuses on only one of the components of the construction and also includes non-renewable energy use, it is premature to draw any other conclusions. In light of current regulations, four of the solutions proposed are sufficient to achieve the 2020 E.U. targets.

Keywords: low-tech; low-cost; sustainability rehabilitation; thermo-energy efficiency; alternative sustainable;

ÍNDICE

Agradecimentos III
Resumo VII
Abstract IX
Índice XI
Índice de Figuras XV
Índice de Tabelas XIX
Lista de Siglas, Acrónimos e Abreviaturas XXIII
Notas prévias XXV
1. Introdução 1
1.1. Enquadramento do tema 1
1.2. Objetivos 3
1.3. Estrutura do trabalho 4
1.4. Metodologia 5
2. Desenvolvimento, Construção e Reabilitação Sustentáveis 7
2.1. Enquadramento geral sobre a construção, o ambiente e a sustentabilidade 7
2.2. Arquitetura e a sustentabilidade 11
2.3. Arquitetura Hight-tech versus Arquitetura Low-tech 14
2.4. O papel da tecnologia na reabilitação da habitação em Portugal 15
2.5. Conservação de energia e a reabilitação energética dos edifícios 17
2.6. Reabilitação energética e sustentável de edifícios 19
2.7. Entraves, vantagens e desvantagens da reabilitação energética 21
2.7.1. Principais entraves à reabilitação energética 21
2.7.2. Principais vantagens da reabilitação energética 22
2.7.3. Principais desvantagens da reabilitação energética 22
2.8. Principais medidas de eficiência nos edifícios existentes 22
3. Construção e reabilitação sustentáveis de edifícios 25
3.1. Fases do processo de reabilitação sustentável de edifícios 26
3.1.1. Enquadramento 26
3.1.2. Fase de Análise e Diagnóstico 27
3.1.3. Fase de Projeto 27

3.1.4. Fase de Execução 28
3.1.5. Fase de Utilização/Manutenção 29
3.1.6. Fase de Desconstrução 29
3.2. Definição de critérios essenciais para a reabilitação sustentável 30
4. Parque habitacional em Portugal 33
4.1. O problema da habitação no Porto e o prédio de rendimento 33
4.2. Da casa económica ao desaparecimento do prédio de rendimento 37
4.3. Trajetória populacional desde 60 até hoje 39
4.4. Edificado existente e as novas exigências 41
4.5. Parque edificado e a sua distribuição no território 46
4.6. Distribuição dos alojamentos 49
4.7. Eficiência energética do edificado existente 53
4.8. Estado de conservação do edificado existente em 2011 57
4.9. Consumos de utilização no edificado 65
5. Estudo de Caso 71
5.1. Nota introdutória 71
5.2. Delimitações do estudo 71
5.3. Pertinência do estudo 72
5.4. Enquadramento e localização do objeto de estudo 73
5.5. Apresentação do Objeto de Estudo 77
5.6. Descrição sumária do objeto em estudo (Fração F1) 78
5.7. Descrição das soluções construtivas existentes 80
5.8. Dados climáticos do local do edifício 83
5.9. Avaliação e Diagnóstico do Estudo de Caso 84
5.9.1. Enquadramento e Objetivos 84
5.9.2. Avaliações objetivas 86
5.9.3. Interpretação dos dados recolhidos 88
5.9.4. Avaliações subjetivas 98
5.9.5. Estrutura e conteúdo do inquérito 98
5.9.6. Interpretação dos resultados do inquérito 99
5.9.7. Análise de resultados e considerações finais 100

6. Proposta para a Reabilitação Low-tech de edifícios dos Anos 70 103
6.1. Identificação de anomalias do Estudo de Caso 103
6.2. Análise térmica da envolvente opaca das frações em estudo 105
6.2.1. Coeficiente térmico das soluções existentes 106
6.3. Quantificação de perdas de calor e custos de energia das frações F1 e F2 107
6.3.1. Coeficientes térmicos de referência 108
6.3.2. Reforço térmico pelo interior e reforço térmico pelo exterior 109
6.3.3. Tipificação de tecnologias construtivas utilizadas no reforço térmico 111
6.3.4. Coeficiente térmico das soluções propostas 114
6.4. Metodologia SimaPro e metodologia MARS-SC 114
6.4.1. Quantificação de impactes ambientais: metodologia SimaPro 115
6.4.2. Hierarquização de diferentes soluções sustentáveis: metodologia MARS-SC 116
6.4.3. Definição e quantificação de parâmetros 117
6.4.4. Caracterizar o desempenho ambiental 119
6.4.5. Caracterizar o desempenho funcional 120
6.4.6. Caracterizar o desempenho económico 121
6.4.7. Normalização dos parâmetros de desempenho ambiental, funcional e económico 123
6.4.8. Agregação dos parâmetros na avaliação da sustentabilidade 124
6.4.9. Determinação da nota sustentável 127
6.4.10. Apresentação do perfil sustentável 129
6.4.11. Apresentação da análise de sensibilidade 131
6.5. Análise e discussão dos resultados 132
6.6. Análise técnico-económica das soluções construtivas 134
7. Conclusões e desenvolvimentos futuros 139
7.1. Conclusões 139
7.2. Implementação de medidas de eficiência em casos semelhantes 147
7.3. Desenvolvimentos Futuros 149

Referências bibliográficas 151
Anexo 1 Inquérito sobre o conforto interior das frações em estudo 159
Anexo 2 - Análise coeficiente transmissão térmica das soluções 163
Anexo 3 - Análise LCA das soluções construtivas 171
Anexo 4 - Análise técnico-económica através do OPTiTERM-LFC 181

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Dados definitivos dos Censos 2011 1
Figura 2 – Centro G. Pompidou, Paris 1972/76 14
Figura 3 – Lloyds Bank, Londres 1979/84 14
Figura 4 – Consumo de Energia Final por setor em 2012 (%). Fonte: DGEG 18
Figura 5 – Consumo de Energia Elétrica por setor 2012 (%). Fonte: PORDATA 18
Figura 6 – Quadro tipológico da habitação: a sua evolução por época 35
Figura 7 – Edifício de habitação multifamiliar na Av. Brasil, Porto, Arq. F. Távora, 1956. (Fotos do autor) 36
Figura 8 – Tipologia de habitação plurifamiliar que foi dominante no Porto entre 50 e 80 37
Figura 9 – Nº de indivíduos por Km2, em cada região NUTS II. (População entre 1960 e 2011) 41
Figura 10 – Nº de indivíduos por Km2, na região do Norte e na região de Lisboa. 41
Figura 11 – Nº de indivíduos por Km2, na região do Norte 41
Figura 12 – Nº de indivíduos por Km2, na região de Lisboa 41
Figura 13 – Taxa de dependência energética (%). Fonte: DGEG, 2011 42
Figura 14 – Prevalência da incapacidade para manter a casa quente p/nível de pobreza relativa (2009) 44
Figura 15 – Distribuição de edifícios por região, em Portugal 46
Figura 16 – Distribuição de edifícios por época de construção, em Portugal 46
Figura 17 – Distribuição de edifícios segundo época de construção no Norte (%) 46
Figura 18 – Distribuição de edifícios segundo época de construção no Grande Porto (%) 46
Figura 19 – Percentagem de edifícios construídos por época na cidade de Lisboa 47
Figura 20 – Percentagem de edifícios construídos por época na cidade do Porto 47
Figura 21 – Distribuição de edifícios segundo a época de construção nas várias zonas do p aís 47
Figura 22 – Edificado construído antes e depois do primeiro regulamento térmico (RCCTE) 48
Figura 23 – Distribuição de alojamentos por região em Portugal 49
Figura 24 – Distribuição de alojamentos por época de construção em Portugal 49
Figura 25 – Distribuição de alojamentos por época de construção na Região Norte. 50
Figura 26 – Distribuição de alojamentos por época de construção no Grande Porto. 50
Figura 27 – Nº de alojamentos por época de construção na cidade de Lisboa 50
Figura 28 – Nº de alojamentos por época de construção na cidade do Porto 50

Figura 29 – Percentagem de alojamentos segundo forma de ocupação e época de construção em Portugal 51
Figura 30 – Percentagem de alojamentos segundo forma de ocupação em Portugal..... 51
Figura 31 – Distribuição de alojamentos segundo época de construção na região Norte (%) 51
Figura 32 – Distribuição de alojamentos segundo ocupação e época de construção no Porto (%) 51
Figura 33 – Distribuição de alojamentos e de residentes por época em Portugal (%) 52
Figura 34 – Distribuição de alojamentos e de residentes por época no Porto (%)..... 52
Figura 35 – Necessidades de fornecimento de energia de um edifício (Adaptado de Lourenço, 2012).54
Figura 36 – Alojamentos certificados por ano de construção, no Porto 56
Figura 37 – Alojamentos certificados por classe de eficiência, no Porto 56
Figura 38 – Estado de conservação de edifícios clássicos em 2011 (Portugal)..... 58
Figura 39 – Proporção de edifícios clássicos por época de construção e estado de conservação, 2011 59
Figura 40 – Estado de conservação de edifícios clássicos segundo região geográfica (NUTS II) 59
Figura 41 – % de edifícios, segundo necessidades de reparação por área geográfica na Região Norte 60
Figura 42 – Nº de edifícios, segundo a época de construção, por área geográfica na Região Norte 61
Figura 43 – Percentagem de edifícios, por área geográfica na Região Norte..... 61
Figura 44 – Percentagem de alojamentos, por área geográfica na Região Norte 61
Figura 45 – Percentagem de edifícios, por área geográfica no Grande Porto 62
Figura 46 – Percentagem de alojamentos, por área geográfica no Grande Porto..... 62
Figura 47 – Número de edifícios com necessidade de reparação na área do Grande Porto 63
Figura 48 – Nº de edifícios com necessidade de reparação, segundo área geográfica, do Grande Porto 63
Figura 49 – Estado de conservação de edifícios clássicos por estado de conservação na cidade do Porto 64
Figura 50 – Nº de edifícios com necessidade de reparação, segundo a época de construção, no Porto 65
Figura 51 – Alojamentos em Portugal segundo a principal fonte de energia para aquecimento..... 66
Figura 52 – Alojamentos em Portugal segundo tipo de aquecimento 66
Figura 53 – Percentagem de alojamentos com aquecimento por região, em Portugal 66
Figura 54 – Percentagem de alojamentos com aquecimento na região Norte 67
Figura 55 – Distribuição de alojamentos com aquecimento no Grande Porto e na Grande Lisboa 67

Figura 56 – Distribuição de alojamentos com aquecimento na região de Lisboa 68
Figura 57 – Percentagem de alojamentos com aquecimento na Grande Lisboa, região Lisboa 68
Figura 58 – Percentagem de alojamentos com aquecimento na Península Setúbal, região Lisboa..... 68
Figura 59 – Percentagem de alojamentos na região norte segundo fonte de energia para aquecimento 69
Figura 60 – Percentagem de alojamentos na região Lisboa segundo fonte de energia para aquecimento 69
Figura 61 – Viaduto Pedro Hispano sobre a rua *Sidónio Pais* (Filipe Jorge, 2000) 74
Figura 62 – Plano Auzelle documento 7, III Volume (1962) – Viaduto Pedro Hispano (RF, 2011) 74
Figura 63 – Imagem do Central-cine tirada no gaveto das duas ruas (CMP, 2013a) 74
Figura 64 – Planta esquemática da estrutura (CMP, 2013b) 75
Figura 65 – Planta dos três blocos ao nível do rés-do-chão (desenhos do autor) 76
Figura 66 – Vistas do exterior do edifício (fotos do autor) 77
Figura 67 – Vistas do exterior do edifício (fotos do autor) 77
Figura 68 – Grelha ventilação natural da fração F2 79
Figura 69 – Extrator mecânico de ventilação da fração F1 79
Figura 70 – Corte e planta do edifício: identificação da fração F1 em estudo (desenhos do autor) 79
Figura 71 – Alçados do edifício: identificação da fração F1 em estudo (desenhos do autor) 80
Figura 72 – Parede lavandaria 80
Figura 73 – Parede da cozinha 80
Figura 74 – Parede Wc pequeno 80
Figura 75 – Evolução das paredes exteriores em Portugal no século XX [Fonte: Dinis, 2010] 81
Figura 76– Plantas com a localização dos aparelhos de medição (desenhos do autor) 86
Figura 77 – Imagens dos diferentes aparelhos de medição utilizados (Fonte: https://www.google.pt, s/d) 87
Figura 78 – Relação entre índices PMV e PPD (Anónimo, (s/d). 90
Figura 79 – Média global do nível sonoro equivalente ponderado medido nas duas frações 91
Figura 80 – Valores médios em concentrações de CO_2, nas duas frações 94
Figura 81 – Medições do fluxo de ar (pressurização e despressurização) c/ *Blower Door* (fotos do autor) 97
Figura 82 – Escala utilizada na normalização das respostas subjetivas (Fonte: Mateus,2009) 99
Figura 83 – Pormenores tipo da fachada em zona de vão (desenhos do autor) 113

Figura 84 – Pontuação do desempenho das soluções 119
Figura 85 – Análise comparativa entre solução de referência e solução 1 130
Figura 86 – Análise comparativa entre solução de referência e solução 2 130
Figura 87 – Análise comparativa entre solução de referência e solução 3 130
Figura 88 – Análise comparativa entre solução de referência e solução 4 130
Figura 89 – Análise comparativa entre solução de referência e solução 5 130
Figura 90 – Análise comparativa entre solução de referência e solução 6 130
Figura 91 – Análise comparativa entre solução de referência e solução 7 130
Figura 92 – Análise comparativa entre solução de referência e solução 8 130
Figura 93 – Análise de sensibilidade obtido através do programa informático Mixtri 2.0 131
Figura 94 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução de Referência 182
Figura 95 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução 1 183
Figura 96 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução 2 184
Figura 97 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução 3 185
Figura 98 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução 4 186
Figura 99 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução 5 187
Figura 100 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução 6 188
Figura 101 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução 7 189
Figura 102 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução 8 190

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Nº de edifícios, por estado de conservação, em 2011. 2
Tabela 2 – Distribuição percentual de edifícios existentes por classes (Fonte: ADENE, 2012a) 56
Tabela 3 – Estado de conservação de edifícios clássicos segundo região geográfica (NUTS II) 60
Tabela 4 – Pormenores tipo da solução construtiva da envolvente exterior existente (desenhos do autor) 82
Tabela 5 – Dados climáticos na zona climática I2 - Porto 83
Tabela 6 – Valores dimensionais dos elementos construtivos das frações em estudo 84
Tabela 7 – Medições da Temperatura média diária e média total 88
Tabela 8 – Valores recomendados para temperaturas operativas em espaços de habitação (fonte: Mateus, 2009) 89
Tabela 9 – Valores de PPD e PMV para cada categoria de conforto térmico (fonte: Mateus, 2009) 89
Tabela 10 – Medições da Humidade Relativa média diária e média total 91
Tabela 11 – Valores recomendados para o nível de pressão sonora [dB(A)] em espaços interiores de edifícios residenciais, a adotar na fase de projeto [EN 15251:2007] 92
Tabela 12 – Medição de CO_2 (ppm) - valores registados no 1º dia 93
Tabela 13 – Medição de CO_2 (ppm) - valores registados no 2º dia (Tabela incompleta) 93
Tabela 14 – Identificação dos ensaios 96
Tabela 15 – Medição do fluxo de ar - valores registados na fração F1 96
Tabela 16 – Medição do fluxo de ar - valores registados na fração F2 96
Tabela 17 – Taxas de ventilação recomendadas em frações residenciais (fonte: Mateus, 2009) 97
Tabela 18 – Caudais mínimos de ar novo em compartimentos de edifícios – RCCTE (fonte: Mateus, 2009) 97
Tabela 19 – Dados comparativos dos coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente 106
Tabela 20 – Cálculo das perdas de calor e do Custo de energia (Fonte: Freitas, Guimarães, Ferreira e Alves, 2011) 107
Tabela 21 – Quantificação das perdas térmicas e custos energéticos das frações F1 e F2 108
Tabela 22 - Coeficientes de transmissão térmica de referência no Continente 109
Tabela 23 - Descrição das soluções construtivas existentes na F1 e F2 111
Tabela 24 - Descrição das soluções construtivas das propostas de reforço térmico 112
Tabela 25 - Coeficiente de transmissão térmica (U) de cada solução construtiva 114

Tabela 26 - Método LCA e unidades utilizadas na quantificação de cada categoria de Impacte Ambiental (Bragança & Mateus, 2011) 116
Tabela 27 - Parâmetros a analisar na metodologia MARS-SC 117
Tabela 28 - Resumo das quantidades dos materiais utilizados em cada solução construtiva 118
Tabela 29 - Peso total de cada solução, na fase de montagem 119
Tabela 30 – Resumo da análise LCA para determinação do Impacte Ambiental (IA) 120
Tabela 31 – Determinação da Massa volúmica e Redução Sonora 121
Tabela 32 – Custos de Construção, Manutenção e Ciclo de Vida a 20 anos 122
Tabela 33 - Resultados da quantificação dos parâmetros funcionais e econômicos. 122
Tabela 34 – Valores Normalizados de Impacte Ambiental (IA) 123
Tabela 35 - Valores Normalizados de Impacte Funcional (IF) 124
Tabela 36 - Valores Normalizados de Impacte Económico (IE) a 20 anos 124
Tabela 37 - Importância relativa dos parâmetros ambientais segundo estudo da EPA 126
Tabela 38 – Percentagem atribuída para cada parâmetro de Impacte Ambiental 126
Tabela 39 - Impacte Ambiental de cada solução 127
Tabela 40 - Pesos de cada parâmetro de Impacte Funcional (Mateus, 2009) 127
Tabela 41 - Percentagem para cada parâmetro de Impacte Funcional de acordo com a MARS-SC 127
Tabela 42 - Peso de cada dimensão de sustentabilidade na aplicação da MARS-SC 128
Tabela 43 - Nota de Sustentabilidade das soluções construtivas 128
Tabela 44 - Avaliação de desempenho relativo da solução de referência a partir da NS 129
Tabela 45 – Resumo do estudo de diferentes distribuições de peso dos indicadores de sustentabilidade 129
Tabela 46 - Desempenho de sustentabilidade para cada solução construtiva com valores inversos 131
Tabela 47 – Soluções construtivas por ordem decrescente de sustentabilidade. 133
Tabela 48 - Valores totais de perdas térmicas para cada elemento da construção 134
Tabela 49 - Custo anual da energia necessária para compensar as perdas de calor 135
Tabela 50 – Avaliação energética e económica em termos de poupança energética 136
Tabela 51 - Avaliação energética e económica em termos do retorno de investimento 136
Tabela 52 – Resultados do desempenho energético e desempenho sustentável das soluções 137
Tabela 53 – Soluções ordenadas segundo resultados apurados nas categorias de: U, CC e NS 138
Tabela 54 - Solução S Ref - Parede leve pelo interior c/XPS 3cm 164
Tabela 55 - Solução S 1 - Parede leve pelo interior c/XPS 5cm 164

Tabela 56 - Solução S 2 - Parede leve pelo interior c/MW 5cm 165
Tabela 57 - Solução S 3 - Isolamento térmico pelo exterior c/EPS 5cm 165
Tabela 58 - Solução S 4 - Isolamento térmico pelo exterior c/ICB 6cm 166
Tabela 59 - Solução S 5 - Parede leve pelo interior c/XPS 8cm 166
Tabela 60 - Solução S 6 - Parede leve pelo interior c/MW 8cm 167
Tabela 61 - Solução S 7 - Isolamento térmico pelo exterior c/EPS 8cm 167
Tabela 62 - Solução S 8 - Isolamento térmico pelo exterior c/ICB 10cm 168
Tabela 63 - VE Referência 168
Tabela 64 - VE Referência + VE Reforço 168
Tabela 65 - Resumo dos elementos construtivos a tratar e soluções propostas 169
Tabela 66 - Solução S Ref - Parede leve pelo interior c/XPS 3cm 172
Tabela 67 - Solução S 1 - Parede leve pelo interior c/XPS 5cm 172
Tabela 68 - Solução S 2 - Parede leve pelo interior c/MW 5cm 172
Tabela 69 - Solução S 3 - Isolamento térmico pelo exterior c/EPS 5cm 173
Tabela 70 - Solução S 4 - Isolamento térmico pelo exterior c/ICB 6cm 173
Tabela 71 - Solução S 5 - Parede leve pelo interior c/XPS 8cm 173
Tabela 72 - Solução S 6 - Parede leve pelo interior c/MW 8cm 174
Tabela 73 - Solução S 7 - Isolamento térmico pelo exterior c/EPS 8cm 174
Tabela 74 - Solução S 8 - Isolamento térmico pelo exterior c/ICB 10cm 174
Tabela 75 - Solução S Ref - Parede leve pelo interior c/XPS 3cm 175
Tabela 76 - Solução S 1 - Parede leve pelo interior c/XPS 5cm 175
Tabela 77 - Solução S 2 - Parede leve pelo interior c/MW 5cm 175
Tabela 78 - Solução S 3 - Isolamento térmico pelo exterior c/EPS 5cm 176
Tabela 79 - Solução S 4 - Isolamento térmico pelo exterior c/ICB 6cm 176
Tabela 80 - Solução S 5 - Parede leve pelo interior c/XPS 8cm 176
Tabela 81 - Solução S 6 - Parede leve pelo interior c/MW 8cm 176
Tabela 82 - Solução S 7 - Isolamento térmico pelo exterior c/EPS 8cm 177
Tabela 83 - Solução S 8 - Isolamento térmico pelo exterior c/ICB 10cm 177
Tabela 84 - Resultados obtidos pelas soluções construtivas através da MARS-SC - Grupo 1 178
Tabela 85 - Resultados obtidos pelas soluções construtivas através da MARS-SC - Grupo 2 179

LISTA DE SIGLAS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AEA Agência Europeia do Ambiente

AQS Água Quente Sanitária

ADENE Agência para a Energia

ADP *Abiotic depletion* (Potencial de destruição das reservas de recursos abióticos)

AP *Acidification* (Potencial de acidificação)

CIB *Conseil International du Bâtiment* (Conselho Internacional da Construção)

COV's Compostos Orgânicos Voláteis

CO_2 Dióxido de Carbono

CO Monóxido de Carbono

CE Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior

DCR Declaração de Conformidade Regulamentar

CE/DCR Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior Após Declaração de Conformidade Regulamentar

EEE Eficiência Energética em Edifícios

E.M. Estados-membros

ENR Energia não renovável incorporada

EP *Eutrophication* (Potencial de eutrofização)

EPBD *Energy Perfomance Building Directive* (Diretiva para o Desempenho Energético dos Edifícios)

EPBD-recast Diretiva para Desempenho Energético dos Edifícios – reformulada

EPEEproject *European fuel Poverty and Energy Efficiency project* (Projeto Europeu que aborda o problema da pobreza energética)

EPS *Expanded Poly Styrene* (poliestireno expandido moldado)

ER Energia renovável incorporada

ETICS *External Thermal Insulation Composite System* (Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior)

GEE Gases com Efeito de Estufa

GWP *Global Warming Potential* (Potencial de Aquecimento Global)

INE Instituto Nacional de Estatísticas

IEA *International Energy Agency* (Agência Internacional de Energia)

ICB *Insulation Cork Board* (placa de aglomerado de cortiça expandida)

kWh Quilowatt-hora

LNEC Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MW *Mineral wood* (Lã mineral)

MT Mega toneladas

NZEB *Nearly Zero Energy Building* (edifícios com necessidades quase nulas de energia)

OCDE Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

ODP *Ozone layer depletion* (Potencial de destruição da camada de ozono estratosférico através de CFC-11)

OMS Organização Mundial de Saúde

PCM *Phase Change Materials* (materiais com mudança de fase)

PIB Produto Interno Bruto

POCP *Photochemical oxidation* (Potencial de formação de ozono troposférico através da Oxidação Fotoquímica)

PPM Partes por milhão

RCCTE Regulamento das Características de Comportamento Térmico em Edifícios

RCD Resíduos de Construção e Demolição

RGEU Regulamento Geral das Edificações Urbanas

RRAE Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

RSU Resíduos Sólidos Urbanos

TEP Toneladas Equivalentes de Petróleo

U Coeficiente de Transmissão Térmica

UE-15 União Europeia (15 países)

UE-27 União Europeia (27 países)

XPS *Extruded Poly Styrene* (espuma rígida poliestireno extrudido)

WHO *World Health Organizacion* (Organização Mundial de Saúde)

WBCSD *World Business Council for Sustainable Development*

Notas prévias

Nestas notas prévias pretende-se elucidar sobre alguns dos assuntos tratados mais à frente. Começando a referência aos "anos 70" no título do presente trabalho, que é feito por uma questão de síntese. Na verdade, o período que se pretende abranger, está compreendido entre os anos 60 e os 90. Essa abrangência é dada pela caraterização do universo edificado neste período que apresenta uma problemática comum. O edifício do caso de estudo é de 1965. Será apresentado no capítulo 5. No entanto, importa relembrar que os anos 70 foram um período chave na história recente do mundo, tal como em Portugal. Vários acontecimentos ocorreram e modificaram as sociedades de modo singular. Esses tempos foram marcados pela grande crise energética (petrolífera) que terá propiciado o pioneirismo do desenvolvimento sustentável. Ao nível nacional, referem-se as mudanças políticas que aconteceram com a "revolução do 25 de Abril", os fluxos migratórios da população, entre outros. Esta também foi uma época em que se construiu muito, resultando num parque edificado extremamente ineficiente em termos energéticos que importará melhorar.

Ressalva-se aqui que parte integrante do texto que se expõe faz parte de um artigo publicado pelos autores no âmbito da presente investigação, tendo sido apresentado em conferência pública, em setembro de 2012, no *Workshop* "Construção e Reabilitação Sustentáveis: Soluções Eficientes para um Mercado em Crise" – do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade do Minho, em Guimarães.

Os diferentes gráficos que se apresentam ao longo do texto são referentes aos dados estatísticos dos últimos censos, em 2011, e foram elaborados a partir dos quadros com os indicadores (caracterização da população, da família e do parque habitacional) disponíveis *online* pelo Instituto Nacional de Estatística [INE].

Por último, refere-se que o questionário utilizado nas avaliações subjetivas, no ponto 5.9.4, foi baseado no inquérito da tese de doutoramento com o título "Avaliação da sustentabilidade da construção: Propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis" da autoria do Professor Doutor Ricardo Mateus (Universidade do Minho, Guimarães, julho de 2009) e sob a sua orientação. Para além disso, constituiu uma referência fundamental no desenvolvimento da parte correspondente do trabalho que agora se apresenta.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do tema

Como referem Freitas, Guimarães, Ferreira e Alves (2011), em Portugal, o incentivo à construção nova e à aquisição de casa própria foi uma estratégia política que originou um surto construtivo durante várias décadas, acima das necessidades e das possibilidades efetivas dos portugueses. O dinamismo da construção foi bastante superior à evolução demográfica e, por consequência, à própria constituição de lares familiares. Segundo dados oficiais do INE dos censos de 2011, poder-se-á confirmar através da Figura 1 que o número de alojamentos ultrapassa largamente o número de famílias originando um desfasamento entre a oferta e a procura. (INE, 2012)

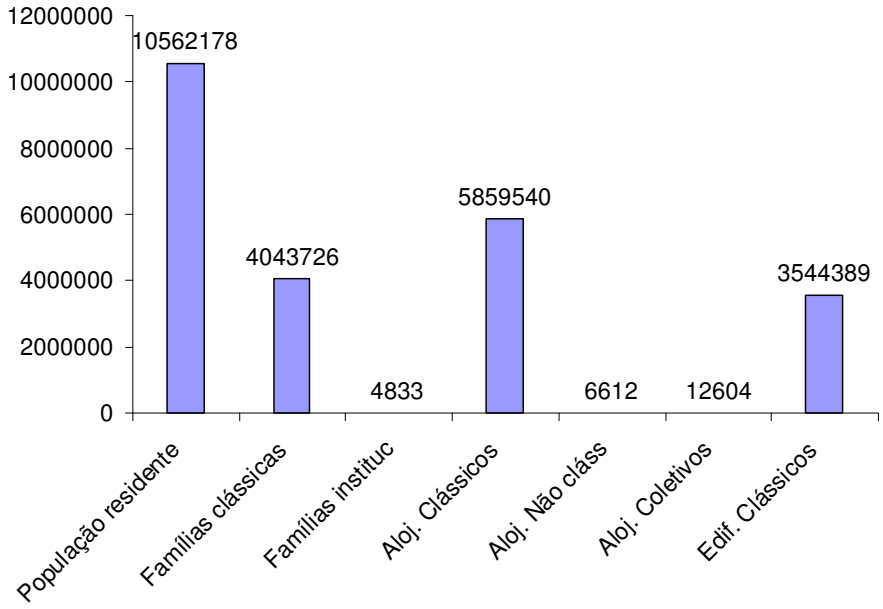


Figura 1 – Dados definitivos dos Censos 2011

Fonte: INE, Censos 2011 (adaptado Q.1.01)

Essa estratégia provocou, ainda, o crescimento do endividamento das famílias, o abandono das zonas mais antigas das cidades e a rápida expansão urbana para as periferias dos centros urbanos principais de uma forma pouco estruturada. Segundo Paiva, Aguiar e Pinho (2006) este "crescimento explosivo das áreas metropolitanas e dos seus subúrbios (...) geraram áreas urbanas periféricas, simbólica e fisicamente desqualificadas" que não foram capazes de se constituírem como verdadeiras zonas de cidade. Por estas razões, pode-se verificar a degradação acentuada do edificado anterior a 1960, bem

como um estado de degradação preocupante do edificado entre os anos 60 e 80 e, nalguns casos, até mesmo nos edifícios construídos a partir dos anos 90 (Freitas *et al,* 2011).

A falta de conservação e manutenção do parque edificado, poder-se-á justificar principalmente por motivos económicos, pelo elevado esforço financeiro na amortização do crédito que as famílias suportam quando compram casa. Igualmente haverá outros motivos, entre os quais, os socioculturais que justificarão parcialmente o desinvestimento dos portugueses na conservação e manutenção dos seus edifícios. A ideia fantasiosa de que os edifícios são para durar sem manutenção ainda prevalece na sociedade portuguesa reforçando o adiamento das obras de conservação.

Como refere José Perdigoto no prefácio da mesma publicação de Freitas *et al* (2011), citada no início, a maior parte da vida das pessoas é passada dentro de edifícios [mais de 75% segundo Mateus, (2009)], elevando o consumo de energia que "representa cerca de 30% da energia final e mais de 60%" da eletricidade gasta no país. Com base nos últimos censos, na Tabela 1, mais de 965 mil edifícios têm necessidades de reparação.

Tabela 1 – Nº de edifícios, por estado de conservação, em 2011.

Fonte: INE *online*, Censos 2011 (adaptado Q.2.06)

Estado de Conservação	**Portugal**
Sem necessidade de reparação	2 519 452
Com necessidade de reparação	965 782
>Pequenas reparações	624 322
>Reparações médias	244 303
>Grandes reparações	97 157
Muito degradado	59 155
Total de edifícios	**3 544 389**

Destes, como cita José Perdigoto (Freitas *et al,* 2011), "estima-se que existam cerca de 800 mil casas a necessitar de médias ou grandes reparações e mais de um milhão a necessitar de pequenas reparações". Juntando a estes dados, a grande maioria das frações autónomas existentes, certificadas até 2009, obtiveram a classificação energética nas classes C ou inferior. Poder-se-á concluir que existem razões para que o setor da construção, na vertente da reabilitação, possa emergir saindo da estagnação em que se vê.

Se por um lado existe a oportunidade de gerar economia, por outro, a necessidade de se baixar a fatura da energia e, ao mesmo tempo melhorar o conforto interior, impõe a necessidade de se promover a eficiência energética apostando na reabilitação do edificado existente de forma sustentável. Daí a importância de se estudar os princípios da reabilitação sustentável de edifícios tendo em atenção a realidade económica atual.

1.2. Objetivos

O presente trabalho incide sobre a problemática da eficiência energética ao nível da envolvente externa dos edifícios no campo da reabilitação sustentável. O estudo de soluções construtivas de baixa tecnologia (low tech) a baixo custo (low cost) no parque edificado existente, apresenta-se como uma possível alternativa para alcançar as metas da U.E. para 2020.

É assumido que as soluções *low tech* e *low cost* não deverão alterar significativamente a organização espaço-funcional da habitação e deverão constituir uma mais-valia em termos de conforto e eficiência energética.

Com este trabalho pretende-se saber:

- Quais as soluções de tecnologia de construção *low tech/low cost* que trazem benefícios para a reabilitação sustentável de edifícios existentes dos anos 70;
- Quais os critérios essenciais que satisfazem os requisitos mínimos exigidos nos novos objetivos a alcançar pelo desempenho energético dos edifícios – zero emissões de CO^2 e necessidades quase nulas de energia (NZEB)[1] – para 2020 (Desafios da nova EPBD Diretiva 2010/31/EU de 19 de maio de 2010);

Assim, pretende-se:

- Propor a integração de um conjunto de soluções *low tech/low cost* na habitação a reabilitar, promovendo a sustentabilidade, melhorando o conforto interior e a eficiência energética;

[1] Acrónimo da expressão de língua inglesa nZEB ou *Nearly Zero Energy Building.*.

1.3. Estrutura do trabalho

O trabalho é constituído por sete capítulos e, cada um destes, divididos em subcapítulos, existindo anexos no final.

No primeiro capítulo é feita uma abordagem introdutória ao tema estudado, definindo-se os objetivos, a estrutura e as metodologias utilizadas.

No segundo capítulo, é dada uma visão geral sobre o desenvolvimento sustentável e a sua evolução, abordando o papel da arquitetura e da tecnologia na reabilitação sustentável.

No terceiro capítulo são tratadas as fases do processo de reabilitação sustentável e define-se os critérios essenciais que servirão de base às intervenções de reabilitação dos edifícios dos anos 70.

O quarto capítulo refere-se ao parque habitacional em Portugal. Neste capítulo são referidos os antecedentes do "prédio de rendimento", a influência dos fluxos populacionais e a dinâmica do edificado ao longo do século XX. São também mencionadas as novas exigências regulamentares no que respeita à eficiência energética, o estado de conservação atual e os consumos de utilização nas habitações portuguesas.

No quinto capítulo é apresentado o Estudo de caso. É feita uma descrição das soluções construtivas das duas frações em análise, os dados climatéricos do local e o diagnóstico de avaliação de conforto interior concretizado através de uma campanha de medições e inquérito.

No sexto capítulo elabora-se uma proposta de reabilitação tendo em conta as anomalias identificadas no estudo de caso e apontam-se oito soluções construtivas possíveis. Neste capítulo, calcula-se ainda o coeficiente térmico da envolvente opaca externa das frações em estudo e das soluções propostas, quantificam-se os impactes ambientais e carateriza-se o desempenho sustentável para cada solução avaliada. Após a avaliação do desempenho global reúne-se num único valor todos os indicadores de sustentabilidade e determina-se a nota sustentável. O perfil sustentável é apresentado posteriormente para cada solução. Com base nos resultados obtidos analisa-se e hierarquiza-se todas as soluções sob do ponto de vista técnico-económico e, por fim, definem-se as medidas de eficiência para casos idênticos ao estudado.

Por último, no capítulo sétimo, tiram-se algumas conclusões e apontam-se caminhos para desenvolvimentos futuros.

1.4. Metodologia

A metodologia proposta para o desenvolvimento desta dissertação apoia-se na análise comparativa de um caso real: duas frações de um edifício de habitação coletiva construído em 1965, na cidade do Porto.

Por intermédio desta situação real, avaliou-se o desempenho térmico da fração intervencionada, através de reforço térmico, com outra mantida no seu estado original. Através da comparação entre as duas frações, procurou-se identificar as soluções construtivas mínimas que se podem introduzir num edifício ou fração existente dos anos 70. Estas soluções são pensadas de forma a aumentar o conforto interior e melhorar o seu nível de eficiência energética, mas empregando baixas tecnologias construtivas a custos reduzidos de investimento.

Com o estudo de caso pretendeu-se desenvolver uma série de argumentos, critérios essenciais, assentes nos pressupostos sustentáveis que possam validar a implementação de soluções construtivas *low-tech* e *low-cost* a outros casos semelhantes.

Para a avaliação do Estudo de Caso foram utilizados diferentes métodos de análise:

1. A Avaliação e Diagnóstico foi feito através de avaliações objetivas (medições) e avaliações subjetivas (inquéritos).
2. A Quantificação de Impactes Ambientais e Hierarquização das 8 soluções para a seleção da solução mais sustentável foram efetuados através do programa informático SimaPro e da metodologia MARS-SC, respetivamente.
3. A Análise Técnico-económica baseou-se na análise custo-benefício utilizando-se para o efeito o programa informático OPTITERM-LFC e a base de dados *online* da CYPE – gerador de preços referente a obras de reabilitação no Porto. Quantificaram-se as perdas de calor, as poupanças energéticas e o retorno de investimento de cada solução proposta.

2. DESENVOLVIMENTO, CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEIS

2.1. Enquadramento geral sobre a construção, o ambiente e a sustentabilidade

Segundo o ambientalista Jorge Moreira (2013), aos benefícios trazidos pela industrialização "*maior produção, maior volume de negócios, maior área urbana, mais e melhores tecnologias*", também trouxe consigo um maior consumismo e a insustentabilidade do equilíbrio do planeta, quer em termos humanos, quer em termos ambientais.

Conforme refere Ferreira (2010) o Homem ao longo dos tempos tem vindo a exigir, progressivamente, melhores condições de conforto e bem-estar nos espaços onde desempenha as suas atividades (casa, trabalho ou lazer). Estas exigências tiveram incidência direta no setor da construção aumentando exageradamente o consumo de energia e dos recursos naturais. O incremento conseguido trouxe consigo o aumento brutal da pressão sobre o meio ambiente com a "*produção de resíduos – sólidos, líquidos e gasosos – associados à construção e à utilização de edifícios".*

Segundo Edwards (2009) o estilo de vida que grande parte da população mundial leva, dita o grande impacte sobre o meio ambiente, na "*medida em que somos mais prósperos, desejamos mais coisas e consumimos mais*"[2].

Um dos setores com maior impacte na economia, na sociedade e no ambiente nos nossos dias é o setor da construção. Segundo Andrade, Bragança e Oliveira (2010) citando dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) referentes a 2003, este setor representava 9,7% do PIB Europeu, 7% da empregabilidade no mundo, podendo atingir os 23% nos países desenvolvidos. O consumo de energia representava 40% do total mundial e a produção de resíduos na Europa aproximava-se dos 180 milhões de toneladas por ano. O consumo de matérias-primas no mundo atinge as 3000 Mt/ano (extraindo 55% de madeira e 40% de rocha, cascalho e areia).

É, por isso, o setor que detém a maior parte da responsabilidade pelos elevados impactes ambientais que gera (pelas emissões de CO^2, pelo consumo de recursos não renováveis, pela produção de resíduos perigosos e não perigosos). Atualmente, a situação crítica que vive o ambiente à escala global, tem implicações a que não se poderá ficar indiferente. As alterações climáticas que se assiste são, em grande parte, consequências da intervenção humana e dizem respeito à própria capacidade de regeneração dos ecossistemas naturais, do seu grau de resiliência e poder de autorregulação.

[2] Traduzido livremente do espanhol.

Por todos os continentes são conhecidos os efeitos das alterações climáticas, tais como os fenómenos atmosféricos extremos (furacões, degelo das calotes polares, subidas da água do mar, cheias, secas, aridez de solos), o aumento da temperatura média do ar, a degradação dos ecossistemas e a perda da biodiversidade provocam a deslocação de populações, a falta de alimentos, a deterioração da saúde e põem em causa todo o equilíbrio ecológico, bem como "*o fim da civilização humana tal como a conhecemos"* conforme sugerido por Torgal e Jalali (2010). Segundo expresso no artigo 18º da "Declaração de Gaia"[3] é urgente tomarem-se medidas rapidamente porque "*a cada novo estudo sobre alterações climáticas renovam-se evidências e cenários cada vez mais alarmantes, que revelam o atraso de uma resposta prática, alargada e eficaz*". Com efeito, estas modificações são o reflexo do desafio ambiental com que o planeta se depara sendo imperativo tomarem-se ações que possam restituir o seu equilíbrio. O equilíbrio da biodiversidade é determinante para o funcionamento da vida na Terra (Magalhães, 2009).

As preocupações mais recentes com a sustentabilidade vêm de meados do século passado nomeadamente com a publicação do livro "*Silent spring*"[4] e com o Clube de Roma[5] tendo sido organizadas várias iniciativas que antecederam a Cimeira do Rio ou Cúpula da Terra em 1992. Com base neste tipo de preocupações foi criada uma comissão em 1983 pela Organização das Nações Unidas (ONU) cujo objetivo era promover um debate alargado a todo o mundo, recolhendo informação e produzindo os resultados obtidos através do consenso reunido.

A primeira vez que surge oficialmente a expressão de "Desenvolvimento Sustentável"(DS) ocorre em 1987, no mais mediatizado documento da época intitulado *Our common future* mas conhecido por relatório Brundtland[6], cujo o teor se traduz na frase que ficou para a história como sendo *"aquele que permite satisfazer as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras satisfazerem as suas*" (Torgal & Jalali, 2010). Este relatório, chama a atenção para a incompatibilidade de se continuar a viver com os atuais padrões de produção e consumo dos recursos naturais sem,

[3] A Declaração Constitutiva do Condomínio da Terra, foi organizada por um movimento de cidadania, envolvendo a Quercus, a C.M.Gaia e a Unesco. O 1º Fórum internacional do Condomínio da Terra – Gaia Commitment, reuniu especialistas e personalidades nacionais e internacionais em volta da organização da vizinhança global, além de várias centenas de participantes. Gaia. 4 e 5 de julho de 2009. [www.condominiodaterra.org]

[4] É um livro escrito por Rachel Carson e publicado pela editora Houghton Mifflin em setembro de 1962. Foi amplamente creditado como tendo ajudado a lançar o movimento ambientalista.

[5] Grupo composto por cientistas, industriais e políticos, que tinha como objetivo discutir e analisar os limites do crescimento económico tendo em consideração o uso crescente dos recursos naturais (1972).

[6] Nome da primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland que nos primeiros anos da década de 80 foi nomeada pela ONU para chefiar a *Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD)*. O Relatório Brundtland foi elaborado por esta Comissão.

contudo, conciliar-se a sociedade com o ambiente. O que se depreende destas palavras é que, no contacto entre Homem e Natureza, não existem apenas valores mínimos para as necessidades humanas, há também que considerar os limites máximos para a utilização dos recursos naturais, de modo a se poder preservá-los. A partir dessa data, o número de artigos científicos não tem parado de aumentar demonstrando o interesse despertado dentro da própria comunidade científica.

É na conferência da cidade do Rio de Janeiro em 1992, que o conceito de desenvolvimento sustentável assumiu, de facto, expressão internacional através do encontro entre os líderes de diversas partes do mundo (mais de 170 países) que culminou na elaboração de uma carta de princípios (Agenda 21) com estratégias e orientações para o equilíbrio do planeta. Em 1994, Charles Kibert propõe pela primeira vez a utilização do termo "construção sustentável" ao Conselho Internacional da Construção – CIB, na Florida, E.U.A. (Mateus & Bragança, 2006). Na interpretação de Ferreira (2010) a definição que caracteriza o conceito de construção sustentável é *"a criação e o planeamento responsável de um ambiente construído saudável, com base na otimização dos recursos naturais disponíveis e em princípios ecológicos".*

Charles Kibert em 1994, citado por Lopes (2010) no âmbito da mesma Conferência e de modo a alcançar uma construção mais sustentável, enumera seis princípios para a sustentabilidade:

- Minimizar o consumo de recursos;
- Maximizar a reutilização de recursos;
- Utilizar recursos renováveis e recicláveis;
- Proteger o ambiente natural;
- Criar um ambiente saudável e não tóxico;
- Fomentar a qualidade do ambiente construído.

Segundo referido por Lopes (2010), "*o desenvolvimento sustentável não é um estado fixo de harmonia, mas um processo em movimento*" onde todas as atividades humanas passarão a ser compatibilizadas com as necessidades atuais e futuras seguindo as três dimensões da sustentabilidade: **dimensão económica**, **dimensão social** e **dimensão ambiental.**

Com o objetivo de poder melhorar as condições de vida da população mundial principalmente, as mais frágeis e desprotegidas, atuais e futuras, das várias cimeiras realizadas sobre o desenvolvimento sustentável concluiu-se que seria necessário (Lopes, 2010):

- Satisfazer as suas necessidades mais elementares (alimentação, saúde, habitação, educação, lazer e emprego);
- Promover a educação para a conservação do ambiente e proteção da biodiversidade;
- Preservar e utilizar eficientemente os recursos naturais (aumento do uso das fontes de energia renováveis; materiais reciclados e eco eficientes; diminuição do consumo de energia, de produção de resíduos e de emissões de gases poluentes).

No entanto, segundo comunicado oficial da Agência Internacional de Energia (Internacional Energy Agency – IEA, 2012) o aumento das emissões de dióxido de carbono (CO^2) para a atmosfera, em 2010, tinha atingido o nível mais elevado de sempre (30,6 mil milhões de toneladas) podendo isso originar um aumento da temperatura de 2° C para além do "limiar perigoso". De acordo com a mesma fonte, a IEA tinha alertado anteriormente que as emissões anuais de CO^2 não deveriam ultrapassar os 32 mil milhões de toneladas em 2020.

Para além disso, a forma despesista como o Homem habita o mundo urbano, com consequências diretas sobre o ambiente das cidades, é também motivo de alerta.

Provavelmente, dos desequilíbrios causados ao ambiente, aquele que maior impacte gera é o do uso irracional da energia. No setor da construção esse desperdício é muito relevante. Há um grande consumo deste recurso tanto na vertente de produção, nomeadamente nos processos de extração e de transformação dos recursos naturais, como na vertente da construção dos edifícios propriamente dita. A energia consumida na fase de utilização dos edifícios está relacionada com muitos fatores, entre eles o uso intensivo de dispositivos de aquecimento, arrefecimento ou iluminação, e também a existência de edifícios sem adequado isolamento térmico e/ou inércia térmica.

Este é o cenário de desperdício com que grande parte da população aceita viver, mas que é necessário inverter. A intervenção na melhoria do conforto dos edifícios passará pela promoção de medidas que respeitem os princípios de sustentabilidade na construção, nomeadamente, a diminuição do consumo dos recursos naturais ao longo do seu ciclo de vida (Ramos & Silva, 2010).

Nessa perspetiva, pretende-se aqui salientar uma época (entre 1960 e 1980) que apesar de ter revolucionado mentalidades ainda que de forma "teórica", foi algo desastrosa em termos concretos. As construções dessa altura mostram que a sua elevada ineficiência energética, o seu grande desconforto interior e o seu fraco desempenho geral são causadores de um significativo impacte ambiental sobejamente conhecido.

No final dos anos 60, início de 70 surge *uma forte corrente ambientalista em defesa da natureza*, a partir da qual se considerava como sendo essencial para a vida no planeta, *a convivência em harmonia com a natureza* (Guedes, 2009).

Desde esse tempo até hoje já passaram mais de 50 anos e o planeta continua a sofrer a forte ação do Homem, por vezes desprezando cruelmente o ambiente natural e pondo em risco a sua própria sobrevivência. É essa ação nefasta dos seres humanos que urge parar.

2.2. Arquitetura e a sustentabilidade

> *"A sustentabilidade chegou para resgatar, definir metas, objetivos, tarefas e desafios. E o novo «paradigma» é rapidamente absorvido. Os arquitetos podem de novo salvar o mundo!"* (Arjen Oosterman, 2008)[7]

Contrariando a ironia expressa por Arjen Oosterman no texto anterior, Edwards (2009) defende que a arquitetura só por si não pode resolver os problemas do meio ambiente do planeta mas pode contribuir significativamente para a criação de habitats humanos mais sustentáveis. Mais recentemente a arquitetura tem sido influenciada pelos pressupostos ambientais que provocam alterações quer ao *nível projetual, como formal e construtivo,* conforme sugere Celinski (2008) e que conduzem ao conceito da *green house* (casa ecológica ou bioclimática). Segundo a mesma autora, no passado histórico da arquitetura já se observavam as preocupações de equilíbrio do espaço construído com o espaço natural.

A arquitetura vernacular é exemplo disso permitindo conseguir conforto e bem-estar com o mínimo de consumo de energia. O impacte gerado no ambiente era praticamente insignificante. O primeiro princípio utilizado era geralmente aproveitar as características desejáveis do clima enquanto se evitavam as indesejáveis.

O conceito de "arquitetura bioclimática" ou "arquitetura solar passiva"[8] e, portanto, sustentável assenta na ideia de se reunir soluções otimizadas para a habitabilidade de uma construção com o mínimo de consumo de energia considerando "*o clima como uma variável importante no processo projectual*",

[7] Conforme tradução livre da citação que Batista (2010) faz de Arjen Oosterman, in *Volume 18 – After Zero*, Amsterdan, 2008.
[8] Entre outras designações: arquitetura verde, arquitetura amiga do ambiente, arquitetura energeticamente eficiente, arquitetura ecológica.

segundo Gonçalves e Graça (2004). Este conceito dá importância à harmonia criada entre as construções humanas e o meio ambiente, otimizando o uso dos recursos naturais disponíveis no local de implantação (sol, vento, água, vegetação, topografia) com efeitos benéficos para o conforto humano e podendo ao mesmo tempo ser autossuficiente.

A "casa bioclimática" sendo projetada com inteligência tira partido da orientação solar, do terreno e da natureza envolvente no sítio, permitindo aumentar o nível de eficiência energética e reduzindo os impactes negativos sobre o ambiente natural. É nessa sábia adaptação do edifício ao contexto climático local que se propiciam as condições necessárias de conforto térmico adequadas a cada espaço e consequente aforro de energia.

Como já se referiu, o principal objetivo da arquitetura bioclimática é minimizar o consumo de energia mantendo os níveis de conforto ambiental dos edifícios. Para isso, é necessário recorrer a estratégias passivas, entre outras, que possam reduzir a utilização de meios mecânicos de climatização e de iluminação. De acordo com os mesmos autores, as variáveis climáticas que mais influenciam o comportamento dos edifícios são a temperatura do ar exterior e a radiação solar.

Mais recentemente, o conceito da Norma *Passivhaus* é um dos exemplos mais paradigmáticos de construção nova na aplicação desses objetivos bioclimáticos com grande sucesso, em especial, no centro e norte da Europa. A sua aplicabilidade ao nosso país ainda está numa fase inicial carecendo de estudos mais específicos para a realidade portuguesa. No entanto, este conceito não pode ser confundido com as construções de "desenho passivo", como se referia no parágrafo anterior (Passive-on Project, 2007).

Segundo esta norma, sabe-se que as perdas térmicas que ocorrem pelos elementos construtivos e pela ventilação deverão ser compensadas de modo a manter a temperatura do ar interior constante. Na época de aquecimento, quanto mais baixa for a temperatura exterior, mais energia será necessária introduzir no espaço interior para o manter a 20°C. Contudo, num edifício *passivhaus* com as condições normalizadas de conforto térmico e de qualidade do ar interior a que obedece, deve este possuir uma carga térmica de aquecimento inferior a 10 W/m^2 (os valores correntes aproximam-se dos 50 W/m^2). Para se vencer essa carga térmica dispensando a utilização de equipamento de climatização, utiliza-se um sistema de ventilação mecânica (recuperador de ar quente), de consumo muito reduzido de energia, permitindo que o ar novo seja previamente aquecido antes de ser insuflado para o interior. Este tipo de construção apresenta-se como mais uma hipótese a um custo aceitável (Passive-on Project, 2007).

A Construção Sustentável, apesar de ser mais abrangente, baseia-se nos princípios apregoados pela Arquitetura Bioclimática, sendo por isso considerados como dois conceitos que se complementam. Como

já foi referido anteriormente, o projeto de construções sustentáveis terá que englobar as três vertentes da sustentabilidade (ambiente, economia e social), em todas as fases ao longo da sua vida: desde a conceção do projeto, passando pela obra e utilização-operação até à sua desativação-desconstrução. O cuidado especial a ter na primeira fase de planeamento, onde se deverá reunir uma equipa o mais multidisciplinar quanto possível, é determinante para sustentabilidade de todo o processo. Segundo Garrido (2008), nessa fase dever-se-á ter em atenção alguns pontos:

- Identificação de métodos de redução do impacte ambiental no local da obra;
- Seleção de materiais eco eficientes evitando aqueles que sejam prejudiciais à saúde e ao ambiente;
- Utilização de métodos que reduzam ou eliminem resíduos nas várias fases do projeto;
- Seleção de materiais e equipamentos que permitam a futura reutilização;
- Utilização de materiais reciclados e recicláveis;
- Integração de tecnologias que potenciem uma melhor eficiência e minimizem resíduos;
- Implementação de medidas que visem melhorar o desempenho energético, reduzindo o consumo e privilegiem o uso de fontes renováveis durante as diferentes fases do projeto;
- Introdução de dispositivos e sistemas que reduzam o consumo de água, permitam o seu tratamento e a sua reutilização (mesmo que não potável) e aproveitem águas pluviais;
- Aplicação de soluções construtivas e mecanismos que assegurem a qualidade de ar interior, permitindo monitorizar frequentemente os seus parâmetros.

Como se sabe o crescimento da economia no mundo, o aumento da população, a subida das taxas de ocupação do solo a par de mais exigências de conforto geram um ritmo elevado de consumo e procura, provocando pressão acrescida sobre os recursos naturais. Segundo Moreira (2013), a crescente produção elétrica referente ao elevado consumo da sociedade atual, gera impactes ambientais que interferem negativamente no sistema climático, delapidando recursos naturais (hidrográficos, florestais, minerais, entre outros) e desequilibrando o ecossistema ambiental.

Conforme referido no *Relatório do Estado do Ambiente* [REA] (2011) é essencial "*compreender como utilizar os recursos de forma mais eficiente, gerando maior valor económico e permitindo que a taxa de utilização dos materiais seja inferior à taxa de crescimento económico*" com vista à *desmaterialização da economia.* No quadro da U.E. uma das estratégias apontadas para a eficiência na utilização de recursos, assegurando a saída da crise e preparar a economia para os próximos tempos, é a possibilidade de se fazer *um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo* (Europa 2020, 2012).

Cabe, também, aos arquitetos utilizar a sua sensibilidade e criatividade em projetos mais eficazes sob o ponto de vista da sustentabilidade. Como salienta Edwards (2009) "a sustentabilidade social, ecológica, cultural e tecnológica serão as medidas que se empregam para valorizar os edifícios do futuro."

2.3. Arquitetura Hight-tech versus Arquitetura Low-tech

As correntes arquitetónicas que emergiram nos anos 70 (*Hight-tech* ou Tardo-modernistas) estavam muito centradas no uso de materiais e tecnologias muito avançadas para a época, como por exemplo o Centro Pompidou – 1971-77 – em Paris, de Renzo Piano e Richard Rogers (Figura 2) ou o edifício do Banco Lloyds de Richard Rogers (Figura 3) onde a expressividade estética era colocada em evidência pelo revestimento de alta tecnologia aplicado nas fachadas (Celinski, 2008).



Figura 2 – Centro G. Pompidou, Paris 1972/76

(Fonte: Howard Davis, s/d)



Figura 3 – Lloyds Bank, Londres 1979/84

(Fonte: Matt Nardella, s/d)

Na sua investigação, Camila Celinski analisa os fundamentos do ambientalismo aplicados ao campo da arquitetura e a evolução do movimento ecológico inicial para uma sociedade mais sustentável. Atualmente, a arquitetura verde ou ecológica vem colocar ênfase noutros aspetos que terão pertinência na conceção dos edifícios recentes (como os materiais renováveis, a orientação solar, a iluminação e ventilação natural, o sombreamento e a capacidade térmica). No entanto, esta nova linguagem na arquitetura trouxe consigo uma divisão do pensamento ecológico: por um lado há os que defendem a utilização de materiais e tecnologias de baixo impacte – *low tech*; por outro, há os que pretendem explorar com a ajuda da ciência todas as possibilidades tecnológicas de alto desempenho e diferentes metodologias – *hight tech* (Celinski, 2008).

Os primeiros, *ecocentristas,* defendem a prevalência do coletivo sobre o individual; recorrem a exemplos do passado vernacular; ao uso de materiais naturais (madeira, terra) e a processos de construção semi-industriais. As suas preocupações estão voltadas para a conservação de energia, utilizando sistemas passivos na conceção de projetos residenciais e no projeto urbano mais compacto.

Os segundos, *tecnocentristas*, defendem a utilização de todas as inovações tecnológicas e incorporam vários tipos de materiais industrializados (betão, aço e vidro). As suas preocupações centram-se no uso de soluções que evitem desperdícios e promovam métodos de eficiência energética. Procuram unir tecnologia com sustentabilidade.

Dentro deste contexto, entre estas duas abordagens ecológicas – *low-tech* e *hi-tech* – surge uma terceira, os *ambientalistas moderados*, principalmente na Europa Central, onde tentam juntar o melhor dos dois mundos, combinando "*materiais e técnicas tradicionais com produtos e tecnologias inovadoras*". São os partidários da chamada *green architecture*. Esta última abordagem dos arquitetos abre espaço ao desenvolvimento de uma nova arquitetura mais perdurável: a arquitetura sustentável. (Celinski, 2008).

2.4. O papel da tecnologia na reabilitação da habitação em Portugal

Os edifícios, como um dos principais consumidores de recursos do setor da construção, representam por si só um enorme potencial para economia de energia e são essenciais para o desenvolvimento sustentável das cidades. Através da construção de edifícios inteligentes e sustentáveis poder-se-á reduzir significativamente o consumo de energia sem com isso afetar o conforto dos seus utilizadores.

Segundo alguns autores, o futuro do setor da construção passa pela reabilitação e requalificação do parque imobiliário residencial existente com a integração das tecnologias de informação, comunicação e automatização (TICA) (Eloy, Plácido, Duarte & Nunes, 2010). Muitos aspetos do quotidiano de hoje têm contribuído para alterações significativas no modo de vida das famílias, "*originando a crescente desadequação das tipologias tradicionais de habitação às exigências da sociedade contemporânea*", como refere Eloy (2006).

Estes factos ganham especial relevância quando o emprego das altas tecnologias (*hight tech*) tem vindo a invadir progressivamente os edifícios. Nos lares portugueses assiste-se a uma crescente (r)evolução tecnológica que procura dar resposta a novos hábitos de conforto e comodidade, elevando o nível de qualidade e tornando a vida mais facilitada. É vulgar, nos dias que correm, a utilização de computador e acesso à Internet, entre outros *gadgets*, na maioria dos edifícios de habitação em Portugal.

A utilização de soluções de automatização (domótica) na habitação pode apresentar-se como complemento das soluções passivas, numa vertente ambiental da sustentabilidade, bem como um importante auxiliar à mobilidade das pessoas mais vulneráveis em termos de saúde, representando a vertente social. Caminha-se rapidamente para o envelhecimento da população, prevendo-se que em 2050 cerca de um terço desta possa ter mais que 65 anos de idade (Eloy, 2006). As instituições de saúde poderão não ter condições para responder às solicitações. A automatização da habitação pode ser vista como uma solução possível.

Sabe-se, também, que cada vez mais as tecnologias são já parte integrante da vida na sociedade atual: no trabalho, em casa ou no lazer, de maneira individual ou coletiva. O desenvolvimento tecnológico permite diversas possibilidades de adequar as atividades humanas às necessidades específicas de cada indivíduo proporcionando-lhe uma maior qualidade de vida: maior comodidade, mais facilidades de uso, maior autonomia e segurança bem como melhor gestão de energia dos edifícios.

No entanto, estas tecnologias ainda não estão disponíveis a preços acessíveis para todos, representando por isso um investimento avultado que só poderá ser amortizado em grandes edificações, pelo grau de eficiência de gestão atingido, como também pela diminuição dos custos de operação associados (menos mão-de-obra, menor manutenção, entre outros). Também a sua introdução no mercado da reabilitação apresenta algumas condicionantes, dependentes do grau de intervenção a empreender no edifício. A sua aplicação num edifício obriga à presença de várias infraestruturas de redes e sistemas que requerem espaço físico e exigirão estudo e ponderação em relação às reais necessidades e potenciais vantagens para o utilizador (Eloy, 2006). Outra desvantagem é a significativa dependência que estas tecnologias têm da energia elétrica que em caso de falhar põe em questão o seu funcionamento e utilidade.

A aceitação das tecnologias, principalmente das TICA, ainda não terá sido suficientemente estudada em Portugal para que se possam retirar conclusões claras sobre o verdadeiro interesse por parte dos portugueses ou quais os resultados concretos em termos de relação custo/benefício. Sem pretensão de menosprezar as valências das tecnologias *hi-tech*, será de todo conveniente entender que a sua banalização, a acontecer num futuro próximo, não corrigirá todos os problemas da ineficiência energética dos edifícios ou outros problemas.

A sua aplicação não deverá ser entendida como resposta única e exclusiva para o desenvolvimento da construção sustentável. O recurso à alta tecnologia não deverá por isso comprometer esse desenvolvimento. Antes, dever-se-á entender a sua aplicação como medida complementar a outras

soluções, nomeadamente, às soluções *low-tech,* juntando o melhor das duas abordagens, tal como é defendido pelos *ambientalistas moderados*.

2.5. Conservação de energia e a reabilitação energética dos edifícios

Segundo citação de Richard Heinberg[9] (2011), a conservação de energia "*pode ser a nossa única opção importante para evitar a ruína económica, social e ambiental*". Julga-se que a produção de energia nas próximas décadas poderá ser limitada (independentemente da energia escolhida), implicando constrangimentos nos consumos e mudanças na economia. É necessário começar a pensar em restringir o seu consumo de modo a satisfazer apenas as necessidades humanas básicas, com o mínimo consumo de recursos e desencorajando os excessos. No futuro não muito distante, somente a estratégia da eficiência não chegará para as necessidades consumistas da atualidade.

> "Eventualmente, quando começamos a medir o sucesso não pela quantidade do nosso consumo, mas pela qualidade da nossa cultura, da beleza do nosso ambiente construído, e pela saúde dos nossos ecossistemas, podemos acabar sendo significativamente mais felizes do que somos hoje, assim como devorarmos muito menos terra sem pagar." (Heinberg, 2011)

Partilhando da visão deste economista, é forçoso crer que a atividade humana tenha que diminuir a sua carga sobre o ambiente, adquirindo uma postura mais sustentável sobre o planeta. A conservação da vida na terra depende disso.

De acordo com dados provisórios da Direção Geral de Energia e Geologia em 2012 (DGEG, 2014), no que diz respeito ao consumo de energia final, Portugal atingiu o valor de 15.591 ktep, tendo-se verificado uma redução de 5,6% face a 2011. Houve uma diminuição do consumo de petróleo de 10,1%, no de eletricidade de 4,4% e no de gás natural de 0,9%. Assim, em 2012, o país apresentava os seguintes valores percentuais por setor conforme se elucida na Figura 4: Transportes (35,7%); Indústria (32,5%); Doméstico (17%); Serviços (12%) e restantes atividades (2,6%).

Sabendo que o parque edificado representa uma das maiores partes do consumo de energia final total (cerca de 31%), em que o setor residencial é o mais significativo (17%) contribuindo, na mesma

[9] Richard Heinberg é membro sénior do *Post Carbon Institute*. O texto consultado *Conservation: There Is No Alternative* foi adaptado livremente de *The End of Growth: Adapting to Our New Economic Reality* (New Society Publishers, 2011).

proporção, com a emissão de gases com efeito de estufa (GEE), torna-se prioritária a intervenção neste setor através de medidas e ações para a reabilitação energética dos edifícios existentes.

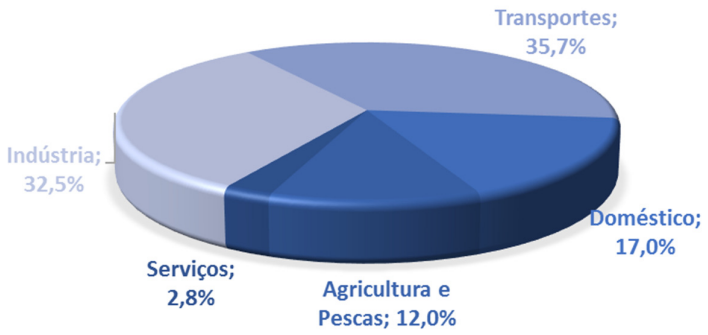


Figura 4 – Consumo de Energia Final por setor em 2012 (%). Fonte: DGEG

Quanto ao consumo de energia elétrica nos setores da indústria e serviços representa mais de dois terços, enquanto o setor doméstico é quase um terço.

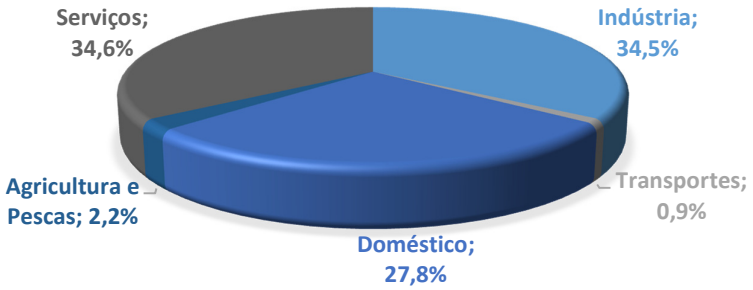


Figura 5 – Consumo de Energia Elétrica por setor 2012 (%). Fonte: PORDATA

A promoção da eficiência energética nos edifícios é, nos dias de hoje, condição essencial para se poder tornar o mundo melhor e mais sustentável e, assim, contribuir-se para consumos mais racionais ao mesmo tempo que se aumenta a eficiência global. Com isso, ganha-se em conforto do espaço interior, reduzem-se gastos com o consumo de energia e ganha o ambiente. Em suma, aumenta-se a qualidade de vida da sociedade, valorizam-se os imóveis, melhora-se a habitabilidade reduzindo-se custos e emissões poluentes, diminuindo a pressão sobre os recursos naturais não renováveis.

No que se refere ao mercado da construção, é conhecido que Portugal não tem muita tradição no que respeita à intervenção em património antigo, sendo que o setor da reabilitação, apesar de se apresentar em fase crescente (em 2007 representava 16,7% do total do mercado da construção), está longe da média da União Europeia (em 2007 aproximava-se de 40%). Sabe-se, também, que a aposta foi sempre mais focada no investimento para a construção nova e parece querer continuar.

Dado o panorama de carência económica que se vive, a tendência que se perspetiva será a de alteração dessa tradição. Por um lado, porque o quadro económico não facilita o acesso a habitação nova, por outro, é necessário repor as pessoas nos centros das cidades e, por último, é obrigatório reabilitar o parque edificado degradado sob pena de ele vir, literalmente, abaixo.

Conhecendo este cenário, parece fazer sentido concluir-se que a reabilitação não será apenas uma oportunidade mas antes uma imposição de ordem cívica com base no modelo da construção sustentável.

Julga-se ainda que, dentro do conceito de reabilitação, a reabilitação térmica terá um papel significativo na redução do impacte gerado pela utilização dos edifícios e com efeitos imediatos.

A implementação de soluções de reforço térmico na envolvente externa dos edifícios poderá funcionar como a primeira medida de conservação de energia, principalmente se outras medidas não puderem ser implementadas. Apesar de se constatar que em Portugal, a maior parte das intervenções de reabilitação, está centrada nas questões da reabilitação térmica, há outras medidas que devem ser equacionadas na mitigação dos efeitos negativos da utilização dos edifícios em termos de eficiência de desempenho.

Em relação ao edificado existente e no âmbito da eficiência energética nacional, a reabilitação energética dos edifícios surge como a solução que "*visa melhorar a qualidade térmica e economizar energia*" (Almeida, 2012), sendo de caráter obrigatório para as remodelações cujo custo ultrapasse os 25% do custo do edifício. A referida investigadora considera ainda que os custos associados às medidas de reforço energético a implementar serão largamente compensadas pela redução de custos obtidos na utilização do edifício.

2.6. Reabilitação energética e sustentável de edifícios

Como se sabe, a reabilitação de edifícios traz associada a problemática da falta de manutenção e conservação já aflorada anteriormente. No entanto, não se pretende retornar a essa problemática, mas focar o interesse na reabilitação energética propriamente dita. Julga-se que é um tema central na atualidade e de grande pertinência para o tema do trabalho a tratar.

A reabilitação energética de edifícios baseada na sustentabilidade tem em vista especialmente dois objetivos básicos que podem parecer contraditórios: por um lado a promoção do conforto (aumentando a qualidade de vida) e, por outro, a conservação da energia (reduzindo custos de utilização e ambientais).

O primeiro diz respeito ao aumento de qualidade dos ambientes interiores dos edifícios em resposta às novas exigências de conforto higrotérmico (Térmica; Humidade; Ventilação; Acústica). O segundo prende-

se com o aumento da eficácia do desempenho energético dos edifícios permitindo racionalizar os consumos de energia. Utilizando-se menos energia para a mesma quantidade de valor energético obtém-se um menor desperdício. Em suma, através de pequenas intervenções procura-se obter melhor conforto, gastar-se menos energia e com isso reduzir custos para os utilizadores bem como para o ambiente.

Como se tem dito, a eficiência energética assume hoje na sociedade um papel determinante para o aumento da qualidade de vida da população, em especial daquela que tem menos recursos económicos e que habita em edifícios de menor desempenho. Pode também caber à reabilitação energética o papel de renovação da imagem dos edifícios, da cidade e da recuperação do património desvalorizado e/ou sem utilidade.

Por último, não é de desprezar os benefícios para o bem-estar e saúde pública que representam algumas medidas de reabilitação energética gerando menos impactes e, por isso, contribuindo para aliviar impostos aos contribuintes.

Conforme referem alguns autores os edifícios possuem, para além do seu valor histórico, patrimonial, artístico, económico, um valor de uso (Paiva, Aguiar, Pinho, *et al* 2006). Esse uso ou utilidade, na prática, corresponde à razão essencial para o qual foi construído.

Todavia, o valor dessa utilidade vai diminuindo em contra ciclo com o aumento da degradação física marcada pela passagem do tempo (poluição, clima, fenómenos naturais extremos, utilização indevida, entre outros), com a evolução da sociedade e com o aumento do próprio conceito de qualidade de vida. Por essas razões, como citação de Freitas (2007), *a reabilitação do património edificado exige uma estratégia de continuidade*.

Continuando a referir os mesmos autores, não raramente, os edifícios apresentam um conjunto de anomalias intrínsecas à sua própria condição que podem condicionar a sua reabilitação. Esses condicionamentos são: a deterioração física; a inadequação funcional aos padrões atuais de salubridade; as deficientes condições de segurança da estrutura e contra incêndio e a ausência de legislação específica mais adaptada aos edifícios antigos tornam a reabilitação uma tarefa difícil e exigente mas, sobretudo, pouco acessível a quem tem baixos apoios financeiros. Na prática, supõe-se que é pouco exequível para a grande maioria da população nacional.

Apoiando esta ideia na caraterização da realidade portuguesa, conforme se apresentou no capítulo anterior e irá retomar-se mais à frente, parece óbvio tratar-se de um problema de natureza social e da sociedade no seu todo que importará analisar tal a abrangência do seu impacte.

Apesar dos diversos condicionalismos, o papel da reabilitação energética poderá assumir uma importância basilar na mitigação dos problemas associados ao conforto térmico dos ambientes interiores e, ao mesmo tempo, ao desempenho energético dos edifícios existentes com vantagens importantes quer do ponto de vista dos interesses dos promotores particulares (proprietários, inquilinos, etc.), quer do ponto de vista dos organismos públicos do setor do Estado, tais como o Ministério das Obras Públicas, da Administração Local, da Saúde e da Energia.

2.7. Entraves, vantagens e desvantagens da reabilitação energética

Apesar de ser um assunto de complexa e rigorosa análise, apenas se enumerará alguns dos entraves mais comuns e as vantagens e desvantagens mais significativas que esta abordagem agora permite.

2.7.1. Principais entraves à reabilitação energética

1. Desinteresse geral por parte da sociedade em dar a devida importância à necessidade de reunir investimento para a manutenção e conservação de edifícios secundarizando, frequentes vezes, os efeitos negativos da sua falta como:

- A perda de qualidade de vida,
- A deterioração material e ambiental,
- A desvalorização patrimonial,
- Os custos acrescidos associados ao consumo desperdiçado,
- O perigo para a vida e saúde pública,
- O não aproveitamento dos recursos existentes,
- O adiamento da independência de recursos energéticos externos ao país,
- Período atual com falta de estabilidade financeira e legal;

2. Conflito de interesses nos condomínios dos edifícios em regime de propriedade horizontal. Por vezes os interesses são tão contraditórios que a estratégia da não intervenção acaba por acolher o consenso da maioria envolvida.

3. A realidade sociocultural dominante faz tender as opções construtivas e materiais para escolhas menos criteriosas mas mais vantajosas no imediato sob o ponto de vista financeiro.

2.7.2. Principais vantagens da reabilitação energética

1. Melhoria da qualidade de vida dos utilizadores, com aumento das condições de conforto interior;

2. Melhoria do desempenho energético global com redução dos consumos de energia e diminuição de gastos com a fatura energética;

3. Melhoria da imagem do edifício com a valorização de um bem patrimonial;

4. Aumento da duração do ciclo de vida do edifício;

5. Minimização do impacte ambiental (diminuição da pressão sobre os recursos naturais: solo, ar, água, etc.) porque se promove a retenção das pessoas no local oferecendo melhor nível de conforto a custos menores, mantendo uma certa estabilidade urbana e social;

6. Reconhecimento pela sociedade da mais-valia a obter;

7. Redução de custos com a saúde pública, entre outros.

2.7.3. Principais desvantagens da reabilitação energética

1. Tratando-se de obras de reforço térmico passivo que incidem na envolvente opaca do edifício podem não ter expressão significativa na sua imagem exterior.

- Difícil aceitação de investimento dos promotores em algo que não se "vê";
- A melhoria do conforto a alcançar pode não atingir as pretensões desejáveis e expectáveis;
- O retorno do investimento só ser possível no médio ou longo prazo;
- Licenciamento ou procedimentos burocráticos podem diminuir o interesse;
- Setor bancário pouco sensível ou menos flexível a linhas de crédito para pequenos empréstimos;
- Benefícios fiscais só são expressivos quando se tratam de grandes intervenções. Para pequenas obras de reabilitação ou conservação, estes são quase insignificantes, anulando o efeito incentivador pretendido.

2.8. Principais medidas de eficiência nos edifícios existentes

Através da reinterpretação citada por Pina dos Santos (2012), entende-se que a reabilitação (energética) de um edifício é uma intervenção que confere ao edifício uma qualidade (térmica e energética) superior à que possuía aquando da sua construção inicial.

Segundo o mesmo autor os objetivos traçados para Portugal em termos de reabilitação do parque edificado assentam na:

- Melhoria das condições de conforto térmico (passivo);
- Redução (limitação do crescimento) dos consumos energéticos (aquecimento, arrefecimento, AQS, equipamentos domésticos, iluminação);
- Correção de situações anómalas (patologia construtiva e ambiental);
- Beneficiação imposta regulamentarmente.

Nessa perspetiva a reabilitação do património residencial existente deve ser realizada através de uma estratégia de reabilitação integrada e assente nas seguintes propostas de medidas sustentáveis (Pina dos Santos, 2012):

- Corrigir situações anómalas e aspetos críticos para a satisfação de requisitos básicos de desempenho dos edifícios (patologia construtiva e ambiental);
- Dar prioridade a medidas passivas simples que contribuem para a melhoria das condições de conforto térmico (*e.g.* proteção solar, ventilação natural/estanquidade ao ar controlada, isolamento térmico de coberturas inclinadas e em terraço, dupla janela, e/ou janela com vidro duplo);
- Reduzir (para a eventual limitação futura) o crescimento dos consumos energéticos de aparelhos (aquecimento, arrefecimento, AQS, equipamentos domésticos, iluminação);
- Ligar/correlacionar a reabilitação energética com medidas mais complexas e onerosas (mas com viabilidade económica) a outras intervenções de manutenção e de reabilitação da envolvente, dos equipamentos e dos espaços interiores;
- Sensibilizar os utilizadores para um conforto mais *natural* (adaptativo);
- Utilizar rotineira e racionalmente os dispositivos (passivos e/ou ativos) de controlo/adaptação das condições ambientais interiores;
- Optar por soluções (passivas e ativas) adaptadas à realidade construtiva, social e económica nacional;
- Preferir medidas simples, económicas, fiáveis e com baixo custo do ciclo de vida (fabrico, instalação, operação, manutenção, desconstrução);
- Utilizar racional e conscientemente (todos) os equipamentos consumidores de energia (informação e acompanhamento).

3. CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEIS DE EDIFÍCIOS

Em Portugal, reconhece-se que a retoma da economia terá que passar pela revitalização do setor da construção através da requalificação dos seus recursos humanos, pela reabilitação urbana e do mercado de arrendamento e pelo desenvolvimento sustentável e inovação tecnológica do setor. Os elevados índices de desertificação habitacional dos centros históricos das maiores cidades (como o Porto) e o grande número de edifícios ineficientes acentuam o grande potencial de exploração que existe.

Por essas razões, a evolução do setor da construção deverá passar indiscutivelmente pela reabilitação urbana e edificativa e pelo desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, a Regeneração Urbana e a Sustentabilidade surgem como dois conceitos centrais com grande pertinência e atualidade na realidade socioeconómica do país. A união destes dois conceitos, Regeneração Urbana Sustentável[10], pode traduzir-se na resposta necessária ao desenvolvimento do país, mostrando-se como "produto" de valor acrescentado na renovação do edificado das cidades.

Contudo, neste setor, verifica-se de um modo geral que ainda prevalece a aposta no edificado novo. Grande parte das soluções técnicas inovadoras da indústria e da investigação científica continuam a servir deliberadamente a construção nova prolongando mais essa aposta. Mesmo considerando que aquilo que se construa de raiz seja contemplado com o que de mais atual e eficiente exista, em termos de sustentabilidade e tecnologia, o seu peso na eficiência global do país será diminuto pela simples razão que o edificado existente é um universo muito mais expressivo do que o que se venha a construir no presente ou futuro próximo.

Como se tem conhecimento, a reabilitação de edifícios tem como objetivo prolongar o seu tempo de vida útil, atuando sobre os seus elementos construtivos, eliminando anomalias e/ou retificando (reparando, substituindo ou reforçando) partes que apresentem perda de funcionalidade ou eficácia para o que foram concebidas ou se pretendem utilizar.

Estas ações sobre os edifícios residenciais poderão ter em vista outros benefícios, como são a possibilidade de melhorar as condições de habitabilidade e eficiência de uma nova utilização. Na ótica das recomendações do ICOMOS, o conceito de reabilitação é entendido como uma adaptação da construção a um novo uso, desde que se respeite ou não se alterem as partes da construção com maior importância histórica (Lourenço & Oliveira, 2004). Em alguns casos, como por exemplo, os edifícios com

[10] Termos chave utilizados na designação temática da Feira Internacional da Construção para uma Regeneração Urbana Sustentável (Concreta), realizada entre 23 e 26 de Outubro de 2013, na Exponor, Matosinhos.

grande valor histórico, as ações de reabilitação pretendem conservar e proteger as suas caraterísticas mais singulares para memória futura (como expressa na *Carta de Veneza* de 1964).

Para além destes aspetos, o conceito de reabilitação está interligado ao conceito de reutilização, pelo que pode apresentar outras vantagens em comparação com a construção nova. A reabilitação ou a reutilização de uma construção é uma forma de solução sustentável (Lourenço & Oliveira, 2004), porque permite a redução de utilização de novos materiais e diminui a produção de resíduos de construção e demolição (RCD), podendo proporcionar uma poupança de recursos com significado peso ambiental, económico e até social, por exemplo, evitando a deslocação de pessoas de uma área para outra.

No que diz respeito à reabilitação sustentável de edifícios propriamente dita, pressupõe uma intencional e criteriosa escolha de opções técnicas e materiais, bem como uma metodologia, assente nos conceitos de sustentabilidade das construções e de acordo com o seu ciclo de vida (Bragança & Mateus, 2006).

De uma forma simplista, a aplicação de soluções da construção e reabilitação sustentáveis visa contribuir para uma prática construtiva menos agressiva sobre o meio ambiente ajudando a gerir os recursos naturais de forma cuidadosa e eficiente. A sua prática pretende equilibrar as necessidades humanas com o respeito pela continuidade dos recursos naturais para as gerações futuras.

3.1. Fases do processo de reabilitação sustentável de edifícios

3.1.1. Enquadramento

O processo de construção ou de reabilitação sustentável de edifícios procura basear-se nos princípios do Desenvolvimento Sustentável abrangendo todas as fases do ciclo de vida do edifício. Através da adoção de metodologias sustentáveis (técnicas passivas e ativas) procurar-se-á aproveitar os recursos ambientais endógenos para atingir os níveis de conforto desejáveis e evitando o recurso a equipamentos que gastem energia causando impacte ambiental. Para além da implementação de técnicas de conservação de energia, dever-se-á utilizar materiais mais ecológicos, equipamentos e sistemas mais eficientes que permitam uma melhor gestão de recursos, monitorizando e avaliando a eficiência em todas as fases.

Como salienta Faria (2010), este é um "processo cíclico" que consegue assegurar que "os princípios da sustentabilidade são respeitados na conceção do projeto, que a construção segue os procedimentos corretos, e que os edifícios são utilizados e mantidos segundo padrões sustentáveis pelos seus utilizadores."

Quer as soluções aplicadas à envolvente externa, quer as introduzidas no interior do edifício deverão contribuir para a melhoria das condições de conforto, para a eficiência energética, para a poupança dos recursos ambientais (água, solo, ar) sem, no entanto, provocar um "aumento significativo dos custos de utilização" (Faria, 2010) ou mesmo conseguir reduzi-los à mínima expressão –quase zero.

Como refere Zacarias (2012), num processo de reabilitação tradicional, este é constituído essencialmente por três fases: Análise e Diagnóstico; Projeto; e Execução. Contudo, numa perspetiva de sustentabilidade também deve ter-se em conta outras duas fases igualmente importantes: a Utilização/Manutenção e a Desconstrução.

3.1.2. Fase de Análise e Diagnóstico

A importância desta fase recai sobre a avaliação das condições físicas do edifício em relação ao seu estado de conservação, segurança estrutural, tipo de anomalias, caraterísticas arquitetónicas e construtivas, condições de conforto, desempenho energético, entre outros. Quanto maior for o grau do aprofundamento apurado mais completa será a informação a prestar para as fases seguintes influenciando decisivamente a qualidade final da intervenção. Conforme o apuramento atingido, pode-se obter ganhos económicos vantajosos (por exemplo, reduzindo tempos de elaboração de projetos e de execução da obra), prever prazos para a execução da obra com menores margens de erro e acautelar custos com maior precisão. Nesta fase poderá ser necessário proceder a ensaios e prospeções a alguns elementos constituintes da construção de modo a identificar as causas de algumas anomalias. Cabe aos técnicos que avaliam o edifício um papel crucial na orientação das decisões a serem tomadas nas fases posteriores.

3.1.3. Fase de Projeto

Como em qualquer construção, a fase de projeto assume-se como uma fase de extrema necessidade para a tomada de decisões. O conhecimento da realidade física da construção na fase de análise e diagnóstico ajudará a delinear os objetivos e a definir prioridades no destino e desempenho pretendido para a futura construção. Nesta fase concilia-se as necessidades de reabilitar com as pretensões do dono de obra e as condicionantes regulamentares.

No caso de uma reabilitação sustentável, um dos objetivos principais é a maximização do potencial existente em termos de recursos disponíveis, seja na recuperação e reutilização de recursos materiais

existentes, seja no aproveitamento dos recursos ambientais da própria envolvente local. Para além das condicionantes arquitetónicas (espaciais e funcionais) a tratar, as soluções a projetar deverão contemplar a otimização da construção no que diz respeito ao desempenho da eficiência energética e hídrica tendo em conta a situação geográfica e orientação solar onde o edifício se encontra. Por outro lado, ter-se-á que dar relevância aos aspetos do conforto interior como a térmica, a qualidade do ar, a acústica e a iluminação.

Este trabalho deve ser elaborado por uma equipa multidisciplinar com projetistas de diversas especialidades com formação adequada e experiência preferencialmente neste tipo de obras. Conforme sugere Lopes (2010), a equipa projetista tem ainda a incumbência de desempenhar "um papel dinamizador e influenciador" da construção sustentável, perante as escolhas do dono de obra.

3.1.4. Fase de Execução

O início desta fase dá-se no momento da adjudicação da obra a uma entidade executante. Como forma de garantir o sucesso da execução da obra, é importante a verificação das competências e capacidades técnicas do empreiteiro, devendo este assegurar o sucesso da empreitada através da implementação de um sistema de gestão da qualidade, bem como de um sistema de gestão ambiental. A implementação deste último reveste-se de singular importância na sustentabilidade do processo de execução, oferecendo maiores garantias no cumprimento das questões ambientais gerados pelos impactes da obra, mas também no controlo de custos e de prazos de execução. O impacte ambiental provocado pelos trabalhos no local deverá ser minimizado de forma a evitar a poluição do ar, dos solos e dos ruídos gerados.

Outro aspeto de especial relevância nesta fase prende-se com a produção de resíduos da própria construção e demolição e a sua gestão. A implementação de um sistema de gestão dos resíduos da construção e demolição (RCD) com vista à sua reutilização é uma estratégia que proporciona a redução de utilização de novos materiais possibilitando a reutilização e a reciclagem dos RCD. Através de uma triagem mais eficiente, poder-se-á contribuir para a redução do impacte ambiental, diminuir o consumo de água e energia, e contribuir para reduzir a libertação de GEE. Para além disso a reutilização dos RCD proporciona uma poupança de investimento, podendo potenciar e facilitar a desconstrução futura do edifício.

3.1.5. Fase de Utilização/Manutenção

Como foi referido anteriormente a fase de utilização ou exploração de um edifício é a mais gastadora em termos energéticos. A durabilidade e a sustentabilidade de um edifício na fase de utilização dependem essencialmente dos hábitos comportamentais dos seus utilizadores. Por esse facto, é necessário que haja mudanças nos seus hábitos diários apostando-se, desde o início da fase de projeto, na consciencialização e formação dos utilizadores sobre uma utilização mais sustentável do edifício. Segundo Lopes (2010) é imperativo que se promova a elaboração de um Manual de Utilização que contenha as informações necessárias do modo de funcionamento dos vários sistemas e equipamentos aplicados, a periodicidade de limpezas, substituições e manutenções recomendadas.

Complementarmente ao manual de utilização deverá ser realizado um Plano de Manutenção que possa elucidar os utilizadores de quais as ações a desenvolver nas partes do edifício, a hierarquia de atuação e a sua prioridade no tempo. A informação a conter no plano de manutenção englobará as partes comuns do edifício, interiores e exteriores, como as zonas de circulação, as caves, as garagens, as fachadas, as coberturas, os espaços exteriores, entre outros.

Como forma de manter a eficiência e o conforto previsto no projeto é importante a existência de sistemas integrados de monitorização e alerta que possam detetar eventuais anomalias dos variados sistemas em funcionamento e com isso contribuir para a poupança global.

3.1.6. Fase de Desconstrução

Segundo os autores A. Couto, J. Couto e Teixeira (2006), "a desconstrução ou demolição seletiva de um edifício é um processo que se carateriza pelo seu desmantelamento cuidadoso". O emprego desta metodologia tem em vista recuperar materiais e componentes de uma construção existente para poderem ser reaproveitados (reutilizados ou reciclados) nessa ou noutra obra. O processo de desconstrução requer a separação cuidadosa dos materiais sendo necessário o planeamento da demolição e a preparação do estaleiro da obra. Deverão ser previstos contentores com separadores para os diferentes materiais (betão, alvenarias, cerâmicas, madeira, papel, plásticos, isolantes ou gesso), sempre que possível posteriormente à demolição seletiva, proceder-se à recolha seletiva.

A promoção deste processo torna possível o aproveitamento de diferentes resíduos da demolição diminuindo a sua produção e com efeitos positivos sobre o ambiente. A valorização dos RCD permite que estes não sejam eliminados para aterro, poupando solos e não contaminando recursos naturais como é

feito usualmente de forma errada. Como referem os mesmos autores este processo técnico inovador permitirá, com o desenvolvimento da sua prática, desenvolver soluções construtivas que possibilitem erigir edifícios mais duráveis, "com materiais de menor impacte ambiental e com grande potencialidade de reutilização" (A. Couto, J. Couto & Teixeira, 2006).

3.2. Definição de critérios essenciais para a reabilitação sustentável

Mesmo numa reabilitação sustentável sabe-se que, por mais eficientes que sejam as soluções a implementar, se não forem economicamente viáveis não irão resultar. Dentro deste raciocínio, procurar-se-á neste ponto, definir quais os critérios essenciais para a proposta de reabilitação sustentável de edifícios de habitação dos anos 70.

Esta definição de critérios essenciais está dependente da satisfação dos requisitos mínimos exigidos dentro da lei em vigor e nos novos objetivos traçados para 2020 – isto é, permitir que os edifícios possam alcançar zero emissões de CO_2 e sejam do tipo NZEB, edifícios com necessidades quase nulas de energia.

No entanto, é intenção que esta definição assente na premissa da intervenção mínima numa perspetiva *low-tech* e *low-cost*. Isto é, pretende-se alcançar a otimização energética dos edifícios através do recurso ao mínimo de soluções tecnológicas com investimentos mínimos.

Esta otimização porém não pretende recorrer à aplicação de soluções técnicas de grande sofisticação tecnológica tanto quanto possível. Os custos inerentes à utilização de determinadas soluções *hi-tech*, poderão tornar as soluções inviáveis economicamente e, por vezes, dificilmente executáveis.

O desafio aqui é apostar em soluções de baixa tecnologia e com baixos custos que consigam satisfazer a premissa da intervenção mínima – implementação de soluções sustentáveis *low-tech* e *low-cost* – sem contudo perder-se em qualidade. Pretende-se que a integração destes dois conceitos na reabilitação sustentável só sejam aceites se não puserem em causa a qualidade da intervenção.

De preferência esses critérios deverão alicerçar-se em quatro aspetos elementares de melhoria e que se complementam entre si:

1. Na melhoria da eficiência energética atuando sobre a envolvente passiva do edifício;
2. Na melhoria da eficiência dos equipamentos, potenciando uma melhor e eficaz utilização;
3. Na melhoria do comportamento dos utilizadores, mudando hábitos e comportamentos;
4. No aproveitamento dos recursos existentes e utilização de fontes renováveis de energia, segundo a orientação solar, orientação de aberturas, condições climatéricas locais, entre outros;

A definição destes aspetos tem em vista a melhoria do conforto interior, a redução do consumo energético e diminuição do impacte ambiental através da redução de emissões de CO_2.

Para o desenvolvimento do primeiro nível de atuação, ter-se-á que aumentar a qualidade térmica da envolvente da construção. Neste ponto a escolha deve incidir sobre a correção térmica dos elementos construídos em contacto direto com o ambiente externo (coberturas, fachadas, envidraçados, terraços ou pavimentos exteriores). O tratamento requerido aos elementos da envolvente assenta no conceito da conservação da energia. Nesse sentido, a correção térmica dos elementos exteriores (opacos e transparentes) poderá ser feita através:

- Do reforço térmico (acrescento de isolamento térmico) em elementos opacos e transparentes;
- Do tratamento dos ganhos térmicos dos vãos no verão (colocação de palas e sombreamento exterior);
- Da alteração de revestimentos superficiais (substituição de materiais e cores);

Para a satisfação do segundo nível de atuação, por um lado, dever-se-á escolher os equipamentos mais eficientes (e.g. classe energética A+) promovendo a substituição dos aparelhos existentes (climatização, aquecimento de águas, eletrodomésticos de utilização prolongada, lâmpadas) que não satisfaçam as novas exigências energéticas. Por outro, dever-se-á procurar introduzir equipamentos ou sistemas que façam uso das fontes renováveis de energia para: aquecimento ambiente, aquecimento de águas, gerar eletricidade, iluminar, entre outros.

A satisfação do terceiro nível de atuação tem a ver com a melhor gestão do conforto ambiente por parte dos utilizadores e no aproveitamento e otimização dos recursos disponíveis no local.

Pensa-se que fará sentido consciencializar os utilizadores para a importância da mudança de alguns hábitos comportamentais no quotidiano com vista a melhorar o desempenho energético da sua habitação, obter melhor conforto e reduzir o peso da fatura energética no seu orçamento mensal.

Com a introdução de simples práticas de conforto adaptativo (capacidade humana de se adaptar ao ambiente e não o contrário) poder-se-á reduzir o desperdício e diminuir os custos com o consumo de energia. (e.g. fecho de janelas e estores nas horas de maior incidência solar; abri-las fora das horas de sol ou para ventilação noturna; utilizando peças de roupas mais quentes quando a temperatura baixa, etc.).

Em suma, ter-se-á que modificar comportamentos e hábitos de utilização que ponham em causa a saúde dos ocupantes, o desperdício de recursos não renováveis e o não aproveitamento das fontes de energia

renovável. A melhoria da utilização dos equipamentos e dos recursos existentes tornando a gestão do edifício mais eficiente do ponto de vista do seu desempenho energético deve passar pela sistematização e racionalização do comportamento dos utilizadores.

Por último, em relação ao quarto nível de atuação, as fontes renováveis de energia disponíveis gratuitamente na natureza quando existentes ou possíveis de aplicar aos edifícios são sem dúvida uma opção importante no aproveitamento dos recursos energéticos para a melhoria da eficiência dos edifícios e redução de emissões nocivas ao ambiente.

No entanto, a sua introdução nos edifícios pode constituir um investimento considerável e implicar obras de adaptação (e.g. a colocação de painéis solares). Mas existem alguns casos em que o aproveitamento desses recursos pode ser feito sem grandes investimentos ou recorrendo a pequenas adaptações das condições existentes.

Dependendo das condições locais, orientação solar da fachada, entre outros aspetos, a construção de uma parede de Trombe é, talvez, mais aconselhável num edifício unifamiliar. Mas a construção de uma "marquise" numa varanda existente, muito vulgar em Portugal, pode resultar numa estufa de inverno no período de aquecimento. Desta forma, aumentando os ganhos térmicos para o interior da habitação contribui-se para a redução das necessidades de aquecimento por climatização. Desde que se tomem algumas medidas adicionais de sombreamento e ventilação para atenuar efeitos excessivos em picos de calor, por exemplo, no verão, esta pode ser uma medida adequada.

De salientar ainda que os dois primeiros critérios terão que salvaguardar o conforto interior sob pena, se não o fizerem, das medidas a implementar não fazerem sentido. Sobre o aspeto do conforto interior, na opinião de Pina dos Santos (2013) as condições de referência dadas pelo RCCTE anterior, bem como as necessidades nominais de energia usadas em aquecimento, arrefecimento e AQS daí resultantes "não devem constituir o referencial para a definição das medidas adequadas." Esta opinião baliza-se em estudos realizados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e outras entidades, que revelaram que a gama das temperaturas de conforto consideradas pelas pessoas eram mais tolerantes do que as indicadas pela regulamentação.

Possivelmente, as recentes alterações efetuadas à regulamentação são o testemunho dessa opinião, uma vez que o recente Dec. Lei n° 118/2013 prevê a redução da temperatura na época de aquecimento em 2°C que passa agora a ser de 18°C segundo redação do Despacho (extrato) n.° 15793-F/2013. Facilmente se constará que, por exemplo, a redução dos valores de aquecimento ambiente em alguns graus trará benefícios no consumo de energia sem perda significativa do conforto dos ocupantes.

4. PARQUE HABITACIONAL EM PORTUGAL

4.1. O problema da habitação no Porto e o prédio de rendimento

Antes de avançar no tema da eficiência energética, âmbito focal do presente estudo, importa compreender a origem ou, o que está na base do tipo de edificação que dominou o período anterior a 1974 na cidade do Porto – o *prédio de rendimento* – como era conhecido vulgarmente.

A importância do conhecimento dos antecedentes históricos do *prédio de rendimento* no caso do Porto, assenta em algumas caraterísticas arquitetónicas identificáveis quer na organização interna do edifício, quer da relação deste com o lote e com o arruamento onde se insere que o tempo tendeu a esquecer. Essas caraterísticas mantiveram-se constantes por um período histórico extremamente longo entre os séculos XVI a XIX, acabando por influenciar decisivamente a habitação do século XX.

Como refere Barata Fernandes (1999), no Porto, tal como noutras cidades "a casa em profundidade e de frente estreita" da pequena burguesia assumiu especial relevância na solução dos problemas habitacionais setecentista e oitocentista, com a formação da habitação do tipo plurifamiliar. Nesta altura as casas nobres e burguesas (apalaçadas) dentro da urbe não abundavam, como aconteceria por outras cidades europeias.

Da cultura renascentista e maneirista, são conhecidos exemplos de "transformação de palácios em conventos ou em habitação de várias famílias," conforme citação do mesmo autor. Segundo este, crê-se que a construção do modelo de programa plurifamiliar, no Porto, só terá surgido depois dos anos 40, após 2ª Guerra Mundial. Até essa data, o modelo utilizado, não assenta em termos teóricos como em Lisboa nos séculos XVIII (baixa pombalina) e XIX, onde eram concebidos de raiz mas decorre de um processo de sobreocupação das casas burguesas. "É a via pobre, simultaneamente individualista e solidária, de criação provisória e casuística de habitação" (B. Fernandes, 1999).

Neste processo de adaptação de uma habitação burguesa de matriz unifamiliar, em habitação operária plurifamiliar, é evidenciado o período de carência que se vivia na época (final do séc. XVIII até meados do séc. XIX), devido aos sucessivos fluxos da população rural para a cidade a que era necessário dar resposta. A cidade pré-industrial crescia para fora do seu núcleo central, abrindo novos arruamentos para o ocidente (e.g. a abertura da Avenida da Boavista em 1850-1917) e trazendo com isso novas funções e o início de outras centralidades (novo centro de negócios nas proximidades da Rotunda da Boavista).

Nesta transformação urbana, a tipologia de habitação plurifamiliar da classe pequeno-burguesa é a representação de um processo de recuperação continuado de longa duração. Conforme se pode verificar

na Figura 6, a sua evolução tipológica é feita de época para época. É esta casa que consegue corresponder às necessidades de adaptação necessárias. Experimenta-se neste processo a tipicidade e a singularidade das soluções arquitetónicas através de acrescentos, remendos, ruínas, ao mesmo tempo que se introduzem as funções modernas.

Em relação à organização interna deste tipo de habitação, as características e o local onde são colocadas as escadas assumem um papel de destaque. A colocação das escadas no extremo da habitação, numa das frentes, facilita a subdivisão por pisos e oferece a continuidade do espaço interior. Mas apresenta limitações de área (por vezes só com uma divisão) por piso e dificuldade de iluminação e ventilação. A sua progressiva evolução, com o aumento da frente do lote onde a distribuição era feita para ambos os lados do patamar de cada piso, deu origem aos primórdios da tipologia esquerdo-direito.

Por sua vez, se a sua localização for central, apesar de não ser muito diferente da anterior em termos organizacionais, apresenta maiores dimensões e diferentes proporções. Para isso também depende a localização da construção: se dentro da muralha e inserida num quarteirão compacto e íngreme ou, se fora da muralha, onde se associam dois edifícios implantados em quarteirões planos, ocupando a profundidade do lote. Os edifícios eram construídos com vários pisos, criando tantas habitações quanto as tecnologias e os materiais o permitissem.

Convém reter que as construções de habitação plurifamiliar de duas frentes, estreitas e profundas, com escada central, permanece desde o século XVIII até ao início do século XX, caracterizando a ordem urbana da própria cidade do Porto. Deste processo de adaptação da tipologia unifamiliar para a plurifamiliar e, depois, para a construção de um novo modelo plurifamiliar, surge a importância da variação do programa distributivo/organizativo. O que começou por ser uma condicionante (a dimensão do lote e do cadastro) passou a ser uma opção de um determinado tipo de habitação – a escolha da casa burguesa.

De facto, o tipo de habitação plurifamiliar portuense é produzido sistematicamente durante a 1ª metade do séc. XX, respeitando o cadastro e a tipologia dos modelos preexistentes. Caracteriza-se por edifícios de habitação com rés-do-chão destinado a comércio ou garagem e andares para habitação (3, 4 ou 5 pisos). Foi este tipo de modelo plurifamiliar que predominou no Porto, sem grande sofisticação espaço-funcional mas mantendo um certo conceito de urbanidade antigo, em harmonia formal com as preexistências (respeitam-se alinhamentos, cérceas e materiais).

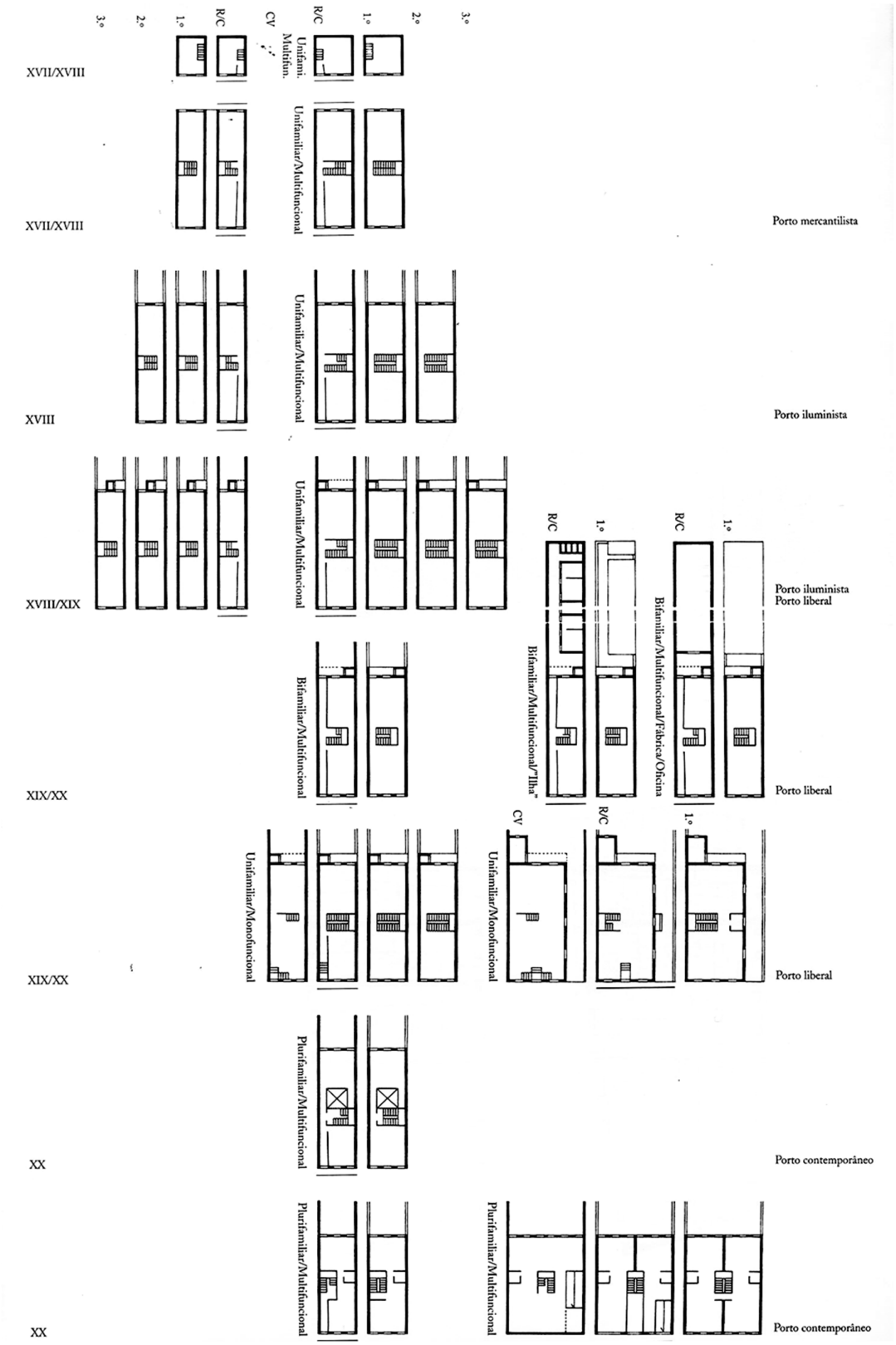


Figura 6 – Quadro tipológico da habitação: a sua evolução por época

Fonte: Barata Fernandes, 1999

Mais tarde, com a introdução dos saguões, regista-se uma nova chave de transformação que permite satisfazer as necessidades de iluminação e ventilação naturais em zonas de serviço da casa. Este elemento passa a constituir uma solução lógica para os lotes profundos, com caixa de escadas central e em prédios de rendimento.

Um dos últimos exemplos da sua utilização foi o edifício modernista de Fernando Távora na avenida Brasil, em 1956, apresentado nas imagens da Figura 7. Refere-se ainda que neste caso, o arquiteto, apesar de apresentar uma imagem arquitetónica distinta da utilizada pelos seus antecessores, segue agora os cânones do estilo internacional mas mantendo o espírito da continuidade formal urbana.



Figura 7 – Edifício de habitação multifamiliar na Av. Brasil, Porto, Arq. F. Távora, 1956. (Fotos do autor)

Posteriormente, surgem novas tipologias de habitação urbana que romperam com a continuidade morfológica da cidade, presente nos modelos tipológicos que se referiram anteriormente. A experimentação da tipologia do "bloco" e da "torre", das megas construções, forçando a sua integração na malha urbana, levam a um desfasamento do próprio preenchimento da cidade. Interpretando a opinião de Barata Fernandes (1999), houve uma "demissão de se controlar a cidade" que "é sintoma da debilidade e subalternização de um fio condutor da história". Esta mudança de estratégia pressupõe um novo perfil de investidor, melhor informado e apostando no progresso moderno.

Poder-se-á concluir que os *prédios de rendimento* de habitação plurifamiliar, no Porto, terão surgido durante o século XX, mas ainda com caraterísticas cadastrais e tipológicas presas aos modelos preexistentes (através da adaptação dos modelos de habitação unifamiliar a habitação plurifamiliar) construídos nos séculos anteriores. No entanto, a partir dos anos 40, encontram-se alguns exemplos que apresentam novas características muito distintas dos exemplos anteriores, construindo-se em escala e dimensão análogas a modelos importados.

Ainda sobre o *prédio de rendimento* portuense, quer apenas destacar-se que este tipo de edifícios marcou significativamente a cidade a partir da década de 50, até próximo dos anos 80, do século XX. Esta tipologia de habitação plurifamiliar que foi dominante na cidade do Porto, Figura 8, estrutura-se funcionalmente em torno dos acessos verticais (caixa de escadas central e caixa de elevador), cuja distribuição inevitável era o esquerdo-direito, com a repartição da cozinha e sala para uma das frentes enquanto os quartos se colocavam na frente oposta. O piso térreo destinava-se a comércio e acessos às habitações e garagem.

A sua construção, apesar de raiz, estava presa à lógica de ocupação do lote, seguindo a continuidade de produção de épocas anteriores, muito mais "tranquilizadora para quem investia" e resultando no mesmo tipo de solução consensual. (B. Fernandes, 1999)

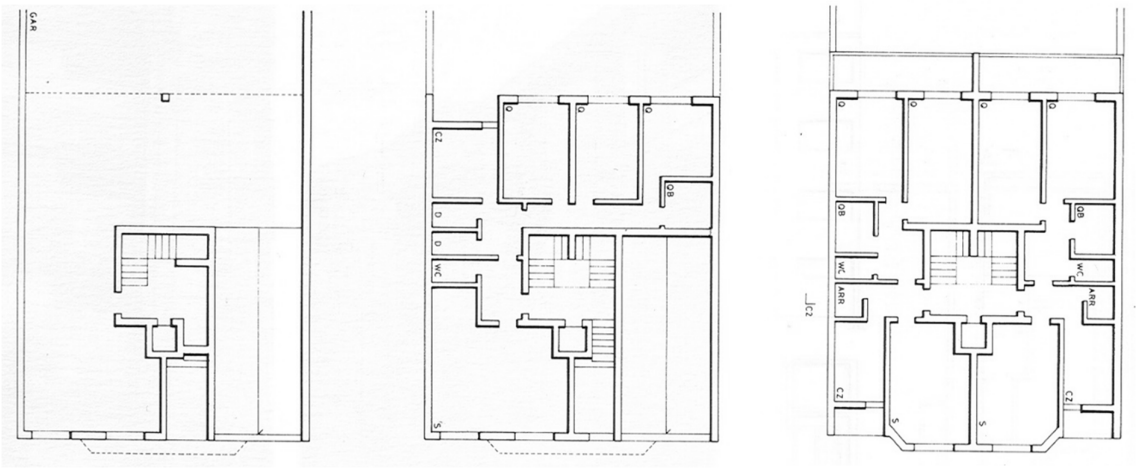


Figura 8 – Tipologia de habitação plurifamiliar que foi dominante no Porto entre 50 e 80

Fonte: Barata Fernandes, 1999.

4.2. Da casa económica ao desaparecimento do prédio de rendimento

No início do Estado Novo (anos 30 do séc. XX), foi promovida uma estratégia política de regeneração nacional com a implementação de um programa de construção de "casas económicas" destinadas à proteção da família da classe operária, com limitação de custos. Este modelo de casa social de fundos públicos faculta o acesso à propriedade individual conforme o estatuto social dos interessados. Por outro lado, é através da "nossa casa", expressão simbólica da sociedade, que se ilustra o papel da família, da

sua identificação com os ideais da Nação (preservação da ordem social, defesa da ruralidade e crítica ao urbanismo moderno) e se consegue "arrumar a aldeia" na cidade (Costa, 2001).

Em resposta ao baixo índice de urbanização, nos meados dos anos 30, em Lisboa, criam-se os "Bairros Económicos", pretendendo-se dar o máximo de condições de vida e conforto com o mínimo de gastos. Nesta altura ter casa era um privilégio e a economia de meios deveria assegurar o bom termo da operação. Refira-se que de facto a organização interior do fogo era exígua.

É entre 1934 e 1946 que surge nova legislação (planos, leis de solo, obras públicas, habitação) que irá concretizar-se através de novos planos urbanísticos (modelo de cidade-jardim ou classicista-monumental) associada à figura emblemática do Eng.º Duarte Pacheco, Ministro das O. P., que chama arquitetos (classe subutilizada até à data) e urbanistas para a definição de projetos e planos.

Este incremento urbanístico por mão do estado, central e local, em vez da habitual iniciativa privada, leva a que o município do Porto encete novas medidas instrumentais onde se destaca a aprovação do "Plano Regulador da Cidade do Porto", em 1952, por proposta do Eng.º Antão de Almeida Garrett. Traçam-se os caminhos do desenvolvimento futuro da cidade de teor humanista, pelo zonamento e ordenamento do território. Experimenta-se o conceito de vizinhança, de bairro, de unidade residencial e o de unidade urbana. O modelo arquitetónico do habitat "semirrural" não deixa muito espaço à intervenção do arquiteto, alheada dos princípios modernistas, seguindo o ideal estadonovista e pseudo rural propagandeado pela "casa portuguesa". O projeto-tipo deste modelo prevê a divisão espacial modelar do fogo mas com as dimensões mínimas (Costa, 2001).

Apesar de não ser visto como modelo arquitetónico de referência, demonstra o dinamismo urbano e social da cidade. A implementação dos bairros económicos deveu-se principalmente aos custos da aquisição dos terrenos, para minimizar os efeitos aplicados aos rendimentos dos ocupantes (e.g. os Bairros das Antas, do Ameal e da Marechal Gomes da Costa). Nesta altura, o Porto crescia para fora do seu centro histórico deslocando, convenientemente, a população para a sua periferia rural. O modelo de "casa com jardim" proposta desde 1933 (DL23052), não apostou em estabelecer um modelo de casa plurifamiliar que só veio a acontecer a partir dos anos 50, no declínio do regime.

É no início da abertura do país a outros exemplos de desenvolvimento urbano que se ensaiam novos modelos de habitar (moradias, prédios de rendimento, edifícios de serviço, etc.). Alguns dos exemplos de modelos mais vanguardista que afirmaram a "autonomia e singularidade do objeto arquitetónico" moderno são o Bairro de Ramalde – F. Távora e o Bairro da Cooperativa Lar Familiar – M. Bonito que contrastam com os cânones oficiais (Costa, 2001).

Apesar de existirem alguns exemplos de edifícios de habitação coletiva antes dos anos 40, é a seguir ao Congresso de 48[11] (1° Congresso Nacional de Arquitetura em 1948), após contestação da classe dos arquitetos, que se fazem investimentos na construção de prédios de rendimento de verdadeiro "estilo moderno". Entre o pós-guerra e o início dos anos 60 foi um período marcadamente de transformação que durou até perto de 1974, onde "desaparecem definitivamente os prédios de rendimento" como cita Gonçalves (2001).

4.3. Trajetória populacional desde 60 até hoje

Para se entender a problemática da habitação, é importante compreender as realidades do território em que essa problemática existe. Apesar de se tratar de um problema bastante complexo e abrangente que implica análises a diferentes conteúdos (económicos, sociais, técnicos, entre outros) a sua compreensão passa, em grande medida, por conhecer a influência que os fluxos migratórios da população têm no parque edificado em Portugal. Através deste ponto de vista, pretende-se apenas destacar os aspetos mais relevantes que transformaram o território nacional, ao nível da evolução populacional, desde meados do século passado até ao momento atual.

Desde a década de 60 até à atualidade, Portugal tem sofrido alterações bastante significativas no âmbito económico, social e político que influenciaram o território e a sua população residente. As alterações mais marcantes a destacar são: a chamada "guerra colonial" iniciada em 1961 no território africano; a enorme emigração até 1973; o processo de descolonização das províncias ultramarinas e a nacionalização de muitos setores económicos em 1975; a adesão à Comunidade Económica Europeia (C.E.E.) em 1986; a reprivatização de alguns setores da economia nos anos 80 e 90; a entrada da moeda euro em 2002; e a participação na economia global na última década (Rosa & Chitas, 2010).

Apesar das alterações provocadas, o número da população residente desde essa data pouco variou: 8,9 milhões (1960) para 10,5 milhões (2011). O que se traduziu num aumento de 1,6 milhões de indivíduos, cerca de 1 pessoa em 5, no espaço de tempo de 50 anos. No entanto, quando se aprofunda esta análise poderá compreender-se algumas variações da evolução. Existiram períodos de tempo em que a

[11] Congresso de 48 - Momento de viragem na reconquista da liberdade de expressão, contou com uma larguíssima participação da classe que o elegeu como espaço de afirmação da arquitetura moderna, sem constrangimentos nem obrigatoriedades de estilo, reclamando a industrialização e a participação dos arquitetos: à escala da cidade; no ordenamento do território; na resolução do problema da habitação.

população aumentou, outros em que quase não se verificou mudanças e outros em que até diminuiu (Rosa & Chitas, 2010).

É no período entre os anos 60 e 70 que se dá uma significativa redução da população. Esta perda de população, entre 1963 e 1974, em cerca de 400 mil residentes, justifica-se pelo êxodo abrupto que os nacionais fazem para fora do país e que ultrapassa o de estrangeiros que se vem fixar. Este diferencial migratório poderá traduzir-se, como referem Rosa e Chitas, em "quase um milhão e meio de indivíduos" que sai em relação aos que entram.

Através dos dados da Pordata, atualizados em 2012, pode-se verificar nas Figuras 9 a 12 a diferença da população existente nas duas épocas por superfície territorial (a densidade populacional corresponde ao número de indivíduos por quilómetro quadrado). Em Portugal o número médio de indivíduos por Km^2 era de 96,5 indivíduos em 1960 tendo subido para 114,5 indivíduos em 2011. No entanto, as duas cidades que se destacam pela perda de população são Lisboa e o Porto apesar das regiões a que pertencem terem aumentado o número de indivíduos por Km^2.

Porém, a seguir a 1974 e até ao início dos anos 80, o país recupera população sendo que só entre 74 e 76 aumenta em cerca de 600 mil indivíduos. As razões que se apontam para esta inversão terão a ver com o regresso dos emigrantes, sobretudo da Europa e dos portugueses que vieram das províncias ultramarinas.

Após este período de saldo positivo, o crescimento populacional desacelerou, verificando-se uma diminuição entre 87 e 91 em cerca de 62 mil indivíduos. Entre 1993 e 2008 o país cresce em mais de 640 mil pessoas devendo-se essencialmente às entradas migratórias. Portugal começa a mostrar-se como destino de imigração e também inicia a tendência demográfica que se regista atualmente com: a redução da fecundidade; o aumento da esperança média de vida e o envelhecimento da população (Rosa & Chitas, 2010).

De notar que estes números são uma representação possível da influência que os movimentos populacionais geram no território, nomeadamente no dinamismo construtivo que provocam. Citando Paiva *et al* (2006), os movimentos populacionais mais intensos "e as alterações na estrutura económica e social, provocaram o redesenho, física e funcionalmente, do território nacional a um ritmo muito acelerado e com efeitos por vezes muito nefastos sob a qualidade de vida urbana". O parque edificado construído a partir dos anos 60 e que o momento presente testemunha é revelador da marca que as gerações anteriores deixaram às seguintes, com as suas virtudes e com os seus defeitos.

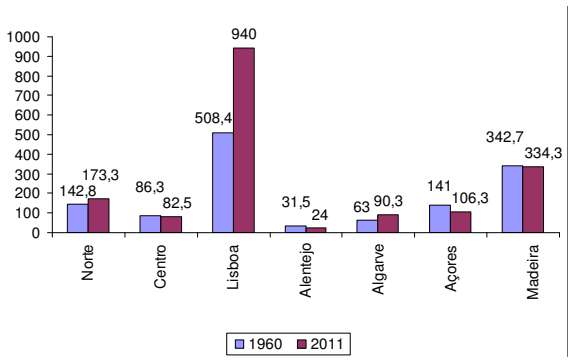


Figura 9 – Nº de indivíduos por Km2, em cada região NUTS II. (População entre 1960 e 2011)

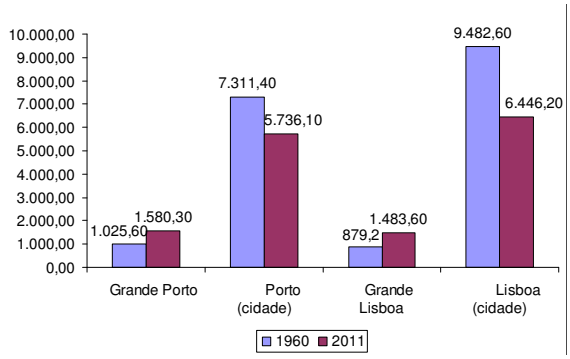


Figura 10 – Nº de indivíduos por Km2, na região do Norte e na região de Lisboa.

Fonte: INE, Pordata (atualizado em 2012-12-07)

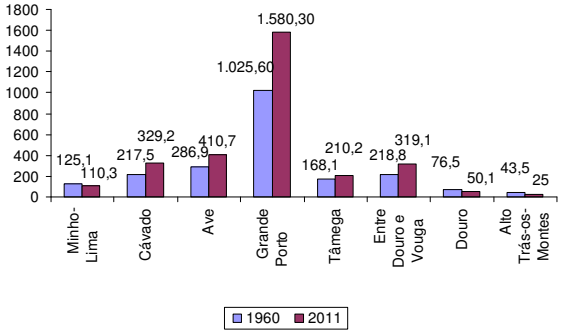


Figura 11 – Nº de indivíduos por Km2, na região do Norte

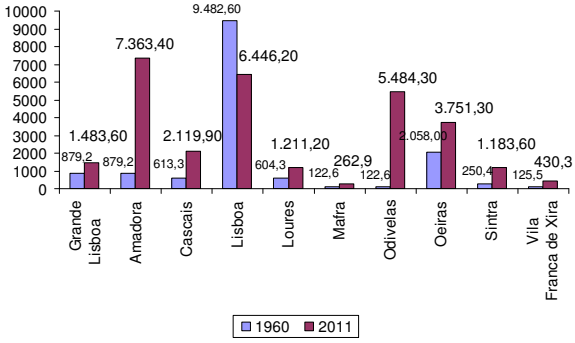


Figura 12 – Nº de indivíduos por Km2, na região de Lisboa

Fonte: INE, Pordata (atualizado em 2012-12-07)

4.4. Edificado existente e as novas exigências

Em Portugal, a maioria do edificado existente, cerca de 69,9% segundo os últimos censos em 2011, foi construído antes do primeiro regulamento térmico em 1990 (DL 40/90). Segundo os critérios atuais, este património não cumpre as exigências de eficiência energética a que são obrigados os edifícios mais recentes, construídos a partir de 2006[12] (Morbey, Mateus & Bragança, 2012). Por isso, encontram-se muito longe de poderem contribuir para as metas traçadas pela União Europeia (U.E.) a atingir em 2020:

[12] A Diretiva 2006/32/EC: Obriga a que os Estados-membros (EM) reduzam o seu consumo de energia em 1%/ano até 2015 – algo impossível de atingir sem intervir nos edifícios (quer nos novos, quer nos existentes), pois representam 40% do consumo global de energia na Europa (e já mais de 30% em Portugal)

aumentar em 20% a eficiência energética dos edifícios; reduzir em 20% as emissões de gases com efeito de estufa (GEE); e aumentar a utilização das energias renováveis em 20%.[13]

Acresce a este facto que a falta de conservação e manutenção deste edificado tem como consequência uma acentuada degradação das construções, sendo necessário intervir neste património através de obras de reabilitação. De referir que os elevados gastos com a energia usada na climatização do ambiente interior, revela o nível de desconforto atingido em contraponto com o aumento de exigência atual dos utilizadores. Apesar do consumo de energia elétrica em Portugal ter sofrido um abrandamento, a dependência energética do país com o exterior tende a manter-se, sendo em 2009 de 80,9% (53,9% média U.E.27) segundo indicadores do Eurostat (2011), como referido por Morbey, Mateus e Bragança (2012). No entanto, os dados da Direção Geral da Energia e Geologia (DGEG) em 2010 referem que essa dependência de importação de energia foi cerca de 77% ADENE (2012b).

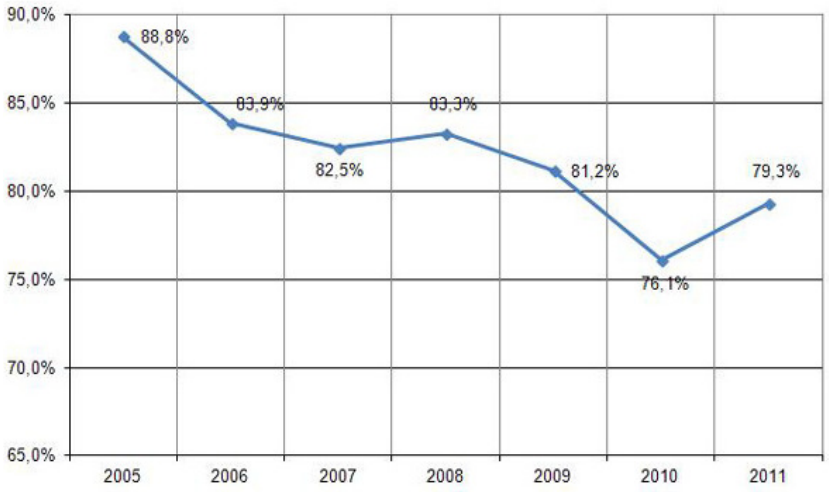


Figura 13 – Taxa de dependência energética (%). Fonte: DGEG, 2011

Esta dependência da importação de recursos energéticos, em especial, do petróleo e, depois, o gás coloca o país numa posição económica vulnerável a nível internacional (Sousa, Silva & Almeida, 2012). Prevê-se num futuro próximo mais e maiores aumentos do preço da energia afetando muitas pessoas e pondo em risco a sua saúde, bem como as suas vidas. Serão principalmente afetadas por este aumento da fatura energética aquelas que já estejam mais fragilizadas, tal como os "idosos, pessoas com

[13] Desafios da revisão da nova EPBD. Diretiva 2010/31/EU de 19 de maio de 2010

mobilidade condicionada ou portadores de algum tipo de deficiência" (Morbey, Mateus & Bragança, 2012).

Um lar confortavelmente aquecido num clima frio pode considerar-se como uma proteção da saúde humana. Quando, por razões económicas, as pessoas não conseguem aquecer as suas casas às temperaturas padrão, ou necessitam de mais de 10% do seu rendimento para o fazer, diz-se que vivem em "pobreza energética ou em precariedade energética" (*Fuel Poverty*). Essa situação pode acarretar consequências graves para a sua saúde e põe em risco a sua própria vida. Ao mesmo tempo a distribuição desigual da saúde e do bem-estar das populações nacionais pode ser vista como um grande desafio para a gestão da saúde pública.

De acordo com a *World Health Organizacion* [WHO] (2012), os riscos de morte prematura pela falta de aquecimento ambiente sobretudo em climas frios são sofridos frequentemente por grupos populacionais mais desfavorecidos e com baixo rendimento (idosos, pessoas com deficiência ou doenças de longo prazo e famílias com crianças dependentes).

Segundo as recomendações da mesma organização, a temperatura mínima de referência para um ambiente interior confortável é de 21° C para espaços de estar, e 18° C para todos os outros compartimentos (WHO, 2007).

Conforme referido num estudo feito pela Organização Mundial de Saúde (OMS) na União Europeia a 15 e em 12 países da Europa de Leste, a pobreza energética existe em todas as sub-regiões e em todos os países do velho continente. Esta desvantagem económica é ainda agravada pelos baixos padrões de eficiência energética das casas em que habitam.

Na Europa, estima-se que existam entre 50 e 125 milhões de pessoas a sofrer da pobreza energética e o *EPEE Project* [European fuel Poverty and Energy Efficiency, (2008)][14] revela que este número irá inevitavelmente aumentar no futuro, com o aumento mundial dos preços da energia. Como refere Pina Santos (2013) apesar de Portugal ter um clima moderado a precariedade energética existe e a privação energética voluntária está a estender-se a estratos socioeconómicos mais favorecidos. Quanto a esta realidade, Portugal está entre os piores da Europa a 27, com 28% de prevalência, unicamente superado pela Bulgária com 64,2%. Luxemburgo é o que tem a mais baixa percentagem de prevalência, 0,3% (Figura 14).

[14] O projeto EPEE aborda o problema da pobreza energética e pretende criar uma política energética europeia, que permita alcançar três objetivos principais: o da segurança do abastecimento; o da redução das emissões de carbono e o de tornar os preços acessíveis àqueles que vivem em condições mais precárias.

Os custos da saúde com as populações justificam uma ação das autoridades pelo que a intervenção nas habitações poderá reduzir esses custos. Por essa razão, a OMS destaca a importância de se reconhecer esta incapacidade de manter as casas quentes como uma prioridade na defesa da saúde pública e apela para que os Estados assumam a responsabilidade de criarem medidas de apoio com o propósito de evitarem as mortes prematuras em consequência deste tipo de pobreza.

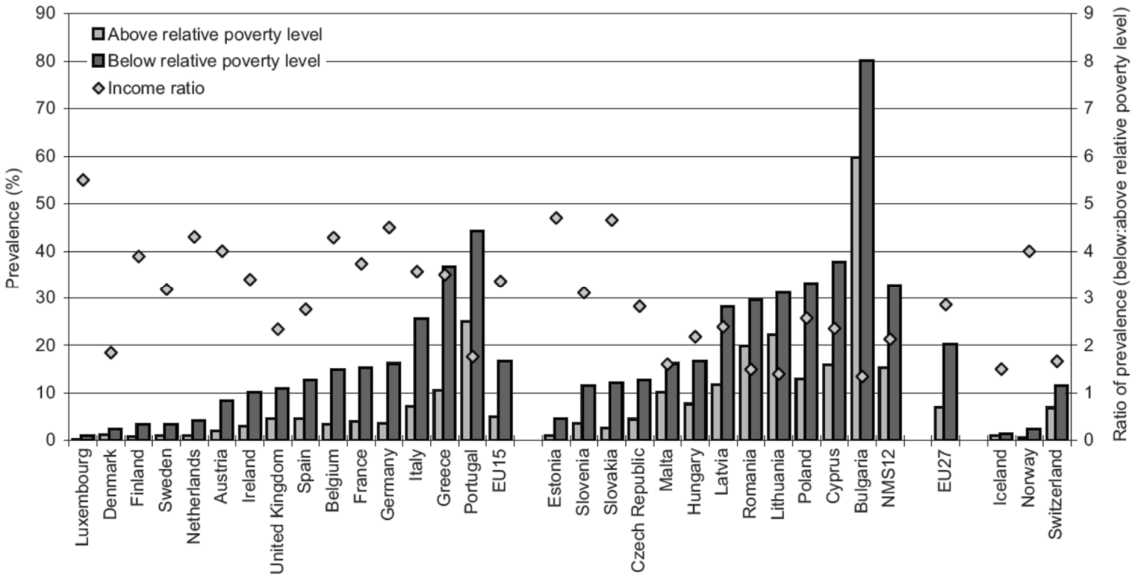


Figura 14 – Prevalência da incapacidade para manter a casa quente p/nível de pobreza relativa (2009)

Fonte: WHO, 2012

Como forma de atenuar a dependência externa dos combustíveis fósseis, diminuir os consumos e, com isso, reduzir as emissões de carbono é necessário melhorar os edifícios existentes e os que se vão construir. Foi com essa intenção que a U.E. procurou implementar um sistema de melhoria do desempenho energético dos edifícios (habitação e serviços).

Através da Diretiva Comunitária n.º 2002/91/CE, transposta para o decreto-lei 80/2006 de 4 de abril, a U.E. obriga os Estados Membros a imporem requisitos mínimos de eficiência, introduzindo a Certificação Energética para todos os edifícios a construir e a exigir qualificação profissional adequada aos técnicos da Certificação. Com as novas regras de construção pretende-se que a redução do consumo energético dos edifícios seja entre 30 e 70 por cento.

No entanto, não é expectável que se resolva o problema da eficiência energética ou se melhore significativamente a conservação de energia do edificado somente atuando nos edifícios que se constroem de novo. A realidade demonstra que é fundamental investir-se na reabilitação do parque existente e se tomem medidas que mitiguem urgentemente a situação atual.

Tendo em conta a estimativa colhida pelo INE (2012), Portugal em 2011, apresentava um elevado número de edifícios de habitação, cerca de 3,5 milhões e aproximadamente 5,8 milhões de alojamentos. Face ao Recenseamento da Habitação de 2001, o número médio de habitantes por fogo em 2011, diminuiu 11,8%, nomeadamente de 2,02 para 1,78 habitantes e o número de alojamentos por edifício cresceu 3,6%, de 1,6 para 1,66 alojamentos. Apesar do crescimento da população em 2%, e do nº de famílias 9,7%, este aumento não foi suficiente para ocupar a oferta de alojamento existente ou recentemente criado que aumentou 14%.

A entrada em vigor em dezembro último do Decreto-Lei 118/2013, de 20 de agosto, relativa aos requisitos e à avaliação do desempenho energético dos edifícios, vai passar a depender da afetação ou utilização que os edifícios em avaliação possuam.

Focando apenas o caso dos edifícios de habitação, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), estipula que o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas domésticos assumam um lugar de destaque nas novas exigências. Com este novo regulamento espera-se um aumento dos requisitos de qualidade térmica e desempenho energético dos edifícios. O nível de exigência surge agora também associado aos sistemas técnicos dos edifícios: climatização, preparação de águas quentes sanitárias, iluminação, energias renováveis e gestão de energia são sujeitos a padrões mínimos de eficiência energética.

Através deste decreto pretende-se incentivar a utilização de fontes de energia renovável, em especial do sol e na aposta de soluções passivas, otimizando o desempenho térmico dos edifícios em detrimento das soluções ativas mecanizadas. No que à qualidade do ambiente interior (QAI) diz respeito diminui-se os valores mínimos de caudal de ar novo (agora é de 0,4 r.p.h.), as concentrações de poluentes mantém-se, mas passa-se a privilegiar as soluções de ventilação natural.

Os edifícios com necessidades quase nulas de energia ou *Nzero* passam a ser o patamar de referência para as novas construções a partir de 2020, sendo que, para os novos edifícios públicos, a sua aplicação é a partir de 2018. No entanto, para o setor da reabilitação o recente Decreto-Lei n.º 53/2014, de 8 de abril, vem permitir a não observância de algumas normas legais ou regulamentares, entre as quais, as que dizem respeito aos requisitos mínimos de eficiência energética e qualidade térmica. Apesar desta dispensa não ser aplicável em todas as situações, na realidade portuguesa esta flexibilidade legislativa poderá passar a ser entendida como desculpa para não se investir na vertente da eficiência energética, reduzindo virtualmente custos de intervenção e não gerando benefícios de eficiência energética.

4.5. Parque edificado e a sua distribuição no território

A distribuição do edificado em Portugal não é igual em todas as regiões, nem a dinâmica de construção se fez da mesma forma em todas as épocas. Segundo os dados do INE (2012), na Figura 15, a região Norte destaca-se pela maior percentagem de edifícios, logo seguida da região Centro. Como é exemplificativo na Figura 16 o grande crescimento do parque imobiliário português deu-se na década de 70, tendo vindo a diminuir até à atualidade.

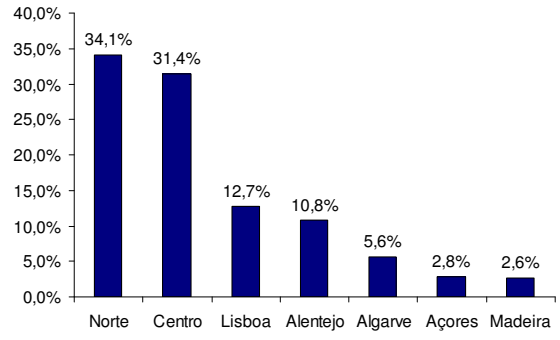


Figura 15 – Distribuição de edifícios por região, em Portugal

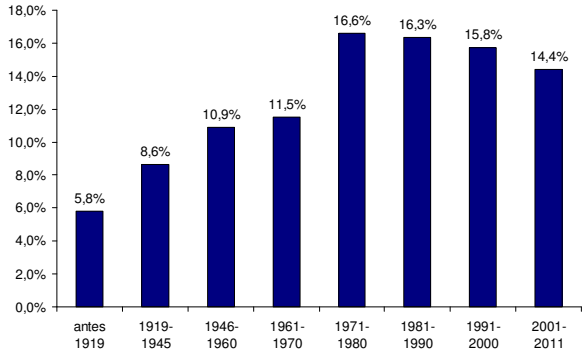


Figura 16 – Distribuição de edifícios por época de construção, em Portugal

Fonte: INE 2012 Adaptado do Q.2.03 referentes aos Censos 2011 (N° Total de Edifícios: 3544389)

Através destes dados pode-se afirmar que a região Norte acompanha a evolução construtiva da generalidade do país, mas destaca-se especialmente na década de 80 (cerca 18% dos edifícios foram construídos nesta década). Esta região conta com um total de 35% dos edifícios construídos entre 1971 e 1990, como se pode verificar na Figura 17. O Grande Porto destaca-se na década de 70 como a mais construtiva. No período entre 1971 e 1990, conta com cerca de 32% dos edifícios construídos (Figura 18), parecendo aproximar-se mais dos dados da média nacional (32,9%).

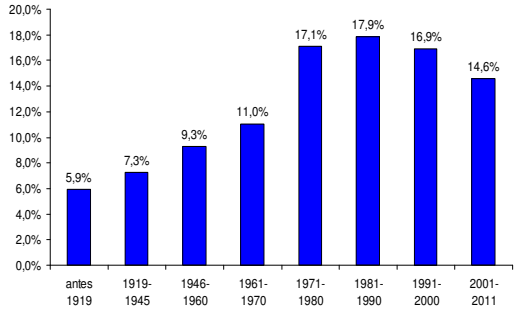


Figura 17 – Distribuição de edifícios segundo época de construção no Norte (%)

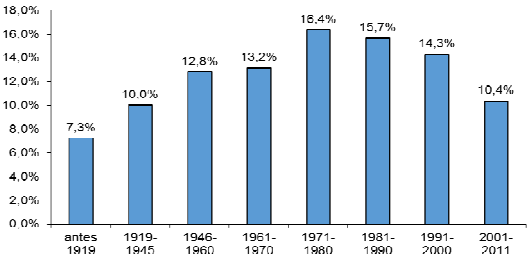


Figura 18 – Distribuição de edifícios segundo época de construção no Grande Porto (%)

Fonte: INE, Censos 2011 adaptado de Q2.03 (N° Total de Edifícios: 3544389)

No caso da cidade do Porto, tal como a cidade de Lisboa o panorama é diferente.

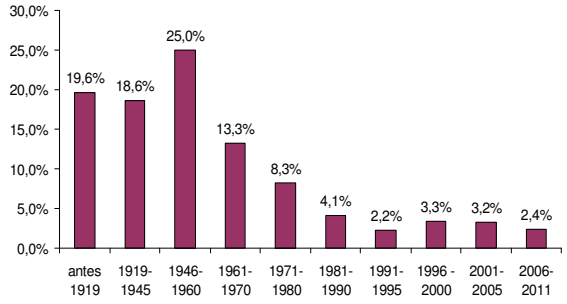


Figura 19 – Percentagem de edifícios construídos por época na cidade de Lisboa

Fonte: INE, Censos 2011 (Nº Total de Edifícios: 52496)

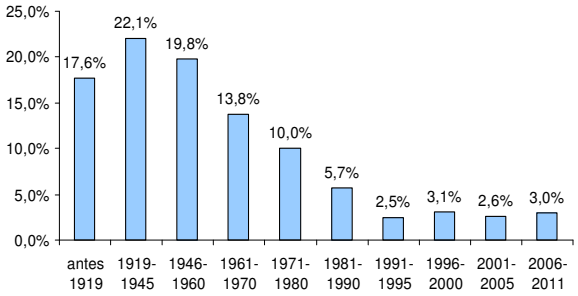


Figura 20 – Percentagem de edifícios construídos por época na cidade do Porto

Fonte: INE, Censos 2011 (Nº Total de Edifícios: 44324)

Os casos das duas principais cidades do país são reveladores dessa diferença, fazendo supor existir ritmos de construção a diferentes velocidades. Analisando os gráficos das (Figuras 19 e 20) e tendo por base os gráficos anteriores (Figuras 15, 16, 17 e 18) pode-se perceber que as cidades de Lisboa e Porto demarcam-se do território nacional apresentando-se como dois casos particulares.

Lisboa viu o seu edificado aumentar entre 1946 e 1960 (Figura 19) enquanto o Porto obteve um maior crescimento construtivo entre 1919 e 1945 (Figura 20). As distintas fases do dinamismo da construção nestas duas cidades, em comparação com o restante país, leva a acreditar na sua importância atrativa na época para a população nacional o que possivelmente originou o grande surto construtivo verificado.

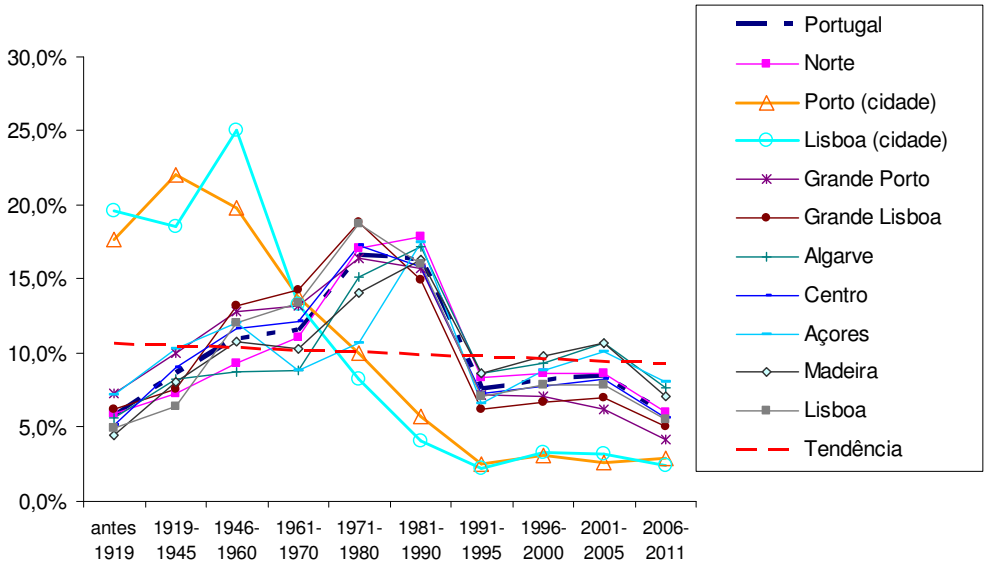


Figura 21 – Distribuição de edifícios segundo a época de construção nas várias zonas do p ais

Fonte: INE, Censos 2011, adaptado do Q.2.03 (Nº Total de Edifícios: 3544389)

Essa diferença em relação às restantes regiões tem vindo a esbater-se, sendo mais notória a perda de atração a partir de meados dos anos 90. Acrescenta-se que a linha da tendência construtiva está em desaceleração, diminuindo até à atualidade (linha a tracejado vermelho na Figura 21).

Curiosamente, aqui, o maior volume de construção no país dá-se entre os anos 70 e 80, como referido anteriormente. Esta discrepância vem de encontro ao que se referiu no ponto 0 em resultado dos fluxos migratórios populacionais. No Porto, onde existiu uma quebra significativa da população entre 1963 e 1974, terá resultado num menor investimento na construção.

Simultaneamente reconhece-se outros aspetos que poderão influenciar esta diferença para cada uma das cidades. O primeiro terá que ver com as questões de crescimento urbano da cidade do Porto, mais significativo até meados do século XX (enquadrado por nova e variada regulamentação) e, o segundo aspeto estará ligado à forte centralidade da região de Lisboa e o primeiro contacto de quem chega ao país vindo de fora (único aeroporto internacional da altura). É, também, por essa razão que a capital torna-se num dos maiores abrigos populacionais do país.

Outro dado que se retira destes gráficos é que a percentagem de edifícios construídos antes do 1º regulamento térmico e depois de 1990 é bastante diferente em relação à realidade nacional, conforme se verifica na Figura 22. Enquanto a média geral dos edifícios construídos antes de 1990 é 69,9%, nas cidades do Porto e de Lisboa é de 88,9% e 88,8%, respetivamente. Neste aspeto, as duas cidades encontram-se em equivalência proporcional mas de modo distinto do restante país.

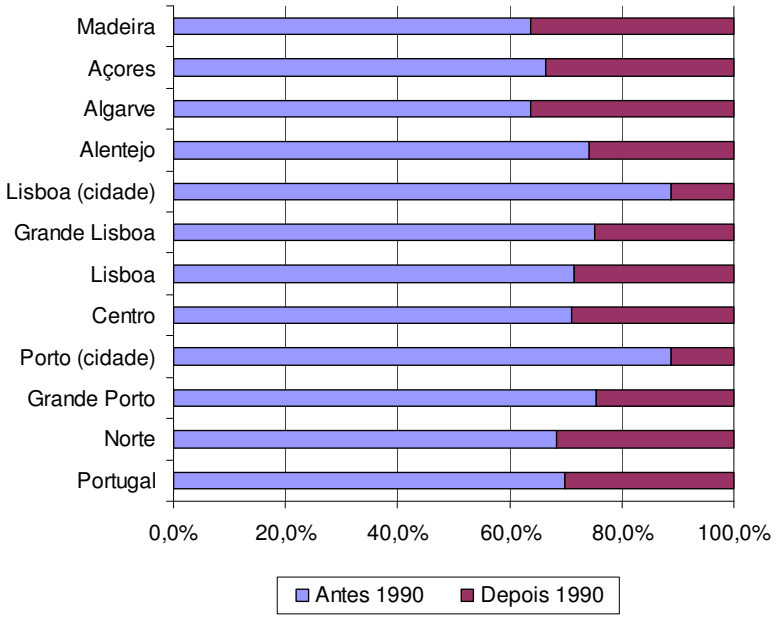


Figura 22 – Edificado construído antes e depois do primeiro regulamento térmico (RCCTE)

Fonte: INE, Censos 2011 (Adaptado do Q.2.03 sobre Nº Total de Edifícios 3 544 389)

Complementando a análise, em relação ao país, verifica-se que o maior índice de construção entre 70 e 80 poderá justificar-se pelo regresso de emigrantes com proveniência da Europa e dos portugueses fugidos das províncias ultramarinas.

4.6. Distribuição dos alojamentos

Em relação ao número de alojamentos existentes em cada região, a região Norte leva vantagem novamente (Figura 23) seguida pela região de Lisboa. Esta vantagem, contudo, esbate-se quando se atenta às duas principais capitais regionais. Quanto à distribuição de alojamentos por época de construção, apesar do maior número na década de 90 (18,7%), os anos 70 e 80 voltam a destacar-se, acompanhando, a grosso modo, a distribuição do edificado em Portugal. As três décadas em conjunto representam 45,2% do universo de alojamentos do país (Figura 24).

A cidade de Lisboa supera em 8.172 edifícios a cidade do Porto mas sobretudo, ultrapassa em 185.629 o número de alojamentos da capital nortenha. Esta grande diferença pressupõe a existência de edifícios de maior dimensão na capital do país aproveitando índices mais permissivos de construção e muito superiores à da cidade invicta (Figuras 25 a 28).

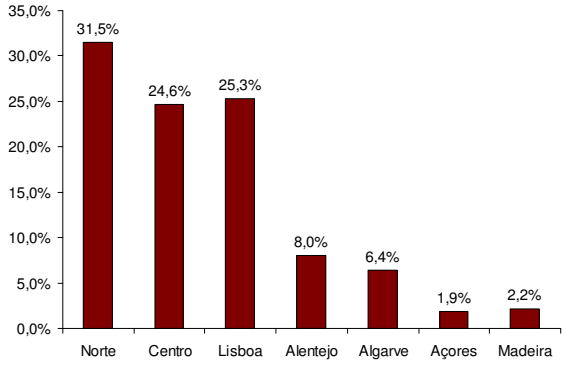


Figura 23 – Distribuição de alojamentos por região em Portugal

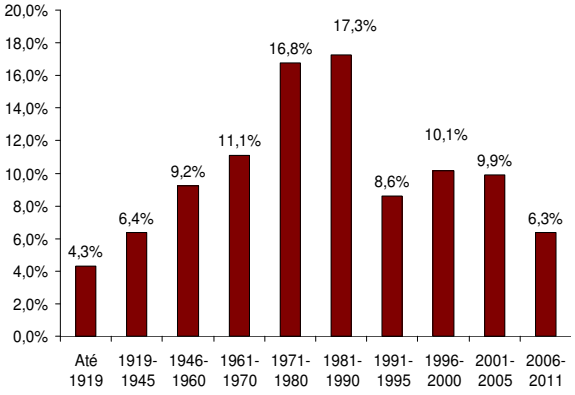


Figura 24 – Distribuição de alojamentos por época de construção em Portugal

Fonte: INE 2012 Adaptado do Q.3.09 referentes aos Censos 2011 (Nº Total de Alojamentos: 5 859 540)

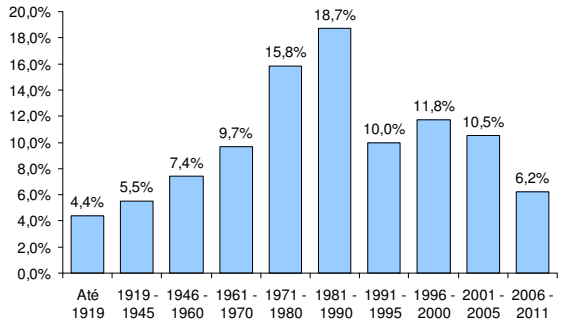


Figura 25 – Distribuição de alojamentos por época de construção na Região Norte.

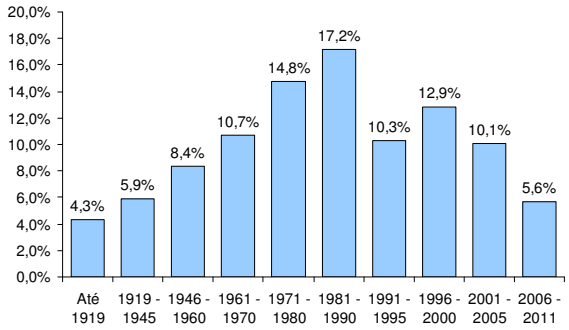


Figura 26 – Distribuição de alojamentos por época de construção no Grande Porto.

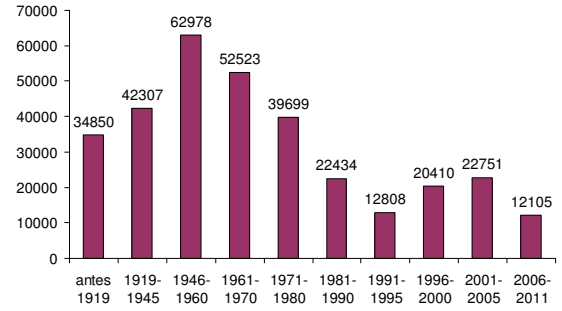


Figura 27 – Nº de alojamentos por época de construção na cidade de Lisboa

(Total de alojamentos: 322865)

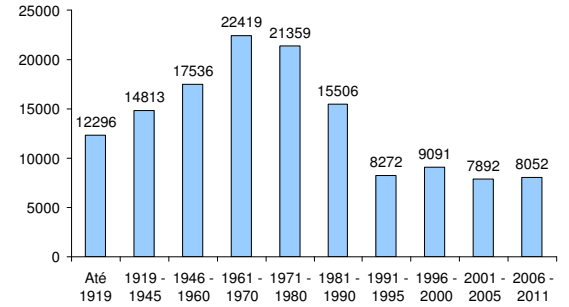


Figura 28 – Nº de alojamentos por época de construção na cidade do Porto

(Total de alojamentos: 137236)

Embora o número de alojamentos construído se apresente como aspeto relevante, outro aspeto a destacar nos censos de 2011, é o número total de residentes que ocupa esses alojamentos. Em relação à ocupação humana, também se constata que o maior número de alojamentos ocupados no país se situa nos edifícios construídos entre os anos 70, 80 e 90 representando um pouco mais 48% do total existente. O número de alojamentos vagos ronda os 12,5% (Figuras 29 e 30).

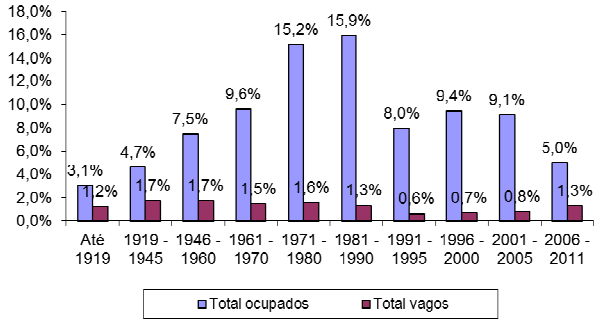


Figura 29 – Percentagem de alojamentos segundo forma de ocupação e época de construção em Portugal

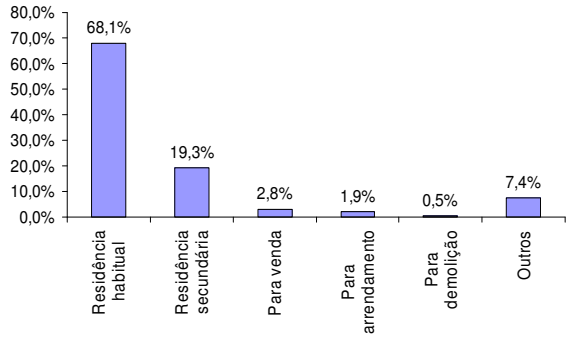


Figura 30 – Percentagem de alojamentos segundo forma de ocupação em Portugal

Fonte: INE, Censos 2011 Q3.09 (Nº Total de Alojamentos: 5 859 540)

No gráfico da Figura 31, a distribuição de alojamentos na região Norte é maior nas décadas construtivas dos anos 70, 80 e 90, atingindo esta última década os 21,8%.

Como se mostra na Figura 32, no caso da cidade do Porto, a distribuição de alojamentos por número de residentes é bastante distinta das décadas referidas, sendo os edifícios construídos na década de 60 aqueles que apresentam atualmente uma maior ocupação, logo seguida da década de 70.

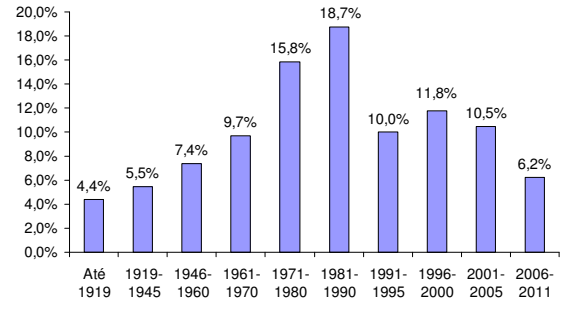


Figura 31 – Distribuição de alojamentos segundo época de construção na região Norte (%)

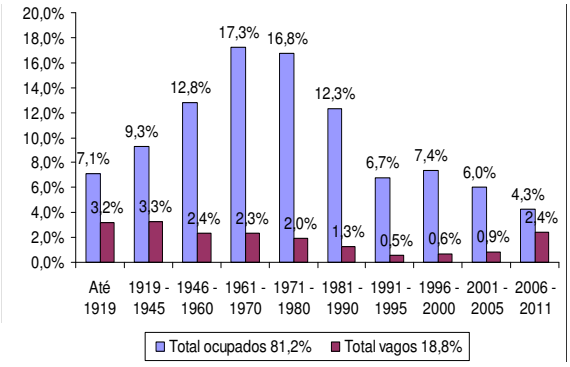


Figura 32 – Distribuição de alojamentos segundo ocupação e época de construção no Porto (%)

Fonte: INE, Censos 2011 Q3.09 (Nº Total de Alojamentos: 5878756)

Segundo INE (2011) a População Residente no Porto cifra-se nos 237.591 habitantes e existem 44.324 edifícios dos quais 137.236 são alojamentos familiares clássicos (o total de alojamentos é 137.891).

Entre 1960 e 1980 existem 10.515 edifícios, representando cerca de 23,7% do total da cidade. Número que importa conhecer no que diz respeito aos gastos energéticos.

Pelo que se percebe dos gráficos das Figuras 33 e 34 a distribuição de residentes pela época de construção dos alojamentos também é distinta. Em Portugal a maior representatividade é na década de 90 (21,9%) logo seguida das décadas de 80 (18,8%) e 70 (17,2%), enquanto na cidade do Porto é a década de 60 (17,7%), seguida pela década de 70 (17,4%).

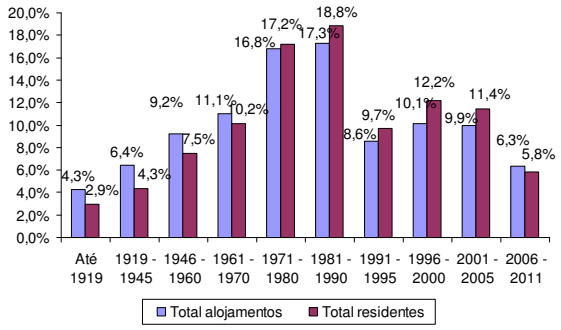


Figura 33 – Distribuição de alojamentos e de residentes por época em Portugal (%)

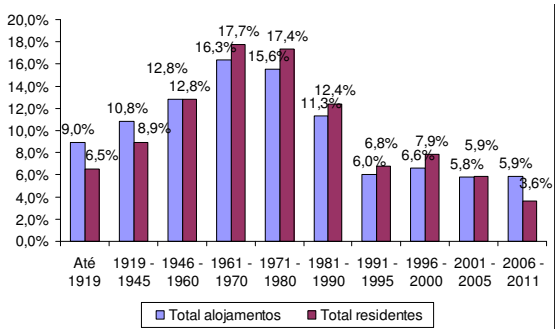


Figura 34 – Distribuição de alojamentos e de residentes por época no Porto (%)

Fonte: INE, Censos 2011 Q3.09 (Nº Total de Alojamentos: 5.878.756)

A interpretação final que se faz à luz dos dados existentes, Portugal teve um crescimento da construção de edifícios mais acentuado na década de 70, atingindo o valor máximo de 16,6%, cerca de 588.858 edifícios. Em termos da distribuição de alojamentos a década com maior dinâmica construtiva são os anos 80 com o valor mais alto a atingir os 17,3% (Figura 33), cerca de 1.011.960 alojamentos.

Constata-se que a maior parte dos alojamentos ocupados no país foi construído entre os anos 70 e 90 representando, em conjunto, um pouco mais de 48%, do total existente.

Poder-se-á concluir que a Região Norte tem a maior percentagem de edificado (34,1%), e também de alojamentos (31,5%), do país. É igualmente a região mais populosa do país (35%), e o Grande Porto tem uma representatividade significativa nesta região em relação ao edificado e à população.

Na cidade do Porto, a década de 60, é a que apresenta o maior número de alojamentos ocupados seguindo-se a década de 70, representando em conjunto 35,1% dos alojamentos com 31,9% de residentes.

4.7. Eficiência energética do edificado existente

A recente "obsessão" pela redução dos consumos de energia e das emissões de carbono encontram-se inseridas nas políticas de eficiência energética, de vários países, com o objetivo de racionalizar os consumos, principalmente dos edifícios.

Segundo dados apresentados pelo *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD)[15], no relatório de Eficiência Energética em Edifícios [EEE] (2007), o consumo de energia ao longo da vida de um edifício apresenta a seguinte proporção (o estudo não considera as operações de desmantelamento):

- Fabrico, Transporte e Construção: 12%;
- Utilização (aquecimento, ventilação, aquecimento de água e eletricidade): 84%;
- Manutenção e renovação: 4%.

Fazendo uma análise da utilização de energia durante o ciclo de vida, pode-se constatar que quase 90% do consumo de energia do edifício é feita durante a fase de utilização. Daí poder concluir-se a importância que deve ser dada às fases iniciais do projeto sendo fundamental o correto dimensionamento dos edifícios e equipamentos, a escolha criteriosa dos materiais e tecnologias que permitam a redução dos consumos, diminuindo os seus custos de exploração na fase de utilização.

Como forma de mitigar estes impactes, a UE através da revisão da Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) vem propor novas metas até 31 de dezembro de 2020 anteriormente referidas: aumentar em 20% a eficiência energética dos edifícios; reduzir em 20% as emissões de gases com efeito de estufa (GEE); e aumentar a utilização das energias renováveis em 20%.

De salientar nesta iniciativa europeia "o novo objetivo de incentivar a construção de edifícios com necessidades quase nulas de energia (*nearly-zero energy buildings – N-ZEB*)[16]" e que os Estados-membros (E.M.) desenvolvam políticas de apoio que promovam a transformação de todos os edifícios remodelados em *N-ZEB* (Santos, 2011). Este conceito corresponde a um edifício que produz sensivelmente a mesma quantidade de energia que consome, cujo balanço tende a ser nulo (Figura 35) ao mesmo tempo que emite menos GEE.

[15] http://www.wbcsd.org/home.aspx

[16] O termo NZEB é também frequentemente entendido como – *Near Zero Emission Buildings*.

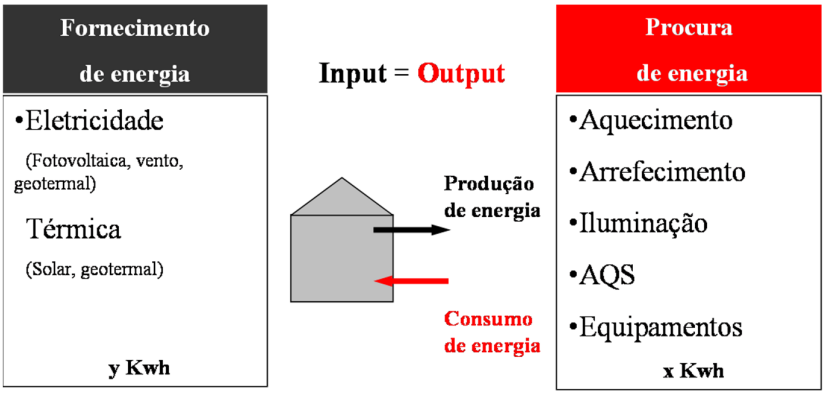


Figura 35 – Necessidades de fornecimento de energia de um edifício (Adaptado de Lourenço, 2012).

Na perspetiva de Mendes, Salgueiro, Cardoso e Coelho (2012), este conceito reconhece o edifício "como uma verdadeira central consumidora e produtora de energia", podendo contribuir para alimentar a rede pública de distribuição de eletricidade e até para a rede de distribuição de calor como já é usual em alguns países do norte da Europa ou mesmo de frio em climas mais quentes. A sua progressiva integração na regulamentação térmica poderá ser entendida como mais do que uma obrigatoriedade a cumprir, mas também como uma oportunidade de negócio com efeitos multiplicativos.

O conceito NZEB é um objetivo estratégico que permitirá uma menor dependência energética, maior segurança energética, aprofundará a utilização dos recursos endógenos, e protegerá o ambiente e a economia criando emprego de uma forma sustentável (Mendes *et al*, 2012).

As conclusões da revisão da EPBD constitui-se como mais uma forma de pressão da Europa para que os edifícios sejam mais eficientes no curto prazo. Das questões focadas no balanço feito à aplicação das medidas por cada E.M. é necessário fazer ajustamentos, principalmente naquelas que dizem respeito ao processo de certificação de edifícios. O movimento é irreversível para se atingirem as metas traçadas.

A intensificação criada vai procurar credibilizar a Certificação Energética sendo uma prioridade em várias frentes. Pretende-se motivar um maior ritmo para as Reabilitações Energéticas de Edifícios, pois só assim se poderão reduzir as emissões derivadas dos edifícios – a taxa de renovação do parque construído é muito lenta (1 a 2%/ano); Portugal deverá acompanhar esta tendência e manter o ritmo de evolução registado sendo, no entanto, necessário iniciar a Revisão da Legislação nacional o quanto antes.

A ambiciosa meta traçada pelo projeto EEE, segundo a qual os edifícios existentes no mundo deverão ter um consumo zero de energia (Nzero)[17] em 2020 é a necessária para que haja uma evolução no que

[17] Significado idêntico ao acrónimo da expressão de língua inglesa nZEB ou *Nearly Zero Energy Building*

respeita às alterações climáticas e à utilização e conservação de energia. Contudo, a definição proposta deixa uma série de incertezas, especificadamente sobre o nível de ambição a atingir por esses edifícios em termos de consumo de energia e emissões de CO_2.

Existem três grandes abordagens para a neutralidade energética:

- Reduzir a procura de energia nos edifícios utilizando, por exemplo, equipamentos que sejam mais eficientes.
- Produzir localmente a energia a partir de fontes renováveis ao contrário do desperdício de recursos energéticos.
- Partilhar energia criando edifícios que possam produzir um excesso de energia para alimentar uma rede inteligente de infra estruturas.

Dentro das novas Metodologias para a Reabilitação de Edifícios, o *Annex 56* da [International Energy Agency (IEA), 2012] procura desenvolver uma metodologia de apoio que permita otimizar os consumos energéticos e reduzir as emissões de carbono dos edifícios existentes de uma forma economicamente mais eficaz – método do custo ótimo. O objetivo é melhorar a eficácia dos custos nas medidas de reabilitação. Na prática, nem sempre a melhor solução de referência é a solução de custo ótimo.

Em relação à eficiência energética do edificado existente em Portugal, segundo os dados da Agência para a Energia – ADENE (2012a) ilustrados na Tabela 2, o país apresenta um elevado grau de ineficiência geral. Cerca de 63% dos fogos certificados apresentam potencial de reabilitação energética, sendo que, segundo a mesma fonte, o nível mais elevado de ineficiência energética acontece nas construções dos anos 70 (mais de 85% dos fogos foram classificados com a letra C ou inferior).

A mesma agência (ADENE, 2012c) refere que no setor da habitação, perto de 3,9 milhões de casas consome 17,7% de energia final, representando cerca de 30% do consumo elétrico. O aumento do consumo energético dos portugueses está associado "ao aumento da aquisição de equipamentos consumidores de energia". Outra das causas dos elevados consumos é a ineficiência dos equipamentos domésticos utilizados e os comportamentos dos seus utilizadores. Por vezes, pequenas intervenções nos edifícios, como uma limpeza ou manutenção, poderão fazer poupar perto de 35% de energia e mantendo o mesmo nível de conforto. Existem ainda outras medidas de baixo custo, ou mesmo sem custos, que podem igualmente trazer poupanças no gasto de energia. Estas razões evidenciam a necessidade de se alterarem pequenos hábitos de forma a moderar-se o consumo energético, em especial, do consumo elétrico (ADENE, 2012c).

Tabela 2 – Distribuição percentual de edifícios existentes por classes (Fonte: ADENE, 2012a)

Classes	**Edifícios existentes** (% de CE por classes)
A+	0,5%
A	4,4%
B	20,1%
B-	11,7%
C	32,3%
D	14,4%
E	8,1%
F	2,5%
G	6,0%

De referir que a classificação apresentada na Tabela 2 valoriza sobretudo a utilização de painéis solares e o abastecimento de gás natural na fórmula de cálculo aplicada, de acordo com o anterior regulamento (DL80/2006 de 4 de abril).

No caso da cidade do Porto, os alojamentos já certificados na área interna da cidade (dados fornecidos pela ADENE em janeiro de 2013), respeitantes a habitações construídas nas décadas entre 60 e 80, apesar de em número diminuto (apenas 775), são representativos do elevado grau de ineficiência que apresentam. Pode constatar-se nas Figuras 36 e 37 que cerca de 71% desses alojamentos obtiveram a letra E na classe de eficiência e 0,0% na A.

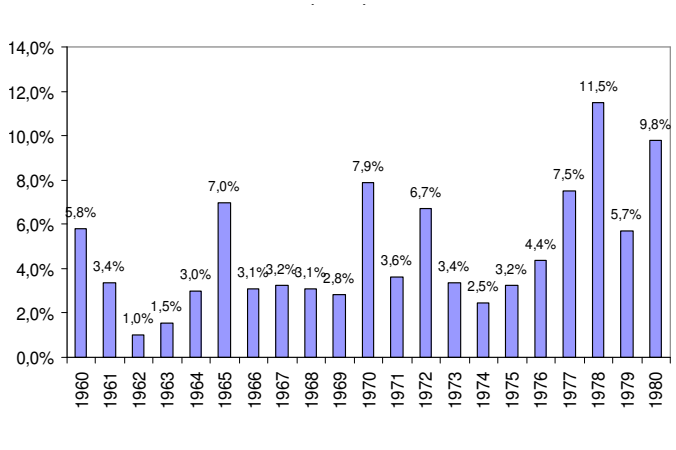


Figura 36 – Alojamentos certificados por ano de construção, no Porto

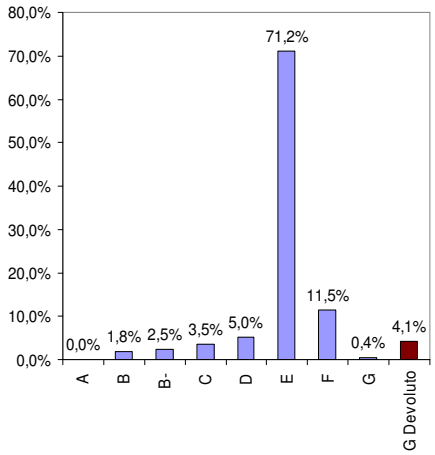


Figura 37 – Alojamentos certificados por classe de eficiência, no Porto

Fonte: dados oficiais não publicados e cedidos pela ADENE em janeiro de 2013

4.8. Estado de conservação do edificado existente em 2011

No âmbito da reabilitação de edifícios é importante uma correta avaliação das necessidades de reparação ou de correção de anomalias, tendo em vista um melhor planeamento da intervenção e a definição de estratégias mais adequadas.

Como se sabe, o conforto interior das habitações está dependente dos aspetos físicos das construções e, por conseguinte, é afetado pelas condições que apresentam os seus elementos constituintes. O estado de conservação de um edifício depende do envelhecimento natural dos seus materiais ou da fraca qualidade com que estes se apresentam conduzindo à sua degradação. Este aspeto assume extrema importância quando o processo de degradação atinge tal ponto que põe em causa a durabilidade da construção afetando inevitavelmente o conforto.

Na continuidade da linha de pensamento do ponto anterior, a falta de manutenção do edificado tem como consequência direta o mau estado de conservação que se assiste na generalidade do país, em especial nos edifícios mais antigos localizados na proximidade dos centros históricos. Não é despropositada a imagem que se cria de desleixo e aparente abandono quando não se fazem obras de manutenção desse património. Para além das consequências nocivas diretas sobre os seus ocupantes (perda de conforto, risco para a sua saúde e vida), essa imagem tem consequências negativas para o ambiente urbano e, em último caso, para o turismo.

Dos dados censitários em que se baseia o presente estudo, no referente ao estado de conservação do parque habitacional em Portugal, este foi avaliado considerando apenas a identificação de eventuais necessidades de reparações ao nível da cobertura, da estrutura, das paredes e da caixilharia dos edifícios.

A situação do estado de conservação do edificado em Portugal não é propriamente das melhores mas também não é alarmante tendo mesmo melhorado na última década, entre os anos 2001 e 2011. Conforme o relatório de estudo do INE (2012a) retrata, em 2001, dos 3.160 mil edifícios clássicos existentes cerca de 59% não necessitavam de reparação, 32% careciam de pequenas ou médias reparações e 8% apresentavam necessidade de grandes reparações ou estavam muito degradados.

Fazendo um paralelismo, mais recentemente e segundo os dados definitivos dos Censos 2011, dos 3.544 mil edifícios clássicos existentes, cerca de 71% (cerca de 2.519 mil) não necessitavam de reparações, 24% (cerca de 870 mil) precisavam de pequenas ou médias reparações e aproximadamente 5% (cerca de 160 mil) careciam de grandes reparações ou se encontravam muito degradados (Figura 38 e Tabela 3).

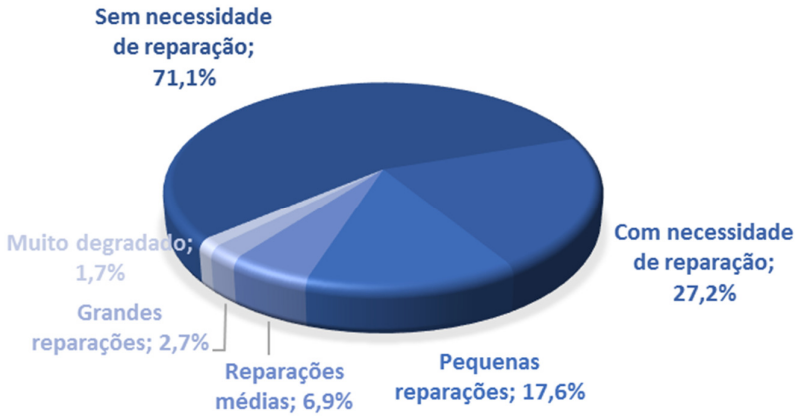


Figura 38 – Estado de conservação de edifícios clássicos em 2011 (Portugal)

Fonte: INE, Censos 2011 Q2.06

Apesar do balanço ser positivo como comprovam estes números, em Portugal, ainda há um grande caminho a percorrer no que diz respeito à reabilitação. Principalmente se se quiser reabilitar o parque edificado em termos de eficiência energética. Nesse âmbito, a aposta não se faz sentir, sendo muito pontual e prevalecendo ainda a ideia de construir de novo.

Considerando-se um escalonamento por épocas de construção, na Figura 39, verifica-se que cerca de 11% do total dos edifícios clássicos construídos antes de 1919, se encontravam muito degradados e para os edifícios construídos entre 1919 e 1945, esta proporção descia para cerca de metade, 5,8%.

Entre a época de 1945 e 1960, mais de 50% dos edifícios não necessitam de reparações, atingindo o valor de 96%, os edifícios construídos entre 2006 e 2011.

Poder-se-á concluir que quanto maior for a longevidade dos edifícios maiores serão as probabilidades de atingirem estados de degradação mais acentuados e a necessitarem de reparações maiores conforme expressa o gráfico da Figura 39.

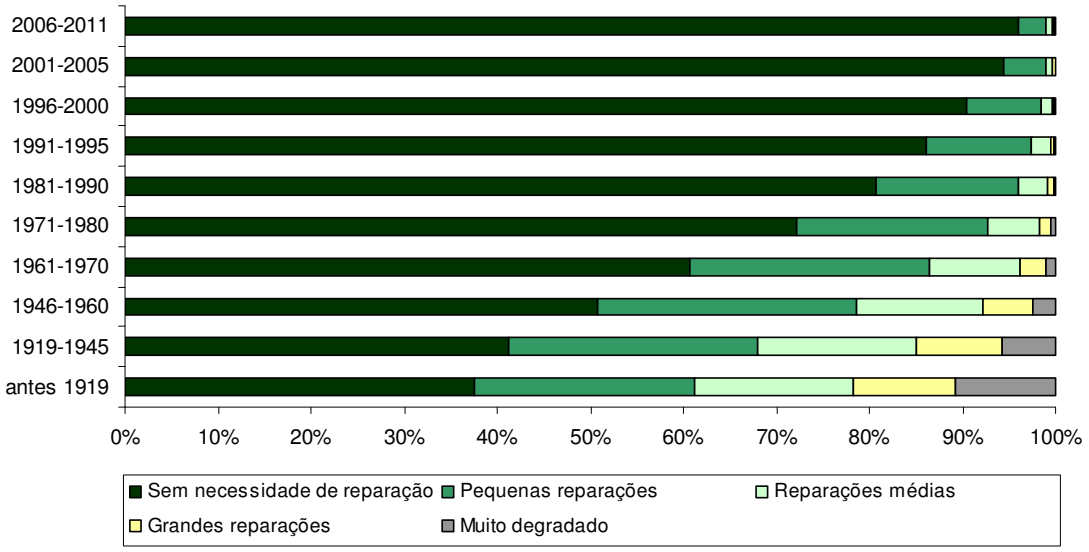


Figura 39 – Proporção de edifícios clássicos por época de construção e estado de conservação, 2011

Fonte: INE, Censos 2011 Q2.06

Analisando os dados através das NUTS II, na Figura 40, verifica-se que a região da Madeira é aquela que apresentava o pior resultado (30,5%), em termos proporcionais, de edifícios clássicos com necessidades de reparação, logo seguida da região Norte (29,2%).

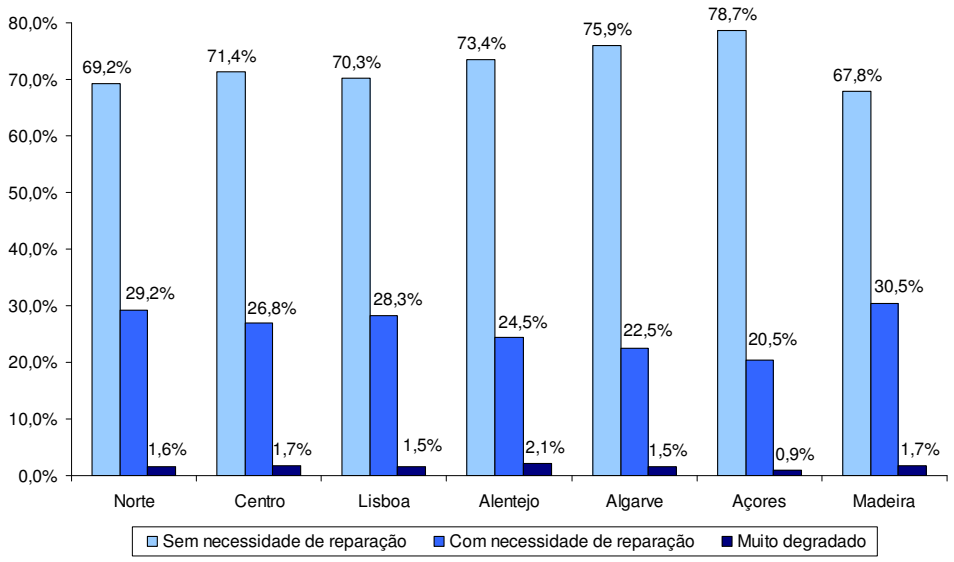


Figura 40 – Estado de conservação de edifícios clássicos segundo região geográfica (NUTS II)

Fonte: INE, Censos 2011 Q2.06

Em sentido contrário, a região dos Açores apresentava a maior proporção de edifícios clássicos sem necessidade de reparações (78,7%), seguida pela região do Algarve, com cerca de 76% dos edifícios. A necessidade de reparações em todas as regiões situa-se entre 20% e 30% dos edifícios clássicos,

enquanto os edifícios considerados muito degradados correspondiam a menos de 2% dos edifícios para cada região.

No entanto, estes números poderão ser enganadores porque os universos edificados contabilizados são substancialmente diferentes. Nessa perspetiva, a título de exemplo a região Norte é a que tem o maior número de edifícios com necessidades de reparação (353.416) e a Madeira apenas (28.016) como se pode verificar na Tabela 3.

Tabela 3 – Estado de conservação de edifícios clássicos segundo região geográfica (NUTS II)

Estado de Conservação	Norte	Centro	Lisboa	Alentejo	Algarve	Açores	Madeira	Portugal
Sem necessidade de reparação	836 737	794 248	315 466	281 834	151 043	77 736	62 388	2 519 452
Com necessidade de reparação	353 416	298 357	126 866	94 096	44 818	20 213	28 016	965 782
Pequenas reparações	226 588	189 916	85 827	59 804	30 350	13 775	18 062	624 322
Reparações médias	90 836	77 129	30 402	23 900	10 172	4 625	7 239	244 303
Grandes reparações	35 992	31 312	10 637	10 392	4 296	1 813	2 715	97 157
Muito degradado	19 758	19 347	6 625	7 936	3 063	869	1 557	59 155
Total de edifícios	1 209 911	1 111 952	448 957	383 866	198 924	98 818	91 961	3 544 389

Fonte: INE, Censos 2011 Q2.06

Continuando a análise quanto às necessidades de reparação, num universo territorial mais próximo, pode verificar-se na Figura 41 que a área geográfica do Grande Porto é aquela que apresenta os maiores números da região Norte, seguida pela região do Tâmega.

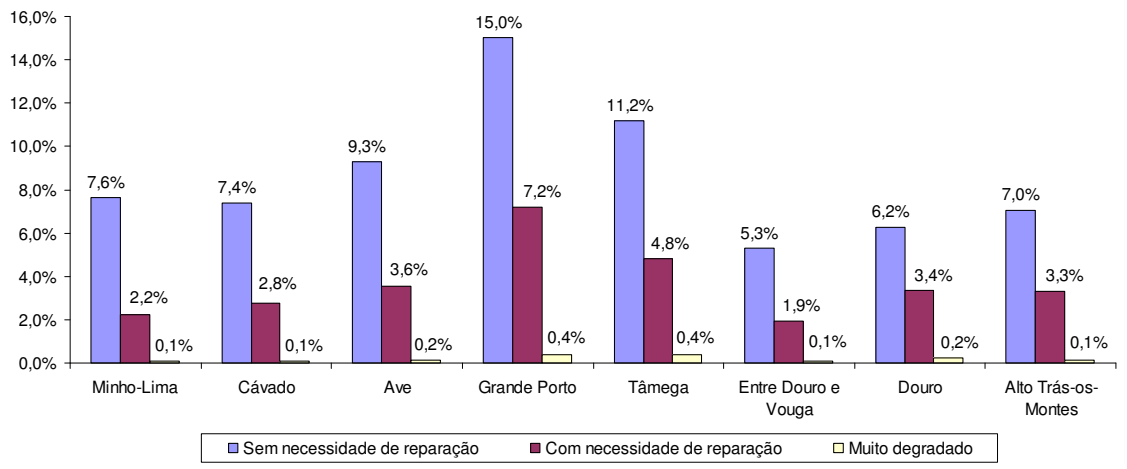


Figura 41 – % de edifícios, segundo necessidades de reparação por área geográfica na Região Norte

Fonte: INE, Censos 2011 – Q2.06 (Nº total de edifícios na Região Norte: 1.209.911)

Na Figura 42, pode-se verificar que tipo de distribuição de edifícios resulta tendo em conta a sua época de construção nas várias áreas geográficas da região Norte. Destaca-se mais uma vez o território do Grande Porto, como área de grande prevalência de edifícios, salientando-se a década de 70 no ponto máximo.

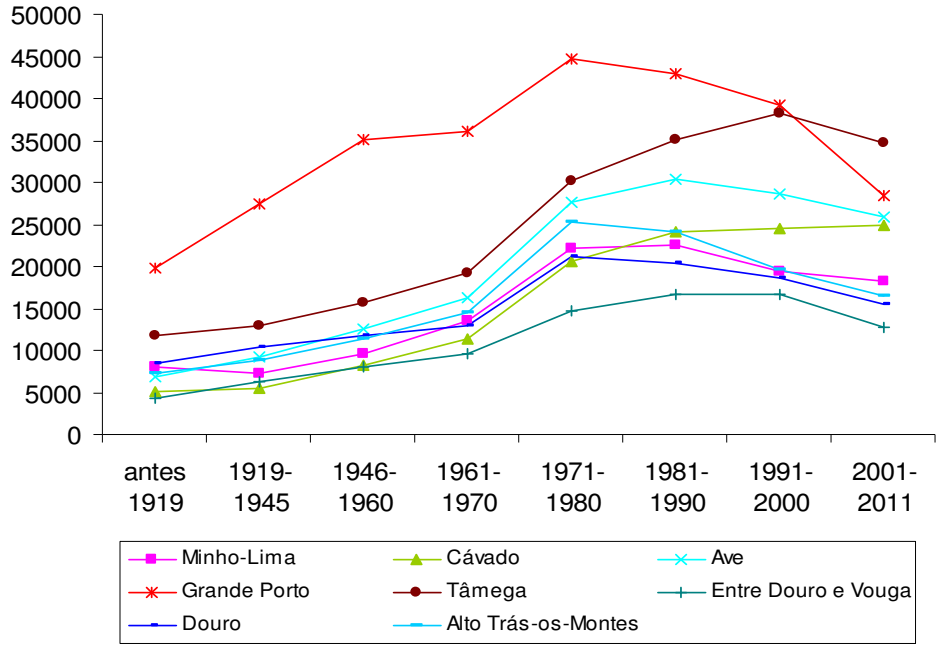


Figura 42 – Nº de edifícios, segundo a época de construção, por área geográfica na Região Norte

Fonte: INE, Censos 2011 - Q2.06 (N° total de edifícios na Região Norte: 1.209.911)

Comparando a percentagem de edifícios e de alojamentos existentes na região Norte, poderá comprovar-se nas Figuras 43 e 44 que o Grande Porto é de facto a zona com maior índice construtivo, justificando o seu poder atrativo nesta parte do país.

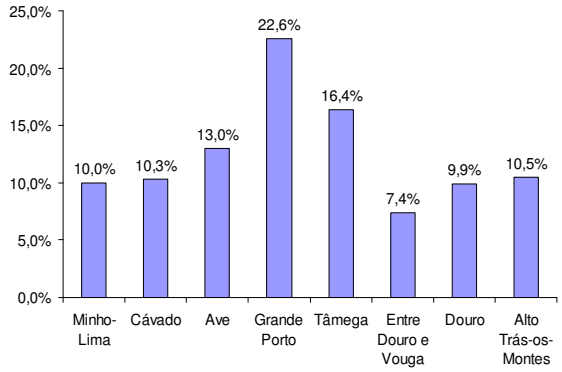


Figura 43 – Percentagem de edifícios, por área geográfica na Região Norte

Fonte: INE, Censos 2011 – Q2.06 (N° total de edifícios na Região Norte: 1.209.911)

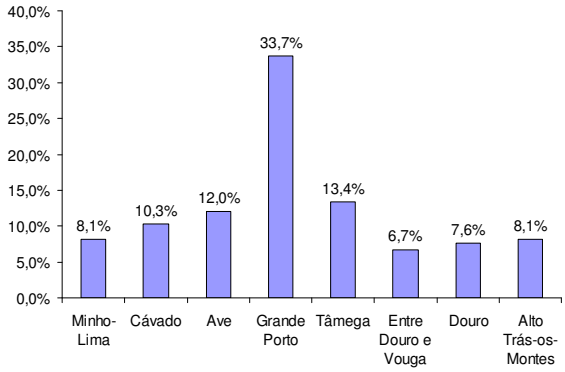


Figura 44 – Percentagem de alojamentos, por área geográfica na Região Norte

Fonte: INE, Censos 2011 - Q3.09 (N° total de alojamentos na Região Norte:1.846.589)

Confinando a análise para dentro da área do Grande Porto, constata-se a existência de duas cidades que se salientam pelo maior número de edifícios e de alojamentos que detêm: a cidade de Vila Nova de Gaia (65.088 edif.; 142.063 aloj.) e a cidade do Porto (44.324 edif.; 137.236 aloj.) – Figuras 45 e 46. De notar que Vila Nova de Gaia conseguiu rentabilizar mais o uso do solo, construindo mais edifícios e alojamentos que a cidade do Porto, talvez, fruto de estratégias municipais mais dinamizadoras. Contudo, proporcionalmente ao número de edifícios, o Porto tem mais alojamentos.

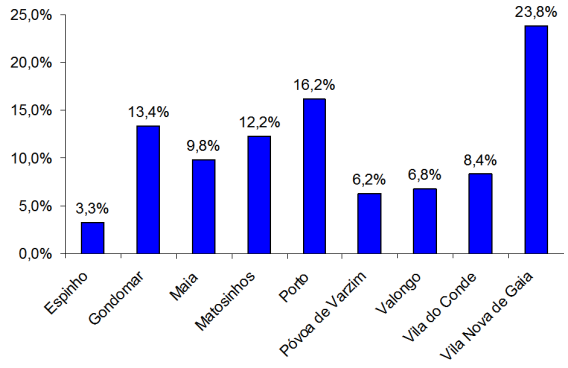


Figura 45 – Percentagem de edifícios, por área geográfica no Grande Porto

Fonte: INE, Censos 2011 – Q2.06 (N° total de edifícios no Grande Porto: 273.491)

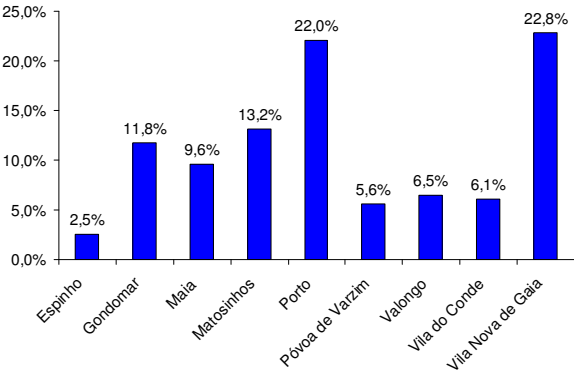


Figura 46 – Percentagem de alojamentos, por área geográfica no Grande Porto

Fonte: INE, Censos 2011 – Q3.09 (N° total de alojamentos no Grande Porto: 623.085)

Quanto ao estado de conservação do edificado no Grande Porto, dos 273.491 mil edifícios clássicos existentes, cerca de 66,5% (181.763) não necessitavam de reparações, 31,8% (87.105) precisavam de pequenas ou médias reparações e aproximadamente 1,7% (4.623) careciam de grandes reparações ou se encontravam muito degradados. Praticamente metade do edificado área do Grande Porto tem necessidade de obras (Figura 47).

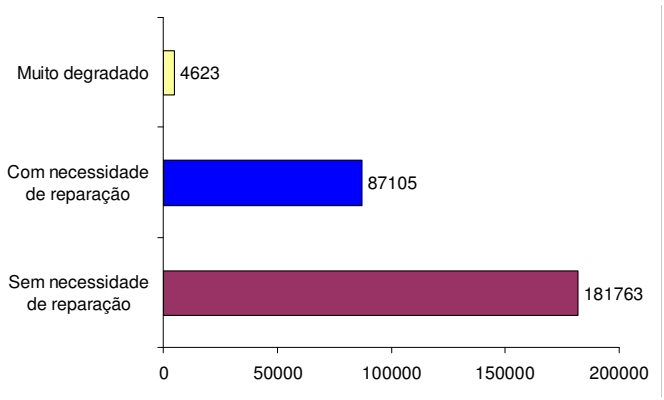


Figura 47 – Número de edifícios com necessidade de reparação na área do Grande Porto

Fonte: INE, Censos 2011 – Q2.06 (Nº total de edifícios no Grande Porto: 273491)

Nesta região, as cidades do Porto e Gaia destacam-se como sendo as que têm um maior número de edifícios a necessitar de obras e onde existem mais casos de edifícios muito degradados. No entanto, o caso do Porto ainda assim parece ser mais grave do que Gaia. Enquanto o Porto conta com 19.018 edifícios com necessidades de reparação num universo mais pequeno (total: 44.324 edif.), Gaia tem 21.082 edifícios com necessidades de reparação num universo maior (total: 65.088 edif.), (Figura 48).

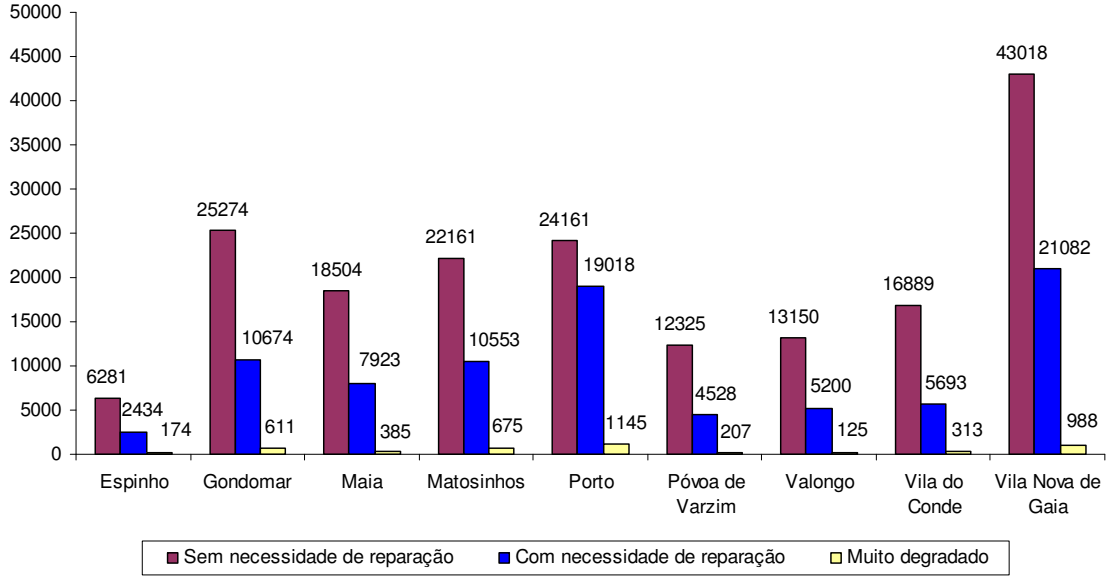


Figura 48 – Nº de edifícios com necessidade de reparação, segundo área geográfica, do Grande Porto

Fonte: INE, Censos 2011 – Q2.06 (Nº total de edifícios no Grande Porto: 273.491)

Focando agora o interesse na análise apenas da cidade do Porto, verifica-se que o estado de conservação do seu edificado apresenta-se em pior situação que a média geral do país (Figura 49).



Figura 49 – Estado de conservação de edifícios clássicos por estado de conservação na cidade do Porto

Fonte: INE, Censos 2011 Q2.06

Os dados do Porto retratam uma cidade com o seu património envelhecido, que perdeu população para as cidades vizinhas durante as últimas décadas e o seu centro histórico padece dos males próprios da aposta sucessiva na construção nova fora do centro. Todavia, é importante referir, algum esforço das edilidades nos incentivos estratégicos para a revitalização urbana dos centros históricos.

O caso do Masterplan de 2005, do Sistema de Incentivos Fiscais à Valorização Energética na Reabilitação Urbana, aprovado em 2010 e, agora mais recentemente, em junho de 2012, a Delimitação da Área de Reabilitação Urbana do Centro Histórico do Porto em instrumento próprio, afiguram-se como elementos territoriais estratégicos para o desenvolvimento daquela zona.

Como se constata na Figura 50, o maior número de edifícios clássicos com necessidade de obras é anterior a 1945, ultrapassando os que não têm necessidade de reparação dentro da sua época. Mas é igualmente importante verificar-se que a proporção de edifícios com necessidades de reparação, sobretudo, nas décadas de 60 e 70, ainda é um número significativo em relação aos que não têm necessidade de serem reparados, nesse período.

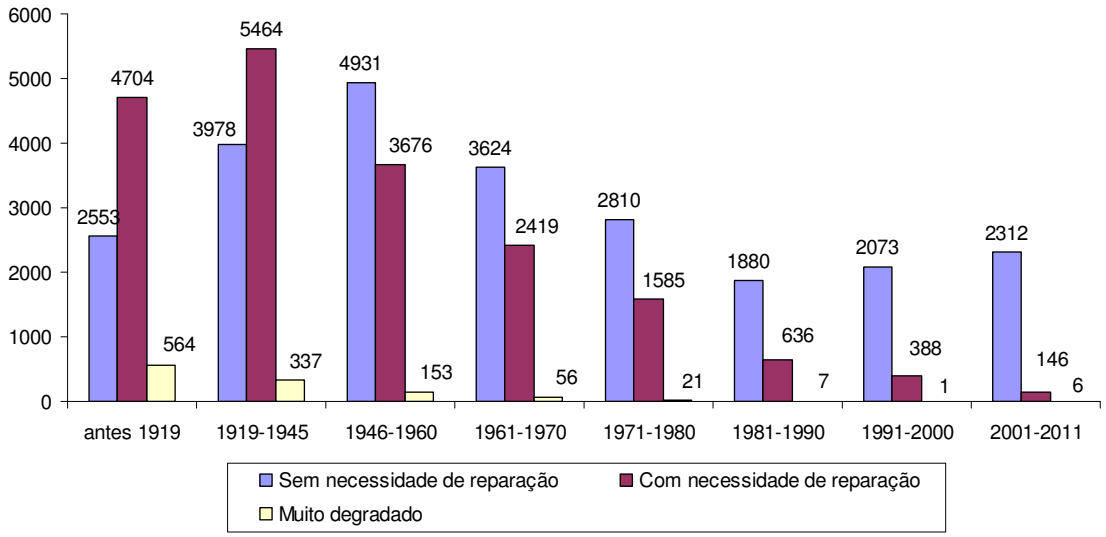


Figura 50 – Nº de edifícios com necessidade de reparação, segundo a época de construção, no Porto

Fonte: INE, Censos 2011 – Q2.06 (N° total de edifícios na cidade Porto: 44324)

4.9. Consumos de utilização no edificado

Como se sabe e foi mencionado anteriormente, Portugal está fortemente dependente dos combustíveis externos. Os edifícios apresentam-se como os principais gastadores da fatura energética do país, devido essencialmente ao seu fraco desempenho.

Segundo os dados do INE, no último recenseamento, em 2011, num total de 3.997.724 alojamentos das famílias portuguesas, cerca de 3.437.678 (86%) tinham aquecimento disponível. Destes lares, 1.835.384 (53,4%) utilizavam a eletricidade como principal fonte de energia para o aquecimento do ambiente (Figura 51), sendo que 1.640.096 (41%) dos alojamentos tinham aparelhos de aquecimento móveis (Figura 52).

Por conseguinte, poder-se-á concluir que existem várias evidências para os níveis elevados de consumo energético no país, em especial nas duas regiões mais influentes: Região de Lisboa e Região Norte.

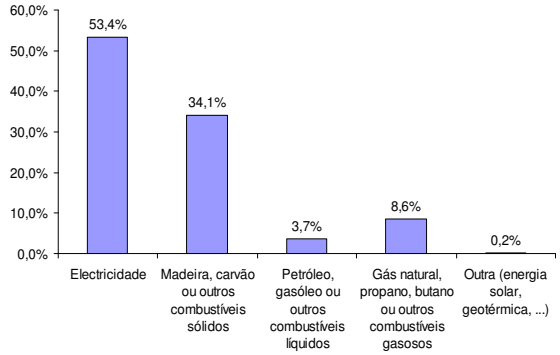


Figura 51 – Alojamentos em Portugal segundo a principal fonte de energia para aquecimento

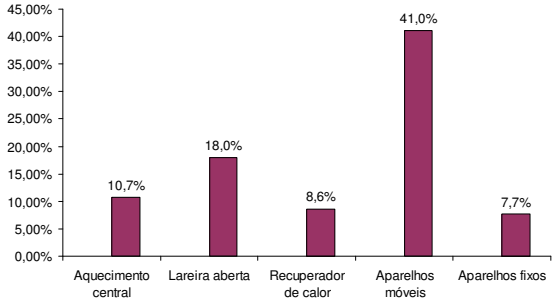


Figura 52 – Alojamentos em Portugal segundo tipo de aquecimento

Fonte: INE, Censos 2011 adaptado do Q3.06

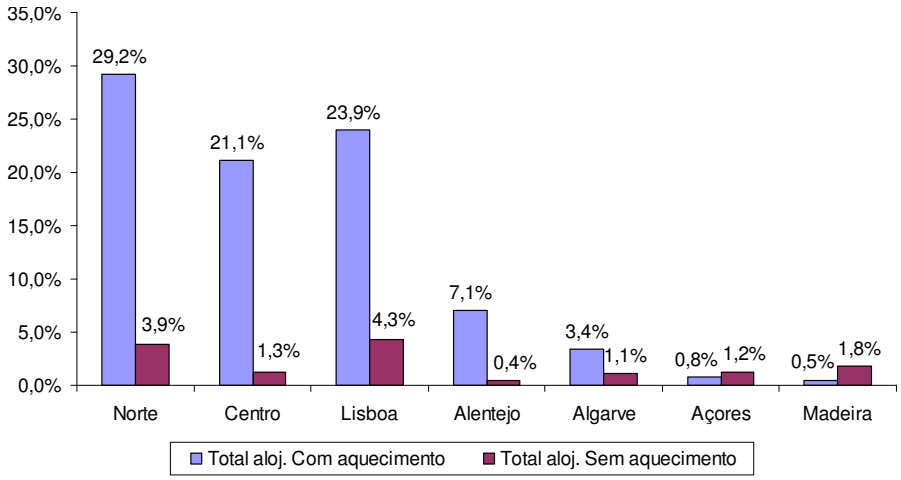


Figura 53 – Percentagem de alojamentos com aquecimento por região, em Portugal

Fonte: INE, Censos 2011 adaptado do Q3.06

Conforme mostra a Figura 53, a região Norte destaca-se como sendo a área do território nacional com maior percentagem (29,2%) de alojamentos que têm aquecimento. No entanto, a região de Lisboa e o Centro do país são reveladores do maior número de aparelhos de aquecimento por alojamento, logo a seguir à região Norte, com 23,9% e 21,1% respetivamente.

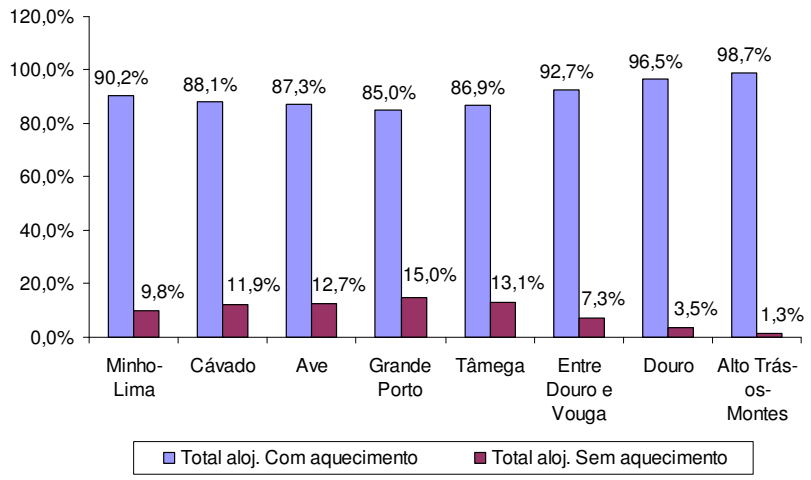


Figura 54 – Percentagem de alojamentos com aquecimento na região Norte

Fonte: INE, Censos 2011 adaptado do Q3.06

Comparando os dados da região do Grande Porto com os da Grande Lisboa, também se pode concluir que a área alargada da capital se destaca em relação à capital do Norte apresentando um maior número de alojamentos com aquecimento, pese o facto que em termos percentuais não ser tão significativo (Gr. Porto 17,6% tem aquecimento; Gr. Lisboa 18,1% tem aquecimento).

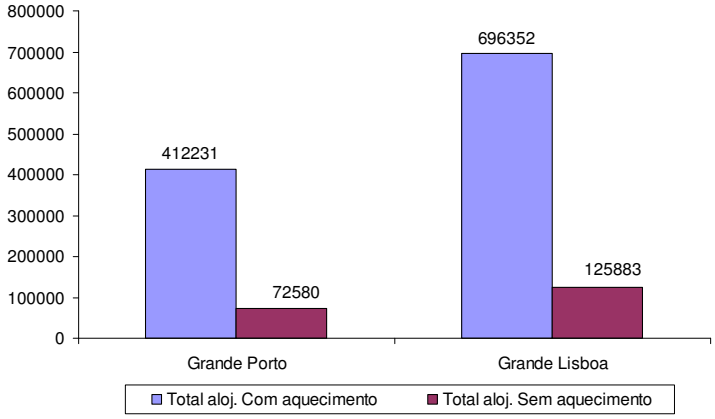


Figura 55 – Distribuição de alojamentos com aquecimento no Grande Porto e na Grande Lisboa

Fonte: INE, Censos 2011 adaptado do Q3.06

Em relação à região de Lisboa, a área da Grande Lisboa destaca-se de toda a sua região e a cidade de Lisboa apresenta a maior percentagem (24,3%) dos lares com aquecimento seguida da cidade de Almada (19,1%), como se verifica nas Figuras 57 e 58.

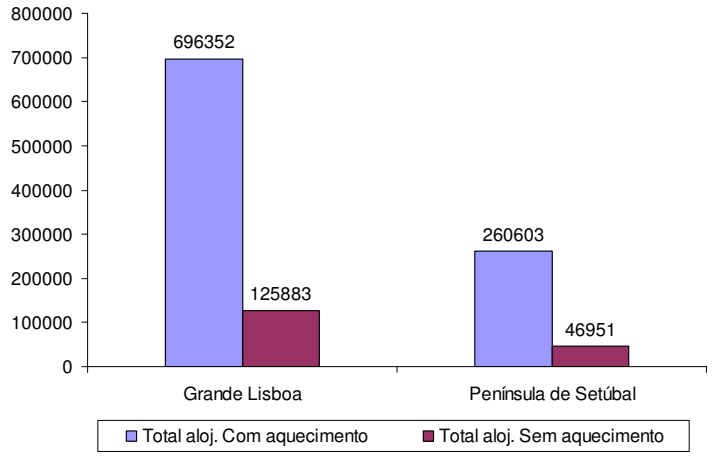


Figura 56 – Distribuição de alojamentos com aquecimento na região de Lisboa

Fonte: INE, Censos 2011 adaptado do Q3.06

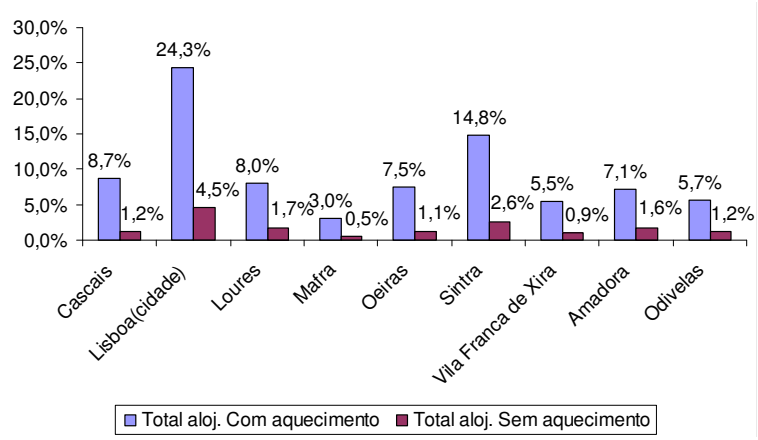


Figura 57 – Percentagem de alojamentos com aquecimento na Grande Lisboa, região Lisboa

Fonte: INE, Censos 2011 adaptado do Q3.06

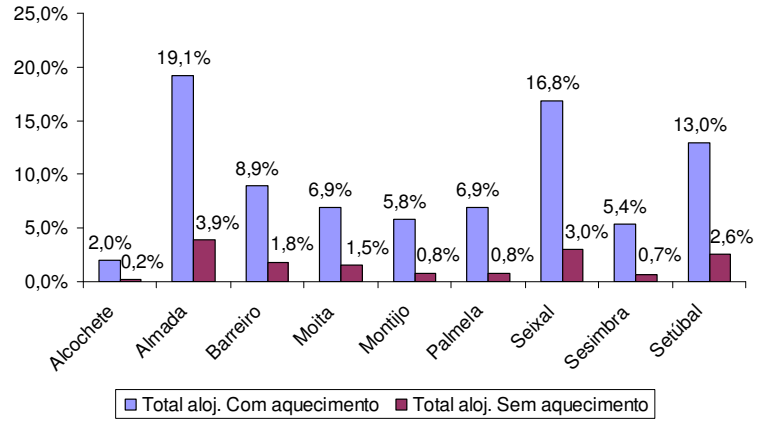


Figura 58 – Percentagem de alojamentos com aquecimento na Península Setúbal, região Lisboa

Fonte: INE, Censos 2011 adaptado do Q3.06

Salienta-se ainda que Porto e Lisboa são das cidades do país onde, respetivamente 78,3% e 87,5% dos lares têm aparelhos a eletricidade para aquecimento ambiente. O foco nesta realidade assume extrema importância quando se procura entender os elevados consumos dos lares portugueses quanto aos gastos em eletricidade (Figuras 59 e 60).

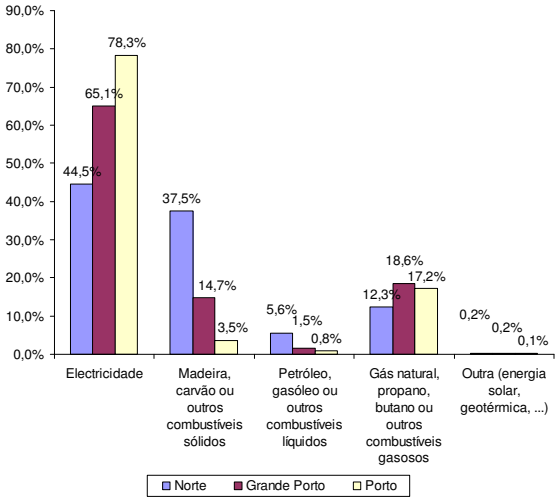


Figura 59 – Percentagem de alojamentos na região norte segundo fonte de energia para aquecimento

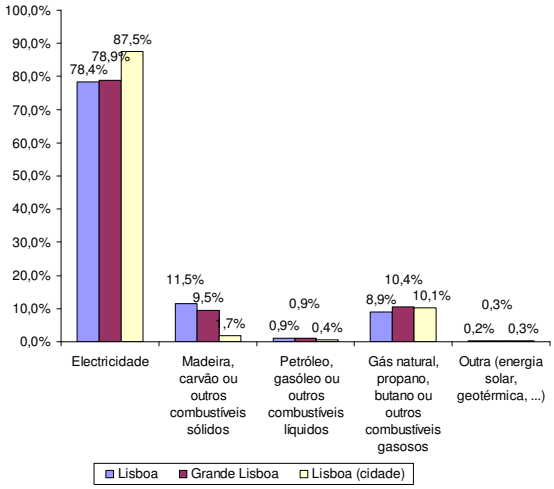


Figura 60 – Percentagem de alojamentos na região Lisboa segundo fonte de energia para aquecimento

Fonte: INE, Censos 2011 adaptado do Q3.06

De facto a preferência dos lares portugueses por aquecimentos elétricos móveis para melhorar o conforto interno das habitações durante os dias frios é um dos aspetos a salientar nos gastos familiares, que deve ser tido em conta na fatura energética da globalidade do país.

Segundo os dados apurados pelos censos de 2011, entre 1960 e 1990, existem cerca de 427.067 edifícios com necessidade de reparações, representando cerca de 12% do total de edifícios existentes em Portugal (3.544.389). Sabendo que existem 2.644.093 alojamentos desta época de um total de 5.859.540, estima-se (depreende-se) que cerca de 703.144 alojamentos terão necessidades de reparação. Outro dado importante é que 2.386.148 de alojamentos estão ocupados como locais de residência habitual (1.884.528) e secundária (501.620).

5. ESTUDO DE CASO

5.1. Nota introdutória

A informação que se apresenta sobre o objeto de estudo foi elaborada, tal como referido no início do trabalho, tendo em conta uma situação real existente. Para o melhor conhecimento do objeto de estudo, o levantamento e análise produzidos para o efeito foram efetuados através de:

- Visitas ao local;
- Inspeção visual;
- Levantamento arquitetónico e fotográfico do edifício;
- Deteção das soluções construtivas existentes (consulta do anterior processo de obras junto da administração do condomínio);
- Entrevistas aos ocupantes do edifício de modo a complementar a informação e, registar o seu testemunho;
- Consulta camarária do processo licenciado em 1965;
- Realização de ensaios e medições às duas frações em estudo.

5.2. Delimitações do estudo

Conforme opinião de Haneman e Oliveira (2013), as diferentes necessidades de reabilitar um edifício dependem, em grande parte, da época em que este foi construído. Compreendendo que a prática construtiva dos edifícios no país evoluiu no tempo, é possível detetar as variações (ao nível da arquitetura, tecnologia construtiva, estrutura, materiais, entre outros) que estes apresentam conforme a época em que foram construídos. Essas variações permitem separar por épocas de construção as principais caraterísticas que os distinguem.

No contexto deste trabalho, entende-se também existir uma divisão temporal em Portugal em termos construtivos. Seguindo a visão destes autores delimitou-se o século XX em três períodos distintos:

- Um primeiro momento, anterior aos anos de 1960, em que ainda se apostava na reabilitação das construções permitindo oferecer habitação para o mercado de arrendamento.
- Um segundo momento, posterior aos anos de 1960, onde se destacam as décadas de 80 e 90 como o período de maior índice de construção. Nesta época ainda não havia preocupações térmicas com as casas. As pessoas mudavam mais facilmente de casa do que reabilitavam aonde viviam,

apostando sobretudo na construção nova. Segundo Haneman e Oliveira (2013), nesse período predominava a cultura de "deitar fora e fazer de novo".

- E um terceiro momento, pós primeira regulamentação térmica até à atualidade, em que há casas a mais e as dificuldades ao crédito bancário reduzem a possibilidade de se construir de novo. A aposta é voltada novamente para o mercado da reabilitação, havendo um crescente interesse por todos os intervenientes neste mercado.

Devido ao potencial elevado número de edifícios existentes em situação de serem reabilitados, a sua diversidade tipológica e diferentes épocas construtivas, para o presente estudo, optou-se por escolher a época construtiva, dentro do segundo momento referido, entre 1951 e 1982[18], com particular enfoque nos anos 60/70, na área urbana interna da cidade do Porto.

Da anterior cultura do "deitar fora e fazer de novo" dos anos 70, pretende-se agora reutilizar para não desperdiçar.

5.3. Pertinência do estudo

O interesse por esta escolha justifica-se por várias razões. Por um lado, pela existência no país da maior percentagem de edifícios dos anos 70 (16,6% em 70 e 16,3% em 80), e porque as construções desse período apresentarem um elevado nível de ineficiência energética[19]. Depois, como se referiu anteriormente, o Norte de Portugal é a região mais populosa (34,9%), tem mais edifícios (34,1%) e é onde existem mais lares com aquecimento (29,2%) cuja principal fonte de energia utilizada é a elétrica (53,4%). Neste aspeto, Porto e Lisboa são das cidades do país onde, respetivamente 78,3% e 87,5% dos lares têm aparelhos a eletricidade para aquecimento ambiente.

Por outro lado, no caso particular da cidade do Porto, o facto de possuir cerca de 32% de alojamentos deste período (16,3% em 60 e 15,6% em 70). Dos 81,2% de alojamentos ocupados, 34,1% são dos anos 60 e 70 (17,3% em 60 e 16,8% em 70), e albergavam 35,1% dos residentes (17,7% em 60 e 17,4% em 70) da cidade (Censos, 2011).

[18] Conforme categoria classificada no Método de avaliação do estado de conservação de edifícios (MAEC) englobado no quadro do novo Regime de Arrendamento Urbano – NRAU (Lei nº 6/2006 de 27 de fevereiro). Acrescenta-se que neste período entram em vigor alguns dos regulamentos mais importantes e referências ainda atuais. O RGEU (1951), o REBA (1968) e mais tarde o REBAP (1983) que veio substituir o REBA são alguns desses exemplos. O RGEU está neste momento em processo de revisão.

[19] Segundo dados da *Agência para a Energia* (ADENE) cerca de 66% dos fogos certificados apresentam potencial de reabilitação energética, sendo que o nível mais elevado de ineficiência energética acontece nas construções dos anos 70 (mais de 85% dos fogos foram classificados com a letra C ou inferior).

Pelo peso destes dados reconhece-se a urgente necessidade de reabilitar termo energeticamente os lares construídos nos anos 70 de modo a torná-los menos consumidores de energia e mais confortáveis. Para além disso, o tempo decorrido entre a data de construção dos edifícios dessa altura e o momento presente aproxima-se dos 50 anos (limite previsto para a durabilidade de um edifício corrente de habitação em estrutura de betão armado) podendo vir a ser encarados como prioridade de reabilitação.

Sobre a escolha há ainda a salientar o facto deste tipo de edifícios não se enquadrar nos imóveis de interesse arquitetónico ou patrimonial, (salvo pequenas exceções) nem beneficiar de nenhum outro estatuto de salvaguarda, como é o caso dos edifícios antigos classificados. A esta escolha não é alheia a ideia subjacente de valorizar o património "menor" (Paiva, 2006), um pouco à semelhança do que aconteceu em 1961 com o Inquérito à Arquitetura Popular em que se deu particular destaque ao património vernacular mais recôndito. Este particular interesse, reveste-se de importância quando se atenta ao contexto humano e à realidade socioeconómica do país.

Pelos aspetos apontados parece haver válidas razões para que se promova a reabilitação/valorização deste património residencial de construção corrente que apesar do pouco interesse arquitetónico que apresenta, ainda poderá continuar a dar abrigo a um grande número de habitantes consumidores e, por isso mesmo, ter um grande peso ao nível do consumo energético no plano nacional que importará reconhecer.

5.4. Enquadramento e localização do objeto de estudo

O edifício em análise fica situado na freguesia de Ramalde, numa zona da cidade do Porto que sofreu uma significativa expansão urbana em meados do século XX, durante os anos 60. A sua localização numa das principais artérias de ligação da cidade para ocidente (a rua Pedro Hispano), na confluência de outro importante arruamento de acesso à zona industrial e, outrora, saída da cidade, a rua 5 de Outubro (continuado pela rua Sidónio Pais), testemunham essa expansão.

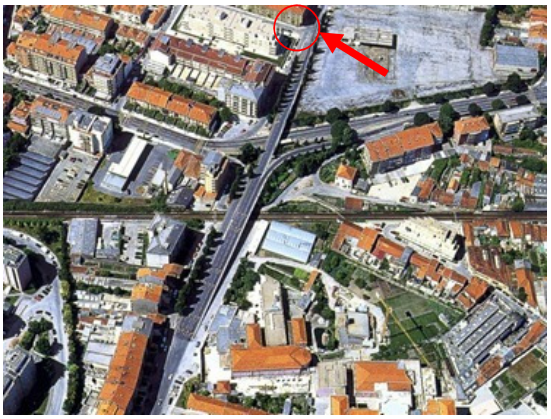


Figura 61 – Viaduto Pedro Hispano sobre a rua *Sidónio Pais* (Filipe Jorge, 2000)



Figura 62 – Plano Auzelle documento 7, III Volume (1962) – Viaduto Pedro Hispano (RF, 2011)

Localização do edifício em estudo - Vista da ligação da rua da Constituição às avenidas de Sidónio Pais e da Av. da Boavista.

Paralelamente à importância destes arruamentos, a proximidade que esta zona tem com o segundo centro de negócios da cidade a partir da praça Mouzinho de Albuquerque (vulgarmente conhecida por Rotunda da Boavista) são reveladores da sua localização privilegiada.

Este edifício de habitação multifamiliar foi implantado no gaveto da rua Pedro Hispano com a rua Pereira de Novais (na indicação da seta vermelha das Figuras 61 e 62) a pouca distância da rua 5 de Outubro, ocupando todo o terreno do antigo cinema *Central-cine da Carcereira*. [Segundo, a informação acedida online, depreende-se que o cinema terá sido construído nos finais dos anos 30[20] (Arquivo Municipal do Porto) e fechado nos anos 60 (www.cinemasdoporto.com)] dando lugar à construção do edifício de habitação na totalidade do lote.



Figura 63 – Imagem do Central-cine tirada no gaveto das duas ruas (CMP, 2013a)

[20] Gisa – Documento/Processo – Licença de obra n.º: 188/1936

Da consulta efetuada na Câmara Municipal do Porto (C.M.P.) ao processo de licenciamento para a construção deste edifício (Licença de obra nº 760/63), encontra-se uma imagem referente ao edifício do antigo cinema que então se pretendia demolir (Figura 63).

O edifício de habitação então construído está dividido em três blocos de duas frentes com entradas individualizadas e respetivos espaços de garagens no piso da cave com acesso independente. A data de entrada do requerimento é de 13 de Agosto de 1963 e o certificado de habitabilidade é de Outubro de 1965.

Conforme citação, pode-se ler na Memória Descritiva do processo consultado que este edifício é construído em "*um sistema mixto de elevação de paredes de perpeanho, betão armado e tijolo, com fundações até ao terreno firme,*". Na planta estrutural que se apresenta na Figura 64 pode-se observar a simplicidade com que se organizou os vários elementos estruturais do projeto de estabilidade. Daquilo que foi possível interpretar (processo e local), os panos de paredes em alvenaria de pedra granítica estão localizados na envolvente sem aberturas, no encosto com o edifício vizinho contíguo a sudeste e, talvez, na empena a sudoeste.

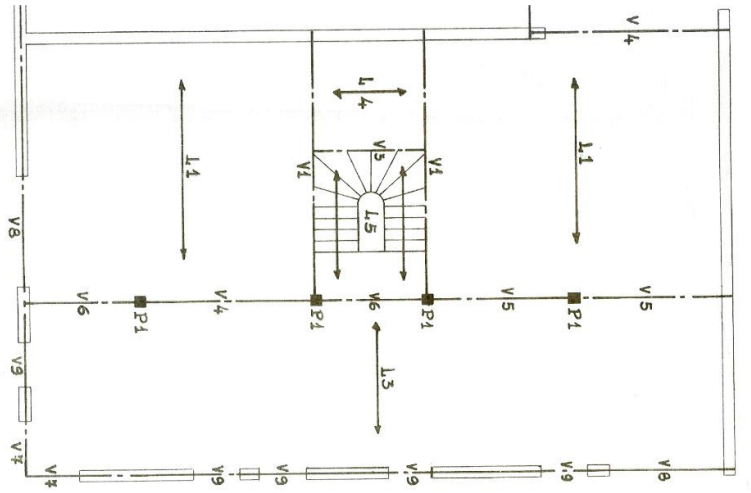


Figura 64 – Planta esquemática da estrutura (CMP, 2013b)

Tendo em conta a consulta efetuada à C.M.P., a informação existente no processo não é clara ou desconfia-se que não corresponda ao executado. Por essa razão, não se pode afirmar convictamente que os panos na envolvente com aberturas, das fachadas nordeste e noroeste sejam em alvenaria de tijolo (cerâmico). Põe-se a hipótese que existam pontualmente pequenos panos em pedra ou, menos provável,

em betão armado. A cobertura é em telha suportada por estrutura em madeira com desvão ventilado e esse espaço é usado por depósitos de água pertencentes às frações do 2º e 3º andar.

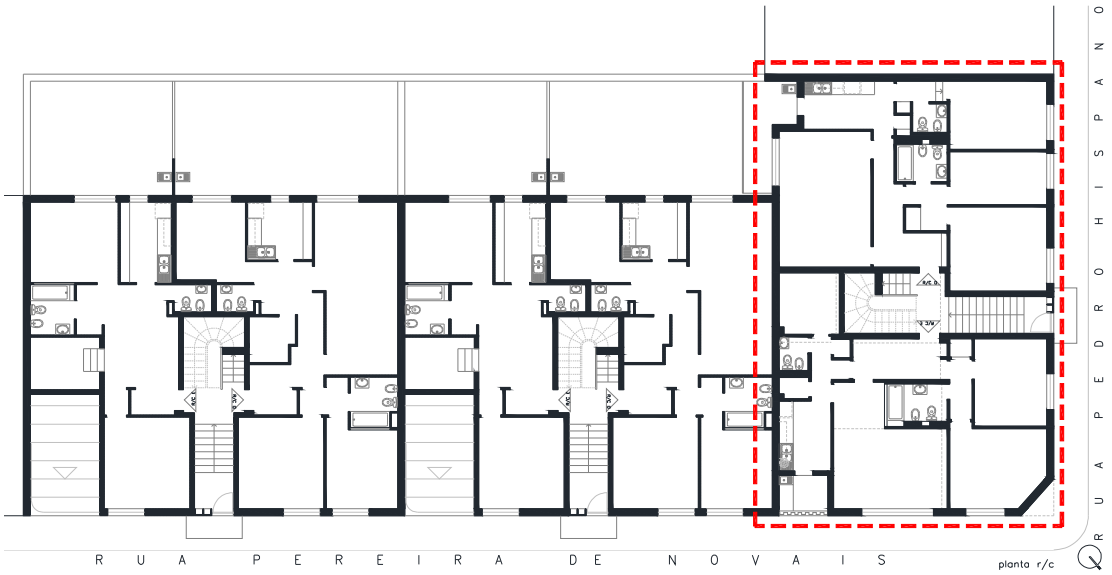


Figura 65 – Planta dos três blocos ao nível do rés-do-chão (desenhos do autor)

A disposição dos fogos, nos três blocos, apresenta-se com o tipo "esquerdo-direito" munidos por um acesso vertical central – caixa de escadas. A tipologia do fogo predominante é T3 com áreas interiores relativamente pequenas e bastante compartimentadas. A existência de alguns T2 e apenas um T1 devem-se às situações de condicionamento provocados pelos acessos ao interior dos edifícios (entradas e rampas) ao nível da rua, afetando unicamente as frações situadas no r/c (Figura 65).

Dois desses blocos têm as entradas voltadas para a rua Pereira de Novais (arruamento secundário) e são constituídos por três pisos com seis frações de habitação e uma da garagem que seguem a cércea das habitações unifamiliares vizinhas. O outro bloco tem as entradas voltadas para a rua Pedro Hispano (arruamento principal) e aproveita a situação de gaveto para crescer mais um piso, acompanhando a cércea vizinha mais elevada deste arruamento. É constituído por nove frações, sendo oito de habitação e uma do armazém atualmente desativado na cave.

Este tipo de edifício apresenta uma imagem arquitetónica com determinadas características, reflexo dos conceitos funcionais e estéticos existentes e da sua própria tipologia construtiva. Essa imagem traduz-se, no desenho pobre da fachada que neste caso é dado pelo destaque da estrutura horizontal pintada a cor clara e a marcação dos vãos por diferenciação dos níveis do pano exterior revestido a pastilha. Aqui, esse revestimento é feito em duas cores, amplificando o efeito estético visível nas fotos recentes

das Figuras 66 a 67. Ao nível interno a organização espaço-funcional das frações não tem grande sofisticação, sendo reduzida à sua expressão mais elementar. Os compartimentos pouco generosos são ajustados às dimensões da classe meia ou média-baixa seguindo estritamente os preceitos economicistas da época.



Figura 66 – Vistas do exterior do edifício (fotos do autor)



Figura 67 – Vistas do exterior do edifício (fotos do autor)

5.5. Apresentação do Objeto de Estudo

O objeto de estudo do presente trabalho é uma fração habitacional T3 (designada fração F1) que sofreu obras de reforço térmico da envolvente exterior recentemente e que está inserida no edifício de gaveto (1º bloco).

Dentro do universo edificado de habitação multifamiliar, considerou-se a escolha deste edifício como sendo representativo de um tipo de construção conhecido como "prédio de rendimento" (atrás mencionado) muito em voga nesta época.

No âmbito do presente trabalho, julgou-se adequado a escolha de uma fração do edifício como caso a servir de exemplo de estudo. Esta ideia sai reforçada pelo que já foi enumerado anteriormente, enquadrando-se este caso numa construção típica dos anos 70, com elevada ineficiência energética e alguns tipos de anomalias construtivas que afetam o conforto interior e o alto consumo de energia.

5.6. Descrição sumária do objeto em estudo (Fração F1)

O estudo de caso a realizar incide na avaliação de desempenho termo energético da fração autónoma inserida no 1º andar do bloco de gaveto anteriormente referido. Esta fração habitacional corresponde a um apartamento de tipologia T3 que sofreu obras de reforço térmico com a construção de uma parede leve com isolamento térmico pelo lado interior da envolvente exterior, em junho de 2005, e o acrescento de nova caixilharia de alumínio com vidro duplo pelo lado exterior, em maio de 2012, (o caixilho existente é em madeira com vidro simples e caixa de estores). Os detalhes destas soluções serão tratados mais à frente, no capítulo 6.

Para o estudo em causa julgou-se necessário estabelecer um termo de comparação entre essa fração em estudo (fração F1) e outra que estivesse nas condições mais próximas do estado original inicial, considerando-a como fração de referência (fração F2).

A fração F2 situa-se no 2º andar, imediatamente acima da fração F1 e é praticamente idêntica a esta última. Das alterações que sofreu com relevância para este estudo, apenas se considerou a colocação de um exaustor de fumos na cozinha.

De referir ainda que a fração F1 já havia sofrido obras de renovação interiores em 2000 pelo que apresenta algumas alterações ao nível da organização interna. Dessas alterações destacam-se os aspetos que maior influência tiveram na ventilação natural dos espaços interiores: a colocação de exaustor de fumos na cozinha, a substituição das antigas grelhas de madeira da ventilação (Figura 68) por extratores elétricos (Figura 69) nos compartimentos sem acesso ao exterior e a substituição das portas interiores com grelhas para ventilação por portas sem grelhas de ventilação nos arrumos e dispensas.



Figura 68 – Grelha ventilação natural da fração F2



Figura 69 – Extrator mecânico de ventilação da fração F1

(fotos do autor)

Estas frações têm duas frentes voltadas para os dois arruamentos que as limitam, repartindo cozinha, sala e um dos quartos com vãos abertos para nordeste (NE) e os outros dois quartos para noroeste (NW).

Como se poderá constatar a disposição em planta destes compartimentos não mostra grandes preocupações com a orientação solar, por contingências da própria implantação do edifício. Pode-se dizer que a sua implantação segue a regra da ocupação na totalidade do lote, tal como foi noutras épocas mais antigas.

Nas Figuras 70 e 71, seguintes, estão representados os desenhos da planta, corte e alçados com a identificação a vermelho da fração F1, objeto deste estudo.

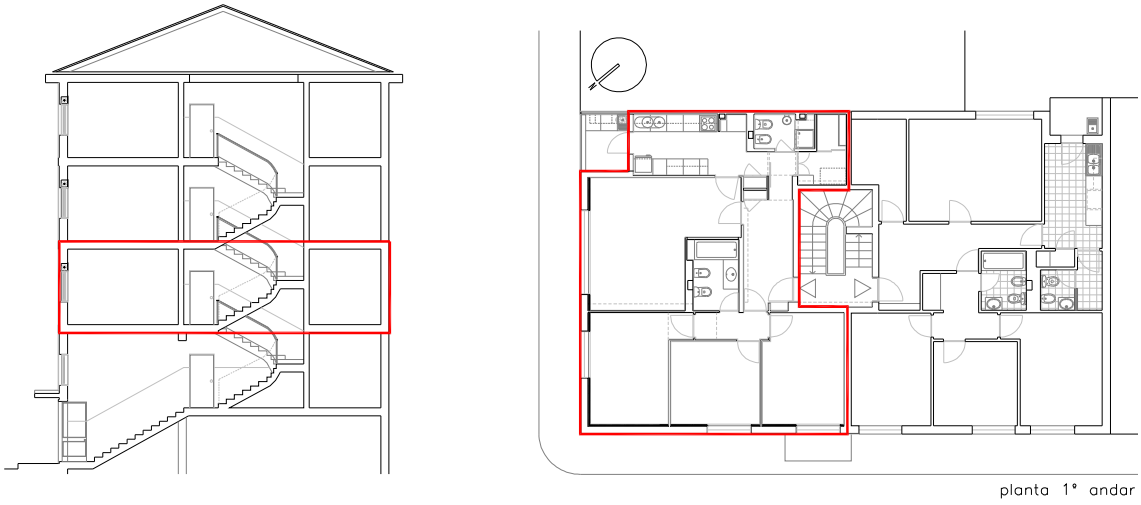


Figura 70 – Corte e planta do edifício: identificação da fração F1 em estudo (desenhos do autor)



Figura 71 – Alçados do edifício: identificação da fração F1 em estudo (desenhos do autor)

5.7. Descrição das soluções construtivas existentes

Este tipo de edifício terá sido construído, conforme referido, utilizando um sistema estrutural misto composto por paredes em pedra, pilares, vigas e lajes em betão armado. De acordo com a leitura dos desenhos da estrutura, na planta anteriormente apresentada (Figura 64), pode-se observar a existência de quatro pilares em betão armado localizados na zona central do edifício.



Figura 72 – Parede lavandaria



Figura 73 – Parede da cozinha



Figura 74 – Parede Wc pequeno

(fotos do autor)

Desta leitura depreende-se que os restantes elementos estruturais (sem trama negra) sejam as paredes de perpianho da envolvente exterior, já que não é feita qualquer menção na parte escrita do processo sobre a existência de tijolo cerâmico. Conforme testemunham as imagens das Figuras 72, 73 e 74, pode-se comprovar que, pelo menos, ao longo da parede nordeste é certa a existência da pedra. Estas fotos foram realizadas durante a obra de renovação interior em Outubro de 1999, na fração F1.

No entanto, segundo o testemunho de um dos utilizadores, este recorda-se de ter feito um pequeno buraco, utilizando um berbequim, na parede de um dos quartos situados a noroeste (fachada com aberturas voltada para a rua Pedro Hispano) e detetar vestígios de tijolo cerâmico, contrapondo a tese de apenas existir unicamente pedra na envolvente externa.

Não sendo possível comprovar se esta hipótese é totalmente verdadeira, mas acreditando-se que a sequência evolutiva das composições das paredes exteriores em Portugal durante o século passado terá sido como a apresentada na imagem da Figura 75, o esquema que parece configurar a situação mais provável para o caso presente será a da parede dupla de tijolo dos "Anos 70".

Assim sendo, considerou-se para o presente estudo, que os panos da envolvente com aberturas são preenchidos com alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado e caixa-de-ar, como se identifica nos desenhos de pormenor mais à frente (Tabela 4).

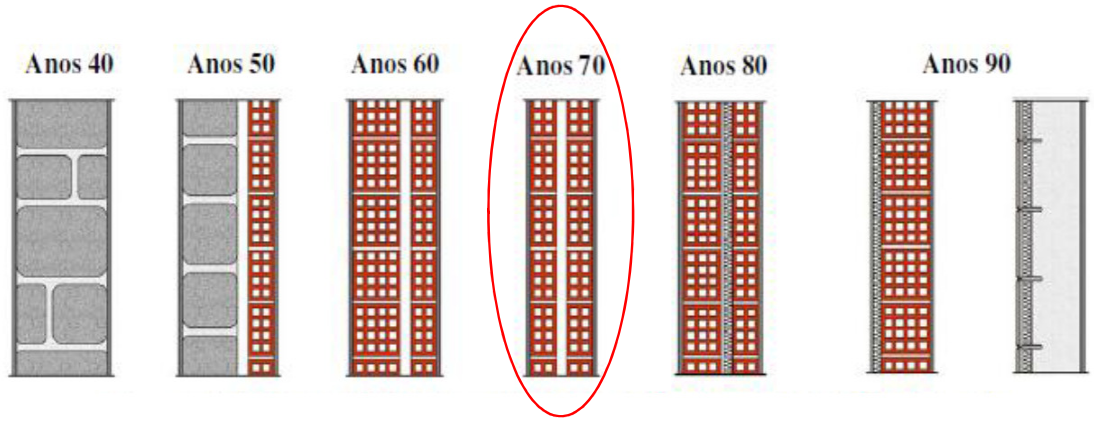


Figura 75 – Evolução das paredes exteriores em Portugal no século XX [Fonte: Dinis, 2010]

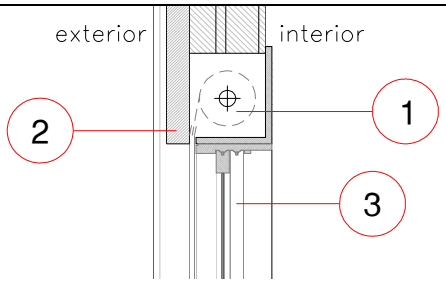
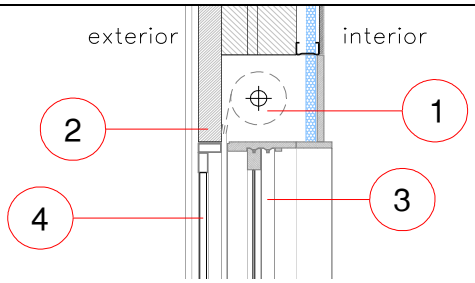
Para as fachadas voltadas para a rua, como já foi referido anteriormente, foi utilizado como solução de revestimento a pastilha vidrada e os vãos são em caixilharia de madeira maciça de macacaúba. Os caixilhos são de correr com vidro simples e estores em pvc (anteriormente em madeira). Sendo esta construção da década de 1960, não é de estranhar a ausência de isolamento térmico na sua envolvente externa.

No interior, os tetos são estanhados, as paredes são em tijolo cerâmico furado com acabamento estanhado e os pavimentos são revestidos a taco de madeira maciça de eucalipto.

A fração que foi alvo de intervenção, a fração F1, para além do referido, apresenta o reforço térmico no lado interior da envolvente opaca externa. Este reforço térmico é constituído por uma parede leve em gesso cartonado, construída em todos os compartimentos voltados para a rua. No espaço entre a parede existente e os painéis de gesso cartonado foram colocadas placas de isolamento térmico xps de 30mm de espessura, separadas da parede exterior por uma caixa-de-ar com cerca de 3cm. Ao nível do vão foram colocadas novas caixilharias de alumínio com vidro duplo pelo lado exterior do estore (alinhadas pela face exterior da fachada).

Apresenta-se na Tabela 4 os pormenores-tipo da solução construtiva da envolvente exterior do edifício na zona do vão. É feita uma breve descrição da solução construtiva existente, na fração F2, e da solução de reforço utilizada na intervenção realizada na fração F1.

Tabela 4 – Pormenores tipo da solução construtiva da envolvente exterior existente (desenhos do autor)

	Solução Original (fração F2)	**Solução de Reforço (fração F1)**
Desenho	 Corte vertical ao nível 2º andar	 Corte vertical ao nível 1º andar
	Legenda: 1_Rolo de estore; 2_Lâmina de betão; 3_Caixilho de Madeira; 4_Caixilho de alumínio	
Descrição	Parede dupla de alvenaria cerâmica (30 a 34cm) sem isolamento térmico, rebocada e pintada pelo lado interior e revestimento a tinta elastómera sobre pastilha vidrada pela face exterior.	(idem). **Reforço térmico**: (parede leve + caixilho). O reforço térmico é constituído por uma parede leve em gesso cartonado, com placas de isolamento térmico xps de 30mm, separadas da parede exterior. Colocação de caixilharias de alumínio lacado com vidro duplo (5+cx+4), à face exterior da fachada

5.8. Dados climáticos do local do edifício

Na Tabela 5 apresentam-se os dados climáticos da localização do edifício, para uso em posteriores cálculos através do programa OPTITERM-LFC. Estes dados estão de acordo com o RCCTE-DL 80/2006 e segundo metodologia empregue no guia de *Edifícios Existentes – Medidas de Melhoria de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior* (Freitas & *et al,* 2011). A metodologia do guia utiliza a tipificação de soluções construtivas partindo do pressuposto simplificado que pelas paredes, coberturas e pavimentos só existem perdas de calor na estação de aquecimento. Para além disso, não considera os possíveis ganhos, nem contabiliza as pontes térmicas lineares e perdas de calor de pavimentos e paredes enterrados. Por último, como as necessidades energéticas na estação de arrefecimento representam apenas cerca de 10% das necessidades energéticas globais anuais, na zona climática I2, também estas não são consideradas para o cálculo. De referir ainda que os valores apresentados mantém-se atuais aos novos regulamentos em vigor.

Tabela 5 – Dados climáticos na zona climática I2 - Porto

Zona climática de inverno	I_2
Distância à costa	>5 Km
Número de graus-dias de aquecimento	1610 (°C.dias)
Duração da estação de aquecimento	6,7 (meses)
Zona climática de verão	V_2
Radiação incidente num envidraçado orientado a sul	93 (Kwh/m².mês)
Temperatura do ar exterior	30 (°C)
Classe exposição ao vento (Região A – II)	Exposição 2

A aplicação da metodologia utilizada no guia ao presente estudo justifica-se pela abordagem tecno-económica que propõe e a sua utilidade prática como ferramenta de apoio à decisão.

Com a finalidade de calcular as perdas pela envolvente da fração F1 apresentam-se na Tabela 6 os valores dimensionais dos vários elementos da construção.

Tabela 6 – Valores dimensionais dos elementos construtivos das frações em estudo

Elementos construtivos	Áreas F1	Áreas F2
Envolvente exterior – zona corrente da fachada	110,37 m²	110,37 m²
Envolvente interior – zona separação c/as escadas e vizinhos	118,66 m²	122,15 m²
Envolvente exterior lado interior – Contra fachada	42,40 m²	42,40 m²
Cobertura inclinada	0 m²	0 m²
Área de pavimento útil desprotegido (canto)	1,11 m²	0 m²
Área de pavimento útil da fração	84,76 m²	89,30 m²
Vãos envidraçados – nordeste e noroeste	10,73 m²	10,73 m²
Caixas de estore	2,30 m²	2,30 m²
Pé-direito (médio)	2,72 m²	2,80 m²
Inércia	Média/forte	Média/forte

5.9. Avaliação e Diagnóstico do Estudo de Caso

5.9.1. Enquadramento e Objetivos

Neste ponto pretende-se quantificar o desempenho energético da habitação em estudo com a finalidade de se compreender o seu patamar de conforto e como este é entendido pelos seus ocupantes. Os principais objetivos passam pela compreensão das necessidades funcionais (conforto higrotérmico, adequação espacial, comportamento dos utilizadores) e exigências energéticas (eficiência e consumo energético) da fração em estudo.

Está presente que numa avaliação de conforto de uma habitação, que se pretende tão rigorosa quanto possível, sejam equacionados todos os parâmetros ambientais que a caraterizam. Como refere Mateus (2009), os quatro principais indicadores de conforto em ambientes interiores são: o ambiente térmico; o ruído; a qualidade do ar e a luminosidade.

Por se tratar de um estudo comparativo entre duas habitações (frações F1 e F2) e para se poder atingir os objetivos pretendidos foi necessário proceder a um levantamento e avaliação da situação existente, ao nível do ambiente interior de cada uma. Este levantamento engloba a elaboração de uma campanha de medições (avaliações objetivas) e um inquérito aos utilizadores (avaliações subjetivas) conforme ponto de vista do mesmo autor.

Por se perceber o grau de complexidade inerente a esta tarefa, a disponibilidade de meios (alguns equipamentos de diagnóstico não puderam ser dispensados ou estiveram inoperacionais durante a campanha) e as condicionantes de acesso às habitações, estabeleceu-se como prioridade apenas avaliar

alguns dos indicadores como forma de abreviar e ser exequível no tempo disponível. A título de exemplo, um dos indicadores que não se considerou neste estudo foi o da luminosidade. Esta medida não foi utilizada por se considerar menos importante, mas porque exigiria maior disponibilidade de tempo na preparação e levantamento do trabalho de campo com maior incómodo para os ocupantes das frações. Mesmo dentro dos indicadores não foram consideradas todas as grandezas físicas que os caraterizam. No caso da avaliação da qualidade do ar, unicamente foram avaliados: a taxa de ventilação; os níveis de concentração de dióxido de carbono e monóxido de carbono. Dos indicadores com maior utilização no apuramento da QAI, o do nível de ventilação parece ser o método preferível (Mateus, 2009).

Como meio auxiliar de diagnóstico *in loco* utilizaram-se diferentes equipamentos de medição disponibilizados pelo Laboratório de Física e Tecnologia das Construções (LFTC), da Universidade do Minho. Chama-se à atenção que as condições de ensaio às duas habitações são bastante distintas. Enquanto na F1 (fração em estudo) o nível de ocupação no momento dos ensaios presenciais era em média de 3 a 5 pessoas (não contabilizando a presença do técnico medidor), na F2 (fração de referência) foi apenas de 1 pessoa. Estes aspetos revelam que o grau de utilização e a dinâmica vivida nas duas frações influencia significativamente as medições, bem como o próprio trabalho de campo. No entanto, procurou-se respeitar os vários preceitos de medição, de modo a obterem-se os valores representativos de cada situação a caracterizar. Dados os constrangimentos de acesso às habitações, só foi possível efetuar as medições durante o período diurno[21] (entre as 7:00 e as 20:00) e unicamente na estação de arrefecimento. A impossibilidade de se realizarem medições na estação de aquecimento deveu-se, sobretudo, a duas razões. Por um lado, o tempo previsto para a entrega deste trabalho estava a terminar. Por outro, reconhecendo o incómodo provocado aos proprietários, a sua disponibilidade tornou-se num obstáculo de acesso aos seus lares.

Como se tratam de duas frações habitadas, os condicionalismos inerentes impõem-se à realização de verificações/confirmações à posteriori por muito convenientes que pudessem ser. Por isso, com este tipo de condicionamentos, não foi viável proceder-se a repetições ou a correções dos ensaios que se realizaram. Refere-se também que algumas das medições tiveram que ser anuladas devido a imprecisões ou falhas nos registos.

Na Figura 76 apresentam-se as plantas das duas frações com a localização dos aparelhos de medição (sonora e de temperatura) nos compartimentos escolhidos.

[21] Conforme artº 3º, na alínea p) do DL 9/2007.



Figura 76– Plantas com a localização dos aparelhos de medição (desenhos do autor)

5.9.2. Avaliações objetivas

Para as avaliações objetivas foram monitorizados três parâmetros que influenciam o conforto do ambiente interno das frações: o ambiente térmico; o ruído e a qualidade do ar. No primeiro, foi feita a Avaliação da Temperatura do Ar (TA) e a Avaliação da Humidade Relativa (HR); No segundo foi feita a Avaliação do Ruído Ambiente (RA); No terceiro, foram avaliados os níveis de concentração de dióxido de carbono (CO_2) e de monóxido de carbono (CO) e da Taxa de Renovação de Ar (TRA).

No caso das medições de TA e HR os aparelhos utilizados (*data loggers Testoster 175*) foram programados previamente e colocados nas duas frações em compartimentos correspondentes, num total de três por fração, fazendo os registos das medições em automático e em modo contínuo (30min de intervalo de registo durante 8 dias consecutivos). Os compartimentos escolhidos como sendo mais representativos estão localizados em fachadas distintas (sala, quarto 1 e quarto 2). As medições exteriores foram asseguradas por outro aparelho colocado na varanda da F1 (permanentemente ventilada).

Para os outros casos, as medições realizadas foram feitas através de instrumentos que requerem o manuseamento presencial: o sonómetro *Sound Analyser CEL500 series* para avaliação do ruído ambiente; o *Testo 435* para avaliação da qualidade do ar ambiente em interiores (QAI) com sondas de

medição de CO_2 e CO e; a *Blower Door* para a medição de fluxos de ar (através de testes de pressurização e de despressurização) na obtenção das taxas de infiltração de ar.



Figura 77 – Imagens dos diferentes aparelhos de medição utilizados (Fonte: https://www.google.pt, s/d)

Nesta campanha de monitorização não se utilizaram todos os compartimentos das frações. Apenas se realizaram avaliações à sala, ao quarto 1, ao quarto 2 e à cozinha. No geral as avaliações foram efetuadas em dias distintos (mínimo 2), com intervalos de tempo de amostragem iguais ou superiores a 10 minutos para os parâmetros de: RA, CO_2 e CO. No caso das medições da taxa de renovação de ar, os intervalos de tempo são determinados pelo próprio equipamento e no decorrer dos testes. Os ensaios decorreram no período compreendido entre 24 de maio e 21 de junho de 2013, conforme possibilidade de acesso às frações. Como se referiu anteriormente, pelas razões apontadas não foi possível realizarem-se medições na estação de aquecimento.

Para a caraterização do ruído ambiente apenas se fez uso do nível sonoro contínuo equivalente (LAeq), ponderado A. A frequência de medição do equipamento está compreendida entre os 12,5 Hz e os 20000 Hz e uma amplitude de 5 a 140 dB. Antes de cada medição, o sonómetro foi calibrado através do calibrador da marca CEL, modelo 284-2, para um valor de 114 dB(A) e uma frequência de 1000Hz.

De referir que, nos três dias de ensaio acústico, optou-se por fazer as medições com as janelas fechadas e estores abertos no momento do ensaio, numa tentativa de se uniformizarem o mais possível as condições de medição nas duas frações. Pediu-se, ainda, aos moradores que evitassem executar tarefas que acrescentassem ruídos durante o momento da realização dos ensaios (preparar as refeições, falar ao telefone, abrir a janela, ligar aparelhos audiovisuais na proximidade do compartimento onde se realizasse o ensaio).

No geral, embora tivessem sido respeitadas as orientações pedidas houve esquecimentos pontuais que obrigaram à repetição de alguns dos ensaios. Apesar das condições de ensaio referidas, existiram ainda

ocorrências não controláveis de determinados ruídos externos (automóvel a buzinar, vizinho que deixa cair algum objeto no pavimento da sua fração, entre outras situações) que influenciaram as medições gerando picos pontuais registados.

5.9.3. Interpretação dos dados recolhidos

Do levantamento feito, após análise dos dados recolhidos, constatou-se haver algumas diferenças entre as duas frações. Em seguida, descreve-se sucintamente a interpretação desses resultados para cada parâmetro.

a) Ambiente Térmico - Medições TA

As temperaturas do ambiente interior registadas são, no geral, próximas entre as duas frações, apresentando-se bastante uniformes durante as 24h de cada dia de medição (apresentam poucas oscilações ao longo do dia) diferenciando-se das temperaturas registadas no exterior. Apenas se destaca que as temperaturas medidas na F1 são ligeiramente superiores à da F2, em média cerca de um grau (1°C) acima. Quando as temperaturas exteriores sobem ou descem a F1 acompanha mais lentamente (com um certo atraso) do que a F2. Apesar de haver dias em que a média exterior é menor, ambas as frações mantém-se com a temperatura acima no ambiente interior, o que pressupõe existir uma boa inércia térmica na construção.

Tabela 7 – Medições da Temperatura média diária e média total

Dia	Exterior	Sala-F1	Sala-F2	Q1-F1	Q1-F2	Q2-F1	Q2-F2
2-Jun2013	22,63	22,29	21,31	21,63	21,25	21,86	20,78
3-Jun2013	23,11	23,03	22,37	22,63	22,53	22,83	22,02
4-Jun2013	24,04	23,96	23,28	23,78	23,73	23,66	22,93
5-Jun2013	21,95	24,16	23,56	24,03	24,11	23,75	23,35
6-Jun2013	20,42	23,89	23,12	23,70	23,28	23,60	22,92
7-Jun2013	20,51	23,66	22,77	23,42	22,70	23,35	22,64
8-Jun2013	20,26	23,43	22,72	23,09	22,14	23,10	22,28
9-Jun2013	18,96	21,26	20,01	20,57	19,58	20,40	19,58
Média total	**21,48**	**23,21**	**22,39**	**22,86**	**22,42**	**22,82**	**22,06**

Os valores obtidos nas medições poderão considerar-se dentro dos valores recomendados para as temperaturas operativas em espaços habitáveis apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores recomendados para temperaturas operativas em espaços de habitação (fonte: Mateus, 2009)

Tipo de edifício	**Tipo de compartimento**	**Categoria de conforto**[1]	**Temperatura operativa (ºC)** (de acordo com EN 15251:2007)	
			Mínima de aquecimento (inverno) ≈ 1 Clo	**Máxima de arrefecimento (verão) ≈ 1 Clo**
Residencial:	Espaços habitáveis	I	21,0	25,5
	(quartos, sala de estar,	II	20,0	26,0
Sedentário ≈ 1,2 met	cozinhas, etc.)	III	18,0	27,0
Residencial:	outros espaços	I	18,0	-
	(despensas, corredores,	II	16,0	-
Marcha ≈ 1,6 met	etc.)	III	14,0	-

(1) Ver Tabela 9

A cada categoria de conforto térmico corresponde um valor de PPD e PMV de acordo com a norma EN 15251:2007 (Tabela 9). A categoria de conforto para o caso em estudo é a (I).

Tabela 9 – Valores de PPD e PMV para cada categoria de conforto térmico (fonte: Mateus, 2009)

Categoria de conforto	**Estado térmico de um individuo** (de acordo com EN 15251:2007)	
	PPD (%)	**PMV**
I	< 6	-0,2 < PMV < +0,2
II	< 10	-0,5 < PMV < +0,5
III	< 15	-0,7 < PMV < +0,7
IV	> 15	PMV < -0,7; ou 0,7 < PMV

A relação entre índices PMV e PPD e a escala de Fanger para o conforto térmico do caso analisado, segundo a norma ISO 7730, situa-se próxima do limite inferior da curva de referência. Está representada na Figura 78 através da linha a tracejado verde.

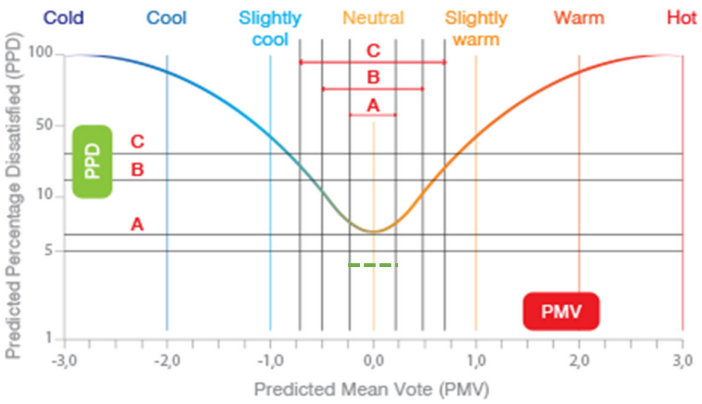


Figura 78 – Relação entre índices PMV e PPD (Anónimo, (s/d).

Deixa-se aqui uma breve nota sobre as medições de temperatura na estação de aquecimento na época de 2013/2014. Por motivos imprevistos, não foi possível proceder-se ao levantamento de qualquer medição no período em causa com equipamento do LFTC. Contudo, durante os primeiros meses de 2014, tem-se procurado acompanhar as medições da fração F1 através de medidores de temperatura adquiridos pelo proprietário e que permitem vislumbrar alguns resultados.

Os dois medidores adquiridos foram localizados em dois locais mais centrais: um na sala e outro no átrio dos quartos. Pelo interesse que demonstra este caso, tem sido possível perceber através do testemunho dos utilizadores e do autor que as temperaturas desta fração, neste período, têm oscilado entre os 15º e os 17º no átrio, e entre os 17º e os 19º na sala, mesmo em dias de temperaturas muito baixas no exterior.

Reconhece-se que não são valores rigorosos mas de alguma fiabilidade pela constância dos números apresentados.

b) Ambiente Térmico – Medições HR

Os valores médios da HR medidos no interior das habitações são superiores aos medidos no exterior nos primeiros 4 dias da duração da recolha e ligeiramente inferiores nos restantes dias. É sabido que os valores de referência estão situados entre os 40% e os 60% de HR. Destaca-se que o quarto Q1 da F2 teve sempre os valores de HR mais elevados, aproximando-se do dobro do registado no exterior. Estes valores indiciam a existência de alguma anomalia ou um défice de arejamento, visto este ser o único quarto da F2 com ocupação durante as medições. Em contrapartida, a Sala da F1 teve sempre os valores

de HR mais baixos, embora pouco significativos. No geral, os valores de HR medidos no interior das duas frações acompanham (nas subidas ou nas descidas) os valores medidos no exterior.

Tabela 10 – Medições da Humidade Relativa média diária e média total

Dia	Exterior	Sala-F1	Sala-F2	Q1-F1	Q1-F2	Q2-F1	Q2-F2
2-Jun2013	43,86	54,93	59,14	58,15	81,29	60,06	60,90
3-Jun2013	40,01	47,68	50,61	49,13	79,73	52,87	52,57
4-Jun2013	41,87	49,18	52,53	51,79	81,50	53,41	53,06
5-Jun2013	54,60	54,44	56,72	57,42	81,52	55,91	57,05
6-Jun2013	57,61	53,54	55,94	58,15	81,50	54,08	54,35
7-Jun2013	51,83	51,76	55,40	55,57	81,44	54,63	54,40
8-Jun2013	60,57	56,01	58,74	60,33	81,44	60,41	58,76
9-Jun2013	56,67	53,80	56,58	57,53	73,82	59,57	57,15
Média total	**50,88**	**52,67**	**55,71**	**56,01**	**80,28**	**56,37**	**56,03**

c) Ruído – Medições RA

Da caraterização acústica realizada no interior das frações obteve-se um conjunto de dados, cujos valores médios para cada compartimento, nos três momentos de medição, se apresentam na Figura 79. Segundo os valores obtidos a F1 apresenta medições do LAeq ponderado A, mais baixos que a F2. Estes dados podem significar existir uma melhoria do isolamento acústico da F1. Acrescenta-se que esta fração está mais próxima do ruído aéreo exterior do que a F2 e, portanto, mais suscetível de ser afetada por este. O testemunho feito pelos utilizadores da F1 quanto à redução dos níveis de ruído exterior depois das obras, é também um revelador da eficácia da solução adotada.

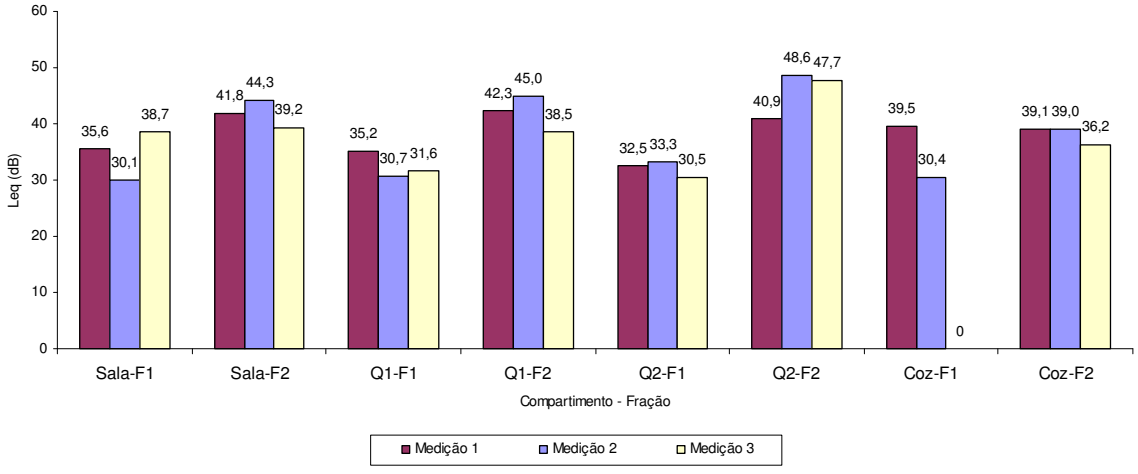


Figura 79 – Média global do nível sonoro equivalente ponderado medido nas duas frações

Conforme se verifica na Figura 79, apesar dos valores médios na F1 se apresentarem um pouco abaixo da gama de valores máximos recomendados (Tabela 11), ainda não se encontram numa gama desejável. No entanto, estes valores constituem uma evolução positiva ao nível do conforto acústico nesta fração.

Tabela 11 – Valores recomendados para o nível de pressão sonora [dB(A)] em espaços interiores de edifícios residenciais, a adotar na fase de projeto [EN 15251:2007]

Tipo de edifício	**Tipo de compartimento**	**Nível de pressão sonora [dB(A)]** (conforme EN 15251:2007)	
		Gama de valores recomendados	**Valor a adotar por defeito no projeto**
Residencial	Sala de estar	25 a 40	32
	Quarto	20 a 35	26

d) Qualidade do Ar - Medições CO_2

No geral, os registos realizados apontam para valores de CO_2 maiores na F1, em todos os compartimentos e aproximando-se do dobro dos valores da F2. O valor máximo obtido foi 986,42 partes por milhão (ppm) e que correspondem a 1774.397mg/m³, na Cozinha da F1, estando próximo do valor máximo regulamentar de referência (1800mg/m³)[22]. O valor mínimo registado no primeiro dia de medições foi 538.44ppm (968.18mg/m³) na Cozinha da F2.

No segundo dia de medições, os valores registados foram um pouco mais baixos em ambas as frações. O valor maior atingido nesse dia foi 766.56ppm (1378.487mg/m³) no quarto Q1 da F1 e 431.02ppm (775.624mg/m³) na Cozinha da F2. No entanto, os valores medidos em alguns dos compartimentos da F2 durante o 2º dia, não se podem apresentar por erro de registo. Por essa razão, na Tabela 13 apresenta-se apenas um valor respeitante às medições da F2. Os únicos registos válidos apresentados pertencem aos valores na Sala da F2.

Em relação aos valores registados no exterior ao nível da F1 apresentam números um pouco mais baixos dos que registados no interior. Para o nível da F1 os valores registados situaram-se entre os 675.62ppm (1214.724mg/m³) e os 540.23ppm (971.779mg/m³). Ao nível da F2, os valores situaram-se entre os 410.67ppm (737.832mg/m³) e os 400.11ppm (719.836mg/m³).

[22] Segundo o DL79/2006 de 4 de abril (RCCTE), a concentração máxima de referência para o CO_2 é 1800mg/m³ e para o CO é 12,5mg/m³.

Tabela 12 – Medição de CO_2 (ppm) - valores registados no 1º dia

	S-F1	S-F2	Q1-F1	Q1-F2	Q2-F1	Q2-F2	C-F1	C-F2
Mediç 1.01	933,40	831,73	845,11	772,76	740,13	668,41	915,33	0,00
Mediç 1.02	929,06	835,67	827,82	621,29	734,15	691,04	921,19	553,65
Mediç 1.03	942,28	825,46	827,17	649,01	729,54	711,59	933,04	538,44
Mediç 1.04	939,81	830,04	836,15	665,33	722,17	730,19	929,68	547,90
Mediç 1.05	940,94	837,46	840,47	675,64	720,30	753,00	940,72	544,79
Mediç 1.06	944,16	848,56	842,74	674,33	720,93	756,58	961,99	547,91
Mediç 1.07	959,89	842,13	864,36	673,28	725,72	797,48	971,46	541,94
Mediç 1.08	959,68	856,72	867,07	0,00	721,46	813,90	986,42	0,00
Mediç 1.09	954,93	858,10	892,74	0,00	721,07	812,57	979,69	0,00
Mediç 1.10	958,62	865,51	901,32	0,00	715,02	0,00	983,54	0,00
média	**946,28**	**843,14**	**854,49**	**675,95**	**725,05**	**748,31**	**952,31**	**545,77**

Depreende-se destes resultados que a altitude a que está situada cada fração terá influência determinante para os níveis de concentração de CO_2 atingidos no interior. Parece que os níveis de concentração de CO_2 do exterior afetam o interior das habitações de forma distinta.

A diferença da altura de um piso entre as duas frações em cerca de 3m parece ser suficiente para que a concentração de CO_2 fosse menor na F2 e maior na F1. Esta diferença também se poderá justificar pelo maior poder acumulativo da F1, já que tem uma menor taxa de infiltração de ar, potenciando a sua acumulação.

Tabela 13 – Medição de CO_2 (ppm) - valores registados no 2º dia (Tabela incompleta)

	S-F1	Q1-F1	Q2-F1	Ex-F1	S-F2	Ex-F2
Mediç 2.01	667,03	685,05	685,05	675,62	703,21	410,67
Mediç 2.02	679,35	680,09	680,09	646,94	702,03	0,00
Mediç 2.03	682,69	688,02	688,02	619,71	707,70	0,00
Mediç 2.04	690,20	694,42	694,42	643,91	712,60	0,00
Mediç 2.05	701,26	695,56	695,56	555,55	729,56	0,00
Mediç 2.06	702,68	699,59	699,59	540,23	735,36	0,00
Mediç 2.07	707,69	710,46	710,46	601,89	744,21	0,00
Mediç 2.08	711,92	714,60	714,60	564,66	751,73	0,00
Mediç 2.09	713,13	717,60	717,60	628,02	750,00	400,11
Mediç 2.10	721,70	723,67	723,67	650,27	759,27	0,00
média	**697,76**	**700,90**	**700,90**	**612,68**	**729,57**	**405,39**

Segundo o relato dos utilizadores da F1 é costume abrirem as janelas para ventilarem o interior durante as primeiras horas do dia. Na época quente deixam as janelas permanentemente abertas durante a maior parte do dia. Na época fria apenas deixam abertas durante curtos períodos da parte da manhã, ficando fechadas durante resto do dia.

Para uma mais rápida comparação de valores, apresentam-se nos gráficos da Figura 80 os valores médios nos diferentes compartimentos de cada fração, para concentrações de CO_2.

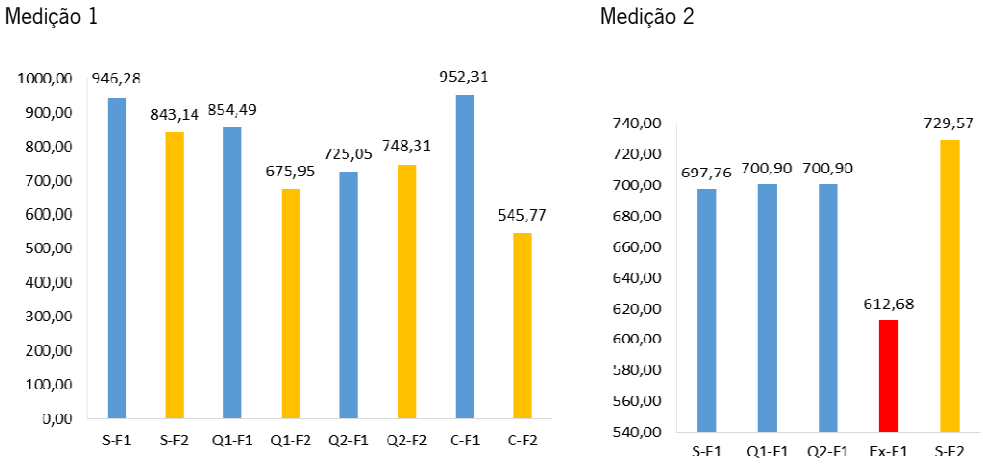


Figura 80 – Valores médios em concentrações de CO_2, nas duas frações

e) Qualidade do Ar - Medições CO

Como se sabe, no caso de um poluente primário como o CO, os maiores níveis de concentração urbanas ocorrem geralmente em zonas de grande intensidade de tráfego. O local onde se efetuaram as medições obtidas é de facto uma zona de grande passagem de trânsito automóvel e, portanto, muito suscetível de se encontrar concentrações elevadas deste contaminante no interior dos edifícios.

No entanto, os valores obtidos considerados como válidos não são elevados ou não apresentam motivos de grande preocupação. Os níveis de CO registados não ultrapassaram o valor 1122ppm (1285mg/m³) na Cozinha da F1 representando o máximo medido (valor máximo de referência regulamentar é 12,5mg/m³)[23]. O mínimo registado foi 0,00698ppm (0.00799mg/m³) no quarto Q1 da F1.

[23] Segundo o DL79/2006 de 4 de abril (RCCTE), a concentração máxima de referência para o CO_2 é 1800mg/m³ e para o CO é 12,5mg/m³.

Talvez devido a uma anomalia do equipamento de medição não detetada durante o ensaio, estranhamente foram registados valores negativos, com maior frequência na Sala e quarto Q1 da F1. Apesar dos valores negativos não abrangerem todas as medições efetuadas não se podem considerar válidos e não se podem tirar conclusões. Por essa razão, justifica-se não apresentar os valores registados deste poluente numa tabela.

f) Qualidade do Ar – Medições TRA

Em relação às taxas de renovação de ar (taxa de ventilação ou infiltrações), os resultados obtidos nos ensaios são bastante distintos nas duas frações. No geral, a F2 apresenta valores médios bastante superiores à F1, sendo um pouco mais do dobro (F2=7,4 a 8,9 e F1=3,6).

Outra nota que se destaca na distinção entre frações, é que os valores médios medidos na F1 foram os mesmos nas três séries de ensaios. Na F2 não se conseguiu obter médias tão similares. Neste aspeto reconhece-se que a solução de reforço utilizada na F1, com o acrescento de novos caixilhos e a substituição de grelhas por extratores, é esclarecedora da diferença dos valores obtidos entre as duas frações.

A caixilharia de madeira existente com vidro simples, já muito desgastada e cheia de folgas permite um grande fluxo de ar para além do nível de ruído que provoca quando vibra. Outro aspeto que convém salientar é a dimensão das grelhas de madeira utilizadas na ventilação dos compartimentos interiores (dois wc's e um arrumo) da F2. De facto, estas são demasiado grandes (aprox.40X30cm) o que vem, em conjunto com as caixilharias, justificar as altas taxas de infiltrações atingidas nos ensaios.

Os testes foram realizados em dois dias distintos e em horas alternadas com a "porta ventiladora" localizada na porta de entrada de cada fração. Durante a realização dos testes foram fechados os vãos exteriores e mantiveram-se abertos os vãos interiores. Em ambas as frações constatou–se a utilização de ventilação mista: na F1 através de extratores mecânicos (S&P - EDM80) nos wc´s e exaustor na cozinha; na F2 através de grelhas de ventilação natural nos wc´s e exaustor na cozinha.

Chama-se à atenção que durante os ensaios, no teste de pressurização, teve que se fechar as portas dos compartimentos interiores com grelhas de ventilação natural na F2, por não ter sido possível completar o teste de outra forma. Nesta fração também se realizou mais um ensaio (4 ensaios) do que na F1 (3 ensaios) unicamente para confirmação das medições.

Para uma melhor compreensão dos dados apresentados nas próximas tabelas, reuniram-se de forma abreviada, os registos dos ensaios com a porta ventiladora. Nas Tabelas 14, 15 e 16 indica-se o número (E_n) e tipo de ensaio (Pressurização ou Despressurização) realizados nas datas que lhes correspondem.

Tabela 14 – Identificação dos ensaios

Data de ensaio	Nº e Tipo de ensaio													
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14
18-06-2013	D	D	D	D	D	P	P	P						
21-06-2013									P	P	P	P	D	D

(D) : Despressurização; (P) : Pressurização.

Tabela 15 – Medição do fluxo de ar - valores registados na fração F1

	Test F1_E5+E8		Test F1_E4+E7		Test F1_E3+E6	
	V50 (m^3/h)	n50 (1/h)	V50 (m^3/h)	n50 (1/h)	V50 (m^3/h)	n50 (1/h)
Despressurização	824	3,7	824	3,7	824	3,7
Pressurização	784	3,5	784	3,5	784	3,5
Média	**804**	**3,6**	**804**	**3,6**	**804**	**3,6**
Data de ensaio	18-06-2013	18-06-2013	18-06-2013	18-06-2013	18-06-2013	18-06-2013

Tabela 16 – Medição do fluxo de ar - valores registados na fração F2

	Test F2_E1+E9		Test F2_E2+E10		Test F2_E14+E12		Test F2_E13+E11	
	V50 (m^3/h)	n50 (1/h)	V50 (m^3/h)	n50 (1/h)	V50 (m^3/h)	n50 (1/h)	V50 (m^3/h)	n50 (1/h)
Despressurização	2431	10,1	2449	10,2	1681	7	1681	7
Pressurização	1841	7,7	1840	7,7	1840	7,7	1840	7,7
Média	**2136**	**8,9**	**2144,5**	**8,95**	**1760,5**	**7,35**	**1760,5**	**7,35**
Data de ensaio	18-06-2013	21-06-2013	18-06-2013	21-06-2013	21-06-2013	21-06-2013	21-06-2013	21-06-2013

O valor mínimo regulamentar atual para frações de habitação é de 0,4 renovações por hora (RPH). No entanto, conforme prática convencional, os valores da média (n50) obtidos nos testes deverão ser ajustados para dez vezes menos, ficando a considerar-se F1=0,4 rph e F2=0,9 rph. Segundo a EN

15251:2007, as taxas de referência obrigatórias para a garantia da QAI estão expressas nas Tabelas 19 e 20 e abrangem os principais compartimentos de permanência das pessoas.

Tabela 17 – Taxas de ventilação recomendadas em frações residenciais (fonte: Mateus, 2009)

Categoria de conforto	**Taxa de renovação** (conforme EN 15251:2007)		**Salas de estar e quartos (principalmente insuflação de ar novo)**		**Exaustão de ar (l/s)**		
(1)	l/s.m2 (2)	RPH	l/s.ocupante (2)	l/s.m2	Cozinha	Quartos de banho	Sanitários
I	0,49	0,7	10	1,4	28	20	14
II	0,42	0,6	7	1,0	20	15	10
III	0,35	0,5	4	0,6	14	10	7

1) A categoria I corresponde ao melhor nível de qualidade (ver Tabela 9).

2) Este caudal é fixado tendo em conta o número recomendado de Renovações Por Hora (RPH) e considerando um pé-direito livre de 2,5m.

3) O número de ocupantes de uma fração pode ser estimado com base no número de quartos. Em Portugal é possível encontrar essa informação no Quadro VI.1 do Anexo VI do RCCTE.

Tabela 18 – Caudais mínimos de ar novo em compartimentos de edifícios – RCCTE (fonte: Mateus, 2009)

Tipo de edifício	**Tipo de compartimento**	**Caudais mínimos de ar novo**	
		[m3/(h.ocupante)]	**[m3/(h.m2)]**
Residencial	Salas de estar e quartos	30	-

As imagens dos ensaios nas duas frações são apresentados na Figura 81.



Vista interior e exterior da fração F2 Vista interior e exterior da fração F1

Figura 81 – Medições do fluxo de ar (pressurização e despressurização) c/*Blower Door* (fotos do autor)

Os valores da taxa de renovação de ar obtidos na fração F2 (0,9 rph), estão significativamente acima dos valores mínimos regulamentares em vigor. Os apresentados pela F1 (0,4 rph), estão um pouco abaixo do limite mínimo. Segundo as recomendações da EN15251, nenhum dos valores obtidos cumpre as categorias de conforto do nível de qualidade. Poder-se-á concluir que a habitação F2 é muito "ventilada", podendo isso representar perdas térmicas relevantes, com prejuízo do conforto térmico e custos energéticos consequentes. No caso da F1, apresenta uma insuficiência de ventilação que penaliza a qualidade do ar interior e não cumpre os valores regulamentares.

5.9.4. Avaliações subjetivas

De forma a complementar a informação recolhida com a campanha de ensaios, foi conveniente realizar um inquérito de avaliação subjetiva aos ocupantes sobre as condições de conforto ambiente. Esta avaliação tem como objetivo analisar a opinião dos ocupantes das duas habitações segundo os critérios de satisfação de conforto térmico, acústico e de qualidade do ar interior. Pretende-se identificar o modo como cada um dos critérios influencia a perceção do conforto global do ocupante.

O questionário que se apresenta no Anexo 1, foi respondido pelos seis ocupantes permanentes, maiores de idade e com capacidade para poderem responder conscientemente. O seu preenchimento foi efetuado entre o dia 29 e 31 de julho de 2013.

5.9.5. Estrutura e conteúdo do inquérito

O inquérito é constituído por 3 páginas e dividido em 3 partes, podendo ser consultado no Anexo 1, conforme referido. Na primeira parte descreve-se os objetivos que se pretendem com a sua elaboração, apontam-se as razões do seu preenchimento e solicita-se alguns dados cronológicos (data e hora); pessoais (género, idade, peso, altura e motivo de algum condicionalismo de responder) e localização do compartimento onde preenche o questionário.

A segunda parte é constituída por dois pontos: no primeiro ponto, solicita-se a identificação das peças de vestuário que o inquirido tem vestido em função do seu isolamento; o segundo ponto é destinado à escolha das preferências de conforto.

A terceira parte diz respeito à escolha de escalas de sensação de desconforto relacionadas com três parâmetros em avaliação: ambiente térmico; nível de ruído e qualidade do ar. Por último, solicita-se ao inquirido a escolha da sensação de desconforto global.

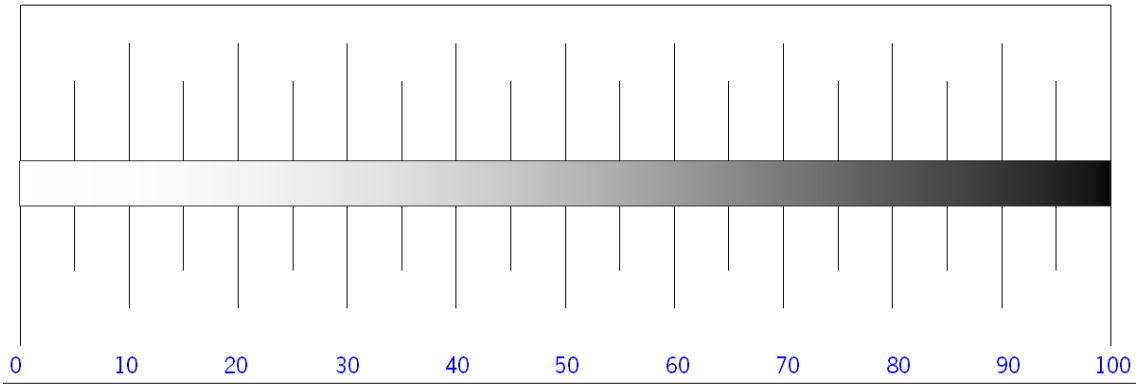


Figura 82 – Escala utilizada na normalização das respostas subjetivas (Fonte: Mateus,2009)

A entrega dos questionários a cada fração foi feita após a campanha de medições. Pretendeu-se com isso evitar os constrangimentos ou os condicionalismos próprios que uma entrevista pessoal teria.

Após a recolha dos questionários, procedeu-se à análise dos resultados, convertendo as respostas obtidas em escalas quantitativas (numeradas de 0 a 100%) elaboradas previamente para o efeito. Esta escala obedece a critérios de normalização (Figura 82).

5.9.6. Interpretação dos resultados do inquérito

Segundo os dados da amostra:

> A maioria dos inquiridos são mulheres (4) e homens (2);

> A idade média dos inquiridos = 60,8 anos (entre os 31 e os 81 anos);

> O peso médio dos inquiridos = 73,8 Kg (entre os 59 e os 86 Kg);

> A altura média dos inquiridos = 1,62 m (entre os 1,50 e 1,72 m);

O nível de vestuário utilizado aponta para valores médios de 0,41 Clo, variando entre os 0,29 e os 0,51 Clo.

Do ponto de vista geral, o tipo de respostas obtido, aponta para uma semelhança de opinião entre os diferentes ocupantes, particularmente na questão do desconforto global. Todos classificaram o espaço onde respondiam ao questionário como um espaço neutro.

Esta resposta faz supor existir uma certa resistência em assumir uma atitude crítica dos inquiridos face ao espaço que habita, porque de certa forma não tem correspondência com as respostas dadas noutros pontos do inquérito.

Na opinião geral, há ainda a destacar que as pessoas referem a sua casa como sendo ligeiramente ruidosa e um pouco poluída. De facto, esta apreciação dos inquiridos coincide com a avaliação objetiva, justificando os altos níveis de concentração de CO^2 medidos e as taxas de ventilação obtidas que penalizam o conforto interior.

Das preferências de conforto sobre o local onde se encontram (a sala), os inquiridos revelaram dar mais importância à luz natural, tendo este parâmetro obtido a totalidade das escolhas. Neste aspeto as respostas poderão ser vistas em duas perspetivas: 1) Unanimidade - todos a mencionaram; 2) Grau de preferência – 3 (50%) selecionaram como 1ª escolha e 2 (33,3%) selecionaram-na como 2ª escolha.

A segunda preferência recai sobre o fator temperatura. Em último lugar das escolhas surge o fator ruído. O único fator que não obteve qualquer pontuação foi o da luz artificial.

Poder-se-á concluir que, apesar das diferentes respostas na análise individualizada dos fatores, a apreciação dos níveis de satisfação de desconforto global é idêntica para todos os inquiridos. Este sentimento uniforme dos inquiridos poderá estar relacionado com as condições climatéricas no momento da realização do inquérito, pois nesse período (final de julho) as temperaturas estavam mais amenas (±19ºC), podendo ajudar a compreender a sensação de melhor conforto térmico.

5.9.7. Análise de resultados e considerações finais

A análise dos resultados comprova que existem algumas diferenças entre as duas frações. Os resultados obtidos foram melhores na fração F1 no que diz respeito às medições de temperatura, de humidade relativa e de ruído ambiente. No entanto, no que se refere à QAI, a fração F1 obteve piores resultados nos níveis de concentração de CO_2. Como se sabe, a qualidade do ar interior está diretamente ligada à capacidade de ventilação e de renovação do ar dos compartimentos interiores dos edifícios.

Segundo opinião de Fraga, Ramos, Martins, Samúdio, Silva, Guedes, Fernandes e Barro (2008) os *ambientes com reduzida taxa de renovação do ar apresentam frequentemente elevada concentração de dióxido de carbono* o que poderá justificar os resultados tão elevados obtidos neste caso. Provavelmente, a existência de um duplo caixilho com vidro duplo na F1, eliminando vários pontos de infiltração e a substituição das grelhas nos compartimentos interiores, permitiu obter taxas de ventilação mais baixas registadas nos testes, determinando os resultados.

De acordo com Sanguessuga (2012) existe uma tendência natural para o aumento das concentrações de dióxido de carbono no ambiente interior ao longo do dia (principalmente se for um espaço com grande ocupação de pessoas). No caso da F1, o agregado é composto por 4 adultos e uma criança. Esta tendência é variável conforme a localização, a ocorrência e a hora do dia em que se realiza a avaliação do espaço. Segundo a mesma autora, é frequente nestas avaliações encontrarem-se valores entre os 600 e 800 ppm de CO_2.

Como se referiu, os valores máximos obtidos, na F1, foram próximos de 990 ppm. Segundo citação de Mateus (2009), a presença de elevadas concentrações de CO_2 no mesmo espaço também "poderá indiciar concentrações elevadas de outro tipo de poluentes" que não foram considerados na avaliação deste estudo mas com consequências para a saúde dos seus ocupantes.

Em relação às concentrações de CO, é do conhecimento geral que uma das principais fontes de CO é proveniente dos gases de escape dos veículos a motor. Este contaminante "produz-se da combustão incompleta da mistura combustível-ar" conforme expresso na nova edição do *Guia da Eficiência Energética* da ADENE (2012b).

A hipótese de produção deste poluente pela queima, no interior das habitações em análise, parece pouco provável porque, tanto na F1 como na F2, não é utilizado fogão ou fonte de aquecimento a gás nem existem fumadores. Apesar da grande variedade de fontes interiores existentes nas habitações, acredita-se que neste caso não há outras fontes emissoras no interior que justifiquem uma preocupação maior quanto aos níveis de CO.

Conforme recomendação expressa no Decreto-Lei nº 79/2006, no nº 12 do artigo 29º, os níveis de poluição interiores são considerados particularmente graves se excederem em 50% as concentrações máximas de referência. Segundo redação da lei, pode-se afirmar que a fração F1, apesar de valores de CO_2 muito próximos do limite regulamentar, ainda não se encontra num nível de poluição particularmente grave. Todavia a situação reportada requer observância dos utilizadores. Sugeriu-se que acentuassem os hábitos de renovação de ar em todos os compartimentos, mais vezes durante o dia.

O melhor comportamento apresentado pela F1 em relação à temperatura, à humidade relativa e ao nível sonoro contínuo equivalente atestam a eficácia das soluções realizadas na intervenção de reforço. Contudo, não foi possível comprovar-se a totalidade dos parâmetros de conforto ambiente. Sobre os parâmetros em falta (luminosidade e concentração de CO) julga-se que não põem em causa os resultados obtidos nas restantes medições, nem a sua influência é determinante para as ilações que se podem retirar deste estudo neste momento.

6. PROPOSTA PARA A REABILITAÇÃO LOW-TECH DE EDIFÍCIOS DOS ANOS 70

O principal objetivo deste capítulo é conhecer as principais respostas para os problemas que um técnico poderá encontrar quando inicia um processo de reabilitação de um edifício dos anos 70. Estas respostas estão focadas essencialmente no reforço térmico dos elementos opacos da envolvente (passiva) dos edifícios existentes.

As propostas que se apresentam não esgotam o universo das soluções construtivas existentes atualmente nem da escolha dos materiais de isolamento que o mercado disponibiliza. Procurou-se desenvolver soluções que pudessem de algum modo representar as opções mais correntes e de baixa tecnologia, mas mais vantajosas em termos de eficácia térmica, do ponto de vista económico e ambiental para o caso em estudo. Estas escolhas também foram condicionadas pela objetividade da resposta a um caso real.

6.1. Identificação de anomalias do Estudo de Caso

O edifício de habitação coletiva, apresentado anteriormente, foi objeto de intervenção mais profunda há cerca de 10 anos (2003/2004), pois apresentava vários tipos de anomalias com níveis de consequência diferentes. O seu histórico uso (cerca de 40 anos desde a data de construção) sem qualquer tipo de manutenção, ou muito pontuais, revelam a boa resistência.

No entanto, sabe-se que um forte abalo sísmico nos finais de 60 pôs à prova a estabilidade da sua estrutura, dando origem ao aparecimento de algumas fissuras de tamanho considerável (avaliação efetuada pelos técnicos da Câmara Municipal do Porto), mas não apresentavam perigo.

Apesar de se poder considerar uma construção sólida dentro da expectativa corrente da altura em que foi construída, sofria dos "males da moda" em uso na altura: fachadas revestidas quase totalmente por pastilhas vidradas; marcação da saliência das lajes através de reboco; recuo dos panos de fachada nas zonas de vãos; caixas de estores ocultas por lâmina em betão revestido a pastilha; entablamento (beiral) em betão; lavandarias "fechadas" por elementos vazados em betão, utilização de chapas de fibrocimento com amianto no revestimento da empena, entre outros.

Dos elementos construtivos em pior estado de conservação, antes da obra de 2004, apenas se destacam aqueles que tinham efeitos mais significativos sobre o interior das habitações:

- Fissuração do pano exterior da fachada;
- Juntas de dilatação do beiral abertas;

- Destacamento da pastilha;
- Corrosão das armaduras, quebra e perda material por destacamento de algumas das lâminas de betão que ocultam as caixas de estore;
- Caixilharias de correr em madeira com vidro simples;
- Infiltrações de ar elevadas devido às folgas acentuadas nas caixilharias;
- Acumulação de sujidade e água nos rebordos recuados dos panos de fachada provocando infiltrações quando chove;
- Tubos de queda e caleiras com deficiente funcionalidade;
- Telhas partidas e empeno geral da estrutura do telhado;
- Empena lateral revestida a placas de fibrocimento com infiltrações;
- Condensações interiores com aparecimento de vários tipos de manchas (bolores);

Dessa última intervenção apenas foi feito um tratamento de fachada através da aplicação de uma tinta (barramento elástico) sobre a pastilha, criando uma espécie de membrana selante total (mas pouco eficaz dado as anomalias detetadas passado pouco tempo da intervenção e relatadas nos parágrafos seguintes). Substituíram-se telhas e alguns tubos de queda, limparam-se caleiras e algerozes e envernizaram-se as madeiras da caixilharia pelo lado de fora. Razão pela qual ainda agora se podem detetar vários tipos de anomalias.

Ao nível do conforto térmico não houve qualquer tipo de intervenção nessa data. Posteriormente, a título individual, cada proprietário foi acrescentando nova caixilharia à face da fachada, pelo lado exterior, quando lhe foi oportuno. Apesar dos vários problemas/anomalias existentes na altura a exigirem uma intervenção mais orientada, quase a totalidade dos condóminos não teve conveniência em os tratar devidamente.

Para o presente estudo, tem interesse salientar os aspetos que não só afetam o conforto interior, mas sobretudo aqueles que poderão desempenhar um papel crucial no desempenho energético das frações do edifício que agora se analisa e que penalizam o conforto e os consumos.

O primeiro aspeto que terá que se atender é o da envolvente externa do edifício. Do que se pode observar na inspeção visual efetuada no momento prévio da campanha de medições, as anomalias encontradas na parte opaca exterior (fissuras, escorrências e ressurgimento do destacamento do revestimento) bem como da parte transparente (folgas e infiltrações pelos caixilhos) fazem supor a existência de problemas nas habitações que afetarão inevitavelmente o conforto no interior e o seu fraco desempenho energético.

Acrescenta-se ainda que o edifício não tem isolamento térmico (paredes, pavimentos e cobertura), alguns elementos estruturais (topo das lajes) estão à vista no exterior e a descontinuidade dos vários planos da fachada provocam pontes térmicas (planas e lineares).

Outro aspeto a considerar é a fraca orientação solar em que o edifício foi implantado já que não beneficia o conforto interior. Do ponto de vista do desempenho passivo, as duas fachadas "principais" estão orientadas a nordeste (NE) e noroeste (NW) não obtendo qualquer tipo de ganhos solares com significado para o conforto.

A fachada posterior só parcialmente pode beneficiar do sol apesar de se situar a sudeste (SE). Como é muito pequena (parte dela está no encosto com o bloco vizinho) é prejudicada pela sombra do edifício contíguo. A única fachada melhor orientada é uma empena cega, situada a sudoeste (SW).

Por último, há que considerar nesta problemática o facto de o edifício não ser abastecido por rede de gás e não possuir qualquer ajuda energética por fontes renováveis (coletores solares, turbinas eólicas, ou outros equipamentos).

É forçoso concluir-se que, este edifício apresenta um desempenho bastante fraco (desconfortável e ineficiente), penalizando os seus ocupantes quer ao nível do conforto ambiente, quer ao nível da eficiência energética com os inevitáveis custos associados na fatura de cada condómino e na do ambiente. Por se ter apercebido disto há cerca de 10 anos atrás, o proprietário da F1 pretendeu minimizar estes efeitos, fazendo as obras de reforço térmico que se anunciaram anteriormente.

6.2. Análise térmica da envolvente opaca das frações em estudo

A análise térmica da envolvente exterior das frações em estudo assenta na comparação entre a solução construtiva da fração original (F2) com a solução construtiva da fração intervencionada (F1) com as medidas de reforço térmico implementadas.

Esta análise ao comportamento térmico foi efetuada através de cálculo dos *coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios* (Pina dos Santos & Matias, 2007). No Anexo 2, apresentam-se os cálculos detalhados dos coeficientes de transmissão térmica de todas as soluções construtivas estudadas no presente trabalho (Tabelas 54 a 62), bem como dos vãos envidraçados (Tabelas 63 e 64).

6.2.1. Coeficiente térmico das soluções existentes

Conforme redação do Despacho n.º 15793-K/2013, o valor do coeficiente de transmissão térmica (U) de um elemento caracteriza a transferência de calor que ocorre entre os ambientes ou meios que este separa. Os cálculos para a determinação do coeficiente de transmissão térmica (U) de cada solução construtiva para a envolvente exterior opaca foram efetuados através dos valores convencionais de condutibilidades (λ) e de resistências térmicas (R) dos materiais apresentados nos anexos I e II do ITE-50, prescritos segundo a norma europeia EN 6946:1996 [4] (Pina dos Santos & Matias, 2007).

A quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que o elemento separa é dado pela equação [1]:

$$U=W/(m^2.^oC) \qquad [1]$$

Na Tabela 19 fornecem-se alguns valores de (U) que caraterizam termicamente a envolvente externa de cada uma das frações existentes, no momento da análise deste estudo (antes da entrada em vigor do atual regulamento). Para termo de comparação da qualidade térmica das frações em estudo, acrescentaram-se os valores de coeficientes de transmissão térmica de referência e superficiais máximos para os elementos da envolvente tendo em atenção os requisitos de referência e máximos regulamentares preconizados pelo anterior regulamento térmico (RCCTE, DL 80/2006). Pode-se verificar que a F1 cumpria os valores de (U) estabelecidos. No entanto, assinala-se que, para o desenvolvimento posterior deste trabalho apresentam-se os valores de coeficientes de transmissão térmica de acordo com o novo regulamento e a partir do ponto 6.3.2 só se considera a parte opaca da envolvente vertical.

Tabela 19 – Dados comparativos dos coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente

	Coeficiente de transmissão térmica U=W/(m².ºC)			
Elemento da envolvente	**Solução original (fração F2)**	**Solução de Reforço (fração F1)**	**U de referência I2 (2006)** (*)	**U máximo I2 (2006)**
Envolvente opaca – paredes exteriores	1,07(**)	0,56(**)	0,60	1,60
Envolvente transparente – vãos envidraçados	3,40(**)	1,60(**)	3,30	n.a.
Envolvente opaca – pavimento exterior	2,95	2,95(***)	0,45	1,00
Taxas de renovação de ar por hora (Rph)	0,9	0,4	0,6(****)	n.a.

(*) Ver Anexo III e Anexo IX (RCCTE, DL 80/2006) n.a. Não se aplica

(**) Cálculos efetuados através do ITE50 (Ver Anexo 2)

(***) Elemento que não sofreu intervenção (estado original)

(****) Edifícios de habitação conforme NP 1037-1

6.3. Quantificação de perdas de calor e custos de energia das frações F1 e F2

Segundo metodologia utilizada por Freitas, Guimarães, Ferreira e Alves, (2011) é possível quantificar a energia final necessária para compensar as perdas de calor referente aos diferentes elementos da envolvente e dos fluxos de ar na ventilação dos edifícios, bem como estimar os custos de energia. A quantificação das perdas e custos inerentes são dadas pelas seguintes equações (Tabela 20):

Tabela 20 – Cálculo das perdas de calor e do Custo de energia (Fonte: Freitas, Guimarães, Ferreira e Alves, 2011)

	Perdas de calor (kWh)		**Custo de energia por perdas (€)**	
Envolvente exterior	$Q_{ext} = 0{,}024 \times U \times A \times GD$	[2]	$C_e = Q_i / \eta_j \times C_{e,j}$	[6]
Envolvente interior	$Q_{ina} = 0{,}024 \times U \times A \times GD \times \tau$	[3]		
Produção AQS	$Q_a = (M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times n_d)/3600000$*	[4]		
Sistema de ventilação	$Q_v = 0{,}024 \times (0{,}34 \times R_{ph} \times A_p \times P_d) \times GD$	[5]		

*Nota: (kWh/ano)

Em que:

U	Coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente [W/(m².°C)]
A	Área do elemento da envolvente medida pelo interior (m²)
GD	Número de graus-dias de aquecimento para o Conselho em análise (°C.dias)
τ	Coeficiente que traduz a relação de temperatura entre espaço não útil e o exterior
R_{ph}	Número de renovações horárias do ar interior (taxa de renovação nominal) (h^{-1})
A_p	Área útil de pavimento (m²)
P_d	Pé-direito médio (m)
M_{AQS}	Consumo médio diário de referência da AQS (M_{AQS} = 40 litros x N° de ocupantes)
ΔT	Aumento de temperatura necessário para preparar as AQS (°C)
n_d	Número anual de dias de consumo de AQS (dias)
C_e	Custo de energia (€)
Q_i	Consumo de energia (kWh)
η_j	Eficiência nominal do sistema
$C_{e,j}$	Custo estimado da energia elétrica (€/kWh)

Com vista a ter-se uma estimativa de custos de operação para as duas frações, na Tabela 21 apresentam-se os valores das perdas térmicas e custos energéticos que caraterizam cada uma das frações. Estes valores foram calculados admitindo a existência de aquecimento contínuo, com equipamentos elétricos de eficiência nominal de 100% (η=1). O custo atual estimado médio de energia elétrica é de 0,22 €/ kWh (incluindo impostos e outros custos associados).

Tabela 21 – Quantificação das perdas térmicas e custos energéticos das frações F1 e F2

	Perdas térmicas (kWh)	
	Solução Original (fração F2)	**Solução de Reforço** (fração F1)
Envolvente exterior	3757,17	1919,45
Envolvente interior	2788,57	2788,57
Produção AQS (Elétrico)	3396,12	3396,12
Sistema de energia térmica solar	n. a.	n.a.
Sistema de ventilação misto (Rph)	29667,99 (8,9)*	11454,41 (3,6)*
Consumo de energia estimado (kW/h) a)	**39609,85**	**19558,55**
Custo anual de energia estimado (€) b)	8 714,17 €	4 302,88 €

a) Consumo anual calculado com OPTITERM-LFC;

b) Custo anual estimado baseado no preço médio de 0,22 €/kWh (com todos os custos associados);

(*) Valores considerados sem o ajustamento convencional, obtidos nos ensaios com *Blowerdoor* [Ver 5.9.3 – f)]

As necessidades energéticas no verão correspondem apenas a cerca de 10% das necessidades energéticas globais anuais na zona climática I2 mas não foram consideradas nesta abordagem. Os cálculos apresentados partem do pressuposto simplificado que as perdas térmicas consideradas dizem apenas respeito à envolvente vertical em zona corrente na estação de aquecimento (exclui ganhos solares, pontes térmicas lineares, pavimentos e paredes em contacto com o solo).

Como se poderá constatar na mesma tabela, os valores estimados das perdas são muito significativos e vêm justificar uma das razões porque este assunto está na base deste trabalho.

6.3.1. Coeficientes térmicos de referência

Com a finalidade de se poder comparar mais facilmente os requisitos de qualidade térmica para os elementos da envolvente dos edifícios, a partir dos dois últimos documentos regulamentares, englobou-se numa só tabela os valores dos coeficientes de transmissão térmica de referência das três zonas climáticas de Portugal Continental.

Os requisitos do (U) de referência indicados na Tabela 22 foram reunidos e adaptados a partir das informações constantes no Quadro IX.3, do Anexo IX, do decreto-lei 80/2006 de 4 de abril e na Tabela I.01, da portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro. Segundo a mesma portaria, estes valores poderão ser progressivamente atualizados até 2020, por forma a incorporar estudos referentes ao custo-benefício dos mesmos, bem como aos níveis definidos para os edifícios de necessidade de energia quase-nulas.

Os elementos construtivos da envolvente opaca do edifício, não deverão ultrapassar os valores do coeficiente de transmissão térmica máximo para as três zonas climáticas: (I1) 1,75; (I2) 1,60; e (I3) 1,45, que constam na Tabela I.05 da referida portaria.

Tabela 22 - Coeficientes de transmissão térmica de referência no Continente

(adaptado de DL 80/2006 e P349-B/2013)

Elementos da envolvente	**Zona climática** (*) [Uref=W/(m².ºC)]								
	I_1			**I_2**			**I_3**		
	2006	**2013**	**2016**	**2006**	**2013**	**2016**	**2006**	**2013**	**2016**
Elementos Exteriores em Zona Corrente (**)									
Zonas opacas verticais	0,70	0,50	0,40	0,60	0,40	0,35	0,50	0,35	0,30
Zonas opacas horizontais	0,50	0,40	0,35	0,45	0,35	0,30	0,40	0,30	0,25
Elementos Interiores em Zona Corrente (***)									
Zonas opacas verticais	1,40	1,00	0,80	1,20	0,80	0,70	1,00	0,70	0,60
Zonas opacas horizontais	1,00	0,80	0,70	0,90	0,70	0,60	0,80	0,60	0,50
Vãos envidraçados (****)	4,30	2,90	2,80	3,30	2,60	2,40	3,30	2,40	2,20
Elementos em contacto c/ solo					0,50			0,50	

(*) Ver Anexo III (RCCTE, DL 80/2006)

(**) Incluindo elementos interiores em situações em que $\tau > 0{,}70$

Elemento da envolvente em contacto com o exterior ou espaços não úteis com $b_{tr} > 0.7$ (REH, DL118/2013)

(***) Para outros edifícios e zonas anexas não úteis $\tau \leq 0{,}70$

Elemento da envolvente em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com $b_{tr} \leq 0.7$ (REH, DL118/2013)

6.3.2. Reforço térmico pelo interior e reforço térmico pelo exterior

As medidas de melhoria do comportamento energético a alcançar obrigam a definir o tipo de soluções construtivas a propor para o edifício em estudo. De acordo com os padrões de conforto definidos no novo regulamento (REH/DL118/2013, dados pela P349-B/2013) procurou tipificar-se diversas soluções construtivas de modo a constituírem eventuais soluções de melhoria sustentável (ao nível térmico,

económico e ambiental) no curto e médio prazo, mas sem a pretensão de esgotar todas as hipóteses possíveis. Pretende-se que as soluções propostas possam apresentar-se como soluções-tipo, cuja aplicação é feita de forma individualizada, sem efeitos cumulativos e salvaguardando as condicionantes próprias deste edifício em concreto.

Apesar de se tratar de obras de reabilitação as soluções propostas pretendem corresponder aos requisitos mínimos das exigências para edifícios novos, na zona climática I2, ao abrigo da lei vigente e também às que se aplicarão a partir de 2016, perspetivando-se a evolução de exigência dos requisitos de qualidade térmica para 2020, ou seja, os edifícios de energia quase nula.

Como a intervenção de reabilitação térmica a promover no desenvolvimento deste trabalho, incide unicamente nos elementos da envolvente opaca vertical, entendeu-se que se podiam dividir em dois tipos de intervenção: a Intervenção de reforço térmico pelo interior e a Intervenção de reforço térmico pelo exterior aplicando-se tecnologias construtivas correntes e comummente aceites.

No primeiro tipo de intervenção, a medida de reabilitação a considerar é assente na forma individualizada onde a solução a implementar apenas beneficiará o interior da fração a intervencionar.

No segundo tipo, a medida de reabilitação a considerar envolverá todo o exterior do edifício, obtendo-se um benefício mais abrangente e a nível de todo o edifício.

Para além da solução de reforço térmico na fração intervencionada F1 descrita anteriormente (Ponto 5.7), considerada como solução de referência, apresentam-se mais oito soluções-tipo para as medidas de melhoria a considerar. Quatro correspondem a intervenções pelo interior, as outras quatro a intervenções pelo exterior.

As diferenças são dadas pelo tipo de material a utilizar e variação de espessuras da camada isolante, mas com coeficientes térmicos próximos dentro de cada grupo de exigência térmica. Houve a intensão de estabelecer dois grupos de prioridade térmica: o primeiro grupo de soluções (solução 1 a 4) corresponde a valores de coeficientes de transmissão térmica superficiais para edifícios novos com a entrada em vigor do último regulamento.

O segundo grupo de soluções (solução 5 a 8) corresponde a valores de coeficientes de transmissão térmica superficiais para edifícios novos, com requisitos a partir de 2016.

Refere-se ainda, que a escolha dos diferentes materiais a considerar nas duas variantes privilegiaram a utilização de materiais fabricados em Portugal e dos fornecedores mais próximos do local da obra, sejam produtores do material em questão, sejam somente distribuidores. A ideia foi minimizar o impacte

ambiental procurando opções mais sustentáveis dentro da oferta disponível. A título de exemplo, no caso do aglomerado negro de cortiça, optou-se pelo da empresa corticeira, sediada em Mozelos, Santa Maria da Feira, o fornecedor mais próximo da obra.

Como não se tem informações suficientemente precisas para determinar as distâncias percorridas e meios de transporte utilizados desde a extração do material até ao local de transformação e daí até ao fornecedor, consideraram-se apenas as distâncias percorridas desde o local de fornecimento mais próximo da obra até ao local da obra.

6.3.3. Tipificação de tecnologias construtivas utilizadas no reforço térmico

Dos sistemas construtivos conhecidos no mercado da construção, optou-se por selecionar apenas dois sistemas para o reforço térmico da fachada: sistema de parede leve autoportante em gesso laminado com isolamento térmico pelo interior (repetindo a solução de referência) e sistema de isolamento térmico pelo exterior com acabamento delgado (ETICS) que se apresenta como uma solução de desempenho melhorado, conforme se justifica mais à frente.

De maneira a facilitar a compreensão do que se pretende, na Tabela 23, repete-se o conteúdo descrito na Tabela 4, do ponto 5.7, sobre as soluções construtivas existentes na envolvente opaca vertical, respeitantes às duas frações F2 e F1: Solução Original e Solução de Referência, respetivamente.

Tabela 23 - Descrição das soluções construtivas existentes na F1 e F2

Paredes exteriores	**Descrição construtiva do elemento da envolvente existente**
Solução Original	Parede dupla de alvenaria cerâmica (30 a 34cm) sem isolamento térmico, rebocada e pintada pelo lado interior e revestimento a tinta elastómera sobre pastilha vidrada pela face exterior.
Solução de Referência	Acresce à solução original uma parede leve pelo interior. O reforço térmico é constituído por uma parede leve em gesso cartonado, com placas de isolante térmico XPS de 30mm, separadas da parede exterior.

Na sequência do referido na tabela anterior, apresenta-se na Tabela 24 e 25, uma breve descrição das soluções construtivas propostas para reforço térmico da envolvente opaca vertical, tendo em consideração as duas soluções construtivas existentes, alternadamente conforme o caso.

Tabela 24 - Descrição das soluções construtivas das propostas de reforço térmico

Paredes exteriores	**Descrição construtiva do elemento da envolvente com o reforço térmico proposto**
Solução 1	Acresce à solução de referência maior espessura do isolante. O reforço térmico é constituído por uma parede leve em gesso cartonado, com placas de isolante térmico XPS de 50mm, separadas da parede exterior.
Solução 2	Acresce à solução de referência isolante diferente. O reforço térmico é constituído por uma parede leve em gesso cartonado, com placas de isolante térmico MW de 50mm, separadas da parede exterior.
Solução 3	Acresce à solução original a aplicação de placas de isolante térmico pelo exterior EPS de 50mm com reboco delgado.
Solução 4	Acresce à solução original a aplicação de placas de isolante térmico pelo exterior ICB de 60mm com reboco delgado.
Solução 5	Acresce à solução de referência maior espessura do isolante. O reforço térmico é constituído por uma parede leve em gesso cartonado, com placas de isolante térmico XPS de 80mm, separadas da parede exterior.
Solução 6	Acresce à solução de referência isolante diferente. O reforço térmico é constituído por uma parede leve em gesso cartonado, com placas de isolante térmico MW de 80mm, separadas da parede exterior.
Solução 7	Acresce à solução original a aplicação de placas de isolante térmico pelo exterior EPS de 80mm com reboco delgado.
Solução 8	Acresce à solução original a aplicação de placas de isolante térmico pelo exterior ICB de 100mm com reboco delgado.

No primeiro sistema, houve a intenção de manter as condições físicas e espaciais o mais possível semelhantes à intervenção na F1, aumentando apenas a resistência térmica da camada isolante. No segundo, pretendeu-se atingir melhores níveis de desempenho higrotérmico entendendo o edifício no global.

Por outro lado, supõe-se que estes dois sistemas terão a vantagem de ser mais económicos, mais leves e de uso mais frequente na atualidade comparativamente a outros (e.g. contra-fachada em alvenaria e fachada ventilada).

No caso da aplicação do primeiro sistema, vê-se como maior vantagem a sua facilidade de execução (aplicação muito comum) associada ao custo mais baixo de todas as soluções testadas. No caso de estudo, esta opção parece ter feito sentido uma vez que não implicou uma perda significativa do espaço interior (a construção de uma parede em gesso laminado ocupa entre os 8 a 10cm de espessura) e permite a execução autónoma, fração a fração. Apesar da perda do espaço ocorrida, os utilizadores da fração F1 praticamente não deram conta do prejuízo espacial causado. Aliás, constituiu mais um aspeto favorável porque trouxe a possibilidade de serem instaladas novas cablagens (elétrica e TV) em todos os compartimentos afetados para além dos benefícios térmicos e acústicos obtidos. A desvantagem maior

é a de ser uma obra pelo interior e, por isso, acarretar incómodos aos ocupantes durante a intervenção, apresentar algumas fragilidades nos remates com as paredes existentes e não resolver as pontes térmicas.

Em relação ao segundo sistema, intervenção pelo exterior, a sua escolha assenta na premissa de que é um sistema que oferece teoricamente a melhor relação custo-benefício, estar atualmente muito em uso e ser uma solução global em comparação com a intervenção pelo interior. Tem a vantagem de permitir a correção de pontes térmicas lineares e planas, diminuindo as condensações pelo interior e acresce a necessária renovação da imagem do edifício valorizando o seu aspeto. A maior desvantagem é o custo comparativamente ao primeiro sistema, exigir mão-de-obra mais especializada e maior cuidado na execução dos pontos sensíveis (vãos, cantos, dobras, saliências). A sua aplicação implica uma alteração de fachada podendo ser necessário obter autorização municipal.

Para melhor compreensão das soluções referidas estão representados na Figura 83 os desenhos pormenorizados em corte vertical de parte da fachada em zona do vão com as diferentes soluções tipificadas.

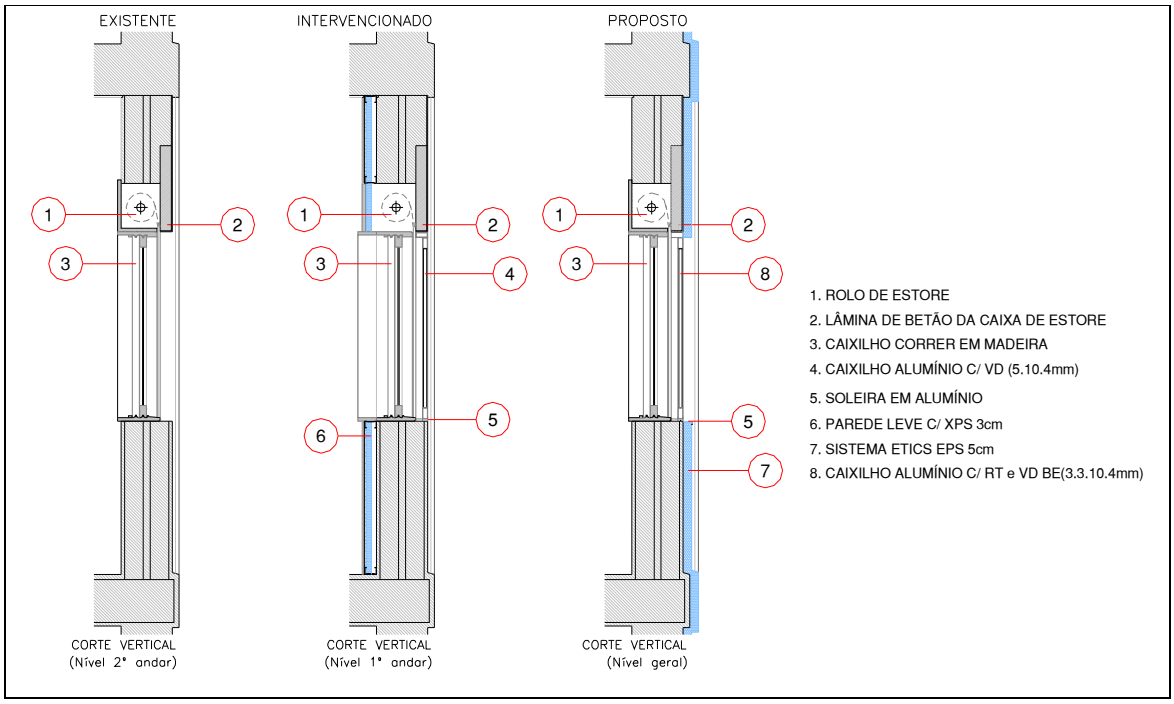


Figura 83 – Pormenores tipo da fachada em zona de vão (desenhos do autor)

Solução intervencionada: Colocação de caixilharias de alumínio com vidro duplo, à face exterior da fachada

Solução proposta: Colocação de caixilharias de alumínio de corte térmico com vidro duplo de baixa emissividade, à face exterior da fachada.

Apesar de ser mencionado nos desenhos o tipo de caixilharia utilizado, o seu desempenho ambiental não foi considerado nos cálculos efetuados neste estudo.

6.3.4. Coeficiente térmico das soluções propostas

De modo idêntico às soluções existentes, houve necessidade de determinar o coeficiente de transmissão térmica (U) de cada solução construtiva proposta para a envolvente exterior opaca. Os cálculos para a sua determinação seguem as prescrições referidas anteriormente.

Na Tabela de 25, apresentam-se os resultados de (U) para as diferentes soluções, acompanhados das respetivas espessuras totais do elemento da envolvente. Os detalhes dos cálculos são apresentados nas Tabelas 54 a 62, incluídas no Anexo 2.

Tabela 25 - Coeficiente de transmissão térmica (U) de cada solução construtiva

Solução	**Constituição da envolvente opaca**	**e** (m)*	**U** (W/m2.°C)
Sol Original	Parede dupla de tijolo revestida a pastilha	0,30	1,07
Sol Ref	Parede leve pelo interior c/XPS 3cm	0,34	0,56
Sol 1	Parede leve pelo interior c/XPS 5cm	0,36	0,43
Sol 2	Parede leve pelo interior c/MW 5cm	0,36	0,45
Sol 3	Isolamento térmico pelo exterior c/EPS 5cm	0,36	0,46
Sol 4	Isolamento térmico pelo exterior c/ICB 6cm	0,37	0,44
Sol 5	Parede leve pelo interior c/XPS 8cm	0,39	0,32
Sol 6	Parede leve pelo interior c/MW 8cm	0,39	0,33
Sol 7	Isolamento térmico pelo exterior c/EPS 8cm	0,39	0,34
Sol 8	Isolamento térmico pelo exterior c/ICB 10cm	0,41	0,32

6.4. Metodologia SimaPro e metodologia MARS-SC

Os vários métodos de análise de ciclo de vida (ACV) permitem converter fluxos de materiais e respetivos valores do inventário ciclo de vida (LCI) em potenciais impactes ambientais. Por isso, o desempenho ambiental das soluções de reabilitação a propor deverá corresponder ao melhor compromisso entre alguns parâmetros relacionados com as três dimensões do desenvolvimento sustentável. Para definir os parâmetros de avaliação é necessário estimar os impactes ambientais que serão gerados pelos materiais utilizados nas soluções propostas. Depois de definidos os parâmetros a avaliar, é necessário quantificá-los.

6.4.1. Quantificação de impactes ambientais: metodologia SimaPro

A quantificação dos impactes ambientais assenta na utilização da metodologia de análise do ciclo de vida (ACV ou, em inglês, LCA[24]) através do programa informático "SimaPro 7.3.3 Educational" da PRé Consultants, de 2012. O método LCA encontra-se normalizado desde meados dos anos 90, pela ISO 14040:2006 (Bragança & Mateus, 2011).

Esta análise possibilita a comparação de diferentes soluções construtivas de modo a se poder escolher aquela com o maior potencial de desempenho ambiental. Segundo Bragança e Mateus (2011), os vários métodos de LCA permitem converter os fluxos de materiais e respetivos valores de inventário de ciclo de vida (LCI)[25] em potenciais impactes ambientais.

O resultado da quantificação das diferentes categorias de impacte ambiental para cada solução proposta é feita através da base de dados LCA do SimaPro e está organizada de acordo com os resultados apresentados, para as oito soluções, nas Tabelas 75 a 83, do Anexo 3.

A parte da base de dados de LCA correspondente aos Materiais de Construção que diz respeito à fase de produção (*cradle-to-gate*) utiliza a unidade 1Kg de material. A parte correspondente aos Equipamentos de Climatização e Aquecimento de Águas Sanitárias (AQS) que diz respeito à fase de operação do edifício utiliza a unidade 1kWh de energia consumida pelos equipamentos (Bragança & Mateus, 2011).

Os métodos intermédios de LCA utilizados para avaliar o Impacto Ambiental e a Energia Incorporada são respetivamente o "CML 2 baseline 2000" versão 2.05 e o "Cumulative Energy Demand" versão 1.08. As fontes de informação LCA dependem do desenvolvimento e atualização da base de dados do *Ecoinvent Centre* na Suíça e estão acessíveis através da biblioteca de LCI. Os valores apresentados para cada solução construtiva referem-se a 1m^2 de material de construção escolhido.

Na Tabela 26 apresenta-se a relação existente entre as diferentes categorias de impacte ambiental consideradas neste trabalho, com os métodos utilizados na quantificação e as unidades em que se expressam.

[24] Acrónimo da expressão inglesa "Life-Cycle Analysis"
[25] Acrónimo da expressão inglesa "Life-Cicle Inventory".

Tabela 26 - Método LCA e unidades utilizadas na quantificação de cada categoria de Impacte Ambiental

(Bragança & Mateus, 2011)

	Categorias de impacte ambiental	Acrónimo	Método de LCA	Unidade
1	Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos	ADP	CML 2 baseline 2000	kg Sb eq
2	Potencial de Aquecimento Global	GWP	IPCC 2001 GWP	kg CO_2 eq
3	Potencial de Acidificação	AP	CML 2 baseline 2000	kg SO_2 eq
4	Potencial de Eutrofização	EP	CML 2 baseline 2000	kg PO_4 eq
5	Potencial de Destruição da camada de ozono	ODP	CML 2 baseline 2000	kg CFC-11 eq
6	Potencial de Oxidação Fotoquímica	POCP	CML 2 baseline 2000	kg C_2H_4 eq
7	Energia Não Renovável	ENR	Cumulative Energy Demand	Mj
8	Energia Renovável	ER	Cumulative Energy Demand	Mj

6.4.2. Hierarquização de diferentes soluções sustentáveis: metodologia MARS-SC

A sustentabilidade das soluções construtivas é um dos aspetos a considerar na avaliação da sustentabilidade global dos edifícios, conforme citação de Mateus e Bragança (2006). Segundo os mesmos autores, a sustentabilidade é uma questão relativa, que deverá ter em conta a prática corrente.

A avaliação da sustentabilidade de uma solução construtiva deve poder ser comparada e relacionada com uma situação existente – solução de referência. No caso presente, a solução de referência é a solução construtiva utilizada na fração intervencionada (F1).

No presente trabalho utiliza-se a Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC) e aplica-se a mesma nas oito soluções construtivas propostas. Esta metodologia pretende analisar o impacte ambiental que cada solução construtiva proposta tem e esclarecer quais soluções apresentam maior contributo para a construção sustentável.

Na aplicação da MARS-SC, o desempenho da solução avaliada será comparado com o desempenho das outras soluções contempladas para a envolvente opaca vertical e desenvolve-se em diferentes etapas:

- Definição dos parâmetros;
- Quantificação dos parâmetros;
- Normalização dos parâmetros;
- Agregação dos parâmetros;
- Determinação do nível de sustentabilidade;
- Apresentação do Perfil sustentável.

Para a aplicação da MARS-SC às soluções construtivas analisadas, foram considerados sete parâmetros ambientais, dois funcionais e um económico (Tabela 27).

Tabela 27 - Parâmetros a analisar na metodologia MARS-SC

Ambientais	**Funcionais**	**Económicos**
- Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos (ADP);	- Coeficientes de transmissão térmica (U w/m² °C)	- Custo de reabilitação e manutenção em 20 anos (€/m²);
- Potencial de Aquecimento Global (GWP);	- Redução sonora aparente e isolamento sonoro normalizado ou padronizado (D2m,nT,W);	
- Potencial de Acidificação (AP);		
- Potencial de Eutrofização (EP);		
- Potencial de Oxidação (ODP);		
- Fotoquímica (POCP);		
-Energia incorporada: Energia Não Renovável (ENR) e Energia Renovável (ER)		

O objetivo desta metodologia é determinar o perfil sustentável relativo de cada solução construtiva comparando-as entre si e através da solução de referência. Os resultados obtidos visam a atribuição de uma nota sustentável a cada solução construtiva, hierarquizados por ordem de sustentabilidade.

6.4.3. Definição e quantificação de parâmetros

Considerando-se que é impossível avaliar todos os parâmetros que exprimem o comportamento de uma solução nos três indicadores do desenvolvimento sustentável, conforme referem Mateus e Bragança (2006), selecionou-se nesta fase o número e o tipo de parâmetros a considerar na avaliação da sustentabilidade. Após a escolha dos parâmetros a considerar, é necessário quantificá-los.

Na Tabela 28 apresenta-se o resumo das quantidades dos materiais utilizados em cada solução estudada. Para os cálculos a realizar apenas se consideram os totais, contabilizados em Kg/m².

Tabela 28 - Resumo das quantidades dos materiais utilizados em cada solução construtiva

Materiais c/ impacte térmico	Sol Ref (Kg/m²)	Sol 1 (Kg/m²)	Sol 2 (Kg/m²)	Sol 3 (Kg/m²)	Sol 4 (Kg/m²)	Sol 5 (Kg/m²)	Sol 6 (Kg/m²)	Sol 7 (Kg/m²)	Sol 8 (Kg/m²)
Gesso Cartonado Gyptec	8,50	8,50	8,50			8,50	8,50		
XPS 40Kg/m3 Fibran	1,05	1,75				2,80			
MW lã mineral Rocterm PN40			2,00				3,20		
EPS 20Kg/m3 (5cm) Plastimar				1,00				1,60	
ICB aglomerado cortiça 125Kg/m3 (6cm) Sofalca					6,90				11,50
Argamassas colagem Weber.Therm Pro				9,80	9,80			9,80	9,80
Argamassas revestim. Weber.Plast decor F				3,60	3,60			3,60	3,60
Rede fibra de vidro anti álcalis VimaPlás				0,17	0,17			0,17	0,17
Tintas CIN	2,14	2,14	2,14			2,14	2,14		
Totais	**11,69**	**12,39**	**12,64**	**14,57**	**20,47**	**13,44**	**13,84**	**15,17**	**25,07**

Esta quantificação é fundamental para se poder comparar, agregar e avaliar os parâmetros das várias soluções, nos diferentes indicadores, como se pode verificar mais adiante. Por exemplo, a quantificação dos materiais utilizados nas soluções propostas é um dos dados necessários obter, tendo em vista o cálculo da estimativa dos impactes ambientais gerados por cada solução construtiva.

No presente estudo, para a quantificação dos parâmetros ambientais, utilizou-se um programa de análise do ciclo de vida - SimaPro; Para a quantificação dos parâmetros funcionais recorreu-se a metodologias comprovadas experimentalmente na análise de certas caraterísticas funcionais – Redução sonora e coeficiente transmissão de calor; Para a quantificação dos parâmetros económicos utilizaram-se metodologias estandardizadas disponíveis em base de dados públicas acerca dos custos de construção, nomeadamente o gerador de preços e os fornecedores de materiais.

Nos pontos seguintes carateriza-se o desempenho das soluções nos três indicadores com base na respetiva quantificação dos materiais escolhidos.

Alguns dos materiais de construção utilizados nas diferentes soluções construtivas são fornecidos em unidades distintas mas são convertidos para Kg/m². É com base nestas quantidades por área de intervenção que se determina o peso total da solução e se poderá estimar o respetivo impacte ambiental a gerar.

A Tabela 29 apresenta o peso total de cada solução, em Kg, na fase de montagem, para posterior cálculo dos impactes ambientais. Nas Tabelas 66 a 74, do Anexo 3, apresentam-se as quantidades detalhadas de todos os materiais considerados nos cálculos.

Tabela 29 - Peso total de cada solução, na fase de montagem

Solução	Peso solução (Kg)
Sol Ref	581,87
Sol 1	611,55
Sol 2	622,15
Sol 3	3241,37
Sol 4	3890,37
Sol 5	656,07
Sol 6	673,03
Sol 7	3307,37
Sol 8	4396,37

6.4.4. Caracterizar o desempenho ambiental

A caracterização do desempenho ambiental das soluções construtivas (referência e propostas) foi feito através da avaliação de 6 categorias de impacte ambiental e da energia incorporada renovável e não renovável, totalizando 8 indicadores ambientais. Para esta caraterização optou-se por considerar os indicadores que são mais utilizados neste tipo de estudos e que foram referidos anteriormente: ADP; GWP; ODP; AP; POCP; EP; ENR; e ER.

Nos cálculos foi dada prioridade à utilização da biblioteca com dados de inventário do ciclo de vida (LCI) "Ecoinvent system processes". Para a caracterização dos indicadores ambientais foram utilizados dois métodos de avaliação do ciclo de vida (LCA): "CML baseline 2000" (para os 6 primeiros indicadores) e o "Cumulative Energy Demand" (para os restantes dois).

Na Tabela 30 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos em cada categoria de impacte ambiental na análise LCA para cada solução construtiva. Os valores apresentados a vermelho correspondem à pior solução em termos de desempenho ambiental e a verde à melhor solução, conforme apresentado na figura legendada abaixo.

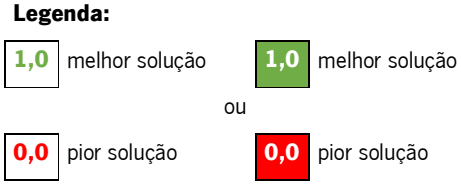


Figura 84 – Pontuação do desempenho das soluções

Tabela 30 – Resumo da análise LCA para determinação do Impacte Ambiental (IA)

Solução	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP	ENR	ER
Sol Ref	3,11E-01	1,74E-01	9,14E-02	4,15E+01	3,09E-06	1,09E-02	6,98E+02	4,35E+02
Sol 1	3,41E-01	1,84E-01	9,76E-02	4,43E+01	3,14E-06	1,21E-02	7,67E+02	4,36E+02
Sol 2	2,86E-01	1,77E-01	9,11E-02	4,06E+01	3,12E-06	1,05E-02	6,36E+02	4,36E+02
Sol 3	3,38E-01	1,61E-01	1,42E-01	5,34E+01	6,06E-06	1,69E-02	7,94E+02	2,44E+01
Sol 4	3,83E-01	1,93E-01	1,73E-01	6,21E+01	6,65E-06	1,76E-02	9,09E+02	2,12E+02
Sol 5	3,87E-01	1,98E-01	1,07E-01	4,84E+01	3,23E-06	1,37E-02	8,70E+02	4,38E+02
Sol 6	2,98E-01	1,87E-01	9,64E-02	4,25E+01	3,19E-06	1,12E-02	6,61E+02	4,37E+02
Sol 7	3,55E-01	1,65E-01	1,46E-01	5,50E+01	6,12E-06	1,90E-02	8,32E+02	2,47E+01
Sol 8	4,33E-01	2,19E-01	1,97E-01	6,98E+01	7,13E-06	2,04E-02	1,03E+03	3,38E+02

6.4.5. Caracterizar o desempenho funcional

Na caraterização do desempenho funcional para cada solução proposta utilizaram-se os métodos de previsão que se conhecem. Estimou-se o índice normalizado de isolamento sonoro a sons de condução aérea e o coeficiente global de transferência de calor.

O índice de isolamento sonoro a sons aéreos (Dn,w) é dado pela seguinte expressão [7]:

$$\mathbf{D_{n,w}=R_w+10*\log (A_0/S)-T_m} \quad [7]$$

A expressão de redução sonora é [8]:

$$\mathbf{R_a= L(E1)-L(E2)\ (dB)} \quad [8]$$

A expressão para um elemento de constituição homogénea é [9]:

$$\mathbf{R_a= 20\ \log_{10}\ (f.m)-47} \quad [9]$$

Sabendo que "f" representa a frequência (Hz) e "m" a massa superficial do elemento (kg/m^2), consegue-se obter os valores de R.

Exemplo de Cálculo:

f=500Hz	$\mathbf{R_a=}$	$20\log_{10}(500*11{,}65)-47$
m=11,65Kg/m2	$\mathbf{R_a=}$	$20\log_{10}(5825)-47$
	$\mathbf{R_a=}$	**28,30 dB**

Para se determinar o valor estimativo do nível de isolamento sonoro de cada solução construtiva, considerou-se o somatório da massa dos materiais (Kg/m²), que constituem cada solução através da expressão (R) e obtém-se os valores (dB) simplificados que se apresentam na Tabela 31.

Tabela 31 – Determinação da Massa volúmica e Redução Sonora

Solução	(Kg/m²)	R_a (dB)
Sol Ref	11,69	28,337
Sol 1	12,39	28,842
Sol 2	12,64	29,016
Sol 3	14,57	30,247
Sol 4	20,47	33,200
Sol 5	13,44	29,549
Sol 6	13,84	29,803
Sol 7	15,17	30,597
Sol 8	25,07	34,961

Os coeficientes de transmissão térmica (U) de cada solução construtiva foram determinados anteriormente (ponto 6.4.2), com base no ITE 50 do LNEC onde figuram os «Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios» (Santos & Matias, 2007).

6.4.6. Caracterizar o desempenho económico

Os custos de construção e de manutenção das soluções apresentadas foram baseados no gerador de preços para construção civil, em Portugal, pertencente à base de dados do programa informático CYPE Ingenieros, S.A. disponível *online* através de [http://porto.geradordeprecos.info/]. Estimou-se o índice normalizado do custo de construção (incluindo custos de manutenção a 20 anos). Adicionalmente foram consultados preços de vários fornecedores de materiais.

Reconhece-se que os custos do investimento apresentados nas tabelas seguintes obtidos através do gerador de preços CYPE poderão parecer elevados em comparação com a realidade prática, mas também sabe-se que esta ferramenta é considerada referência idónea no meio académico. Além disso, a componente económica foi a menos valorizada na avaliação da sustentabilidade, tendo pouca influência nos resultados apresentados. Por outro lado, os valores obtidos foram calculados de forma proporcional para todas as soluções, atenuando o seu efeito.

Na Tabela 32, apresentam-se os resultados dos custos económicos de cada solução construtiva e o custo económico de ciclo de vida, considerando a manutenção das soluções por mais 20 anos.

Tabela 32 – Custos de Construção, Manutenção e Ciclo de Vida a 20 anos

Solução	**Custo Construção** €/m2	**Custo Manutenção (10 anos)** €/m2	**Custo Manutenção (20anos)** €/m2	**Custo Ciclo Vida (LCA)** €/m2
	A	B	C=2B	A+C
Sol Ref	58,57 €	51,55 €	103,11 €	161,68 €
Sol 1	61,20 €	52,30 €	104,61 €	165,81 €
Sol 2	58,21 €	51,45 €	102,90 €	161,10 €
Sol 3	89,40 €	9,87 €	19,74 €	109,14 €
Sol 4	99,44 €	10,73 €	21,45 €	120,90 €
Sol 5	65,14 €	53,43 €	106,86 €	172,00 €
Sol 6	61,02 €	51,80 €	103,60 €	164,62 €
Sol 7	91,28 €	10,03 €	20,06 €	111,34 €
Sol 8	108,24 €	11,48 €	22,95 €	131,20 €

Os valores quantificados para os parâmetros funcional e económico, a considerar na normalização são apresentados na Tabela 34.

Tabela 33 - Resultados da quantificação dos parâmetros funcionais e econômicos.

Solução	Parâmetros funcionais		Parâmetros económicos
	U ($w/m^2\ °C$)	**R_a** (dB)	**CC&M** (€/m^2)
Sol Ref	0,558	28,337	161,68 €
Sol 1	0,429	28,842	165,81 €
Sol 2	0,448	29,016	161,10 €
Sol 3	0,456	30,247	109,14 €
Sol 4	0,439	33,200	120,90 €
Sol 5	0,318	29,549	172,00 €
Sol 6	0,335	29,803	164,62 €
Sol 7	0,340	30,597	111,34 €
Sol 8	0,316	34,961	131,20 €

6.4.7. Normalização dos parâmetros de desempenho ambiental, funcional e económico

Com o objetivo de evitar os efeitos de escala na agregação dos parâmetros, a normalização pretende resolver o problema de alguns dos indicadores serem do tipo "quanto maior melhor" e outros do tipo "quanto maior pior". Segundo Mateus e Bragança (2006), para normalizar os indicadores utiliza-se a fórmula de Diaz-Balteiro (2004), seguinte [10]:

$$\bar{P}i = \frac{P_i - P_{\gamma}}{P_i - P_{\gamma}} \quad \forall i \qquad [10]$$

Nesta equação, Pi representa o resultado da quantificação do parâmetro da solução i e P_i e P_{γ} são respetivamente o melhor e o pior resultado do parâmetro de sustentabilidade i. A normalização dos parâmetros de sustentabilidade torna-os adimensionais e converte-os numa escala limitada entre 0 (pior valor) e 1 (melhor valor). Mais à frente, apresentam-se os cálculos normalizados e respetivo perfil sustentável de cada solução (Mateus & Bragança, 2006).

Nas Tabela 34, 35 e 36 são apresentados os valores normalizados de cada parâmetro de sustentabilidade, totalizados no valor de cada impacte gerado: ambiental (IA); funcional (IF); e económico (IE).

Tabela 34 – Valores Normalizados de Impacte Ambiental (IA)

Solução	**ADP**	**AP**	**EP**	**GWP**	**ODP**	**POCP**	ENR	ER	**IA**
Sol Ref	0,17	0,24	0,003	0,03	0,00	0,05	0,16	0,995	**0,09**
Sol 1	0,38	0,40	0,061	0,13	0,01	0,16	0,33	0,997	**0,22**
Sol 2	0,00	0,28	0,000	0,00	0,01	0,00	0,00	0,996	**0,03**
Sol 3	0,35	0,00	0,483	0,44	0,73	0,65	0,40	0,000	**0,43**
Sol 4	0,66	0,55	0,769	0,74	0,88	0,72	0,69	0,455	**0,72**
Sol 5	0,69	0,65	0,148	0,27	0,04	0,33	0,59	1,000	**0,40**
Sol 6	0,08	0,46	0,050	0,07	0,03	0,07	0,06	0,998	**0,10**
Sol 7	0,47	0,07	0,520	0,50	0,75	0,86	0,50	0,001	**0,52**
Sol 8	1,00	1,00	1,000	1,00	1,00	1,00	1,00	0,759	**1,00**

Tabela 35 - Valores Normalizados de Impacte Funcional (IF)

Solução	D n,w	U w/m² ºC	IF
Sol Ref	0,00	0,00	**0,00**
Sol 1	0,08	0,54	**0,37**
Sol 2	0,10	0,45	**0,32**
Sol 3	0,29	0,42	**0,34**
Sol 4	0,73	0,49	**0,48**
Sol 5	0,18	0,99	**0,69**
Sol 6	0,22	0,92	**0,65**
Sol 7	0,34	0,90	**0,67**
Sol 8	1,00	1,00	**0,88**

Tabela 36 - Valores Normalizados de Impacte Económico (IE) a 20 anos

Solução	IE
Sol Ref	**0,16**
Sol 1	**0,10**
Sol 2	**0,17**
Sol 3	**1,00**
Sol 4	**0,81**
Sol 5	**0,00**
Sol 6	**0,12**
Sol 7	**0,96**
Sol 8	**0,65**

6.4.8. Agregação dos parâmetros na avaliação da sustentabilidade

A avaliação da sustentabilidade de soluções construtivas requer a utilização de numerosos parâmetros, sendo que a listagem dos resultados obtidos possam, por vezes, dificultar a compreensão do desempenho da solução. Para a resolução desta dificuldade, os diversos parâmetros são combinados em função da importância (peso) que lhes for atribuída no cumprimento dos requisitos de projeto.

Para estabelecer o peso de cada dimensão do desenvolvimento sustentável, as equações seguintes [de 11 a 14] apresentam o modo como se agregam os parâmetros dentro de cada uma das categorias (Mateus & Bragança, 2006).

A agregação dos parâmetros referentes ao desempenho ambiental é dado pela equação [11]:

$$I_A = \sum_{i=1}^{n} w_{Ai} \overline{P_{Ai}} \quad [11]$$

A agregação dos parâmetros referentes ao desempenho funcional é dado pela equação [12]:

$$I_F = \sum_{i=1}^{n} w_{Fi} \overline{P_{Fi}} \quad [12]$$

Com,

$$\sum_{i=1}^{m} wA_i = \sum_{i=1}^{n} wF_i = 1 \quad [13]$$

Como na quantificação de desempenho económico é considerado apenas o valor do somatório de todos os custos de ciclo de vida que são possíveis de obter, o desempenho económico de cada solução é o mesmo valor do parâmetro económico normalizado, sendo dado pela equação [14]:

$$I_E = \overline{P_E} \quad [14]$$

A distribuição de percentagens para cada parâmetro de impacte ambiental pode ser feito através da importância que cada um tem em relação aos outros e em função dos efeitos nocivos provocados ao ambiente (Mateus & Bragança, 2006). Neste caso, para a definição do peso de cada parâmetro na aplicação da MARS-SC utilizaram-se os pesos definidos pela *United States Environmental Protection Agency* (EPA) num estudo realizado para o efeito. Os resultados obtidos nesse estudo encontram-se definidos na Tabela 37.

Tabela 37 - Importância relativa dos parâmetros ambientais segundo estudo da EPA

Tipo de impacte	Peso (%)
Aquecimento global (GWP)	16
Acidificação (AP)	5
Eutrofização (EP)	5
Esgotamento de recursos energéticos não renováveis (FFDP)	5
Qualidade do ar interior (IAQ)	11
Alteração dos habitats (HA)	16
Água incorporada (WI)	3
Emissões de gases poluentes (CAP)	6
Oxidação fotoquímica – smog (POCP)	6
Toxicidade sobre a ecologia (ET)	11
Destruição da camada de ozono (OD)	5
Saúde Humana (UH)	11

O cálculo das percentagens a corresponder a cada parâmetro é dado pela expressão [15].

[IA = (GWP x % base 100 de GWP) + (ODP x % base 100 de ODP) + (AP x % base 100 de AP) + (POCP x % base 100 de POCP) + (EP x % base 100 de EP) + (ENR x % base 100 de ENR)] [15]

Na Tabela 38 faz-se corresponder a cada parâmetro de Impacte Ambiental uma percentagem proporcional ao total envolvido e segundo os pesos referidos pelo estudo da EPA.

Tabela 38 – Percentagem atribuída para cada parâmetro de Impacte Ambiental

Parâmetro	**ADP**	**AP**	**EP**	**GWP**	**ODP**	**POCP**	ENR	ER	**Total**
% (EPA)*	5	5	5	16	5	6	16	0	**58**
% (Estudo)	8,62	8,62	8,62	27,59	8,62	10,34	27,59	0,00	**100**

(*) United States Environmental Protection Agency

Após agregação dos parâmetros e desempenho ambiental de cada solução, os resultados obtidos do Impacte Ambiental (IA) são apresentados na Tabela 39.

Tabela 39 - Impacte Ambiental de cada solução

Solução	IA
Sol Ref	**0,09**
Sol 1	**0,22**
Sol 2	**0,03**
Sol 3	**0,43**
Sol 4	**0,72**
Sol 5	**0,40**
Sol 6	**0,10**
Sol 7	**0,52**
Sol 8	**1,00**

Tabela 40 - Pesos de cada parâmetro de Impacte Funcional (Mateus, 2009)

Parâmetro	Peso %
U w/m² °C	38
Conf. Visual	27
D n,w	13
Qualidade do ar interior	22
	100

A relação dos pesos com os parâmetros de Impacte Funcional é dada pela Tabela 40. No entanto, como só foram envolvidos neste estudo dois parâmetros, faz-se corresponder o valor percentual na base proporcional, conforme se apresenta na Tabela 41 e de acordo com a MARS-SC.

Tabela 41 - Percentagem para cada parâmetro de Impacte Funcional de acordo com a MARS-SC

Parâmetro	D n,w	U w/m² ºC	Total
%	38	13	**51**
% (Estudo)	22,41	65,52	**100**

6.4.9. Determinação da nota sustentável

A determinação da nota sustentável (NS) é feita após a avaliação do desempenho global reunindo num único valor todos os indicadores (ambiental, funcional e económico). Esta fase é constituída pela síntese

do desempenho global da solução construtiva, resultante da ponderação de cada indicador. A nota de sustentabilidade é calculada através da expressão [16].

$$NS=W_{G1}.I_A+W_{G2}.I_F+W_{G3}.I_E \quad [16]$$

Apesar de não ser consensual a distribuição de pesos na aplicação da MARS-SC, sabe-se que alguns parâmetros são mais importantes para a sustentabilidade de que outros, conforme refere Mateus (2009). O sistema de pesos a adotar depende, entre outros fatores, do contexto e das prioridades que se pretendem atribuir. Neste caso, deu-se primazia ao desempenho funcional, por se considerar ser esse o aspeto mais relevante para resolver questões de conforto interior do edifício em estudo. Apresenta-se na Tabela 42 a sua distribuição.

Tabela 42 - Peso de cada dimensão de sustentabilidade na aplicação da MARS-SC

Dimensão	%	Peso
AMBIENTAL	30	0,3
FUNCIONAL	50	0,5
ECONÓMICA	20	0,2

O valor da nota sustentável é obtido através da nota sustentável da solução de referência (NSref). Na Tabela 43, a NS_{ref} apresenta-se como a nota sustentável de pontuação mais baixa, enquanto a NS_8 é a mais alta.

Tabela 43 - Nota de Sustentabilidade das soluções construtivas

Solução	IA	IF	IE		Nota Sust.
Sol Ref	0,09	0,00	0,16	NS_{Ref}	**0,061**
Sol 1	0,22	0,37	0,10	NS_1	**0,268**
Sol 2	0,03	0,32	0,17	NS_2	**0,202**
Sol 3	0,43	0,34	1,00	NS_3	**0,501**
Sol 4	0,72	0,48	0,81	NS_4	**0,620**
Sol 5	0,40	0,69	0,00	NS_5	**0,466**
Sol 6	0,10	0,65	0,12	NS_6	**0,378**
Sol 7	0,52	0,67	0,96	NS_7	**0,682**
Sol 8	1,00	0,88	0,65	NS_8	**0,869**

Tabela 44 - Avaliação de desempenho relativo da solução de referência a partir da NS

Nota sustentável (NS)	Classificação do desempenho
< NS_{ref}	Inferior
=NS_{ref}	Referência
> NS_{ref}	Superior

No entanto, para se poder validar a distribuição de pesos escolhida, fizeram-se ensaios de cálculo para outras distribuições de peso e as classificações permaneceram praticamente inalteradas. Como se pode verificar na Tabela 45, a solução 8 permanece como sendo a solução mais sustentável e a solução de referência como a menos sustentável. Os únicos resultados que se apresentam alterados dizem respeito às soluções 4 e 7 que alternam a sua posição quando é dado maior peso ao indicador ambiental.

Tabela 45 – Resumo do estudo de diferentes distribuições de peso dos indicadores de sustentabilidade

Classificação	Distribuição de pesos em % (IA; IF; IE)											
	(30;50;20)		(50;30;20)		(20;30;50)		(50;20;30)		(40;40;20)		(33,4;33,3;33,3)	
1	Sol 8	**0,869**	Sol 8	**0,894**	Sol 8	**0,788**	Sol 8	**0,871**	Sol 8	**0,882**	Sol 8	**0,843**
2	Sol 7	**0,682**	Sol 4	**0,667**	Sol 7	**0,787**	Sol 4	**0,699**	Sol 7	**0,668**	Sol 7	**0,717**
3	Sol 4	**0,62**	Sol 7	**0,653**	Sol 4	**0,696**	Sol 7	**0,683**	Sol 4	**0,644**	Sol 4	**0,672**
4	Sol 3	**0,501**	Sol 3	**0,519**	Sol 3	**0,689**	Sol 3	**0,585**	Sol 3	**0,51**	Sol 3	**0,591**
5	Sol 5	**0,466**	Sol 5	**0,409**	Sol 5	**0,288**	Sol 5	**0,34**	Sol 5	**0,437**	Sol 5	**0,364**
6	Sol 6	**0,378**	Sol 6	**0,267**	Sol 6	**0,274**	Sol 6	**0,214**	Sol 6	**0,323**	Sol 6	**0,288**
7	Sol 1	**0,268**	Sol 1	**0,238**	Sol 1	**0,203**	Sol 1	**0,211**	Sol 1	**0,253**	Sol 1	**0,227**
8	Sol 2	**0,202**	Sol 2	**0,143**	Sol 2	**0,188**	Sol 2	**0,129**	Sol 2	**0,173**	Sol 2	**0,173**
9	Sol Ref	**0,061**	Sol Ref	**0,079**	Sol Ref	**0,101**	Sol Ref	**0,095**	Sol Ref	**0,07**	Sol Ref	**0,086**

6.4.10. Apresentação do perfil sustentável

A determinação do perfil sustentável é a última fase da aplicação da MARS-SC e consiste na representação gráfica dos valores normalizados dos parâmetros analisados. Através do gráfico tipo radar (ou diagrama de Amoeba) representado nas Figuras 85 a 92, pode-se observar as diferenças existentes entre o desempenho de cada solução em cada indicador de sustentabilidade e a solução de referência.

Pode-se igualmente constatar que a linha de representação da solução, quanto mais próximo do centro estiver localizada menor será a sua sustentabilidade e, quanto mais afastada do centro maior será a sua sustentabilidade. No caso, a solução de referência (linha azul-claro) é a menos sustentável, enquanto a solução 8 (linha cinza-escuro) é a mais sustentável. Encontram-se nas Tabelas 84 e 85 do Anexo 3, detalhes complementares referentes ao perfil sustentável de cada solução.

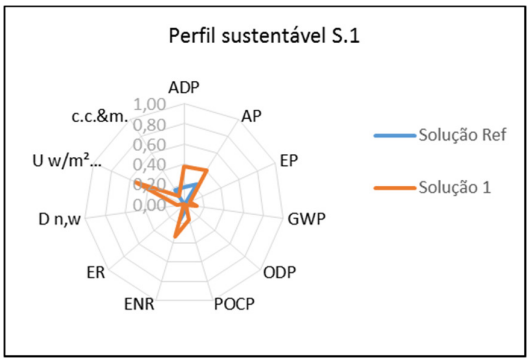


Figura 85 – Análise comparativa entre solução de referência e solução 1

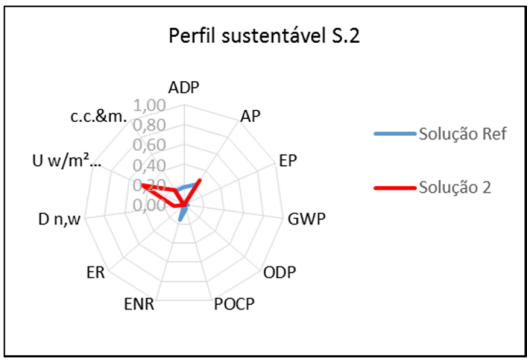


Figura 86 – Análise comparativa entre solução de referência e solução 2

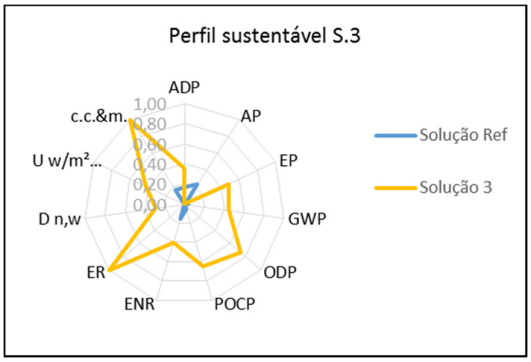


Figura 87 – Análise comparativa entre solução de referência e solução 3

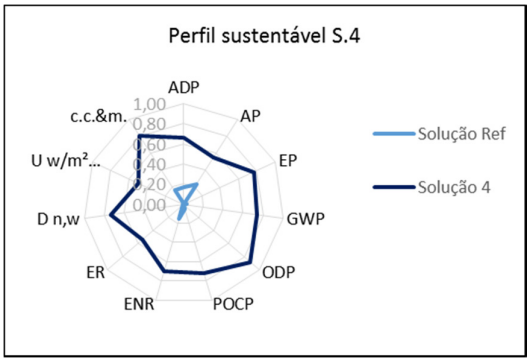


Figura 88 – Análise comparativa entre solução de referência e solução 4

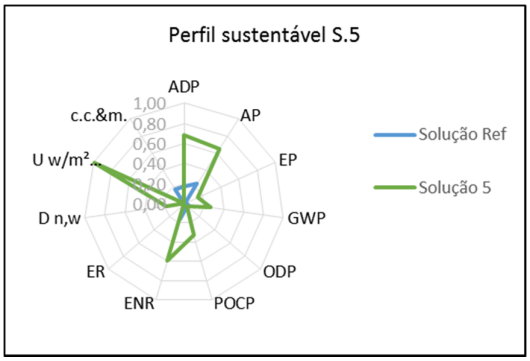


Figura 89 – Análise comparativa entre solução de referência e solução 5

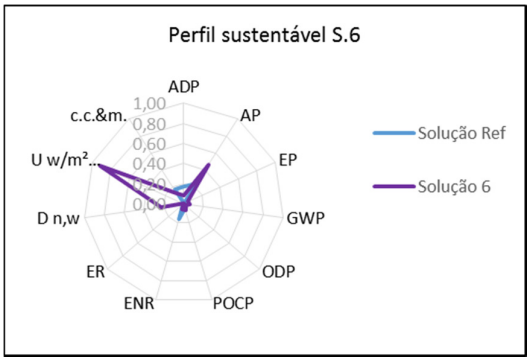


Figura 90 – Análise comparativa entre solução de referência e solução 6

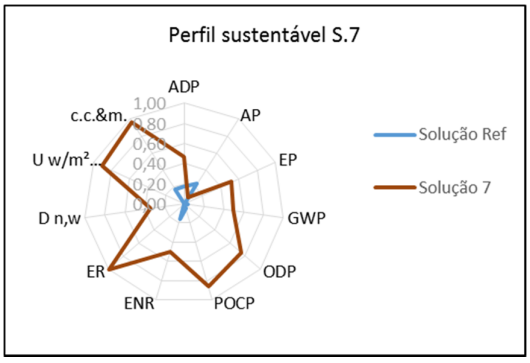


Figura 91 – Análise comparativa entre solução de referência e solução 7

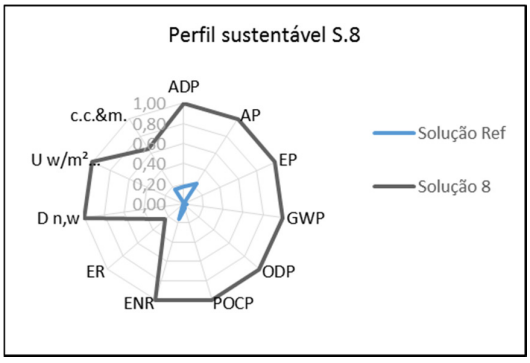


Figura 92 – Análise comparativa entre solução de referência e solução 8

6.4.11. Apresentação da análise de sensibilidade

A apresentação da análise de sensibilidade das soluções construtivas em estudo está dependente do cálculo da inversão dos valores de LCA quantificados anteriormente ao nível de cada indicador de sustentabilidade. Na Tabela 46 apresentam-se os valores dos impactes IA, IF e IE invertidos.

Tabela 46 - Desempenho de sustentabilidade para cada solução construtiva com valores inversos

Solução	IA	IF	IE
Solução Ref	0,908	1,000	0,836
Solução 1	0,783	0,633	0,902
Solução 2	0,975	0,680	0,827
Solução 3	0,566	0,659	0,000*
Solução 4	0,283	0,514	0,187
Solução 5	0,597	0,310	1,000
Solução 6	0,904	0,348	0,883
Solução 7	0,480	0,333	0,035
Solução 8	0,000*	0,121	0,351

(*) Deve ler-se: 0,000000000000001

De forma a completar esta avaliação, apresenta-se na Figura 93, um diagrama triangular com a análise de sensibilidade das soluções nos três indicadores de sustentabilidade obtido através da folha de cálculo do programa informático MIXTRI 2.0.

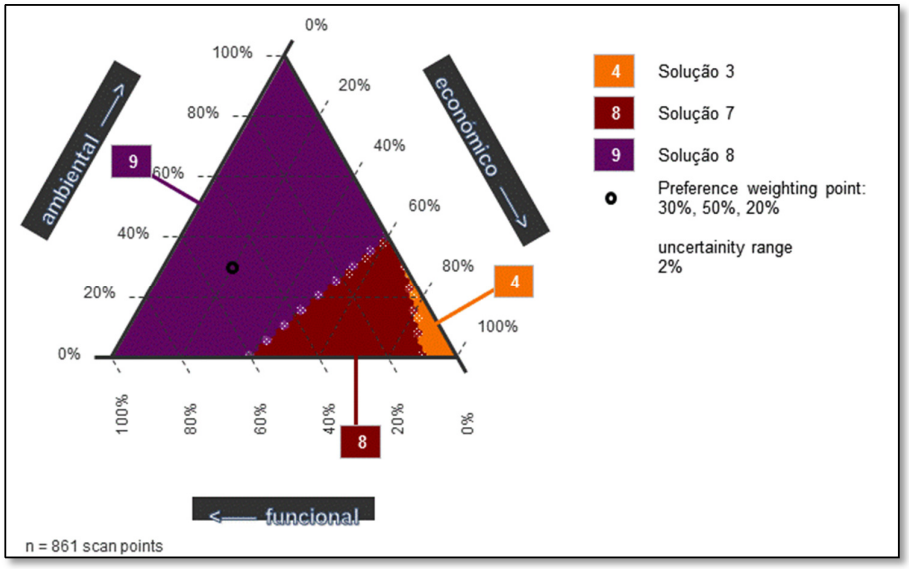


Figura 93 – Análise de sensibilidade obtido através do programa informático Mixtri 2.0

Através da análise do gráfico podemos constatar que apenas são apresentadas três soluções das oito propostas, destacando-se a solução 8 com a maior área dentro do triângulo, seguida da solução 7 e, por último, da solução 3. O ponto de referência do Nível de Sustentabilidade, no qual o parâmetro Ambiental tem um peso de 30%, o Funcional 50% e o Económico 20%, surge no gráfico totalmente dentro da Solução 8, confirmando os resultados alcançados pela avaliação da sustentabilidade.

Apenas quando se considera o parâmetro Económico como o mais importante (peso superior a 60%) e o parâmetro Funcional (peso inferior a 60%) a Solução Construtiva 7 passa a ser recomendada.

Perante este cenário, pode-se concluir que a figura geométrica nº9 resultante, representando a solução construtiva 8, apresenta a maior área do triângulo justificando claramente o seu lugar principal na classificação sustentável.

6.5. Análise e discussão dos resultados

Em relação às exigências funcionais, o comportamento térmico passivo assume a maior importância no que diz respeito à envolvente externa dos edifícios. Conforme referido anteriormente, as soluções de reabilitação propostas tiveram em consideração coeficientes de transmissão térmica que correspondessem às mais recentes exigências térmicas para os edifícios novos, tendo em conta as metas de 2020. Com a introdução destas metas, os valores de U são menores, obrigando a considerar uma maior qualidade térmica da envolvente. Por exemplo, estas exigências poderão refletir-se no emprego de maiores espessuras do material isolante a considerar nas soluções construtivas.

A definição da espessura da camada isolante têm como base o valor dos coeficientes de transmissão térmica de referência estipulados para a zona climática de inverno I2, segundo expresso na Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro atualmente em vigor (ver Tabela 22, do ponto 6.3.1): U_{ref}=0,40W/m²ºC e U_{ref}=0,35W/m²ºC conforme previsto a partir de 2016. Estes valores referem-se aos elementos exteriores verticais em zona opaca corrente, para edifícios novos.

De acordo com a mesma portaria, *nenhum elemento da zona corrente da envolvente opaca do edifício, onde se incluem elementos construtivos do tipo paredes, pavimentos ou coberturas, deverá ter um coeficiente de transmissão térmica superior aos valores máximos* estipulados. Para edifícios de habitação existentes sujeitos a grande intervenção os coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos, na zona climática I2, não poderão ultrapassar o U*máx.*=1,60W/m²ºC previsto.

Os resultados globais obtidos através da aplicação da metodologia para avaliação da sustentabilidade (MARS-SC) aos oito cenários propostos, apresenta a solução 8 (Sol 8) como a solução de reabilitação mais sustentável e, a solução de referência (Sol Ref), a com pior resultado, conforme apresentado na Tabela 47. Por essa razão, todas as soluções construtivas propostas possuem um coeficiente de transmissão térmica superior à solução de referência.

Ressalva-se que, no que diz respeito ao coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca vertical e até à entrada em vigor do recente regulamento, a Sol Ref satisfazia o cumprimento dos valores de referência exigidos, com o seu U=0,56W/m²ºC (U_{ref}=0,60W/m²ºC).

Tabela 47 – Soluções construtivas por ordem decrescente de sustentabilidade.

Posição	Solução	Nota Sust.	
1º	**Sol 8** (ETICS ICB 10)	0,869	**Mais sustentável**
2º	**Sol 7** (ETICS EPS 8)	0,682	
3º	**Sol 4** (ETCS ICB 6)	0,620	
4º	**Sol 3** (ETICS EPS 5)	0,501	
5º	**Sol 5** (Leve XPS 8)	0,466	
6º	**Sol 6** (Leve MW 8)	0,378	
7º	**Sol 1** (Leve XPS 5)	0,268	
8º	**Sol 2** (Leve MW 5)	0,202	
9º	**Sol Ref** (Leve XPS 3)	0,061	**Menos sustentável**

Verifica-se ainda dentro da amostra que alguns materiais isolantes com resultados expressivos em termos de desempenho ambiental, como o caso do aglomerado negro de cortiça (ICB), surgem nesta organização em 1º e 3º lugar.

Ao nível de sustentabilidade, a utilização de placas de poliestireno expandido (EPS) como isolante térmico de uma construção, vem revelar o seu o melhor desempenho global, como comprovam os 2º e 4º lugares obtidos nesta classificação. Supõe-se que as caraterísticas que poderão influenciar mais os resultados obtidos com o EPS sejam o seu reduzido impacte económico e ambiental paralelamente a um bom desempenho funcional.

Outro aspeto a realçar nesta análise, dos dois sistemas construtivos propostos para a reabilitação energética de edifícios dos anos 70, as soluções com ETICS são aquelas que surgem nos primeiros lugares da tabela de classificação de sustentabilidade, comprovando serem mais eficientes e amigas do ambiente.

6.6. Análise técnico-económica das soluções construtivas

Considerando com relevância a análise técnico-económica na finalização deste trabalho, pretende-se, neste ponto, apresentar os resultados que importam realçar para o entendimento dos objetivos propostos. Neste ponto, pretende-se definir a solução ideal de reabilitação a implementar, tendo como referência o retorno (em anos) do investimento a fazer com as obras de reforço térmico. Dentro das propostas estudadas, para se obter uma solução o mais otimizada possível, estimou-se o consumo de energia total, em kWh/m^2, para as várias soluções.

Segundo metodologia aplicada por Freitas, Guimarães, Ferreira e Alves (2011), através das expressões [2 a 6] já apresentadas no ponto 6.3, é possível calcular o custo da energia gasta por m^2 de parede exterior durante um ano, para compensar as perdas térmicas, admitindo aquecimento contínuo.

No entanto, no caso da realidade portuguesa, o mais comum é utilizar-se o aquecimento de forma intermitente, permanecendo este ligado por cerca de três horas diárias. Desta maneira os valores das perdas totais apresentados a seguir poderão parecer excessivos.

A Tabela 48 apresenta os valores totais de perdas para cada elemento da construção a analisar. O consumo de energia foi estimado em função da solução escolhida.

Tabela 48 - Valores totais de perdas térmicas para cada elemento da construção

Solução	**Paredes exteriores** (fachada corrente)	**Paredes interiores**	**Ventilação**	**Águas Quentes Sanitárias**	**Total de perdas**
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/ano)
Solução Original	1757,52	1054,51	13878,02	3396,12	20086,17
Sol Ref (Leve XPS 3)	913,81	548,29	13878,02	3396,12	18736,24
Sol 1 (Leve XPS 5)	702,08	421,25	13878,02	3396,12	18397,48
Sol 2 (Leve MW 5)	733,97	440,38	13878,02	3396,12	18448,49
Sol 3 (ETICS EPS 5)	748,15	448,89	13878,02	3396,12	18471,19
Sol 4 (ETCS ICB 6)	720,72	432,43	13878,02	3396,12	18427,29
Sol 5 (Leve XPS 8)	521,01	312,61	13878,02	3396,12	18107,76
Sol 6 (Leve MW 8)	549,35	329,61	13878,02	3396,12	18153,10
Sol 7 (ETICS EPS 8)	557,25	334,35	13878,02	3396,12	18165,75
Sol 8 (ETICS ICB 10)	518,09	310,85	13878,02	3396,12	18103,08

O custo anual da energia necessária para compensar as perdas de calor pelas paredes exteriores, de cada solução, está indicado na Tabela 49.

Tabela 49 - Custo anual da energia necessária para compensar as perdas de calor

Solução	Perdas p/paredes exteriores	Área parede exterior lado int.	Consumo Energia Final	Custo Médio de Energia	Custo de energia p/compensar perdas
	(kWh)	(m2)	(kWh/m2)	(€/kWh)	(€/m2)
Solução Original	1757,52	42,39	41,5	0,22 €	9,12 €
Sol Ref (Leve XPS 3)	913,81	42,39	21,6	0,22 €	4,74 €
Sol 1 (Leve XPS 5)	702,08	42,39	16,6	0,22 €	3,64 €
Sol 2 (Leve MW 5)	733,97	42,39	17,3	0,22 €	3,81 €
Sol 3 (ETICS EPS 5)	748,15	42,39	17,6	0,22 €	3,88 €
Sol 4 (ETCS ICB 6)	720,72	42,39	17,0	0,22 €	3,74 €
Sol 5 (Leve XPS 8)	521,01	42,39	12,3	0,22 €	2,70 €
Sol 6 (Leve MW 8)	549,35	42,39	13,0	0,22 €	2,85 €
Sol 7 (ETICS EPS 8)	557,25	42,39	13,1	0,22 €	2,89 €
Sol 8 (ETICS ICB 10)	518,09	42,39	12,2	0,22 €	2,69 €

No que diz respeito ao balanço custo-benefício das soluções construtivas propostas, apresentam-se nas Tabelas 50 e 51 os dados relativos ao período de retorno (em anos) do investimento após as obras de reabilitação. Estes dados, como já referido, foram calculados através da ferramenta *online* OPTITERM-LFC, da FEUP com base em custos de construção em Portugal segundo o gerador de preços *online* da CYPE, referentes a obras de reabilitação no Porto. Nestes cálculos consideraram-se: Custo Atual Energia [0,22€/kWh]; Taxa Capitalização [3%] e Variação da energia [4%]. Nas Figuras 94 a 102 do Anexo 4, apresentam-se informações mais detalhadas para cada solução.

Refere-se ainda que os valores apresentados são relativos à comparação da fração em estado original (F2) com as soluções propostas, incluindo a solução de referência.

Para melhor compreensão, organizaram-se os dados nas tabelas separando-os em dois grupos de soluções:

1. O primeiro grupo corresponde às soluções de aplicação do isolamento térmico pelo interior (Parede leve);

2. O segundo grupo diz respeito às soluções de aplicação do isolamento térmico pelo exterior (Sistema ETICS). Os cálculos foram efetuados em 09-07-2014.

Tabela 50 – Avaliação energética e económica em termos de poupança energética

Solução	Nível de Qualid.	U [w/m² °C]	Custo Const [€/m²]	Área intervenção [m²]	Consumo Energia [kWh]	Diferenc. Energia [kWh]	Poupança Anual [€]	Custo do Investim. [€]
Sol Original	N0	1,073			1758			
Sol Ref (Leve XPS 3)	N1	0,558	58,57 €	42,4	914	844	185,68 €	2 483,50 €
Sol 1 (Leve XPS 5)	N2	0,429	61,20 €	42,4	703	1055	232,10 €	2 594,80 €
Sol 2 (Leve MW 5)	N2	0,448	58,21 €	42,4	734	1024	225,28 €	2 467,92 €
Sol 5 (Leve XPS 8)	N3	0,318	65,14 €	42,4	521	1237	272,14 €	2 761,75 €
Sol 6 (Leve MW 8)	N3	0,335	61,02 €	42,4	549	1209	265,98 €	2 587,24 €
Sol Original	N0	1,073			4561			
Sol 3 (ETICS EPS 5)	N1	0,457	89,40 €	110	1942	2619	576,18 €	9 834,05 €
Sol 4 (ETCS ICB 6)	N2	0,440	99,44 €	110	1870	2691	592,02 €	10 938,78 €
Sol 7 (ETICS EPS 8)	N3	0,340	91,28 €	110	1445	3116	685,52 €	10 040,96 €
Sol 8 (ETICS ICB 10)	N3	0,316	108,24 €	110	1343	3218	707,96 €	11 906,78 €

Esclarece-se que as áreas de intervenção consideradas para o cálculo são diferentes porque a área da envolvente medida pelo exterior é maior do que a medida pelo interior da fração. O valor da área maior, 110m², diz respeito à área da fachada correspondente à área interior de menor valor, 42,4m².

Tabela 51 - Avaliação energética e económica em termos do retorno de investimento

Solução	Custo do Investimento [€]	Período de retorno [anos]	Benefício económico efetivo [€] 10 anos	Benefício económico efetivo [€] 15 anos	Consumo Energia [kWh/m²]	Total consumo/ Área útil (m²)	Poupança Energia (%)
Sol Original					41,5	3650,64	
Sol Ref (Leve XPS 3)	2 483,50 €	13	-	412,00 €	21,6	1958,88	48,0%
Sol 1 (Leve XPS 5)	2 594,80 €	11	-	1 025,00 €	16,6	1513,68	60,1%
Sol 2 (Leve MW 5)	2 467,92 €	11	-	1 045,00 €	17,3	1513,68	58,2%
Sol 5 (Leve XPS 8)	2 761,75 €	11	-	1 482,00 €	12,3	1068,48	70,4%
Sol 6 (Leve MW 8)	2 587,24 €	10	111,00 €	1 561,00 €	13,0	1157,52	68,7%
Sol Original					41,5	3650,64	
Sol 3 (ETICS EPS 5)	9 834,05 €	17	-	-	17,6	1631,16	57,4%
Sol 4 (ETCS ICB 6)	10 938,78 €	18	-	-	17,0	1540,54	59,0%
Sol 7 (ETICS EPS 8)	10 040,96 €	15	-	650,00 €	13,1	1178,06	68,3%
Sol 8 (ETICS ICB 10)	11 906,78 €	17	-	-	12,2	1087,44	70,5%

Como se referiu no ponto 6.4.6, os custos do investimento apresentados nas tabelas anteriores poderão parecer exagerados em comparação com a prática, mas ressalva-se que os valores obtidos foram calculados de forma proporcional para todas as soluções e de forma o mais isenta possível. Nessa perspetiva a análise técnico-económica dos resultados põe em destaque as valências de cada solução proposta. Em relação à poupança energética, as soluções mais poupadas/eficientes de cada grupo são:

> a Solução 5 para soluções em paredes leves e a Solução 8 para soluções em ETICS, respetivamente.

No entanto, em relação ao retorno de investimento, as soluções mais vantajosas são:

> a Solução 6 para soluções em paredes leves e a Solução 7 para soluções em ETICS, respetivamente.

Tendo em perspetiva um horizonte próximo dos vinte anos para a durabilidade/continuidade do edifício, a solução com o retorno de investimento mais curto é a solução 6 (Leve MW 8cm). De referir, que esta solução, tal como as do primeiro grupo (soluções em paredes leves), têm um período de retorno do investimento menor do que as do segundo grupo (soluções em ETICS). Numa perspetiva unicamente técnica (excluindo a dimensão económica), apresenta-se na Tabela 52, os resultados comparativos entre desempenho energético e desempenho sustentável alcançado por cada solução.

Tabela 52 – Resultados do desempenho energético e desempenho sustentável das soluções

Zona climática (I2)	**"U" dos Edifícios** [W/(m².°C)]						
Elementos Exteriores em Zona Corrente Opaca Vertical	**Estudo de Caso** [U calculado]	**Novos** [U Referência]			**Sujeitos a grandes intervenções** [U Máximo]	**Nota Sust.** [NS]	**Consumo Energia Final** [kWh/m²]
Soluções construtivas	1960-1990	2006	2013	a partir 2016	2006/2015		
(Valores U conforme legislação)		(0,60)	(0,40)	(0,35)	(1,60)		
Sol Original	1,07	n.c	n.c	n.c	✓	n.a	41,5
Sol Ref (Leve XPS 3)	0,56	✓	n.c	n.c	✓	**0,061**	21,6
Sol 1 (Leve XPS 5)	0,43	✓	n.c	n.c	✓	**0,268**	16,6
Sol 2 (Leve MW 5)	0,45	✓	n.c	n.c	✓	**0,202**	17,3
Sol 3 (ETICS EPS 5)	0,46	✓	n.c	n.c	✓	**0,501**	17,6
Sol 4 (ETCS ICB 6)	0,44	✓	n.c	n.c	✓	**0,620**	17,0
Sol 5 (Leve XPS 8)	0,32	✓	✓	✓	✓	**0,466**	12,3
Sol 6 (Leve MW 8)	0,33	✓	✓	✓	✓	**0,378**	13,0
Sol 7 (ETICS EPS 8)	0,34	✓	✓	✓	✓	**0,682**	13,1
Sol 8 (ETICS ICB 10)	0,32	✓	✓	✓	✓	**0,869**	12,2

n.c – não cumpre; n.a – não se aplica;

É de notar na tabela que nem todos os valores de consumo energético acompanham os resultados dados pelo nível de sustentabilidade. Foram considerados os regulamentos vigentes nas diferentes épocas.

Com o objetivo de permitir uma observação comparativa mais direta, na Tabela 53, apresenta-se um *ranking* de todas as soluções construtivas, ordenadas segundo os resultados apurados em três categorias de valores: coeficiente de transmissão térmica (U); custo de construção (CC) e nota sustentável (NS).

Tabela 53 – Soluções ordenadas segundo resultados apurados nas categorias de: U, CC e NS

Ordem	Solução	U [w/m² °C]	Poup. Energia [%]	Solução	Custo Const [€/m²]	Solução	Nota Sust. [NS]
1º	**Sol 8** (ETICS ICB 10)	0,316	70,5%	**Sol 2** (Leve MW 5)	58,21 €	**Sol 8** (ETICS ICB 10)	0,869
2º	**Sol 5** (Leve XPS 8)	0,318	70,4%	**Sol Ref** (Leve XPS 3)	58,57 €	**Sol 7** (ETICS EPS 8)	0,682
3º	**Sol 6** (Leve MW 8)	0,335	68,7%	**Sol 6** (Leve MW 8)	61,02 €	**Sol 4** (ETCS ICB 6)	0,620
4º	**Sol 7** (ETICS EPS 8)	0,34	68,3%	**Sol 1** (Leve XPS 5)	61,20 €	**Sol 3** (ETICS EPS 5)	0,501
5º	**Sol 1** (Leve XPS 5)	0,429	60,1%	**Sol 5** (Leve XPS 8)	65,14 €	**Sol 5** (Leve XPS 8)	0,466
6º	**Sol 4** (ETCS ICB 6)	0,44	59,0%	**Sol 3** (ETICS EPS 5)	89,40 €	**Sol 6** (Leve MW 8)	0,378
7º	**Sol 2** (Leve MW 5)	0,448	58,2%	**Sol 7** (ETICS EPS 8)	91,28 €	**Sol 1** (Leve XPS 5)	0,268
8º	**Sol 3** (ETICS EPS 5)	0,457	57,4%	**Sol 4** (ETCS ICB 6)	99,44 €	**Sol 2** (Leve MW 5)	0,202
9º	**Sol Ref** (Leve XPS 3)	0,558	48,0%	**Sol 8** (ETICS ICB 10)	108,24 €	**Sol Ref** (Leve XPS 3)	0,061
10º	**Sol Original**	1,073	n.a	**Sol Original**	n.a	**Sol Original**	n.a

Da análise desta tabela, os resultados obtidos vêm demonstrar que a solução 8 apresenta-se como a solução recomendável, em termos de poupança de energia e da nota de sustentabilidade, apesar do seu elevado custo de investimento, o que implica um retorno previsto de 17 anos.

Em contra ciclo, a solução de referência só obtém destaque em termos económicos sendo a segunda mais acessível.

Pode-se considerar como opções alternativas a solução 6 e a solução 7, por apresentarem-se nos quatro primeiros lugares da tabela e em duas das colunas. O retorno de investimento também é favorável, sendo dos menores em cada grupo.

Abordando a análise apenas na classe da poupança e dos custos de investimento, a solução 6 poderá apresentar-se como a escolha mais adequada para a realidade económica portuguesa.

7. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1. Conclusões

Durante a elaboração do presente trabalho foi possível aferir aspetos importantes relacionados com o edificado existente em Portugal. Dos aspetos que mais se destacam, os relacionados com a sua ineficiência energética e desconforto interior, em especial nos edifícios construídos na época entre 1960 e 1990, causando prejuízos significativos aos seus ocupantes, ao país e, em geral, ao ambiente do planeta, foram o motivo condutor para a sua investigação.

Neste último capítulo apresenta-se, em síntese, as principais conclusões dos assuntos tratados ao longo deste trabalho.

No capítulo inicial é feita uma abordagem ao dinamismo de décadas consecutivas de construção nova resultado de estratégias políticas e incentivos à compra de casa. O surto construtivo atingido potenciou a economia nessa época, mas foi maior que o crescimento populacional gerando desequilíbrios. O desequilíbrio entre a oferta e a procura teve como consequência o excesso de casas em relação ao número de famílias disponíveis para habitá-las. A cultura consumista dominante despreza o património existente preferindo o investimento numa casa nova. As mudanças socioeconómicas mais recentes vêm mostrar que, em Portugal, o desinvestimento no edificado existente e a falta de uma cultura de conservação e manutenção, deixaram uma pesada herança patrimonial, com custos para todos.

No segundo capítulo procura-se conhecer a evolução do desenvolvimento sustentável desde os anos 70 até à atualidade e o aparecimento de várias correntes ideológicas ligadas à defesa do ambiente. Destaca-se o excesso de consumo humano e as consequências diretas sobre os recursos naturais com a perda de biodiversidade e alterações climáticas provocadas por este comportamento.

Da expressividade estética e tecnológica da arquitetura *high-tech* dos anos 70 recorre-se mais tarde ao passado vernacular da arquitetura *low-tech.* A produção arquitetónica evolui em múltiplas abordagens, com os *ecocentristas*, os *tecnocentristas* e os *ambientalistas moderados*. Depois duma *arquitetura verde* o espaço dos arquitetos pode abrir-se a um novo desígnio através do desenvolvimento sustentável. Mais durável, a nova arquitetura será mais sustentável (Celinski, 2008).

Eloy, Plácido, Duarte e Nunes, (2010), defendem a integração das tecnologias de informação, comunicação e automatização (TICA) como forma de resposta aos novos hábitos de conforto e comodidade dos lares portugueses num futuro próximo. No entanto, a introdução das TICA nos edifícios ainda representa custos elevados para além de outros inconvenientes. Por exemplo, no caso da

reabilitação de um edifício, pode obrigar a diferentes tipos de adaptações que podem por em causa as reais vantagens. A forte dependência do uso de energia elétrica pode por em causa o seu funcionamento e utilidade. Terão que existir mais estudos nesta área para se compreender melhor o seu potencial.

Segundo Heinberg (2011), a conservação de energia implica constrangimentos nos consumos e mudanças na economia que urgem por em marcha. As atividades humanas têm que diminuir o seu impacte sobre o ambiente. O esforço da promoção da eficiência energética nos edifícios é essencial para se aumentar a eficiência global. A reabilitação deverá ser vista como uma oportunidade nomeadamente se seguir o modelo da construção sustentável.

A reabilitação térmica dos edifícios existentes poderá ter um peso considerável na redução do impacte gerado na fase de utilização com efeitos imediatos. A implementação de soluções de reforço térmico na envolvente externa dos edifícios deverá funcionar como a primeira medida de conservação de energia. Conforme Almeida (2012) a reabilitação energética melhora a qualidade térmica ao mesmo tempo que se economiza energia.

No terceiro capítulo reconhece-se a necessária revitalização que o setor da construção terá que fazer. A aposta deverá ser focada em recursos humanos mais qualificados, na reabilitação urbana e edificativa, no desenvolvimento sustentável e na inovação tecnológica. O conceito de "Regeneração Urbana Sustentável" poderá mostrar-se como "produto" de valor acrescentado no mercado da construção. Através da adoção de metodologias sustentáveis pode-se aproveitar os recursos disponíveis sem penalizar o ambiente. Para além disso, consegue-se melhorar o conforto térmico passivo evitando o recurso a meios mecânicos que causam os impactes ambientais conhecidos.

Neste capítulo, distingue-se o processo de reabilitação tradicional do processo de reabilitação sustentável. É aqui que se definem os critérios essenciais com vista a uma reabilitação sustentável e se estabelecem as principais medidas de eficiência para os edifícios existentes.

No desenvolvimento do quarto capítulo descobre-se o *prédio de rendimento* do Porto, a sua representatividade económica e expressividade cultural trazida à sociedade da altura. Como refere Barata Fernandes (1999), "a casa em profundidade e de frente estreita", solucionou problemas habitacionais de setecentos e oitocentos, tendo evoluído no século XX para a formação da habitação plurifamiliar. É esta adaptação de uma casa burguesa unifamiliar para uma habitação operária plurifamiliar que transforma a cidade e origina o modelo do *prédio de rendimento* que proliferou entre os anos 60 e 90.

Nesse capítulo, percebe-se que a trajetória populacional, em Portugal, desde 1960 até à atualidade, foi feita de alterações bastante significativas no âmbito económico, social e político. Contudo, segundo

referem Rosa e Chitas (2010), o número da população residente desde essa data até hoje pouco variou: 8,9 milhões (1960) para 10,5 milhões (2011). É entre os anos 60 e 70 que se dá uma significativa redução da população: cerca de 400 mil residentes. O saldo negativo deste período justifica-se pelo pico de emigração de portugueses que ultrapassa o de imigração de estrangeiros. Porém, a seguir a 1974 e até ao início dos anos 80, o país recupera população sendo que só entre 74 e 76 aumenta em cerca de 600 mil indivíduos.

No que diz respeito ao edificado, segundo os últimos censos em 2011, cerca de 70% dos edifícios existentes foi construído antes do primeiro regulamento térmico de 1990. Sendo que a década de 70 foi o período de maior crescimento imobiliário. No período compreendido entre 1960 e 1990 existem cerca de 45% de edifícios do total nacional. A Região Norte destaca-se com 34,1 %, dos quais cerca de 35% de edifícios foram construídos entre 1970 e 1990. A Região Norte tem a maior percentagem de alojamentos, cerca de 32% do total do país. É igualmente a região mais populosa do país (35%), e o Grande Porto tem uma representatividade significativa nesta região em relação ao edificado e à população. Também se constatou que o maior número de alojamentos ocupados, cerca de 41%, é em edifícios construídos entre 1970 e 1990.

Na cidade do Porto, a década de 60, é a que apresenta o maior número de alojamentos ocupados seguindo-se a década de 70, representando em conjunto 35,1% dos alojamentos com 31,9% de residentes do total da cidade.

Segundo ADENE em 2012, cerca de 63% dos fogos certificados apresentam potencial de reabilitação energética, sendo que o nível mais elevado de ineficiência energética acontece nas construções dos anos 70 (mais de 85% dos fogos foram classificados com a letra C ou inferior).

Segundo INE em 2011, em cerca 4 milhões de alojamentos, cerca de 86% tinha aquecimento disponível. Destes, 53,4% utilizavam a eletricidade como principal fonte de energia para aquecimento ambiente, sendo que 41% dos alojamentos possuíam aparelhos móveis. A Região Norte volta a destacar-se com cerca de 29,2% de alojamentos com aquecimento.

Segundo os dados apurados pelos censos de 2011, de um total aproximado de 5,8 milhões de alojamentos, existem cerca de 2,6 milhões (45,1%) que pertencem à época entre 1960 e 1990. Destes, cerca de 2,4 milhões (40,7%) estão ocupados pelas famílias portuguesas. Tendo como referência o total de perdas térmicas estimada pela fração em estudo (F2) sem qualquer intervenção de reforço térmico, 20.086,17 kWh/ano, facilmente se depreende a ordem de grandeza que se pode gastar nos lares nacionais. Mesmo que se calcule o valor das perdas considerando apenas a utilização mais comum do

aquecimento (cerca de 3h/dia) nos lares portugueses, o total gasto poderá aproximar-se de 6.025.852.039,91 kWh/ano, representando um custo de energia aproximado de 1.325.687.448,78 €/ano, somente para um universo de 40,7% dos alojamentos ocupados no país, entre os anos 60 e 90.

O somatório dos consumos energéticos daí resultantes são reveladores da importância que o ambiente construído tem na fatura energética do país. O fraco desempenho energético atribuído aos edifícios dos anos 70, a par do seu expressivo número no parque edificado do país, consubstanciam a ideia de que se deve ter em atenção a sua reabilitação energética no curto prazo, se se pretender atingir as metas para 2020.

No quinto capítulo, apresenta-se o estudo de caso justificando a sua pertinência na análise comparativa de um caso real. Na avaliação e diagnóstico efetuados ao objeto de estudo, foram recolhidos vários dados importantes com vista a quantificar o seu desempenho energético e patamar de conforto existente. Do levantamento da situação existente, foram realizadas campanhas de medição ao espaço físico de duas habitações e inquéritos aos seus utilizadores. Os resultados obtidos serviram para apoiar o desenvolvimento da fase seguinte desta investigação: a reabilitação energética dos edifícios dos anos 70.

No último capítulo avalia-se um conjunto de soluções construtivas de baixa tecnologia, dando cumprimento aos objetivos traçados no início do trabalho: aumentar o conforto e a eficiência energética, reduzir custos empregando baixa tecnologia, sem um grande investimento na construção. As soluções deveriam ainda ser avaliadas do ponto de vista do desenvolvimento sustentável.

Às oito soluções propostas foram aplicadas diferentes metodologias de análise tendo em conta a o coeficiente de transmissão térmica, a quantificação dos impactes ambientais dos materiais empregues e a respetiva hierarquização do nível sustentável para cada solução. No final, analisaram-se as soluções numa perspetiva técnico-económica, apresentando-se os resultados em termos do desempenho energético, do desempenho sustentável e do retorno do investimento.

No caso nacional, a recuperação económica do país necessita que se aposte na reabilitação do património existente, mas essa aposta não deverá somente recair sobre o património excecional classificado apesar de se reconhecer a sua importância cultural. Pelas razões que se apontaram ao longo do trabalho, o património edificado corrente (habitacional não classificado) será aquele que fará sentido reabilitar prioritariamente. Trata-se, assim, da necessidade de melhorar a eficiência energética dos edifícios habitacionais através da implementação de soluções sustentáveis porque está em causa a ineficiência de um país.

O caso particular estudado é apenas um exemplo do que pode ser feito para corrigir o desperdício energético dos lares nacionais com melhoria do conforto interior a um custo acessível, empregando baixas tecnologias construtivas e de uso corrente.

Com a intervenção anteriormente efetuada na fração estudada, F1, comprova-se que essa medida implementada foi acertada, com efeitos positivos no conforto dos seus ocupantes conforme revelam os números apresentados na fase de diagnóstico, com cerca de 48% de poupança energética em relação à fração original, F2 (sem contar com a poupança gerada pela colocação de caixilharia dupla com vidro duplo, a substituição das grelhas de ventilação, entre outros aspetos não considerados neste estudo).

No entanto, apesar de ter sido uma medida adequada no tempo em que foi aplicada, para as atuais exigências de eficiência já não é suficiente, pois não cumpre a legislação em vigor.

Concluindo,

A realização deste trabalho permite afirmar que a melhoria do conforto interior e do desempenho energético de um edifício existente, empregando baixas tecnologias com um investimento acessível, é possível. Contudo, só algumas das soluções propostas conseguem aproximar-se dos padrões de desempenho energético a exigir no futuro próximo, conforme previsto a partir de 2016 na legislação atual. Sobre este aspeto, neste momento, ainda não se conhecem em concreto as exigências para 2020 nomeadamente, valores de coeficientes de transmissão térmica, taxas de renovação de ar, entre outros, que suportarão as intervenções em edifícios para se poder atingir os "edifícios com necessidades quase nulas de energia", conforme disposto no Artigo 9º, da Diretiva Europeia n.º 2010/31/EU.

Tratando-se de um estudo parcelar que incide apenas sobre um dos componentes da construção (envolvente externa opaca vertical) não foi possível verificar a sua viabilidade total. Para isso, seria necessário incluir na análise a envolvente externa transparente vertical e a utilização de energias renováveis. Porém, neste contexto, é prematuro tirar outras conclusões.

Em comparação com a solução original, todas as soluções em estudo, apresentam uma poupança de energia muito significativa, entre os 48,0% (Sol Ref) e os 70,5% (Sol 8). Das propostas apresentadas, a solução 8 (ETICS com ICB 8cm), é a solução que obteve a melhor nota sustentável (NS = 0,869) e o melhor desempenho energético. No entanto, o retorno do investimento é feito num espaço temporal alargado, 17 anos (até 2031), comprometendo a sua escolha. A solução 5 (Leve XPS 8cm) veio a revelar-se como sendo a solução mais equilibrada nos vários pontos de vista, com destaque para o desempenho energético e ficando a meio da classificação em termos de custos e nota sustentável. A solução 6 (Leve

MW 8cm) acaba por ser a escolha mais recomendável tendo em conta a realidade socioeconómica portuguesa recente.

Sobre a questão *low-tech* associada à eficiência energética, cabe defender que os sistemas de controlo térmico passivo, como por exemplo, o reforço térmico aplicado ao estudo de caso (colocação de isolamento térmico pelo interior e de caixilho duplo com vidro duplo), permitem reduzir consumos e satisfazer as necessidades de conforto, pelo menos, em níveis satisfatórios mínimos. Esta satisfação no conforto é feita de uma forma gradual, aproveitando a desempenho passivo do edifício e dispensando os sistemas de funcionamento complexo, como por exemplo, os usados pela tecnologia *hi-tech* e equipamento de climatização. O controlo térmico passivo é uma das primeiras formas de poupar energia com sustentabilidade.

Relativamente ao conceito *low-cost* aplicado ao setor da construção, deve resultar da eliminação do supérfluo e, com isso, conseguir-se diminuir custos. Contudo, entende-se que a redução de custos só faz sentido se também incluir a redução dos custos ambientais. Neste caso, pretendeu-se maximizar uma construção, minimizando os seus custos ao longo do restante ciclo de vida do edifício (Mendonça, 2014). Numa obra de reabilitação, é igualmente importante considerar na equação os custos de manutenção tendo em conta a durabilidade do edifício. Nos casos estudados foram considerados 20 anos de manutenção.

Como se tem afirmado, nas questões da eficiência energética a forma de atenuar a dependência da importação de recursos energéticos (combustíveis fósseis), diminuir os consumos e, com isso, reduzir as emissões de carbono, é necessário e urgente melhorar os edifícios existentes, assegurando o cumprimento de requisitos mínimos de eficiência através da Certificação Energética e da consciencialização de todo o setor.

Atualmente, nas construções urbanas, a seleção de materiais naturais provenientes de fontes locais já não se aplica totalmente, pelo que a sua escolha está associada indubitavelmente a alternativas de proveniência mais dispersa, mas reutilizando resíduos ou utilizando produtos reciclados mais próximos dos locais da obra. Esta maneira de reduzir custos inerentes à deslocação ou transporte de materiais e do aproveitamento de outros permite diminuir o impacte ambiental e baixar o investimento nas obras.

O renovado interesse por parte dos arquitetos pelas soluções vernaculares com a melhor adequação de materiais e tecnologias construtivas ao clima e contexto local são o exemplo de uma resposta eco eficiente conforme refere Mendonça (2014).

O reconhecimento do papel dos arquitetos na mitigação da eficiência energética do edificado assume cada vez maior importância. A sua responsabilidade, mesmo nas fases anteriores ao projeto de arquitetura de um edifício propriamente dito, como por exemplo na "definição do desenho urbano e nas implicações que o mesmo tem na insolação e ventilação natural dos edifícios" (OA-SRN, 2013), é reveladora da importância do seu contributo (especialmente quando essa responsabilidade não é tida em conta ou é posta em causa por outros intervenientes).

Contudo, a intervenção do arquiteto não deverá ser tratada isoladamente porque complementarmente a ela existem outras especialidades, que darão igualmente o seu contributo para ajudar a mitigar os problemas da ineficiência e do impacte causado pelos edifícios. E não só nos casos das construções novas ou edifícios construídos de raiz. A importância das equipas multidisciplinares, não só fazem sentido, como são fundamentais para a tomada de decisões verdadeiramente fundamentadas.

No caso dos edifícios existentes, a reabilitar, a intervenção do arquiteto deve ser sensível ao impacto ambiental que causa uma construção e não deve excluir-se da responsabilidade de mover todos os esforços possíveis para minimizar os seus efeitos e promover os princípios da sustentabilidade entre promotores, executantes e utilizadores finais.

Entende-se que esse papel é fundamental no cumprimento das metas europeias para 2020 mas também no caminho para uma sociedade mais evoluída, civilizada e consciente da valorização que o desenvolvimento sustentável traz à vida na terra.

Num futuro próximo, para o cumprimento de tais metas, será necessário maiores investimentos para reabilitar/requalificar o edificado envelhecido existente de forma mais equilibrada e justa com a casa de todos, a Terra.

Daquilo que se pôde observar com o desenvolvimento deste trabalho há algumas constatações a retirar.

I. Grande parte do trabalho de investigação na área da reabilitação sustentável ainda está por fazer sendo necessário aumentar o interesse especialmente na área dos edifícios correntes existentes.
II. Os vários setores da sociedade ainda não apostam totalmente na área da reabilitação, adiando o investimento necessário para um futuro incerto e desconhecido.
III. As soluções estudadas, desenvolvidas e comercializadas pelos diversos decisores ligados à indústria da construção ainda assentam, quase exclusivamente, na premissa do construir de novo. São ainda pouco expressivas as soluções novas que se possam aplicar à reabilitação.
IV. Na diversa pesquisa consultada, dos exemplos encontrados noutras regiões do planeta (África, Colômbia ou Brasil), especialmente com poucos recursos socioeconómicos, onde estão em

causa as condições mínimas de sobrevivência, a construção de casas/abrigos tem testado algumas soluções construtivas exemplares mas com pouca aplicabilidade ao universo da reabilitação de edifícios nos países mais desenvolvidos, como Portugal. As razões prendem-se por aspetos específicos dessas próprias realidades nomeadamente, culturais, sociais, económicas, climatéricas, entre outras, significativamente diferentes da realidade nacional.

V. A ajuda tecnológica é necessária e até desejável mas cria uma dependência excessiva da utilização de energia que importa por em causa. Esta perceção que se procurou transmitir, no presente trabalho, não é alheia ao contexto económico em que se vive e pretende constituir um alerta ao aumento do interesse na investigação que é necessário fazer nas áreas das tecnologias/TICA.

VI. É necessário apostar em soluções mais "amigas" do ambiente, sem grande arrojo tecnológico e de custos acessíveis. Provavelmente o desenvolvimento de materiais e produtos isolantes com base em resíduos e fibras naturais poderá ser entendido como escolha vantajosa num futuro próximo.

VII. Uma das maiores dificuldades sentidas na realização deste trabalho foi a campanha de medições efetuada, principalmente através de instrumentos de medição que requerem o manuseamento presencial *in loco*. Este facto é verdadeiramente condicionador (e até constrangedor), sobretudo quando se tratam de campanhas em locais frequentemente utilizados pelas pessoas como são as suas casas. Por isso, o uso de equipamentos de medição que permitam a pré programação das medições em modo automático e contínuo, fazendo os registos em intervalos de tempo pré selecionados, parece justificar-se plenamente. Julga-se que seria muito importante a aposta/investimento em meios auxiliares de diagnóstico que não necessitem do manuseamento presencial, como por exemplo, os *data loggers* usados neste trabalho para as medições de temperatura e humidade relativa.

VIII. Concluindo, em termos gerais, na sociedade portuguesa existe uma certa resistência à mudança que não é benéfica nem saudável ao desenvolvimento sustentável do país. Pondo de fora a apregoada moda "verde", a aposta na sustentabilidade do setor da construção parece fazer cada vez mais sentido nas suas diferentes vertentes. Provavelmente, é a estratégia de comunicação à sociedade que necessita de ser revista e melhorada para surtir o efeito prático desejável. Nesse aspeto, a aposta na área da educação começando pelos mais novos constitui uma mais-valia no médio e longo prazo. Mas esta estratégia também deve ser reforçada àqueles que ainda não estão familiarizados ou são mais renitentes com o desenvolvimento sustentável.

7.2. Implementação de medidas de eficiência em casos semelhantes

Como se sabe, a eficiência energética depende das características do edifício, dos equipamentos de climatização (entre outros), mas também dos utilizadores. Este aspeto dos utilizadores é decisivo na influência dos padrões de consumo e na avaliação da eficiência tendo em conta a otimização das soluções.

A implementação de soluções construtivas *low-tech* e *low-cost* ao estudo de caso foi assente nos pressupostos da construção sustentável e no seguimento da escolha dos critérios essenciais referidos no ponto 3.2. No sentido de se contribuir para uma opinião mais clarificada sobre a implementação de medidas de eficiência energética a outros casos similares ao estudado, pretendeu-se descrever uma série de argumentos baseados na escolha dos critérios essenciais referidos.

A ideia geral passa por arranjar soluções sustentáveis passivas que possam contribuir para se obter o máximo de conforto e eficiência com o mínimo de investimento.

Tratando-se de um assunto abrangente e de difícil concretização porque depende de inúmeros aspetos que só poderão ser avaliados caso a caso, procurou-se reduzi-lo à expressão mais objetiva que é permitida neste momento. Seguidamente enumeram-se aquelas medidas que podem apoiar a decisão.

I. Reabilitar termicamente a envolvente: através do reforço da proteção das partes opacas, dos vãos envidraçados e, sendo possível, recorrendo ao uso de tecnologias solares passivas (e.g.: parede de Trombe; estufa habitável; difusor de luz solar).

Medida 1: A colocação (ou o aumento) do isolamento térmico na envolvente opaca em paredes, pavimentos e coberturas, propicia a redução do consumo de energia em aquecimento em cerca de 30% e ajuda a controlar o aparecimento de humidades no interior, corrigindo ou evitando as pontes térmicas e condensações. No estudo de caso apresentado, a solução que se percebe mais vantajosa na relação custo-benefício é a aplicação de ETICS com EPS (Solução 7).

Medida 2: O acrescento de nova caixilharia ou substituição da existente por outra mais eficiente, preferencialmente com corte térmico e vidros duplos de baixa emissividade, acrescentarão benefícios de poupança de energia e contribuirão para a melhoria do conforto interior (térmico e acústico). Na F1, foi aplicado um caixilho simples em alumínio com vidro duplo à face exterior da envolvente. Como se pode verificar nos testes realizados, a sua colocação teve influência nos resultados respeitantes às taxas de infiltrações de ar e redução sonora

sem mencionar o acréscimo de conforto testemunhado pelos ocupantes. Além disso, o autor teve conhecimento que o retorno do investimento efetuado com este caixilho foi estimado em cerca de 11 anos (Cálculos efetuados através do OPTITERM).

II. Reabilitar energicamente equipamentos e instalações: através da renovação/substituição de equipamentos (termoacumuladores, caldeiras, aparelhos de aquecimento/arrefecimento e lâmpadas) e instalações (dispositivos de rede e de iluminação artificial);

Medida 1: Substituir equipamento de aquecimento de AQS elétrico por um equipamento a gás natural, mais eficiente (Classe A+ ou superior).

Medida 2: Substituir as lâmpadas incandescentes por lâmpadas economizadoras ou LED. A substituição de lâmpadas pode significar uma poupança anual equivalente ao custo do investimento.

Medida 3: Verificar se as necessidades de potência da iluminação lumens/m^2 são as adequadas às necessidades de utilização. Por vezes a potência da iluminação é exagerada em relação às verdadeiras necessidades de iluminação provocando desperdícios de energia.

Medida 4: Colocar sensores de ocupação nos espaços comuns do edifício (no interior ou no exterior) para rentabilizar a utilização dos espaços com necessidade de iluminação. Os sensores permitem uma utilização mais eficiente da energia para iluminação dos espaços com ocupação intermitente contribuindo para a diminuição de desperdício de eletricidade e redução de consumos.

Para a melhor concretização das medidas, julga-se que se os utilizadores estiverem devidamente consciencializados da importância da mudança de alguns hábitos comportamentais isso ajudará a uma mudança dos padrões de consumo e a diminuir o peso da pegada carbónica de cada um.

7.3. Desenvolvimentos Futuros

O presente trabalho pretendeu contribuir para a consciencialização da questão da eficiência energética dos edifícios existentes, particularmente para os construídos no período próximo dos anos 70, que como se procurou demonstrar são dos mais ineficientes térmica e energeticamente. É certo que sendo um assunto tão vasto, não se extingue com o que foi desenvolvido.

Com base nas conclusões deste trabalho, considera-se importante o desenvolvimento de um estudo que complemente algumas das soluções propostas com outras componentes da construção, como por exemplo, incluindo caixilharia e introdução de energias renováveis.

Outro desenvolvimento a considerar, seria a realização de um estudo comparativo entre as melhores soluções analisadas e soluções mais recentes e sofisticadas tecnologicamente (e.g. argamassas aditivadas com materiais com mudança de fase (PCM) ou cortiça, entre outros).

Considerando os aspetos muito condicionadores que, em particular, estes edifícios têm quando se pretende reabilitá-los, é importante desenvolver ferramentas de apoio à decisão que facilitem as fases de levantamento, avaliação e diagnóstico e até possam elucidar o utilizador final, na perspetiva do desenvolvimento sustentável e eficiência energética.

Por isso, vê-se como sendo de muita utilidade a criação de *checklists*; guias de utilização e manutenção sustentáveis; bases de dados nacionais interativas com exemplos de boas práticas sustentáveis; e o desenvolvimento de materiais sustentáveis e produtos compostos acabados para isolamento térmico à base de resíduos e fibras naturais para serem aplicados diretamente no interior dos edifícios e permitindo a autoconstrução.

Em relação a produtos de aplicação no exterior, o desenvolvimento de sistemas de membrana multicamada sustentável para fachadas, integrando a camada isolante, pode revelar-se uma aplicação de futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENE (2012a). *A importância da legislação na eficiência energética dos Edifícios*. Apresentação de conferência APCMC. Lisboa, 8 de maio de 2012.

ADENE (2012b). *Guia para a Eficiência Energética*. 4ª Ed. Adene, Julho, 2012. ISBN 978-972-8646-21-9

Aguiar, J., Cabrita, A.M. Reis; Appleton, João (1997), *Guião de Apoio à Reabilitação de Edifícios Habitacionais*. Vol. I e II. Direcção-Geral de Ordenamento do Território e LNEC, Lisboa, 1997. ISBN 972-49-1726-6

Almeida, M. (2012). *Reabilitação Energética de Edifícios*. Apresentação de aula no Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis (MCRS 2011/2012). Departamento Engenharia Civil. Universidade do Minho. Guimarães. (pp. 1-123)

Andrade, J., Bragança, L., Oliveira, A. (2010). *A Sustentabilidade do edifício solar XXI*. Atas da Conferência Internacional "Cincos'10: Congresso de Inovação na Construção Sustentável". Cúria, Portugal: novembro, ISBN 978-989-95978-1-5. pp. 803-814

Bachelard, G. (1996). *A poética do espaço*. 2° Ed. São Paulo: Livraria Martins Fontes Editora Lda., 1996. ISBN 85-336-0234-0

Baptista, L. Santiago, (2010). *Arqa 78|79 – Práticas Sustentáveis*. Ed. Futurmagazine, Lisboa, Março e Abril 2010. ISSN: 1647-077X

Barata Fernandes, F. (1999), *Transformação e Permanência na Habitação Portuense: As formas da casa na forma da cidade*. 2ª Ed. Porto: Faup publicações, 1999. ISBN: 972 9483 37 X

Bragança, L., Mateus, R. (2006). *Sustentabilidade de Soluções Construtivas*. Atas das comunicações do 2° Congresso Nacional Sobre Construção Sustentável, 18 pp., 27-28, Exponor, Porto, outubro, 2006.

Bragança, L., Mateus, R. (2011). *Avaliação do Ciclo de Vida dos Edifícios - Impacte Ambiental de Soluções Construtivas*. ISBN 978-989-96543-3-4, pp. 5-7 e 29-36

Celinski, C. (2008). *Casa Ecológica: Evolução do Espaço Habitacional Sustentável*. Relatório de Iniciação Científica e Integração Académica. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Brasil

Censos (2012). *Censos 2011 Resultados Definitivos – Portugal*.

CMP, (2013a). Fonte: Imagem parcelar da folha 4 do processo n° 760/63, C. M. P.

CMP, (2013b). Fonte: Imagem parcelar da folha 16 do processo nº 760/63, C. M. P.

Costa, J., (2001). *Porto 1901-2001, Guia de arquitectura moderna: Bairros do Estado Novo 1933|1958, Ficha 14*. Livraria Civilização Editora e Ordem dos Arquitectos (SRN). ISBN:972-26-2061-4.

Couto, A., Couto, J., Teixeira, J. (2006). *Desconstrução – uma ferramenta para a sustentabilidade da construção*. NUTAU`2006, Inovações Tecnológicas – Sustentabilidade, VI Seminário Brasileiro da gestão do processo de projecto na construção de edifícios, Faculdade de Arquitectura e Urbanismo, Universidade de S. Paulo, 9p., Outubro 9-13, São Paulo, Brasil.

Gonçalves, Hélder; Graça, João Mariz (2004). *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. Edição DGGE/IP-3E. Lisboa, Novembro 2004. Disponível em [http://www.lneg.pt/download/4117/Conceitos%20Bioclim%C3%A1ticos.pdf]. ISBN 972-8268-34-3.

Dinis, Rita (2010). *Contributos para a Reabilitação Sustentável de Edifícios de Habitação*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil de Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.

DGEG (2014). Consulta atualizada a 23-10-2014 em [http://www.dgeg.pt/wwwbase/raiz/mlkImprimir.aspx?codigoms=0].

Edwards, B. (2009). *Guia básica de la sostenibilidad*. (2ª ed.) Editorial Gustavo Gili, SL, Barcelona. ISBN: 978-84-252-2208-5

EEE (2007). *Eficiência Energética em Edifícios: Realidades empresariais e oportunidades*. Relatório Síntese, pág. 11. Disponível em [http://www.wbcsd.org/home.aspx] e [www.bcsdportugal.org]

Eloy, S. (2006). *Integração de TIC no Parque Habitacional Existente*. Artigo no Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção QIC 2006. Lisboa: LNEC, 2006. Vl. 2, pp. 757 a 768.

Eloy, S., Plácido, I., Duarte, J., Nunes, R. (2010). *Utilização de domótica na estratégia de sustentabilidade social e ambiental*. Proceedings of the 1º Congresso Internacional de Habitação no Espaço Lusófuno (CD), ISCTE – IUL, September 22-24 2010.

EPEE (2008). *Fuel poverty in Europe: the need for urgent action!* European Conference - 8 October 2009 – Paris. Disponível a 19-08-2013 em [http://www.fuel-poverty.org/]

Europa 2020 (2012). *Estratégia Europa 2020*. Comissão Europeia. Disponível a 20/06/2012 em [http://ec.europa.eu/cgi-bin/etal.pl]

Eurostat (2011). *Energy, transport and environment indicators.* European Comission, Pocketbooks 2011 edition, ISBN 978-92-79-21384-7, ISSN 1725-4566, pp. 24.

Faria, P. (2010). *Construção Sustentável. Contributo para o processo de construção na alteração de uso nos edifícios*. Dissertação de mestrado apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Filipe Jorge, (2000). *O Porto Visto do Céu.* Argumentum 2000. Disponível a 07-05-2013 em [http://doportoenaoso.blogspot.pt/2011/04/os-planos-para-o-porto-dos-almadas-aos.html]

Ferreira, M. (2009). *A eficiência energética na reabilitação de edifícios*. Dissertação Mestrado em Engenharia do Ambiente, perfil Gestão e Sistemas Ambientais. Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa

Ferreira, B. (2010). *Construção de Edifícios Sustentáveis: Contribuição para a definição de um Processo Operativo*, Dissertação Mestrado em Reabilitação de edifícios, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Fraga, S., Ramos, E., Martins, A., Samúdio, M., Silva, G., Guedes, J., Fernandes, E., Barros, H., (2008). *Qualidade do ar interior e sintomas respiratórios em escolas do Porto*. Vol. XIV N.º 4 da Revista Portuguesa de Pneumologia, Julho/Agosto 2008.

Freitas, V. (2007). *Satisfação das Exigências de Conforto na Reabilitação de Edifícios Antigos*: Univer(sc)idade: desafios e propostas de uma candidatura a património da humanidade 29 e 30 de Novembro de 2007, Coimbra. Apresentação no encontro organizado pelo Gabinete de Candidatura à UNESCO - Universidade de Coimbra, Câmara Municipal de Coimbra e ICOMOS-Portugal

Freitas, V., Guimarães, A., Ferreira, C., Alves, S. (2011). *Edifícios Existentes - Medidas de Melhoria de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior*. Edição ADENE – Agência para a Energia, Algés, Março de 2011. ISBN: 978-972-8646-16-5

Garrido, J. (2008). *Sistemas Energéticos para o Setor Edifícios em Portugal: Sustentabilidade e Potencial de Inovação*. Dissertação Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa.

Gonçalves, J. (2001). *Porto 1901-2001, Guia de arquitectura moderna: prédios de Rendimento 1945|1968, Ficha 15*. Livraria Civilização Editora e Ordem dos Arquitectos (SRN). ISBN:972-26-2061-4.

Gonçalves, H., Graça, J. (2004). *Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal*. Edição

Green Vitruvius, (2001) *Princípios e Práticas de Projeto para uma Arquitetura Sustentável*. University College Dublin, o Concelho de Arquitetos da Europa, Softech e a Associação Finlandesa de Arquitetos, 1999. (Tradução publicada em 2001 pela Odem dos Arquitetos).

Guedes, Miguel P. (2009). *Arquitectura e Sustentabilidade*. Disponível a 09/05/2013 em [http://www.arquitecturaesustentabilidade.com/historia.php].

Haneman, M. & Oliveira, J. (2013). *Cooperação em Rede e o Mercado da Reabilitação - Perspetivas, desafios e oportunidades*. Edição InovaDomus – Associação para o Desenvolvimento da Casa do Futuro, Ílhavo, Aveiro, junho de 2013.

Heinberg, R. (2011). *Conservation: There Is No Alternative*. Disponível a 22/05/2012 em [http://www.postcarbon.org/article/415728-conservation-there-is-no-alternative]

IEA (2012). *EBC Annual Report 2012: Cost Effective Energy & Carbon Dioxide Emissions Optimization in Building Renovation - Annex 56*. Energy in Buildings and Communities Programme, published by AECOM Ltd, United Kingdon.

INE (2011). *Estatísticas da Construção e Habitação 2010 – Censos 2011*. Instituto Nacional de Estatística.

INE (2012). *Censos 2011 Resultados Definitivos – Portugal*. Edição do Instituto Nacional de Estatística, I. P., Lisboa. ISBN 978-989-25-0181-9

INE (2012a). *Evolução do Parque Habitacional em Portugal 2001 – 2011*. Edição do Instituto Nacional de Estatística, I. P., Lisboa. ISBN 978-989-25-0158-1.

Lopes, T. (2010) *Reabilitação Sustentável de Edifícios de Habitação*. Dissertação Mestrado Engenharia Civil – perfil de Construção. Departamento de Engenharia Civil na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.

Lourenço, P., Oliveira, D. (2004). *Recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico*. Tradução das recomendações definidas pelo Comité Científico Internacional para a Análise e Restauro de Estruturas do Património Arquitectónico (ICOMOS). Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães. http://hdl.handle.net/1822/3172

Lourenço, P. (2012). *Cobertura com telha cerâmica, uma solução construtiva sustentável*. Livro de Atas do Seminário Coberturas de Madeira 19 abril. Universidade do Minho, Guimarães.

Macedo, A.; Mateus, R.; Silva, S. (2012). *Avaliação da Sustentabilidade de Soluções de Reabilitação Energética para Paredes Exteriores de um Edifício de Habitação*. Artigo apresentado no Seminário Reabilitação Energética de Edifícios, Universidade do Minho, Guimarães.

Magalhães, P. (2009). *Condomínio da Terra: Organizar a Vizinhança Global*. Brochura do 1º Fórum internacional do Condomínio da Terra – Gaia Commitment. Gaia. 4 e 5 de julho de 2009. Disponível a 27.06.2012 [http://condominio.webfactional.com/html/publicacoes/brochuraCondominiodaTerra.pdf] e [www.condominiodaterra.org] a

Mateus, R. (2009). *Avaliação da sustentabilidade da construção: Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios Mais Sustentáveis*. Tese de doutoramento em Engenharia Civil, Processos de Construção, Universidade do Minho, Guimarães, Julho de 2009.

Mateus, R., Bragança, L. (2006). *Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção*. Ed. Ecopy. Ermesinde (Porto). ISBN 978-989-95194-1-1, pp. 197-208

Mendes, J., Salgueiro, A., Cardoso, J., Coelho, R. (2012). *Portugal 2020 e a Integração de Energias Renováveis nos Edifícios*. LNEG III Jornadas do AEAC, Aveiro.

Mendonça (2014). *Inovação e projeto na arquitetura – O ensino e a investigação*. Artigo sobre o tema da Arquitetura e Tecnologia. *Revista Construção Magazine, 61*, maio/junho, p. 30 a 34.

Morbey, R., Mateus, R., Bragança, L. (2012). *Low-tech como alternativa sustentável de reabilitação low-cost*. Artigo apresentado no Workshop Construção e Reabilitação Sustentáveis: Soluções Eficientes para um Mercado em Crise. Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, 21 de setembro de 2012.

Moreira, J. (2013). Rubrica *Opinião*: Eficiência Energética em Edifícios VIII. *Revista O Instalador, nº 210*, *Eficiência energética rumo à sustentabilidade*. Outubro, Lisboa, p.18 e p.19.

OA-SRN (2013). *Objetivos Pedagógicos Específicos*. Disponível a 23 novembro 2013 em [http://www.oasrn.org/formacao.php?inf=tema&id=8&idc=63]

Paiva, J.V., Aguiar, J., Pinho, A. *et al*, (2006). *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*. Vol. I e II. Edição INH e LNEC, Lisboa, 2006. ISBN-13: 978-972-49-2081-8; ISBN-10: 972-49-2081-X

Pereira, C; Azevedo, A. (2010) *Comunicação Low Cost: Desinvestimento ou Fórmula de Sucesso?* Working Paper Nr4/2010, Escola de Economia e Gestão, Universidade do Minho, Guimarães.

Passive-on Project (2007). *A Norma* Passivhaus *em Climas Quentes da Europa: Diretrizes de projeto para casas confortáveis de baixo consumo energético*. Parte 1. Revisão de casas de baixo consumo energético, Julho 2007.

RF, (2011). *O Viaduto Pedro Hispano*: Plano Auzelle documento 7, III Volume (1962). Disponível a 07-05-2013 em [http://doportoenaoso.blogspot.pt/2011/04/os-planos-para-o-porto-dos-almadas-aos.html]

Pina dos Santos, C., Matias, Luís (2007). *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. *ICT Informação Técnica, Edifícios - ITE50*. 7ª Ed. Edições LNEC, Lisboa, ISBN 978-972-49-2065-8.

Pina dos Santos, C. (2011). Rubrica *Térmica*: Edifícios Sustentáveis e de Energia Quase Zero. *Revista Construção Magazine, 44*, julho/agosto, p.48.

Pina dos Santos, C. (2012). *Reabilitação de edifícios para promoção do conforto e da eficiência energética*. Apresentação na Net Zero-Energy Buildings Conference, no LNEC, 25 e 26 de Junho, Lisboa.

Pina dos Santos, C. (2013). Rubrica *Térmica*: Outras facetas da reabilitação térmica e Energética dos edifícios residenciais. *Revista Construção Magazine, 54*, março/abril, p.44 e 45.

Ramos, A.F., Silva, J.A.R.M. (2010). *Sustainable Heritage: Analysis of Building's Thermal Behaviour*. XXXVII IAHS World Congress on Housing October 26 – 29, 2010, Santander, Spain.

REA (2011). *Relatório do Estado do Ambiente em 2011*. Edição da Agência Portuguesa do Ambiente. ISBN: 978-972-8577-59-9

Rosa, M.J. V., Chitas, P. (2010). *Portugal: os Números*. Ensaios da Fundação Francisco Manuel dos Santos e Relógio D'Água Editores. Lisboa, Junho 2010. ISBN 978-989-8424-04-4.

Sousa, J., Silva, S., Almeida, M. (2012). *Enquadramento Energético do Sector Residencial Português*. Artigo apresentado no Seminário Reabilitação Energética de Edifícios, Universidade do Minho, Guimarães, 28 de setembro de 2012.

Torgal, F., Jalali, S. (2010) *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*. 2ª Ed. TecMinho. ISBN 978-972-8600-22-8.

WHO (2007). *Housing, Energy and Thermal Comfort*.

WHO (2012). *Environmental health inequalities in Europe*. ISBN 978 92 890 0260 8

Vaz Correia, A., Pires Correia, A., Pereira, J. (2005). *Principais Impactos das Alterações Climáticas na Produtividade da Floresta em Portugal: Projecto SIAM*. 5° Congresso, Instituto Superior de Agronomia. Depto. de Engenharia Florestal, Lisboa (Maio)

Anónimo, (s/d). Disponível a 03-09-2013 em [http://www.fujitsuclimate.nl/systemen/p/lucht-behandeling/comodair-luchtverdeling/iso-comfort-norm/45/]

Legislação consultada para referência:

Diretiva Comunitária n.° 2002/91/CE

Diretiva Comunitária n.° 2006/32/CE

Diretiva Europeia n.° 2010/31/EU de 19 de maio de 2010 Desafios da nova EPBD

Decreto-Lei 80/2006 de 4 de abril,

Decreto-Lei 9/2007 de 17 de janeiro,

Decreto-Lei 118/2013, de 20 de agosto,

Portaria n.° 349-B/2013 de 29 de novembro

Decreto-Lei 53/2014, de 8 de abril,

Despacho (extrato) n.° 15793-F/2013

Despacho (extrato) n.° 15793-K/2013

ANEXO 1 INQUÉRITO SOBRE O CONFORTO INTERIOR DAS FRAÇÕES EM ESTUDO

Inquérito de Avaliação do conforto interior em edifícios de habitação

Este trabalho está enquadrado na realização de uma dissertação de mestrado pós graduado em "Reabilitação e Construção Sustentáveis", do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho (Guimarães).

O questionário que se apresenta em seguida tem como objetivo analisar a opinião dos ocupantes desta habitação segundo os critérios de satisfação de conforto térmico, acústico e de qualidade do ar interior. Pretende-se identificar o modo como cada um dos critérios influencia a perceção do conforto global do ocupante.

Os resultados deste inquérito ajudarão a complementar a avaliação instrumental realizada anteriormente no âmbito deste estudo e apenas serão usados para fins estatísticos.

Solicita-se que responda objetivamente e com a máxima franqueza às questões que lhe são apresentadas. A sua participação é fundamental para a conclusão deste estudo. **Obrigado**.

Questionário

Por favor preencha o presente questionário tendo em conta a atividade que realizou nos momentos anteriores ao seu preenchimento.

1. Data: _____ / _____ /_____; Hora: _____ : _____

2. Tarefa realizada anteriormente: _____

3. Dados pessoais
3.1. Sexo: _____ Masculino; _____ Feminino;
3.2. Idade: _____ anos;
3.3. Peso: _____ Kg;
3.4. Altura: _____ , _____ m;
3.5. Existe algum motivo de ordem fisiológica que possa condicionar a sua perceção de conforto?
Sim _____ ; Não _____;

4. Localize (com um X) a sua posição no compartimento onde preenche este questionário, identificando a sua proximidade (**menos que 2 metros**) a algum dos elementos seguintes:
___ Janela;
___ Porta de acesso à varanda;
___ Parede exterior (fachada do edifício);
___ Parede interior (divisória entre compartimentos ou frações);
___ Porta de entrada na habitação;
___ Espaço de transição entre compartimentos (ex.: corredor; átrio);
___ Espaço interior (ex.: arrumo; wc; despensa; quarto sem janela);
___ Aparelho de aquecimento (se estiver em funcionamento);
___ Aparelho de ar condicionado (se estiver em funcionamento);
___ Aparelho ventilado (se estiver em funcionamento);
___ Outro: _____

5. Assinale com um X no quadro seguinte **todas as peças de vestuário** que tem vestidas neste momento.

Camisa/Blusa	**(Clo)**	
De verão, manga curta	(0,15)	
De verão, manga comprida	(0,20)	
T-Shirt	(0,09)	
De inverno	(0,25)	
De flanela	(0,30)	
Pólo de malha	(0,17)	

Calça	**(Clo)**	
De verão	(0,20)	
De meia estação / ganga	(0,25)	
De inverno	(0,28)	
Calções	(0,08)	
Macacão	(0,30)	

Roupa interior	**(Clo)**	
Camisola de alças	(0,04)	
Camisola manga curta	(0,09)	
Camisola manga comprida	(0,12)	
Cueca / slip	(0,03)	
Boxer	(0,04)	
Soutiã	(0,01)	
Combinação	(0,15)	
Ceroula	(0,10)	

Camisola / Pulôver	**(Clo)**	
De verão	(0,25)	
De inverno	(0,36)	
Sem mangas	(0,22)	
Sweatshirt	(0,30)	

Vestido	**(Clo)**	
De verão	(0,20)	
De inverno	(0,40)	

Saia	**(Clo)**	
De verão	(0,15)	
De inverno	(0,25)	

Meias	**(Clo)**	
Finas	(0,02)	
Grossas, pelo tornozelo	(0,05)	
Grossas, pelo joelho	(0,10)	
De nylon	(0,03)	
Collants	(0,10)	

Sapatos	**(Clo)**	
Sola fina / ténis de pano	(0,02)	
Sola grossa / ténis desportivos	(0,04)	
Sandália / chinelo	(0,02)	
Bota	(0,10)	

6. Dos seguintes fatores, indique por ordem de preferência (1º, 2º, 3º, ...), os **5 que considera ser mais importantes** para se sentir confortável, no local onde se encontra no momento.

O ruído		A decoração / mobiliário	
A ventilação		A privacidade	
A visibilidade para o exterior		A localização na sala	
A temperatura		A luz natural	
A luz artificial		Outro: _____	

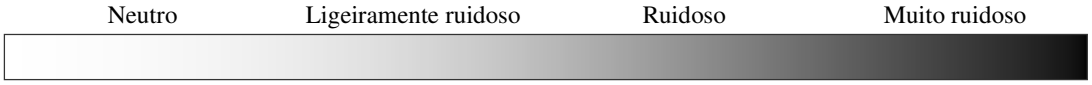
7. Nas escalas seguintes, assinale com um X, a posição que melhor representa a sua **sensação de desconforto** no local onde se encontra no momento.

7.1. Considerando **apenas o ambiente térmico**, como descreve a sua sensação de desconforto?





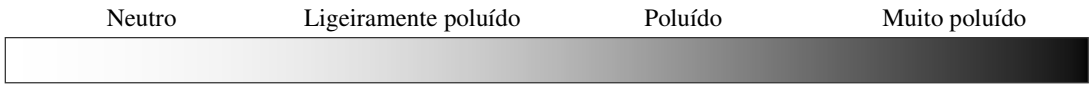
7.2. Considerando **apenas o nível de ruído**, como descreve a sua sensação de desconforto?



7.3. Considerando **apenas a qualidade do ar**, como descreve o ambiente e a sua sensação de desconforto?







7.4. Como classifica o **desconforto global** que se verifica neste momento no espaço onde se encontra, tendo em conta os parâmetros de conforto referidos anteriormente?



Muito obrigado pela sua colaboração!

ANEXO 2 - ANÁLISE COEFICIENTE TRANSMISSÃO TÉRMICA DAS SOLUÇÕES

As Tabelas de 54 a 62 apresentam os valores estimados do coeficiente térmico de cada solução.

Tabela 54 - Solução S Ref - Parede leve pelo interior c/XPS 3cm

Alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado de (11+4+11) x 20x20cm revestida a reboco de 1,5cm e pastilha vidrada 0,5cm; argamassa de reboco estucado pelo interior com 2cm; reforço térmico pelo interior através de parede leve com isolamento XPS 3cm;

Constituição	**e (m)**	**λ (W/m.ºC)**	**R (m2.ºC/W)**	**Referência**
Pastilha vidrada	0,005	0,34	0,015	pág. I.4 ITE50 LNEC
Reboco	0,020	1,30	0,015	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Tijolo duplo cerâmico c/cx de ar	0,260		0,720	pág.I.13 ITE 50 LNEC
Reboco	0,015	1,30	0,012	pág.I.7 ITE 50 LNEC
XPS (40Kg/m3)	0,030	0,037	0,811	pág.II.11 ITE 50 LNEC
Gesso cartonado	0,013	0,25	0,050	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Rse			0,040	
Rsi			0,130	
		U=	**0,558**	**W/m2.ºC**

Tabela 55 - Solução S 1 - Parede leve pelo interior c/XPS 5cm

Alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado de (11+4+11) x20x20cm revestida a reboco de 1,5cm e pastilha vidrada 0,5cm; argamassa de reboco estucado pelo interior com 2cm; reforço térmico pelo interior através de parede leve com isolamento térmico (XPS) com 5cm de espessura;

Constituição da parede	**e (m)**	**λ (W/m.ºC)**	**R (m2.ºC/W)**	**Referência**
Pastilha vidrada	0,005	0,34	0,015	pág. I.4 ITE 50 LNEC
Reboco exterior	0,015	1,30	0,012	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Tijolo duplo cerâmico c/cx de ar	0,260		0,720	pág.I.13 ITE 50 LNEC
Reboco interior	0,002	1,30	0,015	pág.I.7 ITE 50 LNEC
XPS (40Kg/m3)	0,050	0,037	1,351	pág.I.3 ITE 50 LNEC
Gesso cartonado	0,013	0,25	0,050	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Rse			0,040	
Rsi			0,130	
		U=	**0,429**	**W/m2.ºC**

Tabela 56 - Solução S 2 - Parede leve pelo interior c/MW 5cm

Alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado de (11+4+11) x20x20cm revestida a reboco de 1,5cm e pastilha vidrada 0,5cm; argamassa de reboco estucado pelo interior com 2cm; reforço térmico pelo interior através de parede leve com isolamento a lã mineral natural (MW) com 5cm de espessura;

Constituição da parede	**e (m)**	**λ (W/m.ºC)**	**R (m2.ºC/W)**	**Referência**
Pastilha vidrada	0,005	0,34	0,015	pág. I.4 ITE 50 LNEC
Reboco	0,020	1,30	0,015	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Tijolo duplo cerâmico c/cx de ar	0,260		0,720	pág.I.13 ITE 50 LNEC
Reboco	0,015	1,30	0,012	pág.I.7 ITE 50 LNEC
MW (40Kg/m3)	0,050	0,040	1,250	pág.I.3 ITE 50 LNEC
Gesso cartonado	0,013	0,25	0,050	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Rse			0,040	
Rsi			0,130	
		U=	**0,448**	**W/m2.ºC**

Tabela 57 - Solução S 3 - Isolamento térmico pelo exterior c/EPS 5cm

Alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado de (11+4+11) x20x20cm revestida a reboco de 1,5cm e pastilha vidrada 0,5cm; argamassa de reboco estucado pelo interior com 2cm; reforço térmico pelo exterior da parede (ETICS) com placas de poliestireno expandido moldado (EPS) de 5cm de espessura;

Constituição da parede	**e (m)**	**λ (W/m.ºC)**	**R (m2.ºC/W)**	**Referência**
Reboco delgado	0,010	1,30	0,008	pág. I.7 ITE 50 LNEC
ETICS c/EPS (20Kg/m3)	0,050	0,04	1,250	pág.I.3 ITE 50 LNEC
Pastilha vidrada	0,005	0,34	0,015	pág. I.4 ITE50 LNEC
Reboco	0,015	1,30	0,012	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Tijolo duplo cerâmico	0,260		0,720	pág.I.13 ITE 50 LNEC
Reboco	0,020	1,30	0,015	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Rse			0,040	
Rsi			0,130	
		U=	**0,457**	**W/m2.ºC**

Tabela 58 - Solução S 4 - Isolamento térmico pelo exterior c/ICB 6cm

Alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado de (11+4+11)x20x20cm revestida a reboco de 1,5cm e pastilha vidrada 0,5cm; argamassa de reboco estucado pelo interior com 2cm; reforço térmico pelo exterior da parede (ETICS) com placas de aglomerado negro de cortiça expandida (ICB) com 6cm de espessura;

Constituição da parede	**e (m)**	**λ (W/m.ºC)**	**R (m2.ºC/W)**	**Referência**
Reboco delgado	0,010	1,30	0,008	pág. I.7 ITE 50 LNEC
ETICS c/ICB (125Kg/m3)	0,060	0,045	1,333	pág.I.3 ITE 50 LNEC
Pastilha vidrada	0,005	0,34	0,015	pág. I.4 ITE50 LNEC
Reboco	0,015	1,30	0,012	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Tijolo duplo cerâmico	0,260		0,720	pág.I.13 ITE 50 LNEC
Reboco	0,020	1,30	0,015	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Rse			0,040	
Rsi			0,130	
		U=	**0,440**	**W/m2.ºC**

Tabela 59 - Solução S 5 - Parede leve pelo interior c/XPS 8cm

Alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado de (11+4+11) x20x20cm revestida a reboco de 1,5cm e pastilha vidrada 0,5cm; argamassa de reboco estucado pelo interior com 2cm; reforço térmico pelo interior através de parede leve com isolamento térmico (XPS) com 8cm de espessura;

Constituição da parede	**e (m)**	**λ (W/m.ºC)**	**R (m2.ºC/W)**	**Referência**
Pastilha vidrada	0,005	0,34	0,015	pág. I.4 ITE 50 LNEC
Reboco exterior	0,015	1,30	0,012	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Tijolo duplo cerâmico c/cx de ar	0,260		0,720	pág.I.13 ITE 50 LNEC
Reboco interior	0,002	1,30	0,015	pág.I.7 ITE 50 LNEC
XPS (40Kg/m3)	0,080	0,037	2,162	pág.I.3 ITE 50 LNEC
Gesso cartonado	0,013	0,25	0,050	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Rse			0,040	
Rsi			0,130	
		U=	**0,318**	**W/m2.ºC**

Tabela 60 - Solução S 6 - Parede leve pelo interior c/MW 8cm

Alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado de (11+4+11) x20x20cm revestida a reboco de 1,5cm e pastilha vidrada 0,5cm; argamassa de reboco estucado pelo interior com 2cm; reforço térmico pelo interior através de parede leve com isolamento a lã mineral natural (MW) com 8cm de espessura;

Constituição da parede	**e (m)**	**λ (W/m.ºC)**	**R (m2.ºC/W)**	**Referência**
Pastilha vidrada	0,005	0,34	0,015	pág. I.4 ITE 50 LNEC
Reboco	0,020	1,30	0,015	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Tijolo duplo cerâmico c/cx de ar	0,260		0,720	pág.I.13 ITE 50 LNEC
Reboco	0,015	1,30	0,012	pág.I.7 ITE 50 LNEC
MW (40Kg/m3)	0,080	0,040	2,000	pág.I.3 ITE 50 LNEC
Gesso cartonado	0,013	0,25	0,050	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Rse			0,040	
Rsi			0,130	
		U=	**0,335**	**W/m2.ºC**

Tabela 61 - Solução S 7 - Isolamento térmico pelo exterior c/EPS 8cm

Alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado de (11+4+11) x20x20cm revestida a reboco de 1,5cm e pastilha vidrada 0,5cm; argamassa de reboco estucado pelo interior com 2cm; reforço térmico pelo exterior da parede (ETICS) com placas de poliestireno expandido moldado (EPS) de 8cm de espessura;

Constituição da parede	**e (m)**	**λ (W/m.ºC)**	**R (m2.ºC/W)**	**Referência**
Reboco delgado	0,010	1,30	0,008	pág. I.7 ITE 50 LNEC
ETICS c/EPS (20Kg/m3)	0,080	0,04	2,000	pág.I.3 ITE 50 LNEC
Pastilha vidrada	0,005	0,34	0,015	pág. I.4 ITE50 LNEC
Reboco	0,015	1,30	0,012	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Tijolo duplo cerâmico	0,260		0,720	pág.I.13 ITE 50 LNEC
Reboco	0,020	1,30	0,015	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Rse			0,040	
Rsi			0,130	
		U=	**0,340**	**W/m2.ºC**

Tabela 62 - Solução S 8 - Isolamento térmico pelo exterior c/ICB 10cm

Alvenaria dupla de tijolo cerâmico furado de (11+4+11)x20x20cm revestida a reboco de 1,5cm e pastilha vidrada 0,5cm; argamassa de reboco estucado pelo interior com 2cm; reforço térmico pelo exterior da parede (ETICS) com placas de aglomerado negro de cortiça expandida (ICB) com 10cm de espessura;

Constituição da parede	**e (m)**	**λ (W/m.ºC)**	**R (m2.ºC/W)**	**Referência**
Reboco delgado	0,010	1,30	0,008	pág. I.7 ITE 50 LNEC
ETICS c/ICB (125Kg/m3)	0,100	0,045	2,222	pág.I.3 ITE 50 LNEC
Pastilha vidrada	0,005	0,34	0,015	pág. I.4 ITE50 LNEC
Reboco	0,015	1,30	0,012	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Tijolo duplo cerâmico	0,260		0,720	pág.I.13 ITE 50 LNEC
Reboco	0,020	1,30	0,015	pág.I.7 ITE 50 LNEC
Rse			0,040	
Rsi			0,130	
		U=	**0,316**	**W/m2.ºC**

VÃOS ENVIDRAÇADOS (VERTICAIS)

As Tabelas 63 e 64 apresentam os coeficientes térmicos dos vãos envidraçados com as caixilharias utilizadas nas duas frações F1 (madeira+alumínio) e F2 (madeira).

Tabela 63 - VE Referência

Caixilharia de madeira de correr com vidro simples; dispositivo de oclusão noturna com permeabilidade baixa (e cortina interior opaca);

Constituição	**e (m)**	**λ (W/m.ºC)**	**R (m2.ºC/W)**	**Referência**
Caixilho madeira c/VS Estores exteriores enrolar	8,39	-	3,40	pág.III.3 ITE 50 LNEC
		U=	**3,40**	**W/m2.ºC**

Tabela 64 - VE Referência + VE Reforço

Caixilharia dupla de correr (madeira com vidro simples + alumínio com vidro duplo);

U_w=	1	÷	(1÷U_{w1}	-	R_{si}	-	R_{se}	+	R_{ar}	+	1÷U_{w2})
	1	÷	1÷3,4	-	0,13	-	0,04	+	0,18	+	1÷3,1
								U_w=	**1,60**		**W/m².ºC**

Conforme fórmula do Tipo de Vão Envidraçado, em 4.5 ITE50 (p.36) $\mathbf{U_w=1/(1/U_{w1}-R_{si}-R_{se}+R_{ar}+1/U_{w2})}$

Na Tabela 65 apresenta-se o resumo de cada solução com os valores calculados para a redução sonora, coeficiente térmico e custo de construção para as paredes exteriores.

Tabela 65 - Resumo dos elementos construtivos a tratar e soluções propostas

Paredes exteriores	**Descrição construtiva elemento a estudar**	**Dn,w (dB)**	**U (w/m².ºC)**	**CC (€/m²)**
Solução de origem (existente desde a construção em 1965)	Parede dupla em alvenaria com pano exterior de tijolo vazado de 11 cm e pano interior de tijolo vazado de 11 cm. Os panos encontram-se separados por uma caixa-de-ar com cerca de 4 cm de espessura; Os paramentos, interior e exterior, encontram-se revestidos com reboco tradicional com espessura de 1,5 cm sendo o interior com acabamento pintado e o exterior com acabamento a pastilha vidrada de 0,5cm.		1,07	
Solução de referência (desde 2005)	Acresce à solução de referência uma parede leve. O reforço térmico é constituído por uma parede leve em gesso cartonado, com placas de isolante térmico XPS de 30mm, separadas da parede exterior.	28,3	0,558	58,57 €
Solução 1	Acresce à solução de referência uma parede leve. O reforço térmico é constituído por uma parede leve em gesso cartonado, com placas de isolante térmico XPS de 50mm, separadas da parede exterior.	28,8	0,429	61,20 €
Solução 2	Acresce à solução de referência uma parede leve. O reforço térmico é constituído por uma parede leve em gesso cartonado, com placas de isolante térmico MW de 50mm, separadas da parede exterior.	29,0	0,448	58,21 €
Solução 3	Acresce à solução de referência a aplicação de placas de isolante térmico pelo exterior EPS de 50mm com reboco delgado.	30,2	0,457	89,40 €
Solução 4	Acresce à solução de referência a aplicação de placas de isolante térmico pelo exterior ICB de 60mm com reboco delgado.	33,2	0,440	99,44 €
Solução 5	Acresce à solução de referência uma parede leve. O reforço térmico é constituído por uma parede leve em gesso cartonado, com placas de isolante térmico XPS de 80mm, separadas da parede exterior.	29,5	0,318	65,14 €
Solução 6	Acresce à solução de referência uma parede leve. O reforço térmico é constituído por uma parede leve em gesso cartonado, com placas de isolante térmico MW de 80mm, separadas da parede exterior.	29,8	0,335	61,02 €
Solução 7	Acresce à solução de referência a aplicação de placas de isolante térmico pelo exterior EPS de 80mm com reboco delgado.	30,6	0,340	91,28 €
Solução 8	Acresce à solução de referência a aplicação de placas de isolante térmico pelo exterior ICB de 100mm com reboco delgado.	35,0	0,316	108,24 €

ANEXO 3 - ANÁLISE LCA DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

As Tabelas 66 a 74 apresentam os cálculos considerados para quantificar o peso total de cada solução definida na fase de montagem. Nota: no caso da tinta, foi considerado que 1Litro=1Kg

Tabela 66 - Solução S Ref - Parede leve pelo interior c/XPS 3cm

Materiais/Montagem	Peso Próprio (Kg/m³)	Espessura (m)	Kg/m.l.	m.l./m²	Peso/Área (Kg/m²)	Área intervenção (m²)	Peso solução (Kg)
Gesso Cartonado Hidrófugo Gyptec	680	0,0125			8,50	42,40	360,40
XPS 40Kg/m3 (3cm) Fibran	35	0,03			1,05	42,40	44,52
Perfis aço laminado a frio Falper			0,76	4,69	3,56	42,40	150,94
Tintas CIN	0,071	3 demãos			0,21	42,40	9,08
MDF ST 19mm Jular	730	0,019			13,87	1,22	16,92
					27,20	**Total**	**581,87**

Nota: Foi considerado que 1Litro=1Kg

Tabela 67 - Solução S 1 - Parede leve pelo interior c/XPS 5cm

Materiais/Montagem	Peso Próprio (Kg/m³)	Espessura (m)	Kg/m.l.	m.l./m²	Peso/Área (Kg/m²)	Área intervenção (m²)	Peso solução (Kg)
Gesso Cartonado Hidrófugo Gyptec	680	0,0125			8,50	42,40	360,40
XPS 40Kg/m3 (5cm) Fibran	35	0,05			1,75	42,40	74,20
Perfis aço laminado a frio Falper			0,76	4,69	3,56	42,40	150,94
Tintas CIN	0,071	3 demãos			0,21	42,40	9,08
MDF ST 19mm Jular	730	0,019			13,87	1,22	16,92
					27,90	**Total**	**611,55**

Nota: Foi considerado que 1Litro=1Kg

Tabela 68 - Solução S 2 - Parede leve pelo interior c/MW 5cm

Materiais/Montagem	Peso Próprio (Kg/m³)	Espessura (m)	Kg/m.l.	m.l./m²	Peso/Área (Kg/m²)	Área intervenção (m²)	Peso solução (Kg)
Gesso Cartonado Hidrófugo Gyptec	680	0,0125			8,50	42,40	360,40
MW lã mineral PN40 (5cm) Rocterm	40	0,05			2,00	42,40	84,80
Perfis aço laminado a frio Falper			0,76	4,69	3,56	42,40	150,94
Tintas CIN	0,071	3 demãos			0,21	42,40	9,08
MDF ST 19mm Jular	730	0,019			13,87	1,22	16,92
					28,15	**Total**	**622,15**

Nota: Foi considerado que 1Litro=1Kg

Tabela 69 - Solução S 3 - Isolamento térmico pelo exterior c/EPS 5cm

Materiais/Montagem	Peso Próprio (Kg/m³)	Espessura (m)	Kg/m.l.	m.l./m²	Peso/Área (Kg/m²)	Área intervenção (m²)	Peso solução (Kg)
Argamass colagem WeberTherm Pro	1400	0,02			23,80	110,00	2618,00
Argamass revest. WeberPlast decorF	1800	0,00			4,50	110,00	495,00
EPS 20Kg/m3 (5cm) Plastimar	20	0,05			1,00	110,00	110,00
Rede fibra vidro antiálcalis Viplás167					0,167	110,00	18,37
Chapa de zinco N12 Umicore Port.	4,70	0,0007			0,003	1,56	0,005
					29,47	**Total**	**3241,37**

Tabela 70 - Solução S 4 - Isolamento térmico pelo exterior c/ICB 6cm

Materiais/Montagem	Peso Próprio (Kg/m³)	Espessura (m)	Kg/m.l.	m.l./m²	Peso/Área (Kg/m²)	Área intervenção (m²)	Peso solução (Kg)
Argamass colagem WeberTherm Pro	1400	0,017			23,80	110,00	2618,00
Argamass revest. WeberPlast decorF	1800	0,0025			4,50	110,00	495,00
Aglomerado negro de cortiça (6cm) 110/125Kg/m³ Amorim Isol. SA	115	0,06			6,90	110,00	759,00
Rede fibra vidro antiálcalis Viplás167					0,167	110,00	18,37
Chapa de zinco N12 Umicore Port.	4,70	0,0007			0,003	1,56	0,005
					35,37		**3890,37**

Tabela 71 - Solução S 5 - Parede leve pelo interior c/XPS 8cm

Materiais/Montagem	Peso Próprio (Kg/m³)	Espessura (m)	Kg/m.l.	m.l./m²	Peso/Área (Kg/m²)	Área intervenção (m²)	Peso solução (Kg)
Gesso Cartonado Hidrófugo Gyptec	680	0,0125			8,50	42,40	360,40
XPS 40Kg/m3 (8cm) Fibran	35	0,08			2,80	42,40	118,72
Perfis aço laminado a frio Falper			0,76	4,69	3,56	42,40	150,94
Tintas CIN	0,071	3 demãos			0,21	42,40	9,08
MDF ST 19mm Jular	730	0,019			13,87	1,22	16,92
					27,90	**Total**	**656,07**

Nota: Foi considerado que 1Litro=1Kg

Tabela 72 - Solução S 6 - Parede leve pelo interior c/MW 8cm

Materiais/Montagem	Peso Próprio (Kg/m³)	Espessura (m)	Kg/m.l.	m.l./m²	Peso/Área (Kg/m²)	Área intervenção (m²)	Peso solução (Kg)
Gesso Cartonado Hidrófugo Gyptec	680	0,0125			8,50	42,40	360,40
MW lã mineral PN40 (8cm) Rocterm	40	0,08			3,20	42,40	135,68
Perfis aço laminado a frio Falper			0,76	4,69	3,56	42,40	150,94
Tintas CIN	0,071	3 demãos			0,21	42,40	9,08
MDF ST 19mm Jular	730	0,019			13,87	1,22	16,92
					28,15	**Total**	**673,03**

Nota: Foi considerado que 1Litro=1Kg

Tabela 73 - Solução S 7 - Isolamento térmico pelo exterior c/EPS 8cm

Materiais/Montagem	Peso Próprio (Kg/m³)	Espessura (m)	Kg/m.l.	m.l./m²	Peso/Área (Kg/m²)	Área intervenção (m²)	Peso solução (Kg)
Argamass colagem WeberTherm Pro	1400	0,02			23,80	110,00	2618,00
Argamass revest. WeberPlast decorF	1800	0,00			4,50	110,00	495,00
EPS 20Kg/m3 (8cm) Plastimar	20	0,08			1,60	110,00	176,00
Rede fibra vidro antiálcalis Viplás167					0,167	110,00	18,37
Chapa de zinco N12 Umicore Port.	4,70	0,0007			0,003	1,56	0,005
					29,47	**Total**	**3307,37**

Tabela 74 - Solução S 8 - Isolamento térmico pelo exterior c/ICB 10cm

Materiais/Montagem	Peso Próprio (Kg/m³)	Espessura (m)	Kg/m.l.	m.l./m²	Peso/Área (Kg/m²)	Área intervenção (m²)	Peso solução (Kg)
Argamass colagem WeberTherm Pro	1400	0,017			23,80	110,00	2618,00
Argamass revest. WeberPlast decorF	1800	0,0025			4,50	110,00	495,00
Aglomerado negro de cortiça (10cm) 110/125Kg/m³ Amorim Isol. SA	115	0,10			11,50	110,00	1265,00
Rede fibra vidro antiálcalis Viplás167					0,167	110,00	18,37
Chapa de zinco N12 Umicore Port.	4,70	0,0007			0,003	1,56	0,005
					35,37		**4396,37**

As Tabelas 75 a 83 listam os diversos indicadores ambientais que se pretendem avaliar e os valores correspondentes a cada fase do ciclo de vida utilizados na sua caracterização.

Tabela 75 - Solução S Ref - Parede leve pelo interior c/XPS 3cm

Fases ciclo de vida	**Categorias de impacte ambiental de LCA**						**Energia incorporada**	
	ADP	**AP**	**EP**	**GWP**	**ODP**	**POCP**	**ENR**	**ER**
Cradle-to-gate (montagem)	2,86E-01	1,56E-01	5,82E-02	3,41E+01	2,52E-06	9,22E-03	6,37E+02	4,34E+02
Fim de vida (destino final)	2,55E-02	1,88E-02	3,32E-02	7,37E+00	5,63E-07	1,72E-03	6,15E+01	1,28E+00
Total	3,11E-01	1,74E-01	9,14E-02	4,15E+01	3,09E-06	1,09E-02	6,98E+02	4,35E+02
Materiais considerados	Estrutura autoportante contra ventada com perfis de aço galvanizado, placas de poliestireno extrudido expandido (isolamento térmico), placas de gesso laminado hidrófugo aparafusadas à estrutura metálica (revestimento final). Remate dos vãos em réguas de MDF esmaltada.							

Tabela 76 - Solução S 1 - Parede leve pelo interior c/XPS 5cm

Fases ciclo de vida	**Categorias de impacte ambiental de LCA**						**Energia incorporada**	
	ADP	**AP**	**EP**	**GWP**	**ODP**	**POCP**	**ENR**	**ER**
Cradle-to-gate (montagem)	3,16E-01	1,65E-01	6,05E-02	3,68E+01	2,58E-06	1,03E-02	7,05E+02	4,35E+02
Fim de vida (destino final)	2,56E-02	1,88E-02	3,71E-02	7,45E+00	5,65E-07	1,74E-03	6,17E+01	1,29E+00
Total	3,41E-01	1,84E-01	9,76E-02	4,43E+01	3,14E-06	1,21E-02	7,67E+02	4,36E+02
Materiais considerados	Estrutura autoportante contra ventada com perfis de aço galvanizado, placas de poliestireno extrudido expandido (isolamento térmico), placas de gesso laminado hidrófugo aparafusadas à estrutura metálica (revestimento final). Remate dos vãos em réguas de MDF esmaltada.							

Tabela 77 - Solução S 2 - Parede leve pelo interior c/MW 5cm

Fases ciclo de vida	**Categorias de impacte ambiental de LCA**						**Energia incorporada**	
	ADP	**AP**	**EP**	**GWP**	**ODP**	**POCP**	**ENR**	**ER**
Cradle-to-gate (montagem)	2,61E-01	1,58E-01	5,87E-02	3,24E+01	2,55E-06	8,50E-03	5,74E+02	4,35E+02
Fim de vida (destino final)	2,56E-02	1,90E-02	3,24E-02	8,16E+00	5,66E-07	1,97E-03	6,20E+01	1,31E+00
Total	2,86E-01	1,77E-01	9,11E-02	4,06E+01	3,12E-06	1,05E-02	6,36E+02	4,36E+02
Materiais considerados	Estrutura autoportante contra ventada com perfis de aço galvanizado, painel de lã mineral natural (isolamento térmico), placas de gesso laminado hidrófugo aparafusadas à estrutura metálica (revestimento final). Remate dos vãos em réguas de MDF esmaltada.							

Tabela 78 - Solução S 3 - Isolamento térmico pelo exterior c/EPS 5cm

Fases ciclo de vida	Categorias de impacte ambiental de LCA						Energia incorporada	
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP	ENR	ER
Cradle-to-gate (montagem)	3,09E-01	1,40E-01	5,89E-02	3,71E+01	5,43E-06	1,26E-02	7,25E+02	2,27E+01
Fim de vida (destino final)	2,80E-02	2,10E-02	8,34E-02	1,63E+01	6,23E-07	4,37E-03	6,88E+01	1,63E+00
Total	3,38E-01	1,61E-01	1,42E-01	5,34E+01	6,06E-06	1,69E-02	7,94E+02	2,44E+01

Materiais considerados	Argamassa de aderência ao suporte (regularização e colagem de placas), placas de poliestireno expandido moldado (isolamento térmico), reboco delgado armado com rede de fibra de vidro (revestimento final). Soleira de remate dos vãos em zinco N12.

Tabela 79 - Solução S 4 - Isolamento térmico pelo exterior c/ICB 6cm

Fases ciclo de vida	Categorias de impacte ambiental de LCA						Energia incorporada	
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP	ENR	ER
Cradle-to-gate (montagem)	3,54E-01	1,71E-01	7,71E-02	4,28E+01	6,01E-06	1,24E-02	8,38E+02	2,11E+02
Fim de vida (destino final)	2,89E-02	2,18E-02	9,54E-02	1,94E+01	6,43E-07	5,27E-03	7,13E+01	1,75E+00
Total	3,83E-01	1,93E-01	1,73E-01	6,21E+01	6,65E-06	1,76E-02	9,09E+02	2,12E+02

Materiais considerados	Argamassa de aderência ao suporte (regularização e colagem de placas), placas de aglomerado negro de cortiça expandida (isolamento térmico), reboco delgado armado com rede de fibra de vidro (revestimento final). Soleira de remate dos vãos em zinco N12.

Tabela 80 - Solução S 5 - Parede leve pelo interior c/XPS 8cm

Fases ciclo de vida	Categorias de impacte ambiental de LCA						Energia incorporada	
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP	ENR	ER
Cradle-to-gate (montagem)	3,61E-01	1,79E-01	6,38E-02	4,08E+01	2,66E-06	1,20E-02	8,08E+02	4,36E+02
Fim de vida (destino final)	2,57E-02	1,89E-02	4,30E-02	7,57E+00	5,68E-07	1,76E-03	6,21E+01	1,29E+00
Total	3,87E-01	1,98E-01	1,07E-01	4,84E+01	3,23E-06	1,37E-02	8,70E+02	4,38E+02

Materiais considerados	Estrutura autoportante contra ventada com perfis de aço galvanizado, placas de poliestireno extrudido expandido (isolamento térmico), placas de gesso laminado hidrófugo aparafusadas à estrutura metálica (revestimento final). Remate dos vãos em réguas de MDF esmaltada.

Tabela 81 - Solução S 6 - Parede leve pelo interior c/MW 8cm

Fases ciclo de vida	Categorias de impacte ambiental de LCA						Energia incorporada	
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP	ENR	ER
Cradle-to-gate (montagem)	2,72E-01	1,68E-01	6,09E-02	3,38E+01	2,62E-06	9,05E-03	5,99E+02	4,36E+02
Fim de vida (destino final)	2,58E-02	1,91E-02	3,55E-02	8,71E+00	5,71E-07	2,13E-03	6,25E+01	1,34E+00
Total	2,98E-01	1,87E-01	9,64E-02	4,25E+01	3,19E-06	1,12E-02	6,61E+02	4,37E+02

Materiais considerados	Estrutura autoportante contra ventada com perfis de aço galvanizado, painel de lã mineral natural (isolamento térmico), placas de gesso laminado hidrófugo aparafusadas à estrutura metálica (revestimento final). Remate dos vãos em réguas de MDF esmaltada.

Tabela 82 - Solução S 7 - Isolamento térmico pelo exterior c/EPS 8cm

Fases ciclo de vida	**Categorias de impacte ambiental de LCA**						**Energia incorporada**	
	ADP	**AP**	**EP**	**GWP**	**ODP**	**POCP**	**ENR**	**ER**
Cradle-to-gate (montagem)	3,27E-01	1,44E-01	5,94E-02	3,86E+01	5,50E-06	1,46E-02	7,64E+02	2,30E+01
Fim de vida (destino final)	2,81E-02	2,11E-02	8,68E-02	1,64E+01	6,24E-07	4,38E-03	6,90E+01	1,63E+00
Total	3,55E-01	1,65E-01	1,46E-01	5,50E+01	6,12E-06	1,90E-02	8,32E+02	2,47E+01
Materiais considerados	Argamassa de aderência ao suporte (regularização e colagem de placas), placas de poliestireno expandido moldado (isolamento térmico), reboco delgado armado com rede de fibra de vidro (revestimento final). Soleira de remate dos vãos em zinco N12.							

Tabela 83 - Solução S 8 - Isolamento térmico pelo exterior c/ICB 10cm

Fases ciclo de vida	**Categorias de impacte ambiental de LCA**						**Energia incorporada**	
	ADP	**AP**	**EP**	**GWP**	**ODP**	**POCP**	**ENR**	**ER**
Cradle-to-gate (montagem)	4,03E-01	1,96E-01	8,99E-02	4,83E+01	6,47E-06	1,45E-02	9,56E+02	3,36E+02
Fim de vida (destino final)	2,96E-02	2,23E-02	1,07E-01	2,15E+01	6,59E-07	5,88E-03	7,31E+01	1,83E+00
Total	4,33E-01	2,19E-01	1,97E-01	6,98E+01	7,13E-06	2,04E-02	1,03E+03	3,38E+02
Materiais considerados	Argamassa de aderência ao suporte (regularização e colagem de placas), placas de aglomerado negro de cortiça expandida (isolamento térmico), reboco delgado armado com rede de fibra de vidro (revestimento final). Soleira de remate dos vãos em zinco N12.							

Tabela 84 - Resultados obtidos pelas soluções construtivas através da MARS-SC - Grupo 1

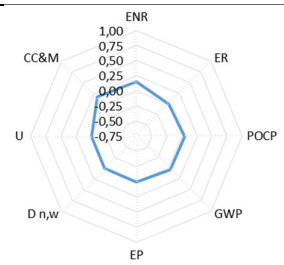
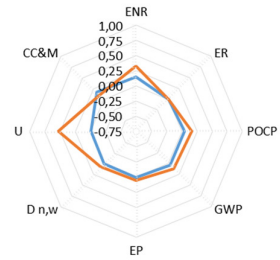
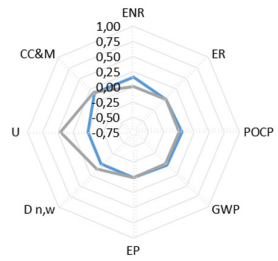
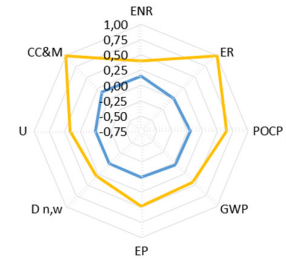
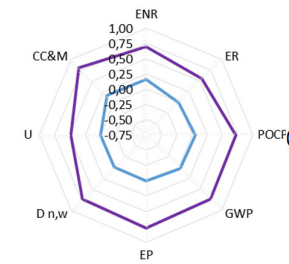
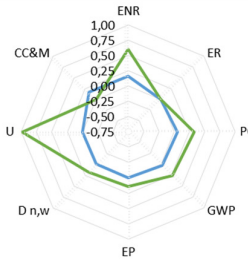
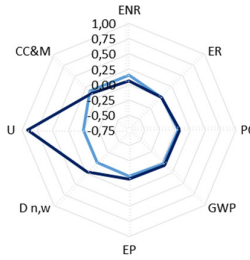
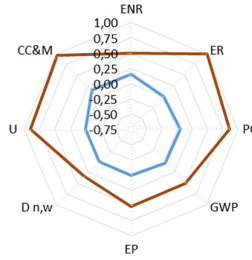
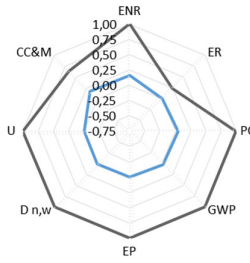
Solução	Perfil sustentável	Desempenho			Nota Sust. (NS)	Class. do desemp.
		Amb. (IA)	Func. (IF)	Econ. (IE)		
S Ref - Parede leve pl interior c/XPS 3cm		0,09	0,00	0,16	**0,061**	referência
S 1 - Parede leve pl interior c/XPS 5cm		0,22	0,37	0,10	**0,268**	superior
S 2 - Parede leve pl interior c/MW 5cm		0,03	0,32	0,17	**0,202**	superior
S 3 - Isolam. térmico pl exterior c/EPS 5cm		0,43	0,34	1,00	**0,501**	superior
S 4 - Isolam. térmico pl exterior c/ICB 6cm		0,72	0,49	0,81	**0,620**	superior

Tabela 85 - Resultados obtidos pelas soluções construtivas através da MARS-SC - Grupo 2

Solução	Perfil sustentável	Desempenho Amb. (IA)	Desempenho Func. (IF)	Desempenho Econ. (IE)	Nota Sust. (NS)	Class. do desemp.
S 5 - Parede leve pl interior c/XPS 8cm		0,40	0,69	0,00	**0,466**	superior
S 6 - Parede leve pl interior c/MW 8cm		0,10	0,65	0,12	**0,378**	superior
S 7 - Isolam. térmico pl exterior c/EPS 8cm		0,52	0,67	0,96	**0,682**	superior
S 8 - Isolam. térmico pl exterior c/ICB 10cm		1,00	0,88	0,65	**0,869**	superior

ANEXO 4 - ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA ATRAVÉS DO OPTITERM-LFC

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

OPTITERM - LFC

MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS EXISTENTES

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

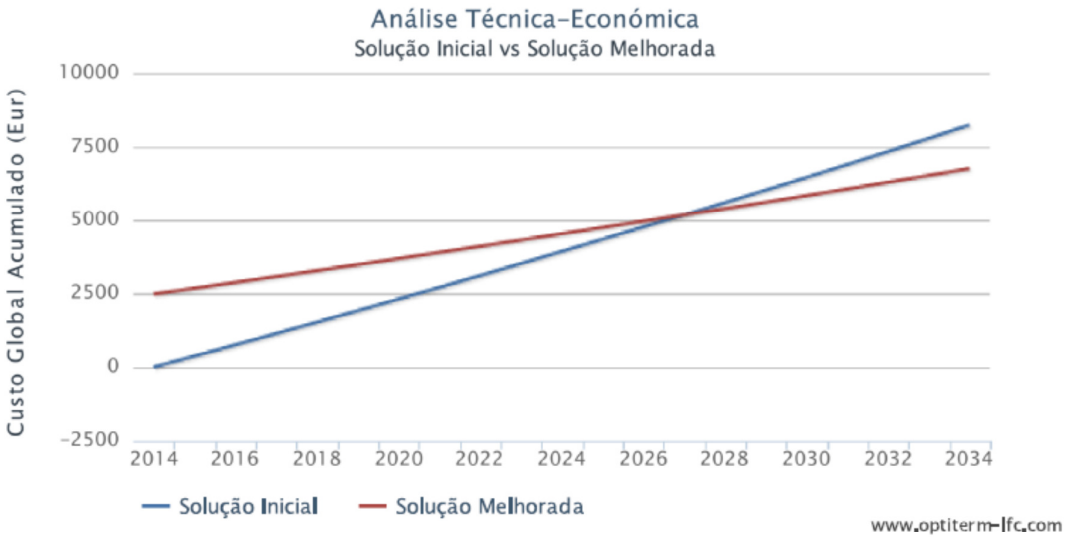
OPTITERM - LFC

NOVA SIMULAÇÃO | EXECUTAR SIMULAÇÃO | MANUAL OPTITERM

DADOS GERAIS DA FRACÇÃO AUTÓNOMA E PRESSUPOSTOS ADMITIDOS

Altitude [m] :	20	Anos	20 Ano(s)
Distancia à costa [km] :	inferior a 10 kms	Taxa Capitalização (α) [%]:	3
Concelho:	PORTO	Horas de Aquecimento:	24
Zona/Graus-dias:	I2 1610	Variação Energ.(α') [%]:	4
Tipo de elemento:	Parede Exterior	Custo Actual Energ.[€/kWh]:	.22
Área do elemento [m²]:	42,4	Custo Investimento [€/m²]:	58,57

SOLUÇÃO INICIAL			SOLUÇÃO MELHORADA		
Nivel/U_i [W/(m².°C)]:	N0	1,073	Nivel/U_f [W/(m².°C)]:	N1	,558
q_i [kWh/m²]:	41		q_f [kWh/m²]:	22	
Q_i [kWh]:	1758		Q_f [kWh]:	914	



AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÓMICA DA MEDIDA DE MELHORIA

Uf [W/m².°C]	Nível de Qualidade	Poupança Anual [€]	Custo do Investimento [€]	Período de retorno [anos]	Benefício económico efectivo [€] 5 anos	10 anos	15 anos
,558	N1	185,68	2483	13	-	-	412

Sugestões de medidas de melhoria (implementação não obrigatória)	Redução anual da factura energética	Custo estimado de investimento	Período de retorno do investimento
	⊗⊗	⊖⊖⊖	⌀⌀

Figura 94 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução de Referência

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

OPTITERM - LFC

MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS EXISTENTES

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

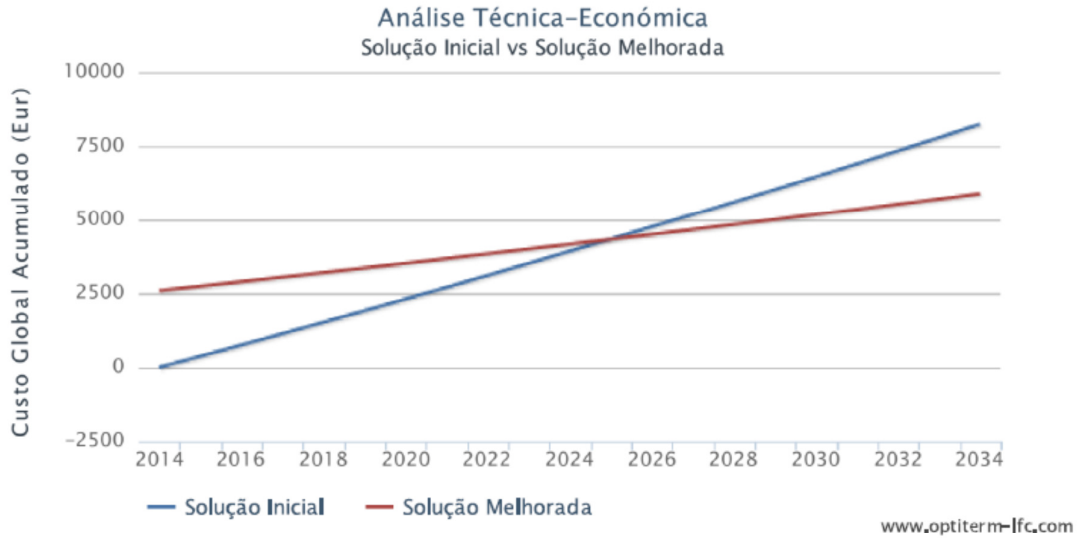
OPTITERM - LFC

NOVA SIMULAÇÃO | EXECUTAR SIMULAÇÃO | MANUAL OPTITERM

DADOS GERAIS DA FRACÇÃO AUTÓNOMA E PRESSUPOSTOS ADMITIDOS

Altitude [m] :	20	Anos	20 Ano(s)
Distancia à costa [km] :	inferior a 10 kms	Taxa Capitalização (α) [%]:	3
Concelho:	PORTO	Horas de Aquecimento:	24
Zona/Graus-dias:	I2 1610	Variação Energ.(α') [%]:	4
Tipo de elemento:	Parede Exterior	Custo Actual Energ.[€/kWh]:	.22
Área do elemento [m²]:	42.4	Custo Investimento [€/m²]:	61.2

SOLUÇÃO INICIAL		SOLUÇÃO MELHORADA	
Nível/U_i [W/(m².°C)]:	N0 1,073	Nível/U_f [W/(m².°C)]:	N2 ,429
q_i [kWh/m²]:	41	q_f [kWh/m²]:	17
Q_i [kWh]:	1758	Q_f [kWh]:	703



AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÓMICA DA MEDIDA DE MELHORIA

Uf [W/m².°C]	Nível de Qualidade	Poupança Anual [€]	Custo do Investimento [€]	Período de retorno [anos]	Benefício económico efectivo [€] 5 anos	10 anos	15 anos
.429	N2	232,1	2595	11	-	-	1025

Sugestões de medidas de melhoria (implementação não obrigatória)	Redução anual da factura energética	Custo estimado de investimento	Período de retorno do investimento
	⊗⊗	⊕⊕⊕	⊘⊘

Figura 95 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução 1

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

OPTITERM - LFC

MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS EXISTENTES

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

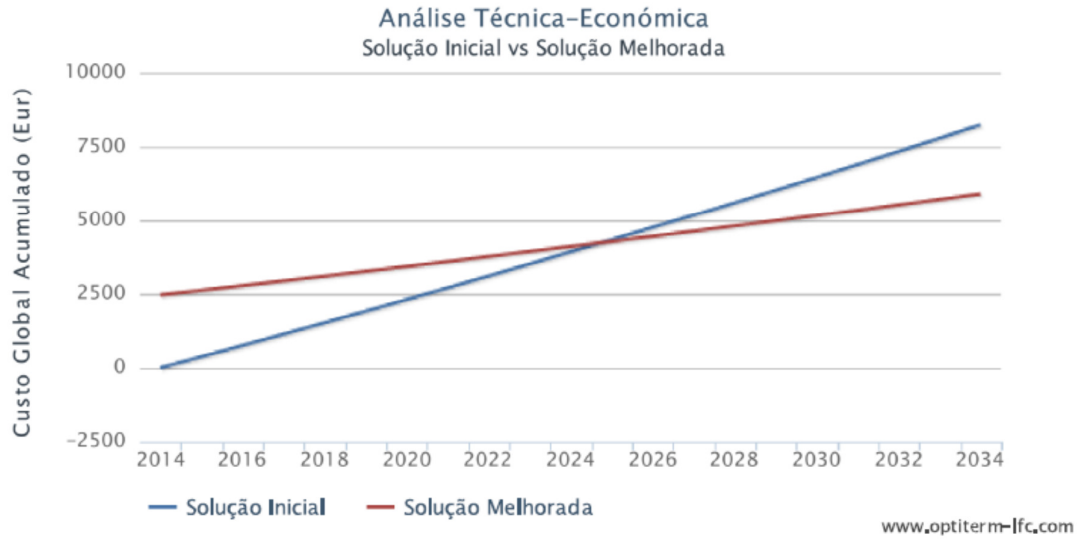
OPTITERM - LFC

NOVA SIMULAÇÃO | EXECUTAR SIMULAÇÃO | MANUAL OPTITERM

DADOS GERAIS DA FRACÇÃO AUTÓNOMA E PRESSUPOSTOS ADMITIDOS

Altitude [m] :	20	Anos	20 Ano(s)
Distancia à costa [km] :	inferior a 10 kms	Taxa Capitalização (α) [%]:	3
Concelho:	PORTO	Horas de Aquecimento:	24
Zona/Graus-dias:	I2 1610	Variação Energ.(α') [%]:	4
Tipo de elemento:	Parede Exterior	Custo Actual Energ.[€/kWh]:	.22
Área do elemento [m²]:	42.4	Custo Investimento [€/m²]:	58.21

SOLUÇÃO INICIAL			SOLUÇÃO MELHORADA		
Nível/U_i [W/(m².°C)]:	N0	1,073	Nível/U_f [W/(m².°C)]:	N2	,448
q_i [kWh/m²]:	41		q_f [kWh/m²]:	17	
Q_i [kWh]:	1758		Q_f [kWh]:	734	



AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÓMICA DA MEDIDA DE MELHORIA

Uf [W/m².°C]	Nível de Qualidade	Poupança Anual [€]	Custo do Investimento [€]	Período de retorno [anos]	Benefício económico efectivo [€] 5 anos	10 anos	15 anos
.448	N2	225,28	2468	11	-	-	1045

Sugestões de medidas de melhoria (implementação não obrigatória)	Redução anual da factura energética	Custo estimado de investimento	Período de retorno do investimento
	⊗⊗	⊖⊖⊖	⌀⌀

Figura 96 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução 2

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

OPTITERM - LFC

MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS EXISTENTES

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

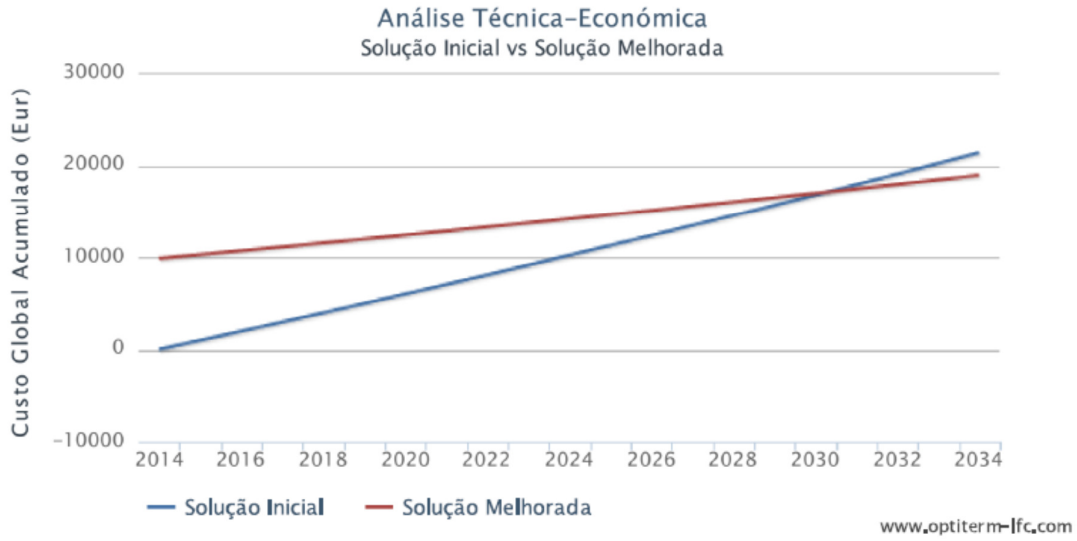
OPTITERM - LFC

NOVA SIMULAÇÃO | EXECUTAR SIMULAÇÃO | MANUAL OPTITERM

DADOS GERAIS DA FRACÇÃO AUTÓNOMA E PRESSUPOSTOS ADMITIDOS

Altitude [m] :	20	Anos	20 Ano(s)
Distancia à costa [km] :	inferior a 10 kms	Taxa Capitalização (α) [%]:	3
Concelho:	PORTO	Horas de Aquecimento:	24
Zona/Graus-dias:	I2 1610	Variação Energ.(α') [%]:	4
Tipo de elemento:	Parede Exterior	Custo Actual Energ.[€/kWh]:	.22
Área do elemento [m²]:	110	Custo Investimento [€/m²]:	89.40

SOLUÇÃO INICIAL		SOLUÇÃO MELHORADA	
Nível/U_i [W/(m².°C)]:	N0 1,073	Nível/U_f [W/(m².°C)]:	N1 ,457
q_i [kWh/m²]:	41	q_f [kWh/m²]:	18
Q_i [kWh]:	4561	Q_f [kWh]:	1942



AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÓMICA DA MEDIDA DE MELHORIA

Uf [W/m².°C]	Nível de Qualidade	Poupança Anual [€]	Custo do Investimento [€]	Período de retorno [anos]	Benefício económico efectivo [€] 5 anos	10 anos	15 anos
.457	N1	576,18	9834	17	-	-	-

Sugestões de medidas de melhoria (implementação não obrigatória)	Redução anual da factura energética	Custo estimado de investimento	Período de retorno do investimento
	⊗⊗⊗	⊖⊖⊖	⌀

Figura 97 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução 3

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

OPTITERM - LFC

MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS EXISTENTES

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

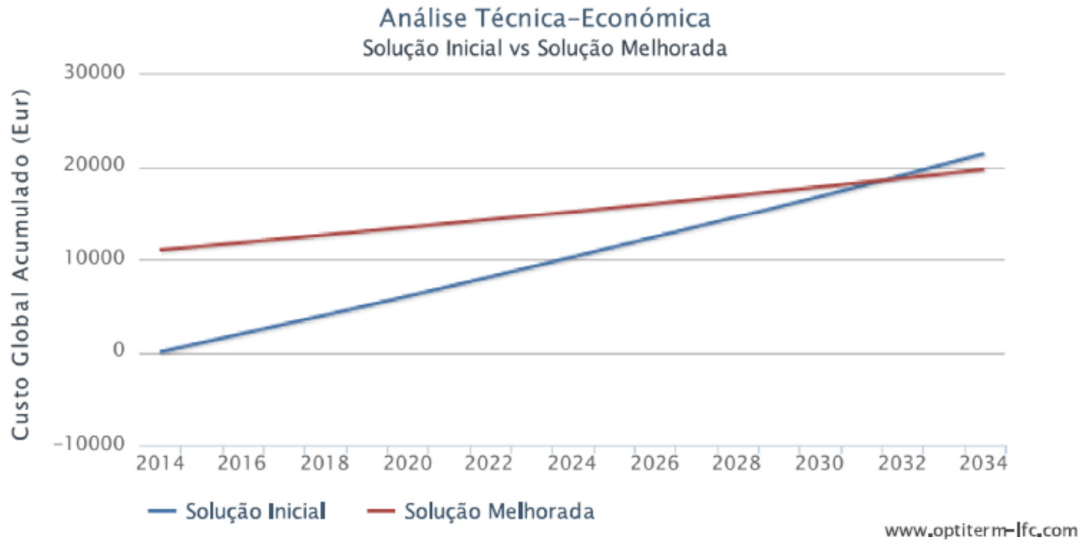
OPTITERM - LFC

NOVA SIMULAÇÃO | EXECUTAR SIMULAÇÃO | MANUAL OPTITERM

DADOS GERAIS DA FRACÇÃO AUTÓNOMA E PRESSUPOSTOS ADMITIDOS

Altitude [m] :	20	Anos	20 Ano(s)
Distancia à costa [km] :	inferior a 10 kms	Taxa Capitalização (α) [%]:	3
Concelho:	PORTO	Horas de Aquecimento:	24
Zona/Graus-dias:	I2 1610	Variação Energ.(α') [%]:	4
Tipo de elemento:	Parede Exterior	Custo Actual Energ.[€/kWh]:	,22
Área do elemento [m²]:	110	Custo Investimento [€/m²]:	99,44

SOLUÇÃO INICIAL		SOLUÇÃO MELHORADA	
Nível/U_i [W/(m².°C)]:	N0 1,073	Nível/U_f [W/(m².°C)]:	N2 ,440
q_i [kWh/m²]:	41	q_f [kWh/m²]:	17
Q_i [kWh]:	4561	Q_f [kWh]:	1870



AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÓMICA DA MEDIDA DE MELHORIA

Uf [W/m².°C]	Nível de Qualidade	Poupança Anual [€]	Custo do Investimento [€]	Período de retorno [anos]	Benefício económico efectivo [€] 5 anos	10 anos	15 anos
,440	N2	592,02	10938	18	-	-	-

Sugestões de medidas de melhoria (implementação não obrigatória)	Redução anual da factura energética	Custo estimado de investimento	Período de retorno do investimento

Figura 98 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução 4

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

OPTITERM - LFC

MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS EXISTENTES

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

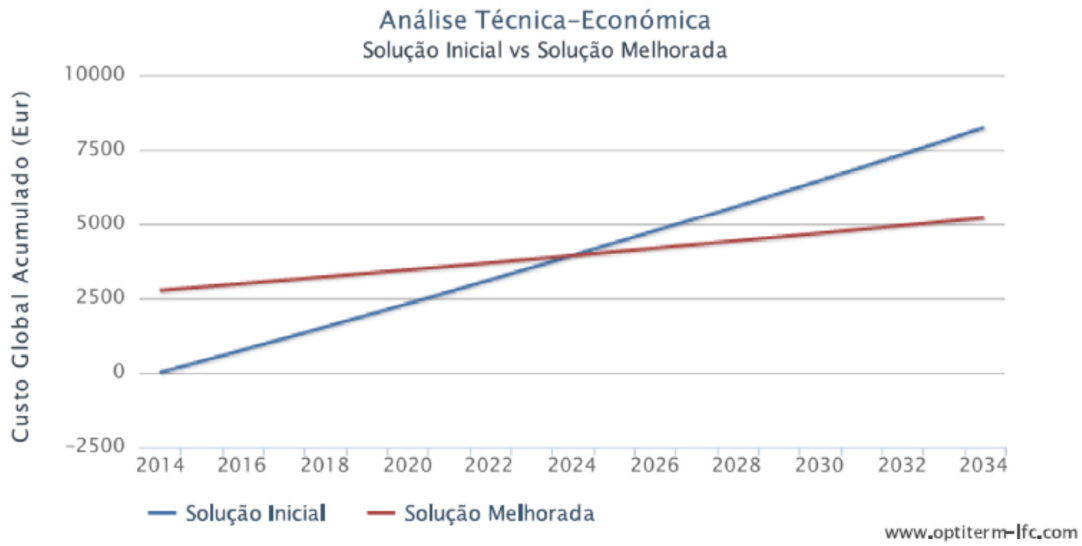
OPTITERM - LFC

NOVA SIMULAÇÃO | EXECUTAR SIMULAÇÃO | MANUAL OPTITERM

DADOS GERAIS DA FRACÇÃO AUTÓNOMA E PRESSUPOSTOS ADMITIDOS

Altitude [m] :	20	Anos	20 Ano(s)
Distancia à costa [km] :	inferior a 10 kms	Taxa Capitalização (α) [%]:	3
Concelho:	PORTO	Horas de Aquecimento:	24
Zona/Graus-dias:	I2 1610	Variação Energ.(α') [%]:	4
Tipo de elemento:	Parede Exterior	Custo Actual Energ.[€/kWh]:	,22
Área do elemento [m²]:	42,4	Custo Investimento [€/m²]:	65,14

SOLUÇÃO INICIAL		SOLUÇÃO MELHORADA	
Nível/U_i [W/(m².°C)]:	N0 1,073	Nível/U_f [W/(m².°C)]:	N3 ,318
q_i [kWh/m²]:	41	q_f [kWh/m²]:	12
Q_i [kWh]:	1758	Q_f [kWh]:	521



AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÓMICA DA MEDIDA DE MELHORIA

Uf [W/m².°C]	Nível de Qualidade	Poupança Anual [€]	Custo do Investimento [€]	Período de retorno [anos]	Benefício económico efectivo [€] 5 anos	10 anos	15 anos
,318	N3	272,14	2762	11	-	-	1482

Sugestões de medidas de melhoria (implementação não obrigatória)	Redução anual da factura energética	Custo estimado de investimento	Período de retorno do investimento
	⊗⊗	⊖⊖⊖	ØØ

Figura 99 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução 5

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

OPTITERM - LFC

MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS EXISTENTES

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

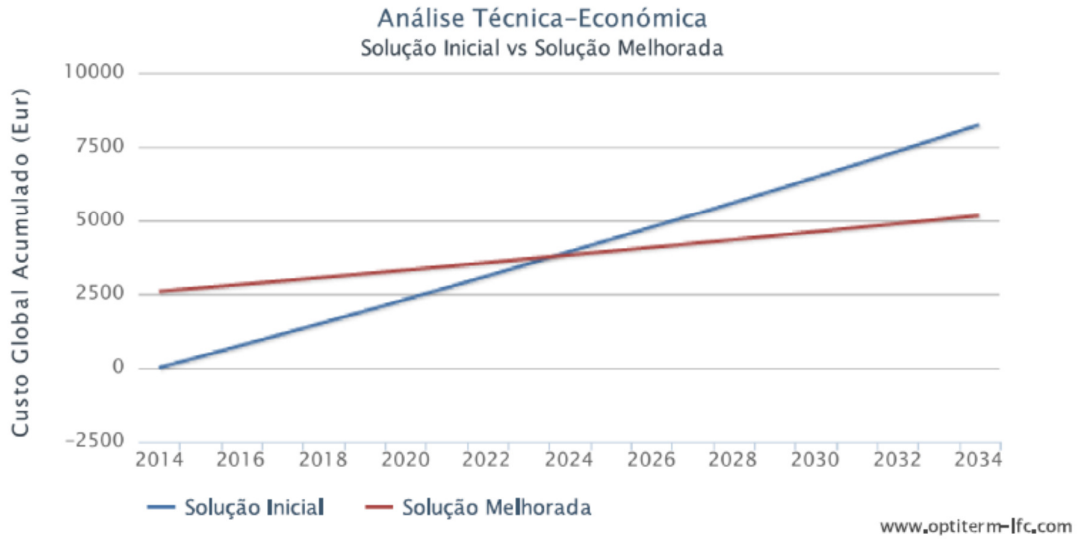
OPTITERM - LFC

NOVA SIMULAÇÃO | EXECUTAR SIMULAÇÃO | MANUAL OPTITERM

DADOS GERAIS DA FRACÇÃO AUTÓNOMA E PRESSUPOSTOS ADMITIDOS

Altitude [m] :	20	Anos	20 Ano(s)
Distancia à costa [km] :	inferior a 10 kms	Taxa Capitalização (α) [%]:	3
Concelho:	PORTO	Horas de Aquecimento:	24
Zona/Graus-dias:	I2 1610	Variação Energ.(α') [%]:	4
Tipo de elemento:	Parede Exterior	Custo Actual Energ.[€/kWh]:	.22
Área do elemento [m²]:	42.4	Custo Investimento [€/m²]:	61.02

SOLUÇÃO INICIAL			SOLUÇÃO MELHORADA		
Nível/U_i [W/(m².°C)]:	N0	1,073	Nível/U_f [W/(m².°C)]:	N3	,335
q_i [kWh/m²]:	41		q_f [kWh/m²]:	13	
Q_i [kWh]:	1758		Q_f [kWh]:	549	



AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÓMICA DA MEDIDA DE MELHORIA

Uf [W/m².°C]	Nível de Qualidade	Poupança Anual [€]	Custo do Investimento [€]	Período de retorno [anos]	Benefício económico efectivo [€] 5 anos	10 anos	15 anos
.335	N3	265.98	2587	10	-	111	1561

Sugestões de medidas de melhoria (implementação não obrigatória)	Redução anual da factura energética	Custo estimado de investimento	Período de retorno do investimento
	⊗⊗	⊖⊖⊖	ØØ

Figura 100 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução 6

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

OPTITERM - LFC

MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS EXISTENTES

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

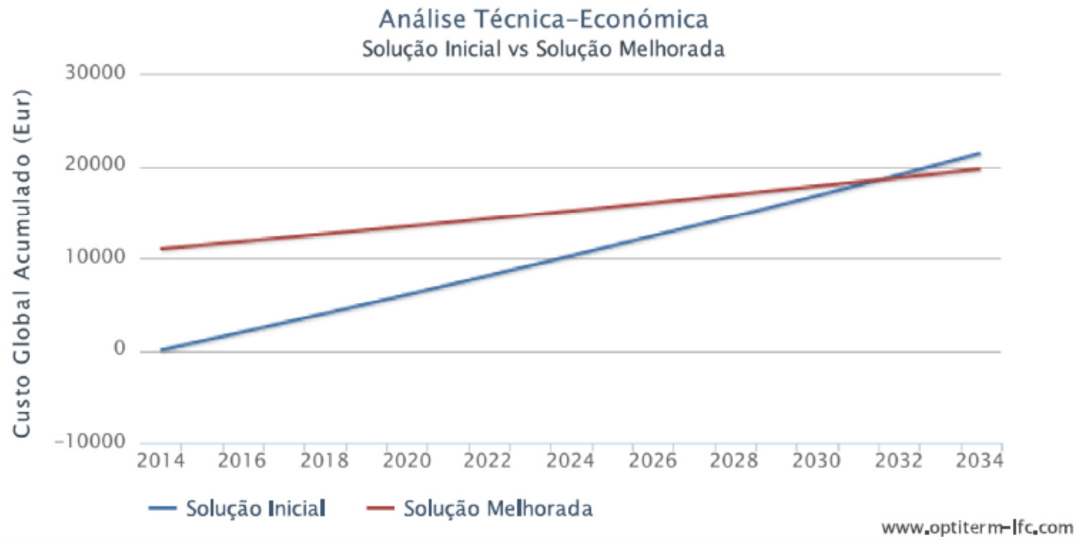
OPTITERM - LFC

NOVA SIMULAÇÃO | EXECUTAR SIMULAÇÃO | MANUAL OPTITERM

DADOS GERAIS DA FRACÇÃO AUTÓNOMA E PRESSUPOSTOS ADMITIDOS

Altitude [m] :	20	Anos	20 Ano(s)
Distancia à costa [km] :	inferior a 10 kms	Taxa Capitalização (α) [%]:	3
Concelho:	PORTO	Horas de Aquecimento:	24
Zona/Graus-dias:	I2 1610	Variação Energ.(α') [%]:	4
Tipo de elemento:	Parede Exterior	Custo Actual Energ.[€/kWh]:	,22
Área do elemento [m²]:	110	Custo Investimento [€/m²]:	91,28

SOLUÇÃO INICIAL			SOLUÇÃO MELHORADA		
Nível/U_i [W/(m².°C)]:	N0	1,073	Nível/U_f [W/(m².°C)]:	N2	,340
q_i [kWh/m²]:	41		q_f [kWh/m²]:	17	
Q_i [kWh]:	4561		Q_f [kWh]:	1870	



AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÓMICA DA MEDIDA DE MELHORIA

Uf [W/m².°C]	Nível de Qualidade	Poupança Anual [€]	Custo do Investimento [€]	Período de retorno [anos]	Benefício económico efectivo [€] 5 anos	10 anos	15 anos
,440	N2	592,02	10938	18	-	-	-

Sugestões de medidas de melhoria (implementação não obrigatória)	Redução anual da factura energética	Custo estimado de investimento	Período de retorno do investimento
	⊗⊗⊗	⊖⊖⊖	⌀

Figura 101 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução 7

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

OPTITERM - LFC

MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS EXISTENTES

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

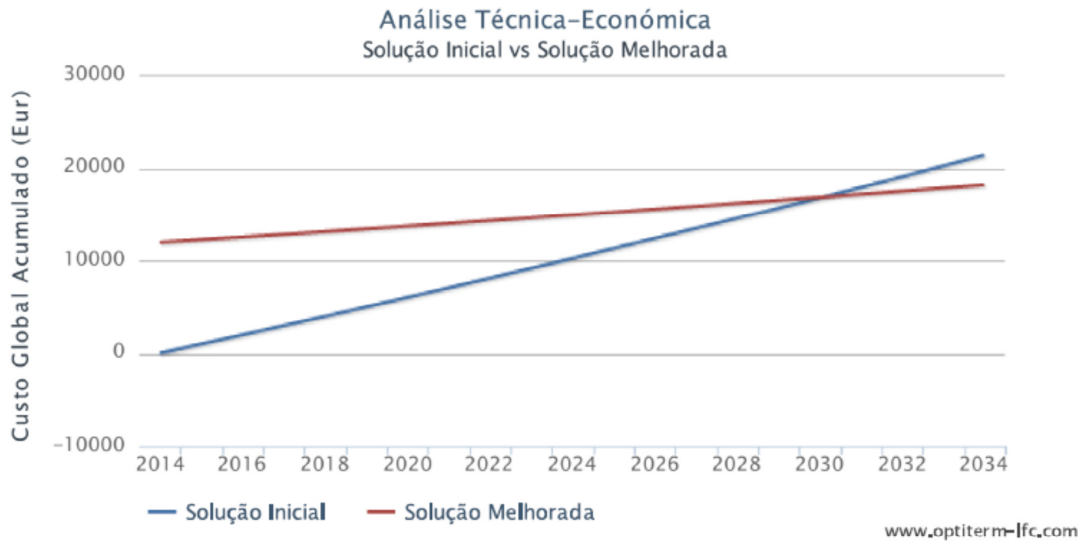
OPTITERM - LFC

NOVA SIMULAÇÃO | EXECUTAR SIMULAÇÃO | MANUAL OPTITERM

DADOS GERAIS DA FRACÇÃO AUTÓNOMA E PRESSUPOSTOS ADMITIDOS

Altitude [m] :	20	Anos	20 Ano(s)
Distancia à costa [km] :	inferior a 10 kms	Taxa Capitalização (α) [%]:	3
Concelho:	PORTO	Horas de Aquecimento:	24
Zona/Graus-dias:	I2 1610	Variação Energ.(α') [%]:	4
Tipo de elemento:	Parede Exterior	Custo Actual Energ.[€/kWh]:	,22
Área do elemento [m²]:	110	Custo Investimento [€/m²]:	108,24

SOLUÇÃO INICIAL			SOLUÇÃO MELHORADA		
Nível/U_i [W/(m².°C)]:	N0	1,073	Nível/U_f [W/(m².°C)]:	N3	,316
q_i [kWh/m²]:	41		q_f [kWh/m²]:	12	
Q_i [kWh]:	4561		Q_f [kWh]:	1343	



AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÓMICA DA MEDIDA DE MELHORIA

Uf [W/m².°C]	Nível de Qualidade	Poupança Anual [€]	Custo do Investimento [€]	Período de retorno [anos]	Benefício económico efectivo [€] 5 anos	10 anos	15 anos
,316	N3	707,96	11906	17	-	-	-

Sugestões de medidas de melhoria (implementação não obrigatória)	Redução anual da factura energética	Custo estimado de investimento	Período de retorno do investimento
	⊗⊗⊗	⊖⊖⊖	⌀

Figura 102 - Análise técnico-económica da Solução original com Solução 8