**Rita Maria Duarte Rosa de Sousa Martins**

Licenciada em Ciências da Engenharia Civil

# Aumento da eficiência e desempenho energético no processo de reabilitação de edifícios de habitação

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil Construção

Orientador: Miguel Pires Amado, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Fernando Henriques
Arguente: Prof. Doutor Daniel Aelenei
Vogal: Prof. Doutor Miguel P. Amado

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Maio de 2014**

“Copyright” Rita Maria Duarte Rosa de Sousa Martins, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

# AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Miguel Amado, pela orientação e disponibilidade ao longo da execução da dissertação de Mestrado.

Aos meus pais, pelo amor, pelo carinho, pela paciência e pela amizade que demonstraram ao longo de toda a minha vida em especial nas fases de maior dificuldade e por serem as pessoas mais importantes da minha vida e me demonstrarem diariamente que terei sempre o seu apoio incondicional.

À minha avó Gertrudes, por todo o incentivo, orações, sensatez, sabedoria, preocupações, amizade e amor durante o meu percurso académico e durante toda a minha vida, nunca me deixando desanimar.

Ao meu avô Jaime, avô Luiz e avó Lourdes, por saber que são uns avós orgulhosos do meu percurso enquanto pessoa e estudante, por serem uma fonte de força, luta e inspiração diária, por serem os meus fiéis protectores e olharem sempre por mim e, sobretudo, por terem feito parte da minha vida.

À minha restante família, em especial às minhas primas e tios, por serem os meus companheiros de sempre e por me apoiarem em todos os momentos.

Aos meus melhores amigos, em especial ao Gonçalo, Laura, Maria e Zoca, por toda a amizade demonstrada ao longo dos anos e por continuarem a fazer parte do meu dia-a-dia.

Às minhas amigas, colegas e companheiras de curso, em especial à Carla Veiga e à Ana Domingos por terem estado sempre comigo e terem feito a meu lado todo o percurso académico que fez de nós o que somos hoje.

# RESUMO

Com o passar dos tempos, e com o crescimento continuado da população mundial, o Planeta Terra tem vindo a sofrer fortes alterações. Problemas como o aquecimento global, o aumento da poluição e o elevado ritmo de destruição e de exploração dos recursos naturais começam cada vez mais a alertar a sociedade para a necessidade de alteração dos seus hábitos.

Um dos factores geradores dessas alterações é resultante do sector da construção continuar a crescer de forma descontrolada, originando grandes impactes sobre o meio ambiente, visíveis nos níveis de emissão de resíduos poluentes ou o elevado consumo dos recursos naturais não renováveis, contribuindo para a sua extinção ou redução de disponibilidade futura de exploração. Acrescendo a esta situação a falta de eficiência dos edifícios constitui-se como um factor importante no consumo de energia, uma vez que a população na sua acção de procura dos níveis de conforto desejados provoca um maior consumo energético.

Torna-se assim essencial alterar não só os hábitos de produção e consumo da sociedade como também a qualidade das construções, dotando-as de melhores materiais de construção, de técnicas construtivas mais eficientes e de formas de aproveitamento dos recursos naturais renováveis e inesgotáveis que a população mundial tem ao seu dispor de forma quase permanente. É igualmente importante que se abrande o ritmo de construção nova e se comece a apostar fortemente na reabilitação de edifícios, conseguindo dotar os edifícios existentes de novas e melhores condições de habitabilidade e sustentabilidade.

A presente dissertação procura fornecer um método de intervenção em edifícios construídos em Portugal que lhes confira uma maior eficiência energética sem que, para isso, o nível de conforto exigido por parte dos habitantes seja alterado.

Através do estudo foi construído um modelo de intervenção baseado em medidas que podem ser implementadas nas acções de reabilitação de edifícios e que no seu final conduzem a um aumento da eficiência energética. Foi possível concluir que as medidas relacionadas com o aumento do isolamento térmico da envolvente exterior são aquelas que conduzem a melhores resultados, e que, dentro destas, se deve dar especial relevância ao aumento do isolamento térmico na cobertura.

**Termos chave:** Eficiência energética; Desempenho energético; Necessidades energéticas; Construção sustentável; Reabilitação de edifícios

# ABSTRACT

Planet Earth has been suffering severe changes in result of the continuous growth of the population and themes like the global warming, the increased pollution and the high rate of destruction and exploitation of natural resources have alert society to the need to change their habits.

One of the major factors to this situation is the changes in the construction industry which continues to grow uncontrollably. This fact results on environmental impacts, whit effects in the emission levels of pollutants waste and high consumption of non-renewable natural resources. These actions contribute to the extinction or reducing future availability of natural resources.

In another hand, the lack of efficiency of the building sector is an important factor in energy consumption, since the population in its search for the high comfort levels that promotes greater energy consumption.

Thus, it becomes essential to change not only society's behaviors of production and consumption, but also the quality of buildings, providing them with better building materials, construction techniques and more efficient forms of using renewable natural resources. It is also important to slow down the pace of new buildings and start betting heavily in the rehabilitation of the existing, managing to provide the existing ones with new and better conditions of habitability and sustainability.

This dissertation seeks to provide a method of intervention in Portuguese buildings which aims to give them greater energy efficiency without reduce the level of comfort required by its inhabitants.

Through this study we built a model of intervention based on measures that can be implemented in the rehabilitation of buildings and that will lead in the end to the increasing of energy efficiency. It was possible to conclude that the measures concerning the increase of the thermal isolation of the building envelope are the ones that present the best results and that, among these, the increase in isolation of the roof is of special relevance.



**Key words:** Energy efficiency; Energy performance; Energy requirements; Sustainable Construction; Building rehabilitation

# ÍNDICE


1. INTRODUÇÃO ..... 1

1.1. Motivação e enquadramento do tema ..... 1
1.2. Objectivos e metodologia ..... 2
1.3. Estrutura do trabalho ..... 3

2. ESTADO DA ARTE ..... 5

2.1. Energia ..... 5

2.1.1. Fontes de energia não renováveis ..... 7
2.1.2. Fontes de energia renováveis ..... 7

2.2. Parque edificado ..... 12
2.3. Desempenho e consumo energético das construções em Portugal ..... 20
2.4. Impactes decorrentes do consumo de energia não renovável ..... 24
2.5. Necessidade de maior eficiência energética ..... 27
2.6. A ineficiência energética ..... 30

3. ANÁLISE DE ESTUDOS DE CASO ..... 43

3.1. Estudos de caso ..... 43
3.2. Necessidade de uma abordagem à reabilitação energética de edifícios ..... 58

4. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO PARA REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO ..... 65

4.1. Identificação das deficiências de projecto ..... 65
4.2. Soluções construtivas para as intervenções ..... 78

4.2.1. Envolvente exterior ..... 78
4.2.2. Soluções solares passivas ..... 88
4.2.3. A iluminação natural ..... 89
4.2.4. A iluminação artificial ..... 90
4.2.5. Utilização de fontes de energia renováveis ..... 91

4.3. Plano de manutenção ..... 94
4.4. Procedimentos de utilização ..... 96
4.5. Modelo de intervenção ..... 99

5. ANÁLISE DA METODOLOGIA DE ESTUDO ..... 101

5.1. Análise de resultados ..... 101
5.2. Proposta de intervenção ..... 112

6. CONCLUSÕES ..... 115

6.1. Conclusão ..... 115
6.2. Desenvolvimentos futuros ..... 115

7. BIBLIOGRAFIA ..... 117
ANEXO ..... 121

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Metodologia de estudo ..... 3
Figura 2.1 - Variação da taxa de dependência energética em Portugal (%) ..... 5
Figura 2.2 - Evolução do consumo de energia primária em Portugal ..... 6
Figura 2.3 - Mapa das zona climatéricas em Portugal - variação da radiação solar média anual ..... 9
Figura 2.4 - Sistema solar térmico ..... 10
Figura 2.5 - Taxa de variação de edifícios e alojamentos entre 2001 e 2011 ..... 12
Figura 2.6 - Estimativa do número de fogos e da população residente, 2012 ..... 13
Figura 2.7 - Edifícios concluídos por finalidade de obra em Portugal, em 2012 ..... 14
Figura 2.8 - Índice de envelhecimento dos edifícios em 2011 ..... 14
Figura 2.9- Distribuição percentual dos edifícios por época de construção em Portugal ..... 15
Figura 2.10 - Tipo de estruturas de construção dos edifícios em Portugal (%) ..... 17
Figura 2.11 - Tipo de revestimento exterior dos edifícios em Portugal (%) ..... 17
Figura 2.12 - Tipo de cobertura dos edifícios em Portugal (%) ..... 17
Figura 2.13 - Estado de degradação dos edifícios em Portugal, 2011 ..... 18
Figura 2.14 - Reabilitação do edificado e construção nova em Portugal ..... 19
Figura 2.15 - Dependência energética dos países da União Europeia (%), 2009 ..... 20
Figura 2.16 - Peso dos sectores no consumo de energia (%) ..... 21
Figura 2.17 - Repartição dos consumos de electricidade pelos diferentes usos finais em Portugal, 2004 ..... 21
Figura 2.18 - Alojamentos que consomem energia por tipo de fonte em Portugal (2010) ..... 22
Figura 2.19 – Consumo total (tep) e despesa total (€) no alojamento em Portugal, 2010 ..... 22
Figura 2.20 - Consumo de energias renováveis e fósseis (%) no alojamento em Portugal, 2010 ..... 23
Figura 2.21 - Impactes ambientais dos edifícios nos EUA ..... 24
Figura 2.22 - Percentagem de utilização de energia num edifício durante o seu ciclo de vida ..... 24
Figura 2.23 – Distribuição do consumo energético do sector doméstico por fontes de energia, em Portugal, 2011 (provisório) (%) ..... 25
Figura 2.24 - Utilização de energias renováveis como fonte de produção de energia no sector doméstico em Portugal ..... 25
Figura 2.25 - Etiqueta Energética da União Europeia ..... 28
Figura 2.26 - Comparação da repartição do consumo doméstico de electricidade segundo dados da ADENE e as respostas dos inquiridos quando questionados sobre o tema ..... 30
Figura 2.27 - Tipo de parede exterior de acordo com o ano de construção das habitações ..... 32
Figura 2.28 - Tipo de envidraçados de acordo com o ano de construção das habitações ..... 33
Figura 2.29 - Tipo de parede e isolamento existente nas habitações das EcoFamílias ..... 34
Figura 2.30 - Tipo de envidraçados existentes nas habitações das EcoFamílias ..... 38
Figura 2.31 - Percentagem de presença dos vários tipos de lâmpadas nas EcoFamílias ..... 39
Figura 2.32 - Potencial de economia na globalidade do sector residencial ..... 40
Figura 3.1 - BedZed, Reino Unido ..... 44
Figura 3.2 - Sistemas mecânicos e de engenharia instalados nos edifícios, BedZed, Reino Unido ..... 45
Figura 3.3 – Comportamento térmico das habitações, BedZed, Reino Unido ..... 45
Figura 3.4 - Pormenor de isolamento de uma parede exterior, BedZed, Reino Unido ..... 45
Figura 3.5 - Kronsberg, Alemanha ..... 46
Figura 3.6 - Vauban, Alemanha ..... 47
Figura 3.7 - Utilização da superfície dos telhados dos edifícios em Vauban, Alemanha ..... 48
Figura 3.8 - Rieselfeld, Alemanha ..... 48
Figura 3.9 - Rieselfeld, Alemanha ..... 49
Figura 3.10 - Rieselfeld, Alemanha ..... 49
Figura 3.11 - Weingarten, Alemanha ..... 50
Figura 3.12 - Weingarten, Alemanha ..... 50
Figura 3.13 – Modelo de Hammarby ..... 51
Figura 3.14 - Hammarby Sjöstad , Suécia ..... 52

Figura 3.15 - Hammarby Sjöstad , Suécia ..... 52
Figura 3.16 - Vesterbro, Dinamarca ..... 53
Figura 3.17 - Comparação de consumos, gastos, emissões e necessidades entre o bairro de Viikki as habitações convencionais ..... 55
Figura 3.18 - Eco-Viikki, Finlândia ..... 55
Figura 3.19 - Eva-Lanxmeer, Holanda ..... 56
Figura 3.20 - Eva-Lanxmeer, Holanda ..... 57
Figura 3.21 - Tipo de estrutura da construção entre 1971 e 1990 em Portugal ..... 58
Figura 3.22 - Tipo de cobertura da construção entre 1971 e 1990 em Portugal ..... 58
Figura 3.23 - Tipo de revestimento exterior da construção entre 1971 e 1990 em Portugal ..... 59
Figura 3.24 - Caracterização dos edifícios segundo o número de pisos entre 1971 e 1990 em Portugal ..... 59
Figura 3.25 - Edifícios construídos entre 1971 e 1990, segundo o estado de conservação, em Portugal ..... 60
Figura 3.26 - Necessidade de reparação da cobertura dos edifícios construídos entre 1971 e 1990 em Portugal ..... 61
Figura 3.27 - Necessidade de reparação da estrutura dos edifícios construídos entre 1971 e 1990 em Portugal ..... 61
Figura 3.28 - Necessidade de reparação das paredes e caixilharias exteriores dos edifícios construídos entre 1971 e 1990 em Portugal ..... 61
Figura 3.29 - Certificados de energia emitidos pela ADENE entre 1970 e 1979, por classes, em Portugal Continental ..... 62
Figura 3.30 - Certificados de energia emitidos pela ADENE entre 1980 e 1989, por classes, em Portugal Continental ..... 63
Figura 4.1 - Percentagem de edifícios construídos entre 1970 e 1989 em Portugal que cumprem e não cumprem os mínimos exigidos pela ADENE ..... 66
Figura 4.2 – Número e tipo de certificados emitidos pela ADENE para os edifícios construídos entre 1970 e 1989 em Portugal de acordo com a sua tipologia ..... 67
Figura 4.3 - Necessidades de energia para aquecimento dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 de acordo com a sua classificação energética ..... 68
Figura 4.4 - Necessidades de energia para arrefecimento dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 de acordo com a sua classificação energética ..... 70
Figura 4.5 - Necessidades de energia para aquecimento de AQS dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 de acordo com a sua classificação energética ..... 71
Figura 4.6 - Necessidades nominais globais de energia primária dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 de acordo com a sua classificação energética ..... 73
Figura 4.7 - Relação entre as necessidades de aquecimento, arrefecimento, aquecimento de AQS e primária dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 de acordo com a sua classificação energética ..... 73
Figura 4.8 - Nível de isolamento médio das fachadas exteriores dos edifícios construídos em Portugal nas décadas de 70 e 80 consoante as classes energéticas ..... 74
Figura 4.9 - Nível de isolamento médio das coberturas exteriores dos edifícios construídos em Portugal nas décadas de 70 e 80 consoante as classes energéticas ..... 75
Figura 4.10 - Nível de isolamento médio dos pavimentos sobre o exterior dos edifícios construídos em Portugal nas décadas de 70 e 80 consoante as classes energéticas ..... 75
Figura 4.11 - Tendência de evolução dos níveis de isolamento térmico de acordo com as classes energéticas e década de construção ..... 76
Figura 4.12 - Média do factor solar dos vãos envidraçados dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 de acordo com a sua classe energética ..... 77
Figura 4.14 - Ganho directo ..... 88
Figura 4.14 - Ganho indirecto ..... 88
Figura 4.15 - Valores óptimos das percentagens de envidraçados das fachadas para edifícios residenciais ..... 90
Figura 4.16 - Cobertura solar das necessidades de água quente durante o ano ..... 92
Figura 4.17 - Esquema de instalação de painéis solares em habitações ..... 92

Figura 4.18 - Tipos de colectores solares de acordo com a sua temperatura de utilização ..... 93
Figura 4.19 - Ventilação de uma habitação separadamente por compartimentos ..... 96
Figura 4.20 - Ventilação conjunta de uma habitação ..... 97
Figura 4.21 - Impossibilidade de combinação de exaustão mecânica com ventilação natural..... 98
Figura 4.22 - Possibilidades de intervenção no aumento da eficiência e desempenho energético no processo de reabilitação de edifícios de habitação..... 100
Figura 5.1 - Formação académica dos participantes no questionário elaborado..... 101
Figura 5.2 - Hierarquização de medidas a considerar, do ponto de vista do nível de eficiência, no processo de aumento da eficiência e desempenho energético no processo de reabilitação de edifícios de habitação em Portugal ..... 102
Figura 5.3 - Hierarquização de medidas a considerar no processo de aumento da eficiência e desempenho energético no processo de reabilitação de edifícios de habitação em Portugal, do ponto de vista do momento de aplicação das mesmas ..... 103
Figura 5.4 - Hierarquização dos aparelhos domésticos cuja mudança por uns de maior classe energética conduziria a um aumento da classe energética dos edifícios de habitação nos quais estão inseridos ..... 104
Figura 5.5 - Classe energética mínima a adoptar nos aparelhos de aquecimento/arrefecimento e restantes electrodomésticos, por forma a conseguir um aumento do desempenho energético dos edifícios de habitação em que se encontram inseridos..... 105
Figura 5.6 - Hierarquização de medidas de melhoria das características dos envidraçados tendo em conta o aumento da eficiência energética dos edifícios de habitação em que estão instalados..... 106
Figura 5.7 - Hierarquização das diferentes hipóteses de intervenção em coberturas inclinadas com objectivo de aumentar o seu isolamento térmico, tendo em conta os seus níveis de eficiência..... 107
Figura 5.8 - Hierarquização das diferentes hipóteses de intervenção em coberturas em terraço com objectivo de aumentar o seu isolamento térmico, tendo em conta os seus níveis de eficiência..... 107
Figura 5.9 - Hierarquização das diferentes hipóteses de intervenção em pavimentos em contacto com o exterior ou com espaços não aquecidos com objectivo de aumentar o seu isolamento térmico, tendo em conta os seus níveis de eficiência..... 108
Figura 5.10 - Hierarquização das diferentes hipóteses de intervenção em paredes exteriores com objectivo de aumentar o seu isolamento térmico, tendo em conta os seus níveis de eficiência..... 109
Figura 5.11 - Hierarquização das diferentes soluções solares passivas de aquecimento, tendo a sua facilidade de implementação, a adoptar no processo de reabilitação de edifícios quando se pretenda aumentar o seu desempenho energético ..... 109
Figura 5.12 - Hierarquização das diferentes soluções solares passivas de arrefecimento, tendo a sua facilidade de implementação, a adoptar no processo de reabilitação de edifícios quando se pretenda aumentar o seu desempenho energético ..... 110
Figura 5.13 - Melhores soluções de aproveitamento da energia solar nos edifícios de habitação em Portugal com o objectivo de aumentar o seu desempenho energético ..... 111

# ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Distribuição dos edifícios por época de construção, 2011 ..... 15
Quadro 2.2 - Edifícios, segundo a época de construção, por principais materiais utilizados na construção em Portugal ..... 16
Quadro 2.3 - Estado de conservação dos edifícios em Portugal, por época de construção ..... 18
Quadro 2.4 - Custo e economia de energia da aplicação de diversas espessuras do isolante térmico, para os Concelhos de Lisboa, Porto e Bragança ..... 34
Quadro 2.5 - Custo e economia de energia da aplicação de diversas espessuras do isolante térmico, para os Concelhos de Lisboa, Porto e Bragança ..... 35
Quadro 2.6 - Custo e economia de energia da aplicação de diversas espessuras do isolante térmico, para os Concelhos de Lisboa, Porto e Bragança ..... 36
Quadro 2.7 - Custo e economia de energia da aplicação de diversas espessuras do isolante térmico, para os Concelhos de Lisboa, Porto e Bragança ..... 36
Quadro 2.8 - Custo e economia de energia da aplicação de diversas espessuras do isolante térmico, para os Concelhos de Lisboa, Porto e Bragança ..... 37
Quadro 2.9 - Exemplo de substituição de lâmpadas incandescentes por compactas fluorescentes ..... 39
Quadro 2.10 - Comparação dos consumos de electricidade e água de uma "Família Standard" e uma "Família Ecológica" ..... 40
Quadro 3.1 - Número de certificados de energia emitidos entre 1970 e 1989, em Portugal Continental ..... 62
Quadro 4.1 - Número de certificados energéticos atribuídos a edifícios construídos entre 1970 e 1989 de acordo com a sua tipologia ..... 66
Quadro 4.2 - Vantagens e inconvenientes do isolamento térmico exterior de fachadas em relação ao isolamento interior ..... 81
Quadro 4.3 - Vantagens e desvantagens da solução de reforço do isolamento térmico na caixa-de-ar (no caso de paredes duplas) ..... 81
Quadro 4.4 - Soluções de reforço do isolamento térmico de paredes exteriores ..... 82
Quadro 4.5 - Soluções de reforço do isolamento térmico de pavimentos em contacto com espaços exteriores ou não-aquecidos ..... 84
Quadro 4.6 - Soluções de reforço do isolamento térmico de coberturas ..... 86
Quadro 4.7 - Principais isolantes térmicos utilizados na reabilitação térmica ..... 87
Quadro 4.8 - Exemplo de sistemas passivos ..... 89
Quadro 4.9 - Plano de manutenção dos edifícios ..... 95
Quadro 5.1 - Modelo final de intervenção proposto ..... 113

# ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 4.1 - Cálculo das necessidades anuais de aquecimento de um edifício ou fracção autónoma ..... 67
Equação 4.2 - Cálculo das necessidades nominais de arrefecimento de um edifício ou fracção autónoma ..... 69
Equação 4.3 – Cálculo das necessidades de energia para preparação de AQS de um edifício ou fracção autónoma ..... 70
Equação 4.4 - Cálculo das necessidades nominais globais de energia primária de um edifício ou fracção autónoma ..... 72
Equação 4.5 - Cálculo do somatório das resistências térmicas das várias camadas constituintes de um elemento ..... 74
Equação 4.6 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica de um elemento ..... 74

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. MOTIVAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO TEMA

Com o constante desenvolvimento da sociedade o consumo de energia tem vindo a aumentar uma vez que a sociedade procura manter os níveis de conforto a que se habituou. No entanto, este consumo não se tem mostrado responsável o que, de futuro, levará a que se assista a uma extinção das energias não renováveis ou de origem fóssil podendo comprometer as gerações futuras. [1]

Desta forma, é necessário que cada vez mais se adoptem medidas nas infra-estruturas que tenham em consideração o recurso a fontes de energia renováveis por serem fontes a que se pode recorrer permanentemente, visto serem inesgotáveis e terem um impacto ambiental reduzido. [1]

De facto, quando se analisa o "mix energético" em Portugal verifica-se que as fontes de maior consumo são o petróleo, o gás natural e o carvão, fontes de energia não renováveis em relação às quais Portugal apresenta uma enorme dependência. [2] [3] A poupança de energia é a primeira fonte de energia renovável actualmente disponível. [4]

Note-se que a taxa de dependência energética de Portugal é bastante elevada, tendo registado em 2001 valores na ordem dos 79%. Ainda assim, estes valores têm vindo a decrescer ao longo dos últimos anos. [3] Importa que esta tendência se mantenha e, para isso, devem começar a tomar-se medidas racionais de utilização das fontes de energia não renováveis porque estas se encontram na natureza em quantidades cada vez mais limitadas e, uma vez esgotadas, as reservas não poderão ser regeneradas. [5]

Por forma a sensibilizar a população para o uso de fontes de energia renováveis, importa o facto de Portugal ser um dos países da Europa com melhores condições de aproveitamento da energia solar dado ser um dos países que dispõe de maior número de horas de Sol anuais. Desta forma, realça-se não só a necessidade deste aproveitamento como também as boas condições do mesmo devendo iniciar-se a implementação de medidas que potenciem o aproveitamento deste e outros recursos inesgotáveis e sem custos de utilização. [3]

Sendo assim, ganha cada vez mais importância a forte aposta na instalação de painéis fotovoltaicos e colectores solares dado que, em determinadas zonas do nosso pais, a quantidade de energia solar recebida representa poupanças de centenas de metros cúbicos de matérias primas como o gás natural ou o gás butano, o que consistiria numa poupança não só ambiental como também económica. [6] Este aproveitamento poderá ser utilizado para produzir energia eléctrica ou possibilitar o aquecimento de águas para uso doméstico o que seria bastante positivo e potenciaria a diminuição da factura energética anual das habitações. [7] [8] [9]

Por forma a perceber as reais necessidades do parque edificado em Portugal, quando se realiza uma análise neste sentido, verifica-se que este tem vindo a aumentar na ultima década atingindo os edifícios destinados à habitação valores na ordem dos 3 500 000 no ano de 2011. Ainda assim, a maioria dos edifícios construídos são relativamente recentes sendo a maioria do parque edificado português constituído por edifícios construídos entre 1971 e 1990. [10] Actualmente, atendendo a que o mercado de construção se encontra saturado, tem-se vindo a assistir a um aumento das obras de reabilitação por parte das empresas de construção. [11] . No entanto, esta tendência é ainda muito reduzida quando comparada com a construção nova em Portugal. [12]

Importa fomentar este tipo de práticas por forma a conseguir manter e melhorar os níveis de conforto dos habitantes através do melhoramento das suas habitações com base em técnicas sustentáveis e com preocupações ao nível da eficiência energética já que Portugal ocupa o sexto lugar do "ranking" dos países com maior dependência energética da União Europeia. [13]

Também no interior das habitações devem ser adoptadas medidas no que diz respeito à utilização dos equipamentos e a uma selecção mais inteligente dos mesmos. Note-se que, por exemplo, aparelhos como o frigorifico ou de aquecimento representam a maior parcela de consumos de electricidade em Portugal. [14]

Uma melhor construção e uma reabilitação nesse sentido poderia levar a uma redução das necessidades energéticas de uma habitação os valores associados a gastos energéticos poderiam ser bastante reduzidos.

É urgente que comecem a ser adoptadas técnicas construtivas que utilizem os recursos inesgotáveis ao dispor da população na fase de construção e que a aposta na reabilitação seja efectiva e séria para que seja possível melhorar os níveis de conforto dos habitantes sem que para isso seja necessário realizar novas construções. Assim, aliar a reabilitação de edifícios (que potenciará um rejuvenescimento e melhoramento do parque edificado) à utilização correcta, sustentada e eficiente das fontes de energia disponíveis será certamente uma aposta de futuro e que trará resultados positivos.

## 1.2. OBJECTIVOS E METODOLOGIA

A definição de um modelo de intervenção nos edifícios existentes em Portugal, especialmente naqueles que foram construídos entre 1971 e 1990 (por representarem a maioria do parque edificado do país) apresenta-se como uma medida essencial e de extrema relevância. Com este modelo pretender-se-á perceber qual a melhor forma de reabilitar os edifícios por forma a aumentar a sua eficiência e o seu desempenho energético.

A optimização da eficiência energética é uma condição essencial para a construção sustentável que trará, de futuro, um enorme impacto no consumo de energia dos edifícios. Através da análise do parque edificado português e das suas estatísticas de certificação será possível entender quais as seus padrões de consumo e qual o seu nível de desempenho energético para que sejam perceptíveis os impactes resultantes do seu normal funcionamento e que resultados poderão ser atingidos através da sua reabilitação.

Com o conhecimento desta realidade será possível identificar quais as maiores carências dos edifícios em Portugal por forma a estabelecer o modelo de trabalho e a apresentação de uma proposta de intervenção que tenha como principal objectivo melhorar a eficiência e desempenho energético do parque edificado português.

O principal objectivo da presente dissertação é identificar as maiores necessidades dos edifícios mais representativos do parque edificado português, perceber que melhorias e técnicas construtivas e que medidas por parte dos habitantes podem ser implementadas por forma a suprir essas necessidades e, por fim, validar um modelo de intervenção que, numa análise de eficiência das soluções e num contexto custo-benefício, conduza a melhorias significativas na qualidade dos edifícios sem que o conforto dos ocupantes seja comprometido.

A avaliação das necessidades energéticas dos edifícios em Portugal será feita com base num conjunto de dados fornecidos pela ADENE. Posteriormente, será elaborado um modelo de intervenção que será avaliado por um conjunto de peritos que terão como principal objectivo a definição da forma de intervenção final para que seja possível hierarquizar quais as melhores soluções a adoptar para que se atinjam os objectivos propostos.

Com base neste estudo pretende facilitar-se o processo de reabilitação energética de edifícios através da definição de um "modelo de intervenção" que poderá ser aplicado quando se pretendam atingir menores consumos energéticos e maior aposta nas energias renováveis e formas de aproveitamento das mesmas.

A metodologia de estudo encontra-se apresentada, de forma esquemática, na figura 1.1.

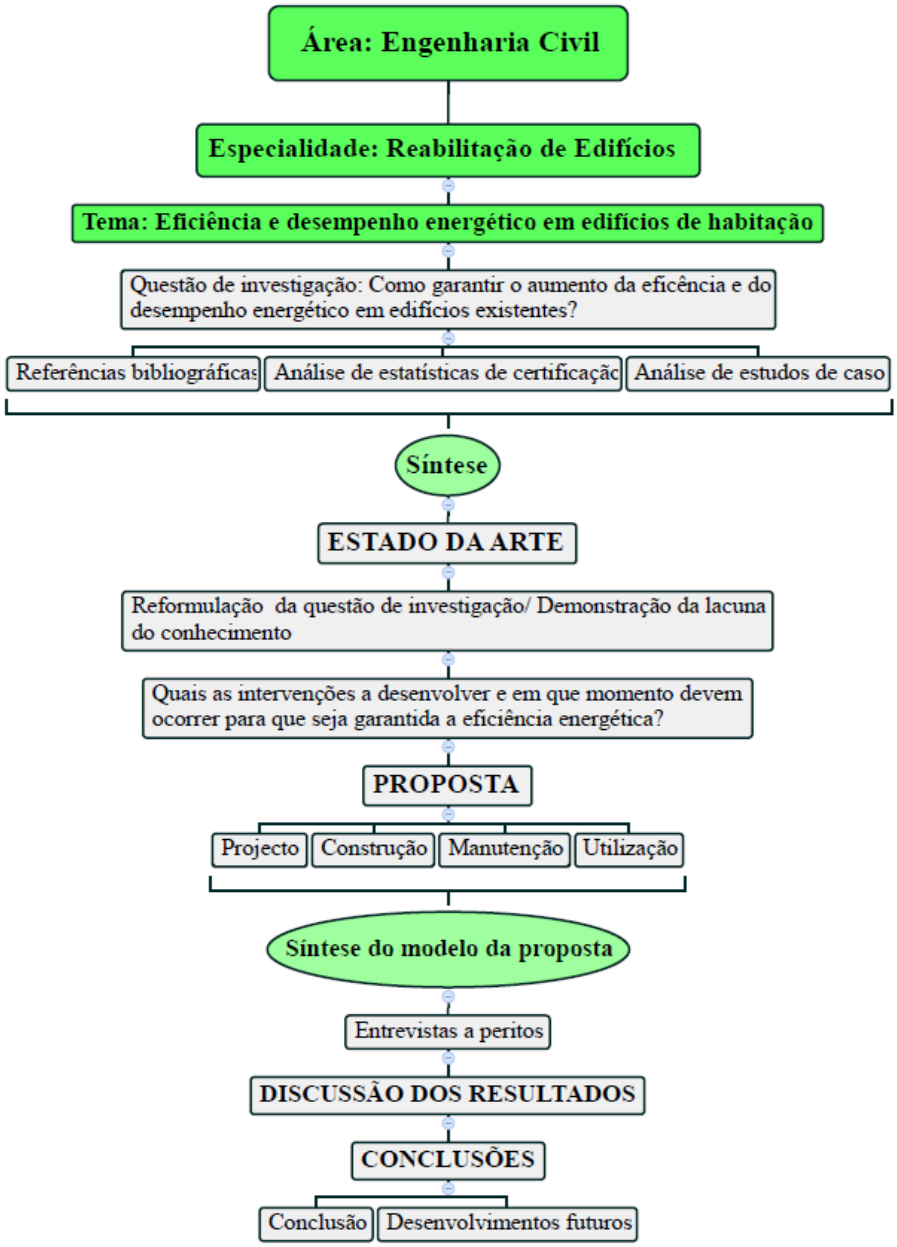


**Figura 1.1 - Metodologia de estudo**

## 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos, por forma a conseguir desenvolver o objectivo proposto.

No segundo capítulo será realizado um enquadramento geral do tema em estudo. Desta forma começou por se fazer um enquadramento da situação de dependência energética de Portugal bem como demonstrar as vantagens da maior utilização de fontes de energia renováveis. Foi também efectuada uma análise ao parque edificado português dando ênfase ao desempenho e consumo

energético dos edifícios, aos impactes decorrentes da utilização de fontes de energia não renováveis e à necessidade de se atingir uma maior eficiência energética nos edifícios em Portugal.

No terceiro capítulo, por forma a perceber a real importância de medidas eficientes e sustentáveis, foram analisados alguns casos de estudo internacionais que se apresentam como modelos de sucesso e que devem ser seguidos. Além disso, foi feita uma breve caracterização dos edifícios construídos em Portugal nas décadas de 70 e 80, por serem as mais representativas do parque edificado nacional.

No quarto capítulo, foram analisados dados relativos aos edifícios portugueses construídos no período anteriormente referido. Com base nessa analise foi definido um modelo de intervenção através do estabelecimento de soluções construtivas a adoptar no processo de reabilitação dos edifícios, na execução e um plano de manutenção dos mesmos e na adoptação de hábitos correctos por parte dos habitantes.

O quinto capítulo apresenta a análise de resultados decorrente da realização de um questionário a um conjunto de peritos no que diz respeito à eficiência e desempenho energético de edifícios de habitação e, através disso, foi possível definir qual o melhor modelo de intervenção que constituirá o principal objectivo do presente trabalho.

Por fim, o sexto capítulo apresenta as principais conclusões decorrentes desta dissertação bem como alguns temas relevantes para desenvolvimento futuro.

# 2. ESTADO DA ARTE

## 2.1. ENERGIA

O consumo de energia possibilita que tenhamos acesso a um estilo de vida que seria impossível alcançar caso não dispuséssemos de recursos energéticos. Este consumo aumenta à medida que a sociedade se torna mais desenvolvida. No entanto, verifica-se que a utilização dos recursos energéticos nem sempre é responsável levando, assim, a um aumento desnecessário do consumo de energia – e das matérias-primas necessárias à sua produção – para obtenção de maior conforto. Torna-se, então, necessário apelar às sociedades que trabalhem para que exista uma maior preocupação com a poupança de energia e com a eficiência energética. Desta forma, poderão reduzir-se os impactes negativos sobre o meio ambiente bem como controlar-se a extinção das energias não renováveis ou de origem fóssil. [1]

Dentro do conceito geral de energia importa classificar a energia em primária e final. A energia primária é o recurso energético que se encontra disponível na natureza (petróleo, gás natural, energia hídrica, energia eólica, biomassa, solar). A energia final é a energia disponibilizada aos utilizadores sob diferentes formas (electricidade, gás natural, propano ou butano, biomassa, etc.). No entanto, há formas de energia primária (gás natural, lenha, entre outros) que também podem ser disponibilizadas directamente aos utilizadores, coincidindo nesses casos com a energia final. [2]

Em Portugal, dada a escassez da produção de recursos energéticos, nomeadamente o petróleo, o carvão e o gás, torna-se necessário recorrer à importação destes mesmos recursos. Em 2011, constatou-se que a dependência energética de Portugal do exterior era de 79,3%. Esta dependência resulta essencialmente da importação de fontes primárias de origem fóssil. Assim, torna-se necessário aumentar o recurso a energias renováveis como a energia hídrica, eólica, geotérmica, solar e biomassa. A taxa de dependência energética em Portugal tem vindo a decrescer desde 2005, sendo que o valor mais elevado detectado nesse ano se deveu essencialmente à baixa produtibilidade das centrais hídricas (consequência de um ano hidrológico muito seco) e a subida registada em 2011 deveu-se ao aumento do consumo de carvão na produção de energia eléctrica (como forma de compensar a redução na produção hídrica). A variação da taxa de dependência energética pode ser verificada na figura 2.1. [3]

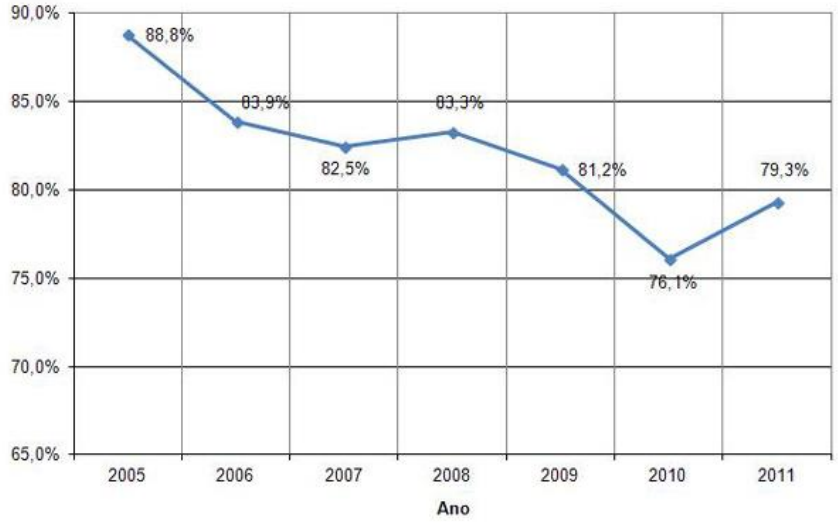


**Figura 2.1 - Variação da taxa de dependência energética em Portugal (%) [3]**

No que ao consumo de energia primária diz respeito, verifica-se que em Portugal as fontes de maior consumo são o petróleo, o gás natural e o carvão. [3] Esta conclusão é possível através da análise do "mix energético", isto é, da distribuição percentual das fontes de energia primária na produção da energia eléctrica da rede nacional. [2]

O petróleo surge como a fonte de energia primária com maior percentagem do consumo total de energia primária em Portugal. No ano de 2010, esta percentagem era de 48,7% tendo-se verificado um decréscimo no ano de 2011, para 45,9%. [3]

O gás natural contribuiu para a redução da dependência externa em relação ao petróleo, tendo-se verificado uma evolução positiva no "mix energético" que em 2011 representava 19,9% do total do consumo de energia primária contra 19,5% em 2010. [3]

O carvão representou 9,9% do total do consumo de energia primária em 2011. Uma vez que a utilização do carvão na produção de energia eléctrica tem um impacto significativo nas emissões de $CO_2$, é esperado que a contribuição desta fonte de energia venha a ser reduzida progressivamente. [3]

Por último, importa referir que o contributo das energias renováveis tem vindo a sofrer aumentos no "mix energético", como se pode verificar na figura 2.2. No entanto, verificou-se um decréscimo da percentagem destas fontes de energia no consumo total de energia primária nos anos de 2010 e 2011. Assim, pode verificar-se que em 2010 este contributo era de 23,4% e em 2011 de 22,8%. [3]

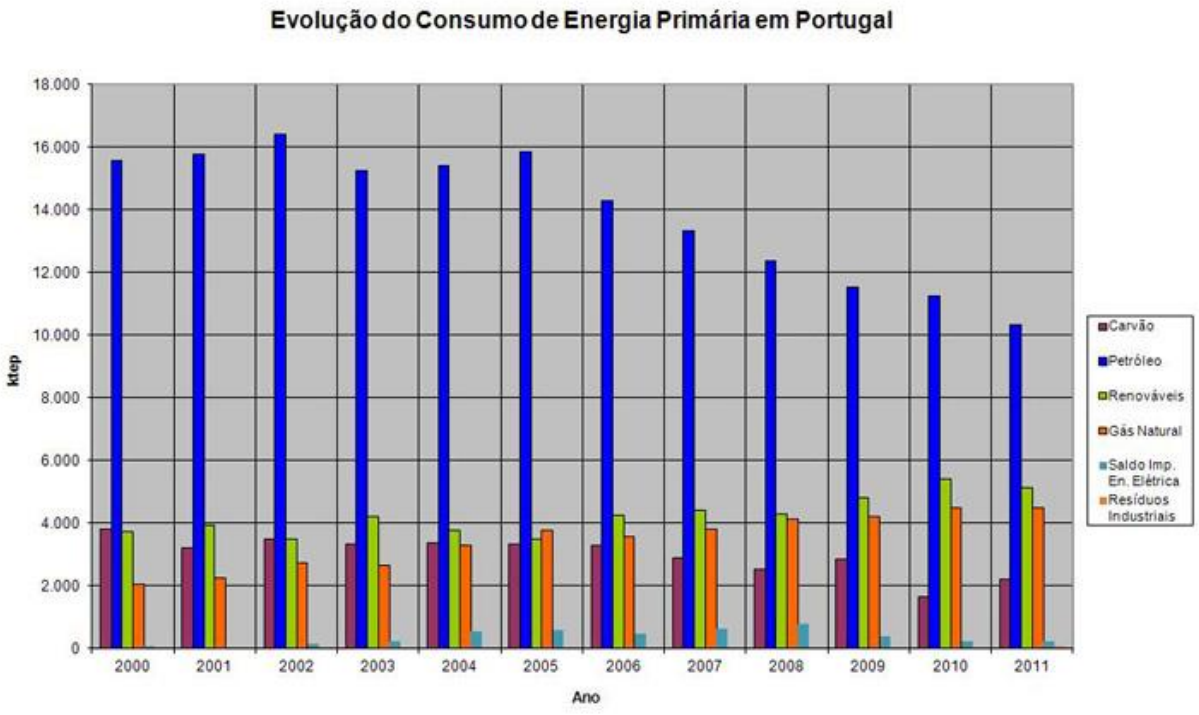


**Figura 2.2 - Evolução do consumo de energia primária em Portugal [3]**

É urgente que o consumo de energias não renováveis alcance um equilíbrio que respeite quer o ambiente, quer os direitos das gerações futuras. É necessário implementar mudanças e uma redução no consumo de energia [4]:

- Por motivos éticos e sociais, visto que, actualmente, 28% da população mundial consome 77% de toda a energia produzida, enquanto 72% vivem com os restantes 23%;
- Por motivos estratégicos, já que a Europa (e em especial Portugal) depende fortemente de países fora da União Europeia para satisfazer as suas necessidades de combustíveis fósseis, gerando-se assim uma incerteza de continuidade de fornecimento;
- Por motivos económicos, já que o custo anual da factura energética representa uma parcela significativa das despesas de um lar.

### 2.1.1. Fontes de energia não renováveis

As fontes de energia não renováveis são aquelas que se encontram na natureza em quantidades limitadas e que se extinguem com a sua utilização. Uma vez esgotadas, as reservas não podem ser regeneradas. Todas as fontes de energia não renováveis têm, portanto, reservas finitas visto que é necessário muito tempo para as repor e a sua distribuição geográfica não é homogénea. [5]

À medida que as reservas diminuem, a sua extracção torna-se cada vez mais difícil e, consequentemente, o seu custo aumenta. Se não forem implementadas mudanças de consumo energético e de mentalidades, num futuro próximo deixará de ser possível o consumo de energias não renováveis porque as reservas se extinguirão e a sua extracção deixará de ser economicamente rentável. [1]

As energias não renováveis podem ser de origem fóssil ou mineral. No que diz respeito às de origem fóssil, estas são formadas pela transformação de restos orgânicos acumulados na natureza há milhões de anos, como por exemplo o carvão, o petróleo e o gás natural. O urânio, utilizado para produção de energia eléctrica, é um exemplo de energia não renovável de origem mineral. [1]

Não é apenas o uso final da energia não renovável que causa impactes negativos no meio ambiente, quer a nível local como global. A sua transformação e transporte assumem também um papel importante neste assunto. [1]

No que à transformação e exploração diz respeito, são produzidos resíduos que contaminam as águas e os solos e geram emissões de gases prejudiciais para o meio ambiente para a atmosfera. Na fase de transporte e distribuição da energia o meio ambiente é afectado pelo impacto gerado pelas redes eléctricas ou oleodutos e gasodutos – ou pelas marés negras – que causam consequências graves nos ecossistemas e economia das zonas afectadas. O consumo de energias fósseis necessita sempre de passar por um processo de combustão que origina a formação de $CO_2$, o principal gás responsável pelo efeito de estufa, bem como de outros gases e partículas prejudiciais à saúde. [1]

A produção de energia e o seu uso é responsável pela maioria das emissões de $CO_2$ causadas pelo Homem. [1]

### 2.1.2. Fontes de energia renováveis

A poupança de energia é a primeira fonte de energia renovável actualmente disponível. [4]

As fontes de energia renováveis são todas aquelas a que se pode recorrer de forma permanente, visto que são inesgotáveis, como por exemplo a energia solar, hídrica, eólica, biomassa, marés, energia das ondas e geotérmica. Estas energias têm um reduzido impacte ambiental no que respeita à emissão de

gases que provocam o efeito de estufa. As energias renováveis não se esgotam quando as consumimos porque se renovam de forma natural. [1]

No que às habitações diz respeito, as fontes de energia renováveis utilizadas com sucesso são a energia solar fotovoltaica e térmica, a energia da biomassa, a energia eólica e a energia geotérmica. [4] Em seguida, apresentar-se-ão as formas possíveis de geração de energia enunciadas anteriormente com recurso a fontes de energia renováveis.

**Energia solar térmica e fotovoltaica**

O Sol é a principal fonte de energia disponível para a população, responsável pela manutenção de várias formas de vida existentes no planeta Terra. Quando comparado com a escala de existência do Homem e até das edificações no planeta apresenta-se como um recurso praticamente inesgotável e constante. O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, uma quantidade de energia correspondente a cerca de 10000 vezes o consumo mundial anual de energia. A grande vantagem desta fonte de energia é o facto de esta ser repartida de forma igual para todas as zonas. No entanto, a necessidade de construção de importantes superfícies de captação desta energia para seu posterior aproveitamento apresenta-se como um inconveniente. [3]

Em Portugal, as condições de aproveitamento da energia solar são das melhores a nível europeu visto que o número médio anual de horas de Sol varia entre 2200 e 3000 no continente e entre 1700 e 2200 nos arquipélagos dos Açores e Madeira. Para realçar a grande vantagem de Portugal neste campo, comparem-se os referidos valores com os verificados na Alemanha, país que apostou no aumento da área de colectores tirando daí grandes vantagens a nível económico, onde o número médio anual de horas de Sol varia entre as 1200 e 1700 horas, valores bastante inferiores aos verificados em Portugal. Apesar do enorme potencial de Portugal neste recurso, a utilização de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos é ainda bastante reduzida. [3]

Em seguida, na figura 2.3, apresenta-se o mapa de Portugal onde é possível verificar quais as zonas com maior radiação solar média anual. Por exemplo, a zona E – uma das melhores áreas de radiação solar em Portugal – recebe uma radiação solar média anual entre 16,6 e 17,1 $MJ/m^2$. Um valor de 17 $MJ/m^2$/dia, anualmente, equivale à energia obtida na utilização de 141 $m^3$ de gás natural ou 127 $m^3$ de gás butano, por cada metro quadrado. [6]

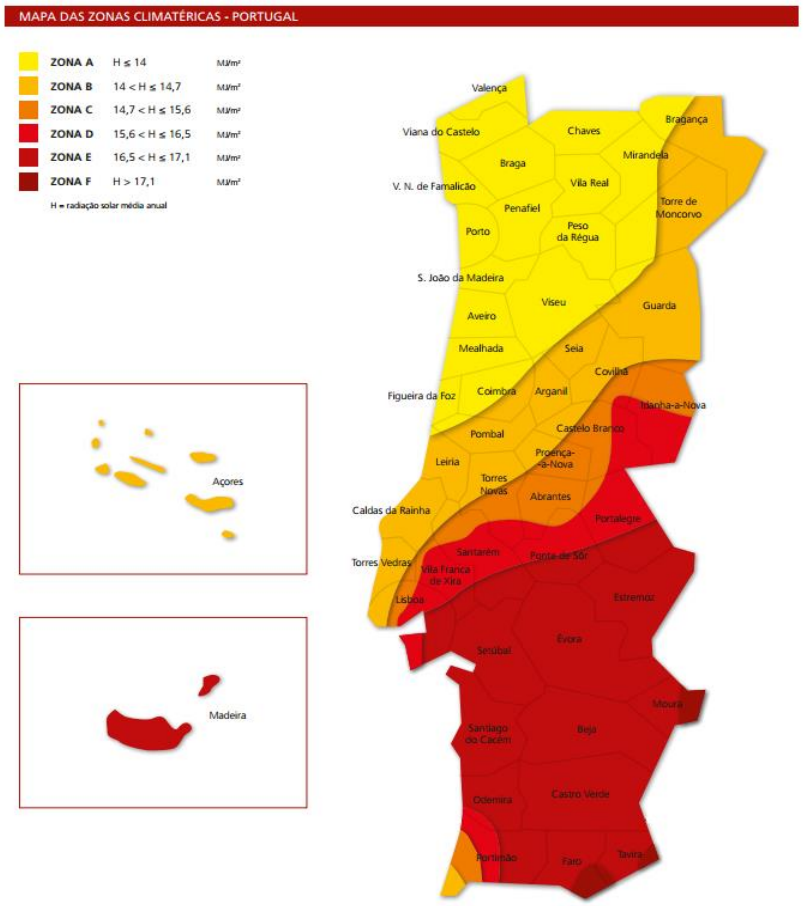


**Figura 2.3 - Mapa das zona climatéricas em Portugal - variação da radiação solar média anual [6]**

A energia solar fotovoltaica recorre a painéis solares fotovoltaicos que são dispositivos capazes de converter a energia solar directamente em electricidade. [4] Esta conversão é obtida através de células fotovoltaicas constituídas por sílica, fósforo e boro que, ao receberem raios solares, originam produção de electricidade. Esta electricidade pode ser injectada directamente na rede eléctrica de distribuição ou ser armazenada numa bateria. [7]

As principais vantagens da energia solar fotovoltaica são: [4]

- A elevada fiabilidade, visto que não tem peças móveis, facilitando a sua aplicação em locais isolados;
- A adaptabilidade dos módulos, permitindo montagens simples e adaptáveis a várias necessidades energéticas;
- A energia gerada durante o período de radiação solar poder ser armazenada em baterias para ser aproveitada nas horas de ausência dessa mesma radiação;
- O custo de operação ser reduzido e a manutenção ser praticamente inexistente;
- Recorrer a uma tecnologia não poluente, silenciosa e que não perturba o ambiente.

As principais desvantagens da energia solar fotovoltaica são: [4]

- O elevado custo de investimento no fabrico dos módulos fotovoltaicos;
- O rendimento real de conversão ser reduzido face ao custo de investimento;
- Os geradores fotovoltaicos raramente serem competitivos do ponto de vista económico, quando comparados com outro tipos de geradores (por exemplo a gasóleo);

- O facto da necessidade de armazenamento de energia através de baterias aumentar ainda mais o custo do sistema fotovoltaico.

A energia solar térmica recorre a um sistema solar térmico, que tem como principal objectivo aquecer água (ou outro fluido) a partir do Sol, composto por um colector solar responsável pela captação da energia do Sol e um depósito de armazenamento de água quente. [8] Assim, o colector solar é responsável pela transferência da sua energia para um fluido primário (água, óleo, etc.), aquecendo-o. Posteriormente, como esse fluido se encontra em circuito fechado, este transfere a sua energia para o fluido que se encontra no reservatório térmico que se encontra junto ao colector. Esse fluido, que geralmente é água, aquece e permite a obtenção de água quente. [9]

Na figura 2.4, apresenta-se um esquema do sistema solar térmico.

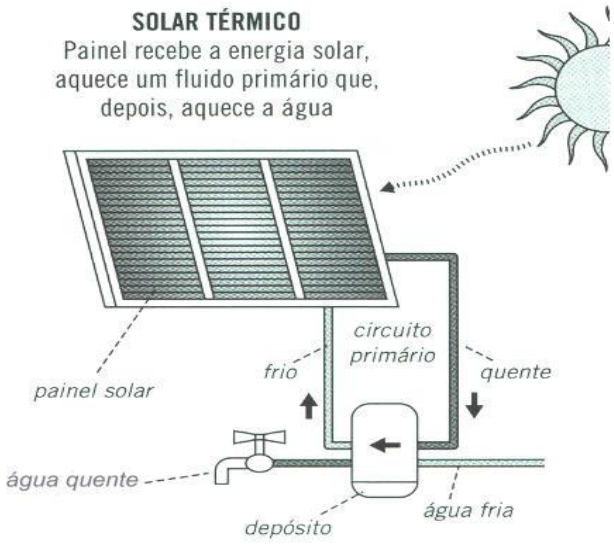


**Figura 2.4 - Sistema solar térmico [9]**

As vantagens e desvantagens da energia solar térmica são semelhantes às referidas para a energia solar fotovoltaica. No entanto, esta apresenta um maior rendimento que a anterior tornando-a uma opção mais viável.

### Energia da biomassa

A biomassa é a fracção biodegradável de produtos e resíduos da agricultura, da floresta e das indústrias relacionadas, bem como a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos susceptíveis de aproveitamento energético. [4] Esta forma de produção de energia é utilizada pelo Homem desde os seus tempos primitivos para execução de tarefas como cozinhar ou forma de aquecimento. A utilização de produtos energéticos naturais assume cada vez mais importância, quando se verifica o constante aumento do preço dos combustíveis fósseis.

A utilização da biomassa para aquecimento ambiente, originou o aparecimento de equipamentos modernos para estas funções, tais como caldeiras e fogões a biomassa. Os resíduos mais utilizados são os "pellets" ou grânulos combustíveis que resultam da serração e processamento de madeiras, sendo

constituídos por pequenos grânulos comprimidos. A instalação de fogões de sala com queima de "pellets" é uma opção a ter em consideração aquando do processo de reabilitação de edifícios em termos energéticos. [4]

**Energia eólica**

A energia eólica é a energia do vento e pode ser aproveitada para a produção de energia eléctrica. [4]

A conversão da energia do vento em electricidade é conseguida uma vez que a energia do vento (energia cinética) faz girar as pás das turbinas eólicas que por sua vez fazem rodar um eixo (energia mecânica). O funcionamento gerador é accionado através do movimento deste eixo, convertendo a energia rotacional em electricidade. [4]

A nível doméstico, recorre-se a aerogeradores. Para conseguir um bom rendimento é necessário que estes sejam colocados em zonas ventosas, com vento na maioria dos dias do ano e com velocidade média anual superior a 13 km/h. [4]

**Energia geotérmica**

A energia geotérmica aproveita o facto de a terra possuir elevada inércia térmica, o que permite que acumule energia solar sob a forma térmica. A uma profundidade de 5 metros a temperatura é aproximadamente constante todo o ano e de cerca de 15ºC. Esta energia disponível pode ser aproveitada para satisfazer necessidades térmicas como o aquecimento de águas sanitárias ou aquecimento de espaços. [4]

No domínio das edificações, esta energia pode ser aproveitada através de bombas de calor de aproveitamento da energia geotérmica que é captada através de circuitos de tubagens enterradas onde circula um fluido de transferência. Na estação fria, essa energia é libertada para o espaço a aquecer. Na estação quente, o excesso de calor do espaço a arrefecer é transferido para o solo. [4]

A grande desvantagem deste tipo de sistemas é o seu custo de instalação elevado, tornando o investimento rentável apenas em circunstâncias muito específicas. [4]

## 2.2. PARQUE EDIFICADO

Na última década verificou-se um acentuado crescimento do parque habitacional. Em 2011, o número de edifícios destinados à habitação era de 3 544 389 e o número de alojamentos de 5 878 756. Estes valores, quando comparados com os do ano de 2001 apresentam um aumento de 12,2% e 16,3% respectivamente. [10] Na figura 2.5 estão representadas as taxas de variação de edifícios (à esquerda) e de alojamentos (à direita) no período entre 2001 e 2011.

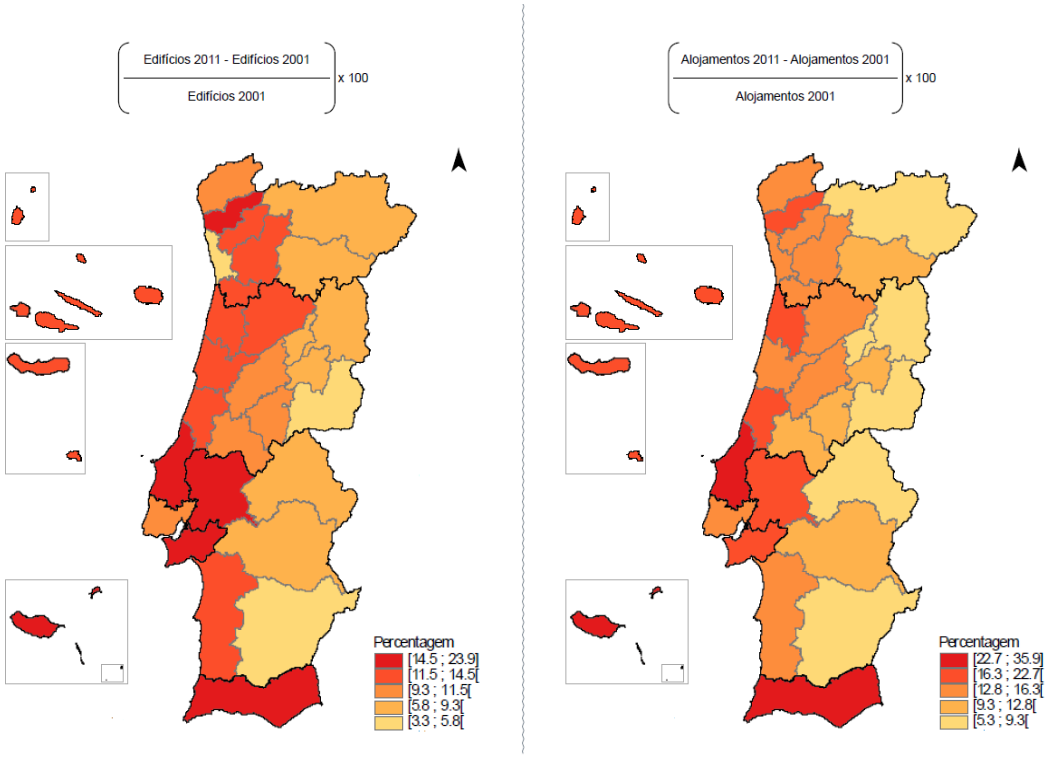


**Figura 2.5 - Taxa de variação de edifícios e alojamentos entre 2001 e 2011 [10]**

Segundo as estimativas do parque habitacional 2010-11 realizadas pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), no ano de 2012, o parque habitacional português era constituído por 3,6 milhões de edifícios a que correspondiam 5,9 milhões de alojamentos. Desta forma, registou-se em relação ao ano anterior um acréscimo de 0,4% e 0,5%, respectivamente. Quando se procura analisar as regiões com maior densidade de edifícios, verifica-se que a região Norte é dominante já que 34,2% do parque habitacional português se situa nesta zona geográfica. Em seguida, a região Centro aparece com uma percentagem de 31,4% do total de edifícios do país, sendo que na região de Lisboa estão presentes 12,7%. A restante percentagem (cerca de 21,8%) do parque edificado encontra-se nas restantes regiões do país. [11]

Na figura 2.6 pode comparar-se as regiões com maior número de fogos e com maior população residente em Portugal. As regiões junto ao litoral apresentam-se mais povoadas e, simultaneamente, apresentam também um maior número de fogos que no interior do país. As regiões da grande Lisboa e grande Porto são as mais povoadas, tal como seria expectável.

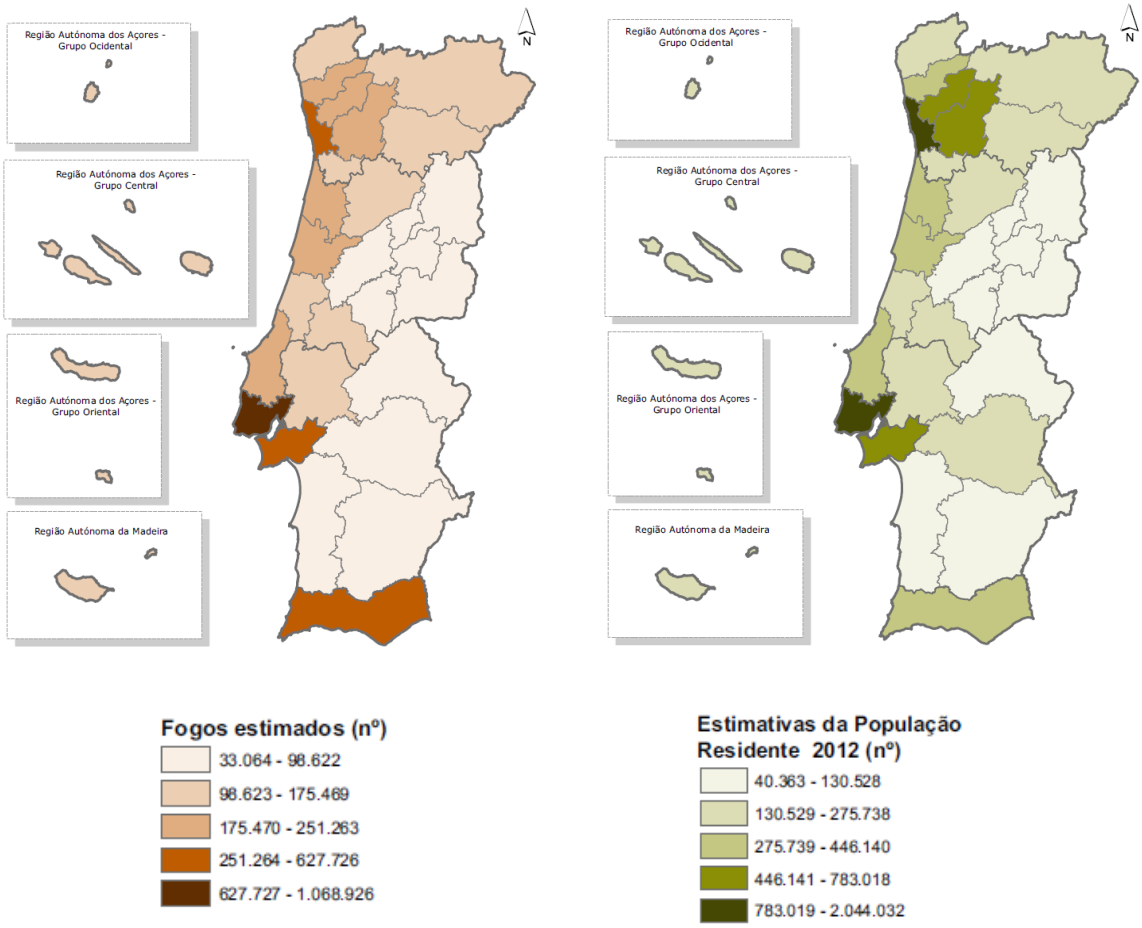


**Figura 2.6 - Estimativa do número de fogos e da população residente, 2012 [11]**

No que respeita às 25 931 obras concluídas durante o ano de 2012, verificou-se que 56,7% deste valor correspondiam a edifícios em construções novas para habitação familiar, dos quais 91,8% eram moradias. Ainda que as construções novas continuem a predominar no que diz respeito ao parque edificado – 73,2% do total de todas as construções – tem-se verificado um aumento da reabilitação que continua a ser uma aposta crescente no sector da construção. Em 2012, 26,8% das obras concluídas correspondiam a reabilitações, valor que cresceu em relação ao ano de 2011 onde esta percentagem se situava nos 25,9%. No entanto, importa distinguir as regiões do Algarve e Madeira como as zonas do país que mais destaque dão à reabilitação, dado que apresentavam valores de 33,3% e 29,9%, respectivamente, no que à percentagem de obras que correspondiam a reabilitação diz respeito. Este crescimento a que se tem assistido assenta essencialmente no facto do mercado das novas habitações estar sobrecarregado e no facto das empresas de construção dirigirem agora os seus trabalhos na reabilitação do edificado. [11]

No ano de 2012 foram concluídas 14 713 construções novas, menos 616 que no ano de 2011. [11]

Na figura 2.7 é possível observar a percentagem de edifícios concluídos por finalidade de obra e por sector, em Portugal, no ano de 2012.

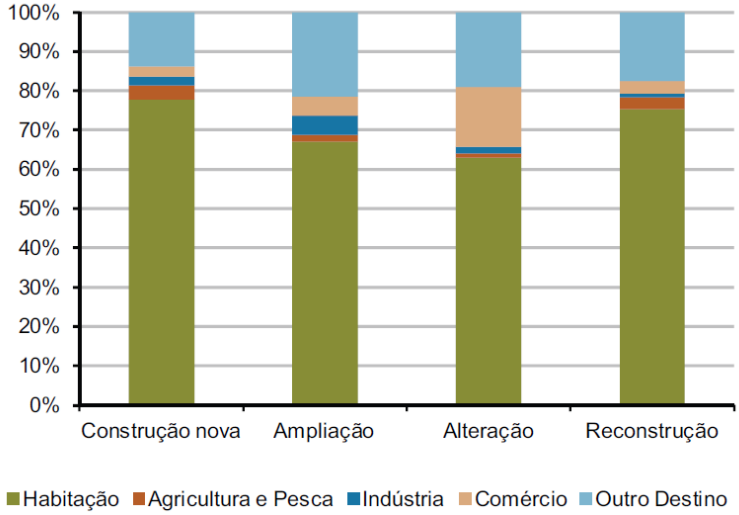


**Figura 2.7 - Edifícios concluídos por finalidade de obra em Portugal, em 2012 [11]**

Quando se procura analisar o índice de envelhecimento dos edifícios em Portugal, verifica-se que devido à dinâmica de construção a que se assistiu nos últimos anos uma parte muito significativa dos edifícios é relativamente jovem. De acordo com os Censos 2011, o número de edifícios construídos até 1960 é menos do dobro do que aqueles que foram construídos entre 2001 e 2011. [10]

As regiões do Algarve e região autónoma da Madeira apresentam os índices de envelhecimentos mais reduzidos. Tal como seria de esperar, por ser a região menos povoada, é a zona interior que apresenta maior nível de envelhecimento, de onde se destaca a região do Alentejo como sendo a mais envelhecida do panorama nacional. Consequentemente, a zona litoral apresenta menores índices de envelhecimento. Os índices mais baixos encontram-se nas zonas em volta das regiões do Grande Porto e Grande Lisboa, devido à intensidade de construção verificada na última década. [10] Estes resultados encontram-se apresentados na figura 2.8, onde se apresenta o índice de envelhecimento dos edifícios em 2011.

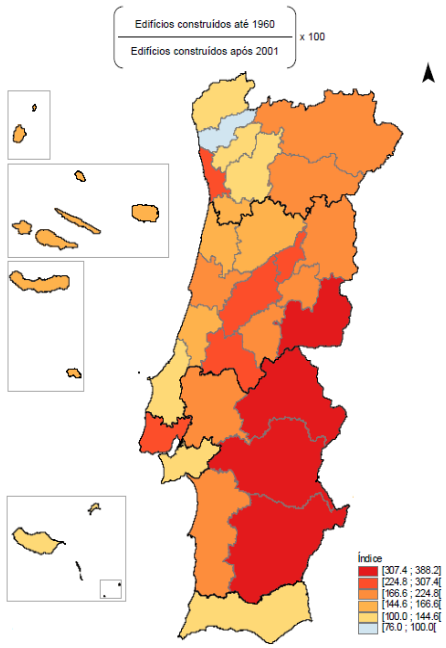


**Figura 2.8 - Índice de envelhecimento dos edifícios em 2011 [10]**

No que respeita à distribuição de edifícios segundo a época de construção, os resultados encontram-se apresentados no quadro 2.1. [10]

**Quadro 2.1 - Distribuição dos edifícios por época de construção, 2011 [10]**

| Época de construção | Antes de 1919 | 1919-1945 | 1946-1970 | 1971-1990 | 1991-2000 | 2001-2011 | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Número de edifícios | 206.343 | 305.696 | 796.171 | 1.167.703 | 558.471 | 510.005 | 3.544.389 |

Verifica-se, então, que a maior percentagem de edifícios do parque habitacional português em 2011 pertencia às construções realizadas no período entre 1946 e 1990, com um total de 55,41%. Na figura 2.9, apresentam-se as distribuições percentuais dos edifícios por época de construção, em Portugal.

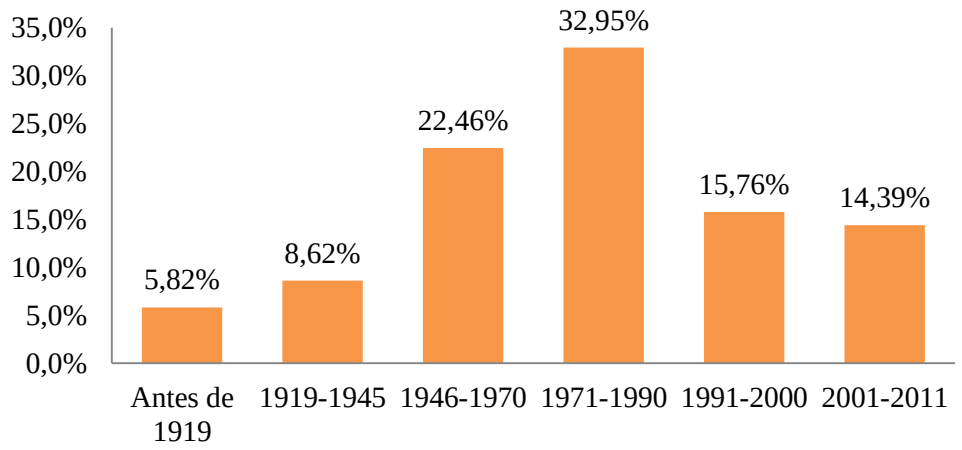


**Figura 2.9- Distribuição percentual dos edifícios por época de construção em Portugal [10]**

Através das diferentes épocas construtivas dos edifícios em Portugal, pode também identificar-se quais os principais materiais utilizados na construção. Em termos de estrutura de construção esta divide-se em estrutura de betão armado, paredes de alvenaria com placa, paredes de alvenaria sem placa, paredes de alvenaria de pedra solta ou adobe e outros tipos. No que diz respeito ao tipo de revestimento exterior, este pode ser constituído por reboco tradicional ou marmorite, pedra, ladrilho cerâmico ou mosaico e outros. Por fim, encontram-se diferentes tipos de coberturas como as coberturas em terraço, inclinadas (revestidas com telhas cerâmicas ou de betão ou outros materiais) e mistas (inclinada e terraço). [10]

Relativamente ao tipo de estrutura da construção, predominam os edifícios com estrutura de betão armado com uma percentagem de 48,56%. O reboco tradicional ou marmorite representa 84,00% do tipo de revestimento exterior dos edifícios que caracterizam o parque edificado nacional. Por fim, as coberturas mais correntes são as inclinadas com uma percentagem de 94,94% sendo que, dentro deste tipo de cobertura, predominam as revestidas com telhas cerâmicas ou de betão (93,10%). [10]

No quadro 2.2, apresenta-se a caracterização do parque edificado em Portugal tendo em conta os materiais utilizados na sua construção por época construtiva.

**Quadro 2.2 - Edifícios, segundo a época de construção, por principais materiais utilizados na construção em Portugal [10]**

| | Época de construção | Antes de 1919 | 1919-1945 | 1946-1970 | 1971-1990 | 1991-2000 | 2001-2011 | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tipo de estrutura da construção | Betão armado | - | 52.107 | 300.600 | 672.147 | 356.809 | 339.446 | 1.721.109 |
| | Paredes de alvenaria com placa | - | 83.489 | 288.073 | 421.838 | 179.900 | 150.474 | 1.123.774 |
| | Paredes de alvenaria sem placa | 144.099 | 108.312 | 151.347 | 53.606 | 13.401 | 10.350 | 481.115 |
| | Paredes de alvenaria de pedra solta ou de adobe | 57.353 | 57.104 | 49.794 | 13.343 | 5.602 | 5.696 | 188.892 |
| | Outros | 4.891 | 4.684 | 6.177 | 6.769 | 2.759 | 4.039 | 29.319 |
| Revestimento exterior | Reboco tradicional ou marmorite | 124.456 | 216.842 | 653.063 | 1.043.808 | 497.299 | 441.664 | 2.977.132 |
| | Pedra | 74.464 | 78.480 | 109.253 | 67.166 | 36.139 | 45.704 | 411.206 |
| | Ladrilho cerâmico ou mosaico | 5.984 | 8.601 | 30.355 | 49.976 | 21.493 | 16.605 | 133.014 |
| | Outros | 1.439 | 1.773 | 3.500 | 6.753 | 3.540 | 6.032 | 23.037 |
| Cobertura | Em terraço | 549 | 4.447 | 15.315 | 28.211 | 21.231 | 35.810 | 105.563 |
| | Inclinada | 204.832 | 297.157 | 768.361 | 1.114.218 | 522.128 | 458.372 | 3.365.068 |
| | *Revestida a telhas cerâmicas ou de betão* | 200.476 | 291.180 | 755.078 | 1.090.058 | 513.675 | 449.472 | 3.299.939 |
| | *Revestida a outros materiais* | 4.356 | 5.977 | 13.283 | 24.160 | 8.453 | 8.900 | 65.129 |
| | Mista (inclinada e terraço) | 962 | 4.092 | 12.495 | 25.274 | 15.112 | 15.823 | 73.758 |

As distribuições percentuais dos diferentes tipos de estruturas de construção, revestimento exterior e coberturas dos edifícios em Portugal encontram-se representadas nas figuras 2.10, 2.11 e 2.12, respectivamente.

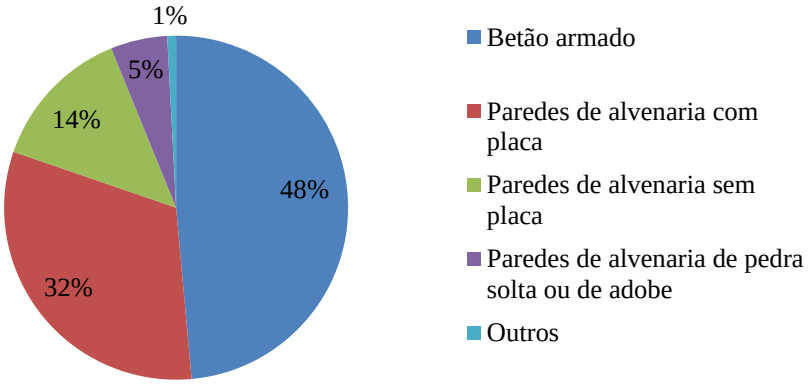


**Figura 2.10 - Tipo de estruturas de construção dos edifícios em Portugal (%) [10]**

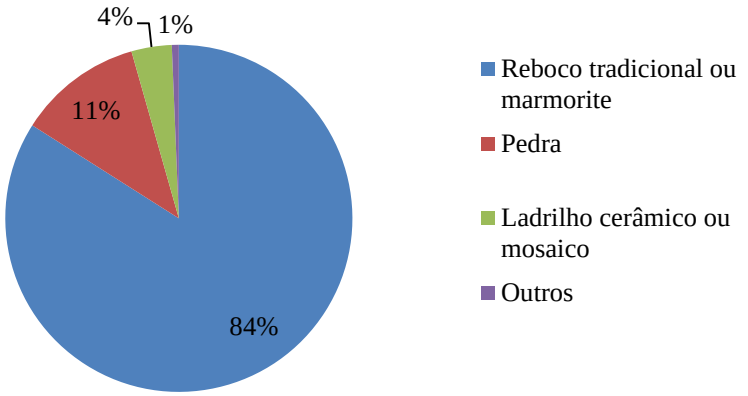


**Figura 2.11 - Tipo de revestimento exterior dos edifícios em Portugal (%) [10]**

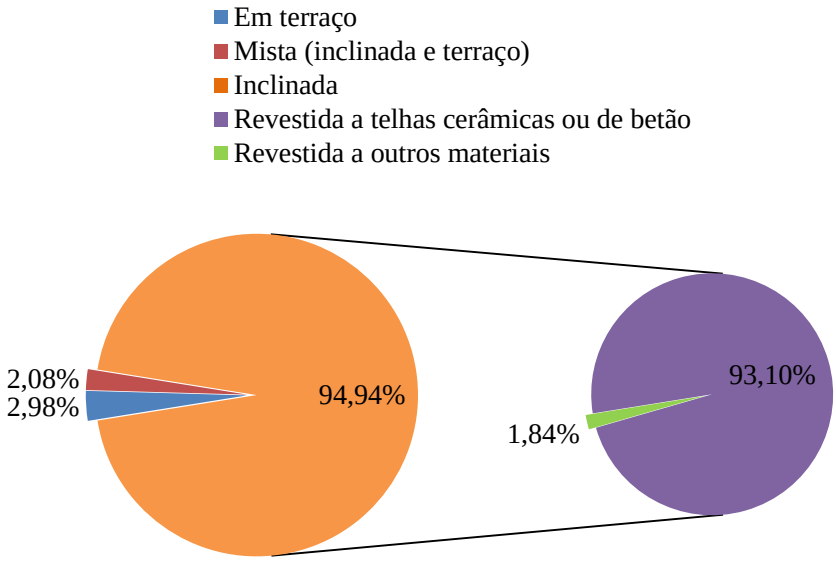


**Figura 2.12 - Tipo de cobertura dos edifícios em Portugal (%) [10]**

No que diz respeito ao estado de conservação e necessidades de reparação dos edifícios em Portugal, por época de construção, os resultados são apresentados no quadro 2.3 e na figura 2.13. É possível verificar-se que 71,08% dos edifícios que constituem o parque habitacional não necessitam de reparação. A restante percentagem divide-se entre edifícios com necessidade de reparação e muito degradados, com percentagens de 27,33% e 1,67% respectivamente. Como seria de esperar, a maioria dos edifícios muito degradados foram construídos antes de 1945. Os edifícios com maiores necessidades de reparação são constituídos pelos que foram construídos entre 1946 e 1990. As regiões Norte e Centro são as que apresentam maior número de edifícios muito degradados e com grande necessidade de reparação, consequência da maior densidade de construção presente nessas zonas. [10]

**Quadro 2.3 - Estado de conservação dos edifícios em Portugal, por época de construção [10]**

| Época de construção | | Antes de 1919 | 1919-1945 | 1946-1970 | 1971-1990 | 1991-2000 | 2001-2011 | *TOTAL* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Número de edifícios | **Sem necessidade de reparação** | 77.346 | 125.924 | 445.240 | 892.688 | 493.519 | 484.735 | *2.519.452* |
| | **Com necessidade de reparação** | 106.616 | 162.017 | 340.204 | 270.974 | 64.250 | 24.721 | *968.782* |
| | **Pequenas reparações** | 49.023 | 81.697 | 212.113 | 208.228 | 53.409 | 19.852 | *624.322* |
| | **Reparações médias** | 34.993 | 52.281 | 92.974 | 51.351 | 8.942 | 3.762 | *244.303* |
| | **Grandes reparações** | 22.600 | 28.039 | 32.117 | 11.395 | 1.899 | 1.107 | *97.157* |
| | **Muito degradado** | 22.381 | 17.755 | 13.727 | 4.041 | 702 | 552 | *59.158* |

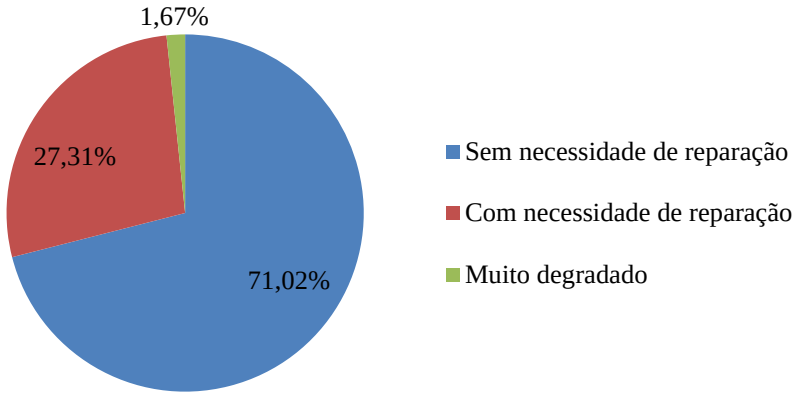


**Figura 2.13 - Estado de degradação dos edifícios em Portugal, 2011 [10]**

Perante os resultados apresentados, fica claro que a aposta na reabilitação urbana é cada vez mais necessária dado que, numa altura em que a construção nova se encontra sem grande margem para progredir, se torna necessário adaptar as construções já existentes às novas exigências funcionais e de conforto. No entanto, segundo dados de 2009, a aposta na reabilitação é ainda muito reduzida quando comparada com o número de construções novas em Portugal, tal como se pode observar na figura 2.14. A título de exemplo, veja-se o caso do ano de 2009 onde foram concluídos 40 395 edifícios em

Portugal, sendo que destes cerca de 8 916 correspondiam a obras de alteração, ampliação e reconstrução. Ou seja, 22,1% das obras concluídas neste ano respeitam à reabilitação do parque edificado. [12] Importa inverter esta tendência e aumentar significativamente a política da reabilitação urbana.

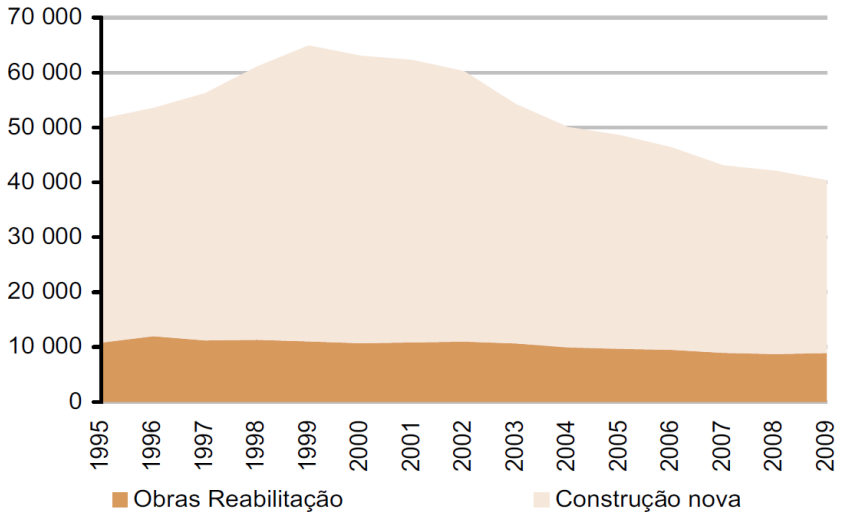


**Figura 2.14 - Reabilitação do edificado e construção nova em Portugal [12]**

## 2.3. DESEMPENHO E CONSUMO ENERGÉTICO DAS CONSTRUÇÕES EM PORTUGAL

Segundo dados do EUROSTAT, a dependência energética de Portugal em 2009 era de 80,9% tendo apresentado uma descida de 1,9% em relação ao ano de 2008. Entre 1999 e 2009 registou-se uma diminuição nos valores de dependência energética na ordem dos 7%. No entanto, os valores verificados são ainda bastante elevados e colocam Portugal no sexto lugar do "ranking" dos países com maior dependência energética da União Europeia, sendo superados apenas pelos de Malta, Luxemburgo, Chipre, Irlanda e Itália, tal como se pode observar na figura 2.15. Realidades como as observadas na Dinamarca que apresentam valores de dependência negativos na ordem dos -19% apresentam-se como "inalcançáveis", num futuro próximo, em Portugal. [13]

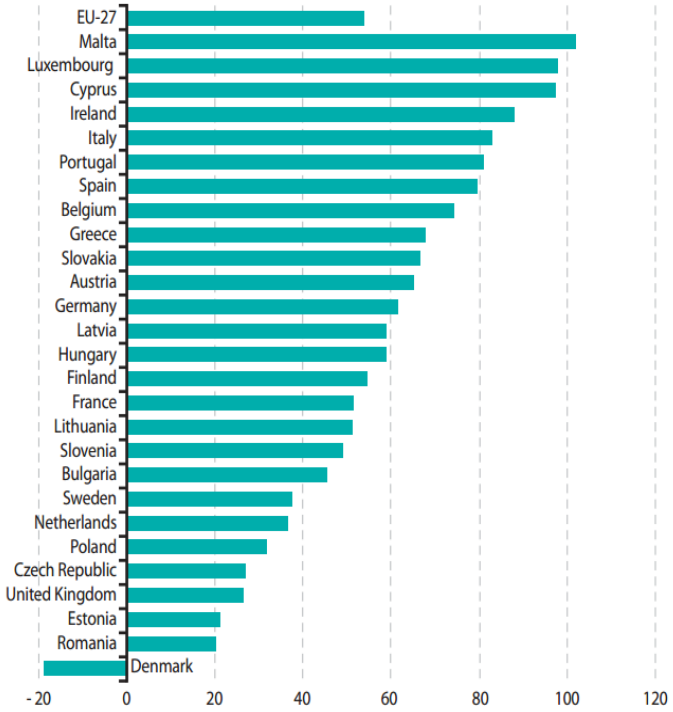


**Figura 2.15 - Dependência energética dos países da União Europeia (%), 2009 [13]**

Relativamente à produção interna de energia em Portugal, esta baseou-se unicamente nas fontes de energia renováveis, essencialmente hídrica e eólica. Os valores desta produção quase triplicaram desde 1990. [1]

De acordo com a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), desde 1990 o consumo de energia final cresceu aproximadamente 2,3% ao ano. Tal facto é justificado com o crescimento consistente superior a 4% ao ano dos sectores de Serviços e Transportes. É importante realçar o papel do sector dos Serviços, que, nos últimos 20 anos, apresentou uma taxa de crescimento média anual de 8%. Por outro lado, pode constatar-se que o sector doméstico conseguiu uma redução do consumo de energia de cerca de 4% entre 1990 e 2010, tal como se pode observar através dos dados apresentados na figura 2.16. [1]

No balanço de 2010, o sector dos Transportes foi responsável por 36,7% do total de energia consumida em Portugal, seguindo-se a Indústria por 29,6%, o sector Doméstico por 16,6%, os Serviços por 11,4% e os restantes (Agricultura, Pesca, Construção e Obras Públicas) por 5,8%. [1]

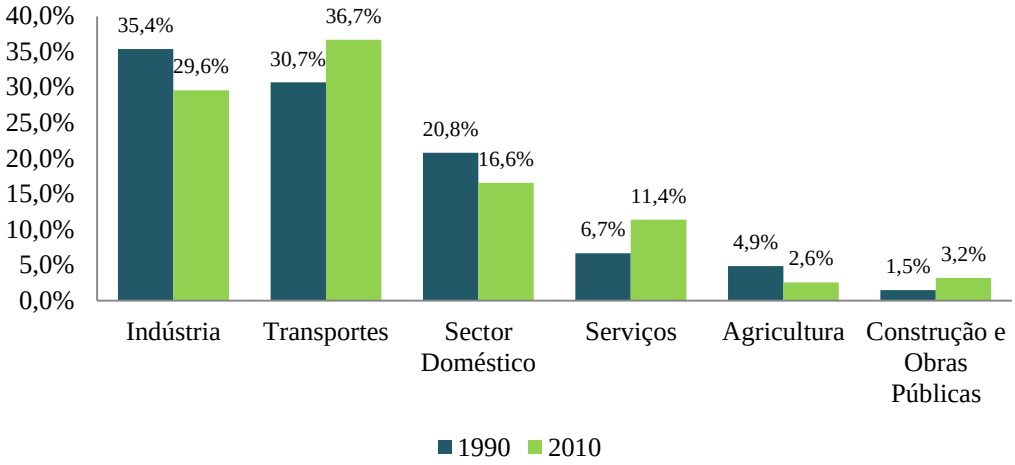


**Figura 2.16 - Peso dos sectores no consumo de energia (%) [1]**

Para o presente trabalho, importa analisar com pormenor como se distribuiu o consumo de energia no sector Doméstico, que representa 16,6% do total de energia consumida em Portugal.

Segundo a DGEG, em 2004, os consumos eléctricos no sector residencial tendo em conta as suas utilizações finais distribuíam-se de acordo com o apresentado na figura 2.17. [14] É possível verificar-se que os electrodomésticos (em especial o frigorífico/combinado), o aquecimento ambiente e a iluminação assumem as maiores percentagens do consumo de electricidade numa habitação. Ao contrário do aquecimento, o arrefecimento assume apenas 2% do total de electricidade consumida, não sendo por isso um factor determinante neste aspecto. No entanto, com o aumento constante das exigências de conforto térmico nas habitações é expectável que o valor associado aos aparelhos de climatização aumente conjuntamente. Além disso, nos últimos anos tem-se verificado um aumento da instalação de aparelhos de ar condicionado nas habitações, o que necessariamente terá impacto na repartição de consumos de electricidade actual.

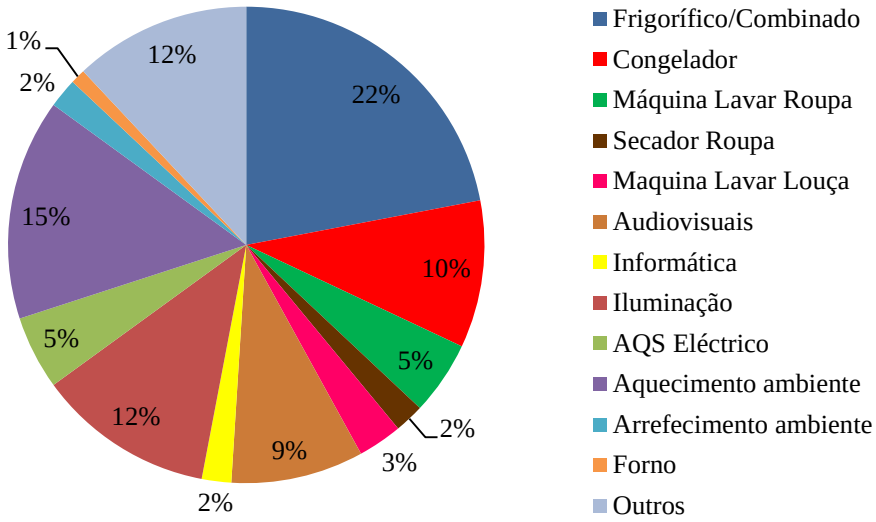


**Figura 2.17 - Repartição dos consumos de electricidade pelos diferentes usos finais em Portugal, 2004 [14]**

A electricidade é a principal e a mais comum fonte de energia utilizada no sector doméstico, sendo consumida em 99,9% dos alojamentos, como se observa na figura 2.18. Entre Outubro de 2009 e Setembro de 2010, o consumo total de electricidade nas habitações rondou os 14 442 milhões de kWh, correspondendo a uma despesa global superior a 2 mil milhões de euros e a 1,2 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (unidade de energia definida como o calor libertado na combustão de uma tonelada de petróleo cru). Imediatamente a seguir ao consumo de electricidade, evidencia-se o consumo de GPL Garrafa Butano utilizado em aproximadamente 56% dos alojamentos e a lenha utilizada em 40%. Em termos de toneladas equivalentes de petróleo, a lenha consume um total de 706 mil tep e apresenta uma despesa de 114 milhões de euros. Ainda assim, o GPL Garrafa Butano, ainda que apresente menores valores de tep que a lenha, tem maiores custos associados – 571 milhões de euros. [15]

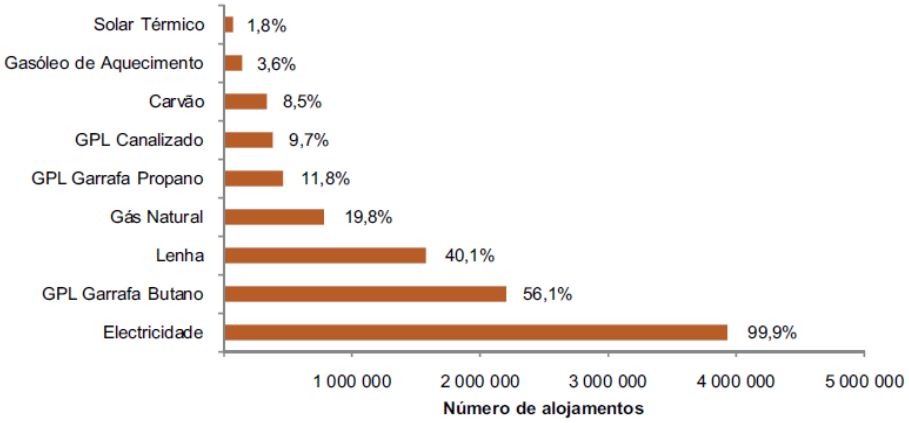


**Figura 2.18 - Alojamentos que consomem energia por tipo de fonte em Portugal (2010) [15]**

A electricidade é a fonte de energia que tem maior peso na factura energética do sector doméstico em Portugal. Por oposição, a lenha revela-se a fonte de energia com menor custo, sendo que muitas vezes esta é adquirida nas imediações das habitações sem que isso conduza a qualquer encargo. [15] Os diferentes impactes na despesa e consumo total das diferentes fontes de energia nos alojamentos em Portugal, no ano de 2010, encontram-se apresentados na figura 2.19.

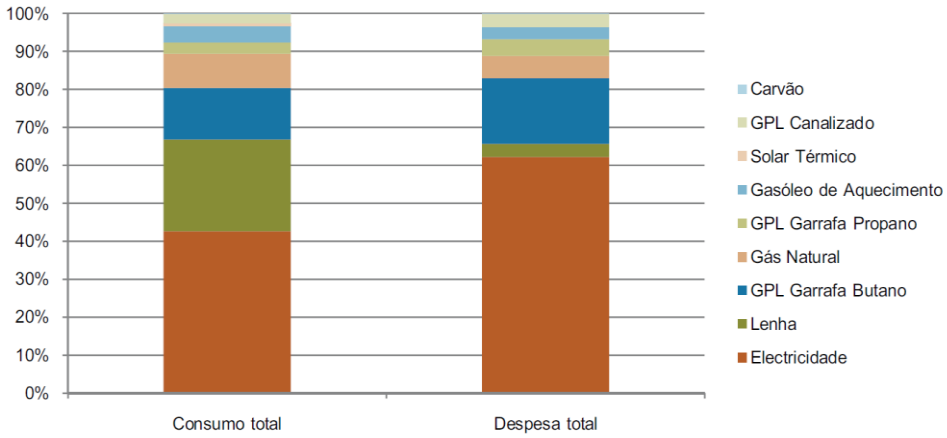


**Figura 2.19 – Consumo total (tep) e despesa total (€) no alojamento em Portugal, 2010 [15]**

As fontes de energia renováveis (em especial o carvão vegetal, a lenha e solar térmica) correspondem apenas a 25% do consumo de energia no sector doméstico (fig. 2.20). Dentro destas, a lenha assume a maior contribuição. [15]

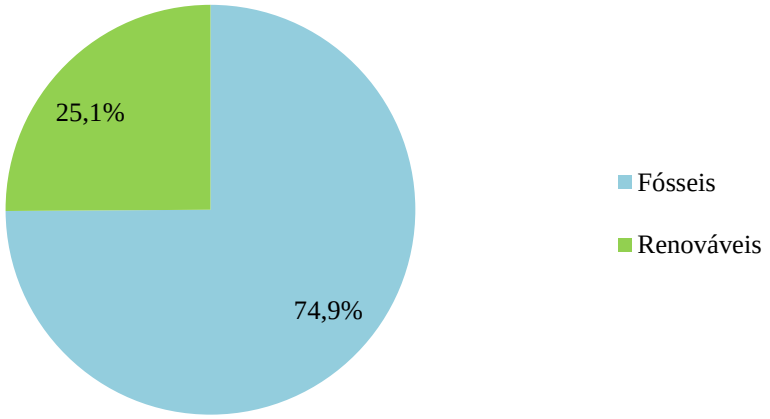


**Figura 2.20 - Consumo de energias renováveis e fósseis (%) no alojamento em Portugal, 2010 [15]**

## 2.4. IMPACTES DECORRENTES DO CONSUMO DE ENERGIA NÃO RENOVÁVEL

Os edifícios são responsáveis por impactes ambientais consideráveis ao longo do seu ciclo de vida. Entre estes impactes, destacam-se o consumo de recursos como energia, água e materiais, a emissão de produtos prejudiciais à atmosfera bem como a produção de ruídos. Na figura 2.21 estão representados os impactes ambientais causados por edifícios nos Estados Unidos da América. [16] Os impactes ambientais dos edifícios assumem maiores dimensões durante a fase de utilização dos edifícios – que corresponde à maior parte do seu ciclo de vida – como é o caso da utilização de energia e das emissões atmosféricas.

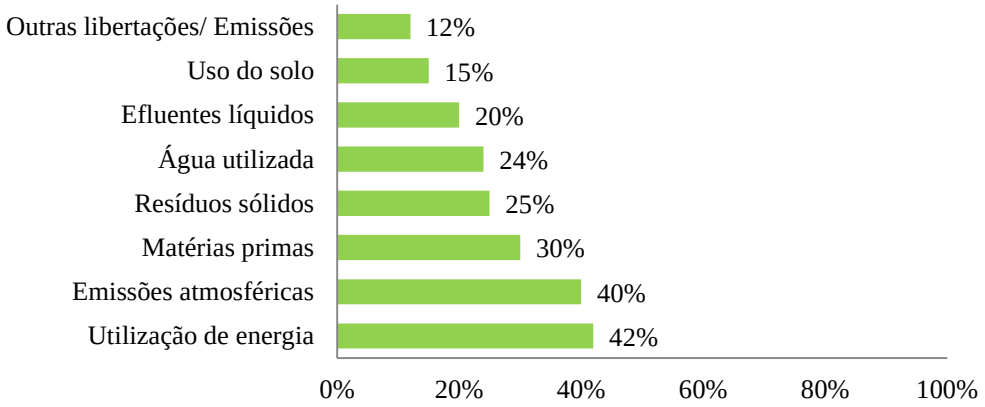


**Figura 2.21 - Impactes ambientais dos edifícios nos EUA [16]**

A actividade da construção potencia efeitos na economia e na sociedade mas também no ambiente, na medida em que provoca a ocupação e uso do solo, ao consumo de recursos (água, energia), a produção de efluentes (líquidos e gasosos) e a alteração dos ecossistemas naturais (fauna e flora). Desta forma, é importante que se comecem a considerar os impactes potenciais e reais da construção para que, se possível, possam ser tomadas medidas na fase de projecto que permitam minimizá-los ou eliminá-los.

No que respeita à utilização de energia a fase de construção de um edifício é responsável apenas por 12% do total do consumo energético de um edifício durante o seu ciclo de vida. A utilização que se dá ao edificado é responsável pela maior parte do consumo energético total do edifício – devido a actividades como a utilização de aparelhos de aquecimento, ventilação, aquecimento de águas e aparelhos eléctricos. As operações de manutenção e renovação assumem 4% dos gastos energéticos de um edifício, sendo esta uma parcela bastante reduzida que ilustra, em parte, a falta de preocupação com estes aspectos. [17] Estes dados encontram-se apresentados na figura 2.22.

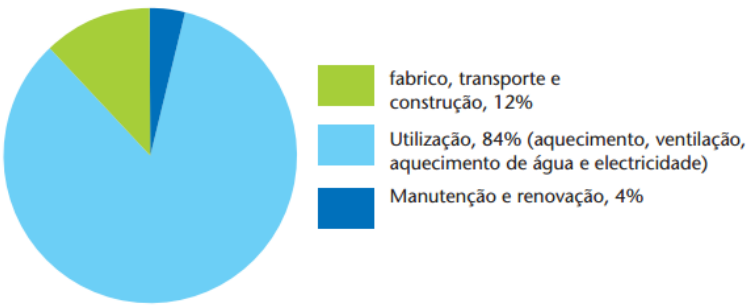


**Figura 2.22 - Percentagem de utilização de energia num edifício durante o seu ciclo de vida [17]**

Através da análise do Balanço Energético provisório de 2011, realizado pela DGEG, podemos concluir que no sector doméstico as fontes de energia utilizadas são os produtos petrolíferos (GPL, petróleo, gasóleo e lubrificantes), o gás natural, a electricidade e as energias renováveis como é o caso dos sistemas solares térmicos e lenhas e resíduos industriais. [18]

A electricidade continua a ser a fonte de energia mais utilizada no sector doméstico assumindo uma parcela significativa de 42% do total de energia consumida nas habitações. Importa realçar o papel das energias renováveis, que assumem a segunda fonte de energia mais utilizada com cerca de 28% do consumo, tal como se pode observar na figura 2.23. Ainda assim, este número está bastante aquém daquilo que seria o desejado para se alcançar uma construção mais sustentável.

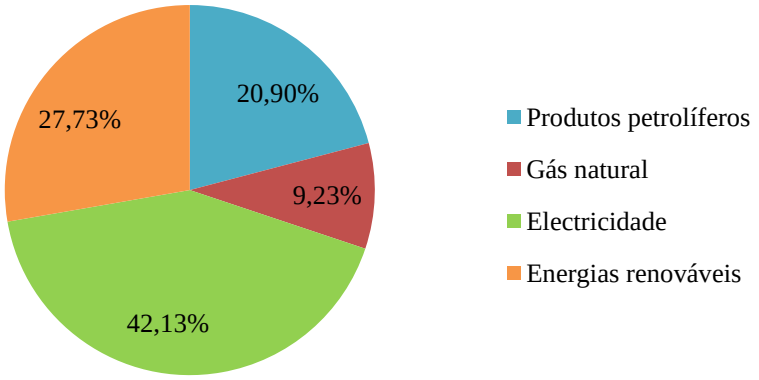


**Figura 2.23 – Distribuição do consumo energético do sector doméstico por fontes de energia, em Portugal, 2011 (provisório) (%) [18]**

Se se analisarem os dados presentes nos balanços energéticos desde o ano de 2004, verifica-se que, numa fase inicial, se assistiu a um aumento da utilização das energias renováveis como fonte de energia. Em 2008, foi atingido o valor máximo de utilização deste tipo de energias atingindo-se um valor de 37,2% do consumo energético do sector doméstico português. No entanto, em 2010 iniciou-se uma descida acentuada desta percentagem de utilização, atingindo-se um valor mínimo de 24,5%. Os referidos valores encontram-se apresentados na figura 2.24. [18 – 25]

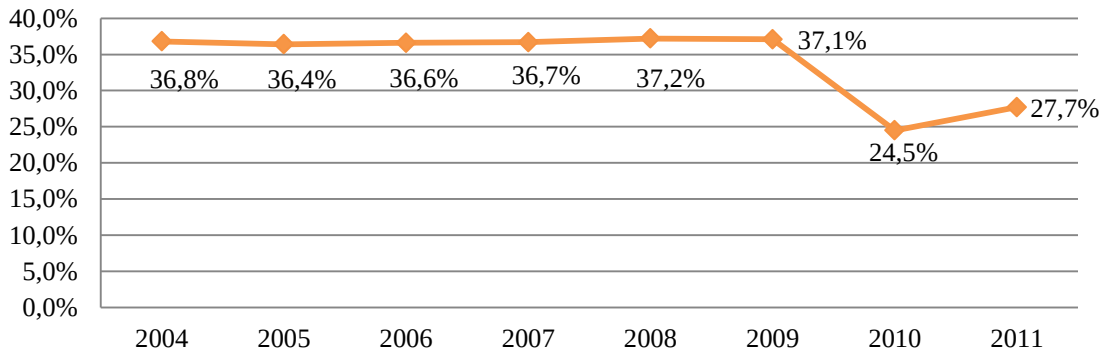


**Figura 2.24 - Utilização de energias renováveis como fonte de produção de energia no sector doméstico em Portugal [18 – 25]**

A maior parte da energia consumida pelos edifícios é obtida através de fontes não renováveis, como petróleo, o carvão ou o gás natural. Tendo em conta que todas as estas fontes de energia têm origem em reservas de origem fóssil ou mineral, à medida que estas reservas diminuem a extracção torna-se mais difícil e, consequentemente, mais dispendiosa. A médio prazo, se mantivermos o modelo de consumo actual, os recursos não renováveis deixarão de estar disponíveis porque a sua extracção deixará de ser economicamente rentável ou porque as suas reservas acabarão por se extinguir. [1]

O aumento do preço do petróleo levará ao empobrecimento dos países mais dependentes dessa matéria-prima, como é o caso de Portugal, fragilizando a sua posição internacional a nível económico. A evolução do preço do petróleo é um factor de risco. Em países dependentes desta matéria-prima, e sem produção interna da mesma, importa cada vez mais diversificar as fontes de energia bem como racionalizar os consumos das mesmas. [26]

O consumo energético com origem em fontes de energia fósseis, além de causar a extinção dessas mesmas fontes, necessita de um processo de combustão que origina a formação de dióxido de carbono ($CO_2$), o principal gás responsável pelo efeito de estufa. A necessidade de reduzir a emissão de gases do efeito de estufa (GEE) está também ligada à necessidade de aumento da eficiência energética, questão que é reforçada internacionalmente através do Protocolo de Quioto e do Objectivo 20.20.20.

As alterações climáticas são a consequência mais evidente do aumento do efeito de estufa. Com o objectivo de diminuir as emissões de gases que provocam o efeito de estufa, foi assinado, em 1997, o Protocolo de Quioto por 36 países industrializados. Para que o documento entrasse em vigor era necessário que fosse assinado por um número suficiente de países que, em conjunto, fosse responsável por 55% das emissões dos países industrializados. O protocolo entrou em vigor em Fevereiro de 2005, após a assinatura da Rússia em 2004. Para o período 2008 – 2012, está prevista a redução global acordada de 5,2%, face ao valor registado no ano de 1990. [1]

De acordo com o EUROSTAT, em 2011, Portugal tem falhado com os objectivos propostos pelo Protocolo de Quioto. Quando comparado o valor de GEE em 2009 com o do ano base do Protocolo de Quioto (1990), verifica-se um aumento de 24%, sendo apenas superado pela Espanha. [13]

A par do referido Protocolo, importa também referir que a União Europeia estabeleceu a meta dos 20.20.20 até 2020, isto é, 20% da produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis, redução de 20% dos GEE e redução de 20% no consumo de energia primária. Neste campo, Portugal assumiu objectivos mais ambiciosos: 45% da produção de energia eléctrica seria feita através de fontes de energia renováveis. [27]

## 2.5. NECESSIDADE DE MAIOR EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Cada vez mais é necessário consciencializar a população para a necessidade de se aumentar a eficiência energética e, assim, ajudar a poupar a energia consumida no país. Medidas como apagar a luz e os aparelhos domésticos quando não estão a ser utilizados estão ao alcance de todos mas a possibilidade de produzir energia doméstica não. [1] Se não forem tomadas medidas neste sentido, situações como o choque energético de 1973 poderão tornar-se uma nova realidade.

Em 1973, assistiu-se ao primeiro choque petrolífero marcado pelo aumento do preço de barril de petróleo por parte dos produtores (para cerca de quatro vezes mais) bem como a diminuição da produção deste bem. Tal facto deveu-se à descoberta, por parte dos países do Médio Oriente, de que o petróleo é um bem não renovável que um dia irá acabar. Consequentemente, as vendas para os Estados Unidos da América e Europa foram interrompidas criando uma enorme crise energética. Esta situação durou cerca de cinco meses e teve consequências bastante negativas na economia ocidental e nos mercados financeiros.

Desta forma, países como os Estados Unidos da América, tomaram consciência da importância de energias alternativas para fazer face às energias não renováveis. Alguns factores como a elevada dependência das importações por parte dos países, o elevado consumo doméstico de energias não renováveis, o nível de *stocks* limitado ou a incapacidade de serem criadas e exploradas alternativas rentáveis e viáveis às formas de produção de energia com recurso a energias não renováveis tornam o cenário de crise energética como uma realidade possível a curto ou médio prazo.

A dependência energética dos países no que a energias não renováveis diz respeito deve começar a ser uma situação a evitar, iniciando-se assim um real investimento no que diz respeito a fontes de energia renováveis.

O aumento do consumo de energia é uma consequência do desenvolvimento das sociedades. No entanto, este aumento não é necessário se for feita uma utilização responsável da energia. A competitividade dos países será maior se for aumentada a sua eficiência energética, isto é, se por cada unidade de produto realizado ou serviço prestado consumir menos energia. Este cenário está cada vez mais presente no sector industrial mas importa que se torne uma realidade no sector doméstico. [1]

O consumo de energia nas habitações depende de diversos factores, tais como a qualidade de construção, a zona onde estão situadas, o nível de isolamento, o tipo de equipamentos existentes e o uso que lhes é dado. Com pequenas intervenções dos edifícios pode poupar-se até 35% de energia, não comprometendo as condições de conforto. Existem, ainda, medidas de baixo custo ou sem qualquer custo adicional que podem reduzir o gasto de energia entre 10% e 40%. [1]

Dentro do sector doméstico existem vários meios de obter um aumento significativo da eficiência energética e, paralelamente, uma diminuição do consumo de energia. São exemplos disso a escolha inteligente dos electrodomésticos, das fontes de iluminação artificial, das fontes de aquecimento e dos sistemas de produção de água quente. [1]

Com o objectivo de fornecer ao consumidor informações exactas, reconhecíveis e comparáveis no que diz respeito ao consumo de energia, ao desempenho e a outras características essenciais dos produtos que adquirem, foi criada a Etiqueta Energética da União Europeia. Assim, torna-se possível que o consumidor conheça o nível de eficiência energética de um produto e que avalie o potencial de custos de energia que este possibilita. A etiqueta é igual para todos os produtos de uma mesma categoria, o que possibilita que seja feita uma comparação entre as várias características dos produtos (como o consumo de água, o consumo de energia ou a sua capacidade). A escala de eficiência energética divide-se em sete níveis distintos sendo os aparelhos da classe $A^{+++}$ os mais eficientes energeticamente e os aparelhos da classe D os menos eficientes, tal como se pode verificar na figura 2.25. [1]

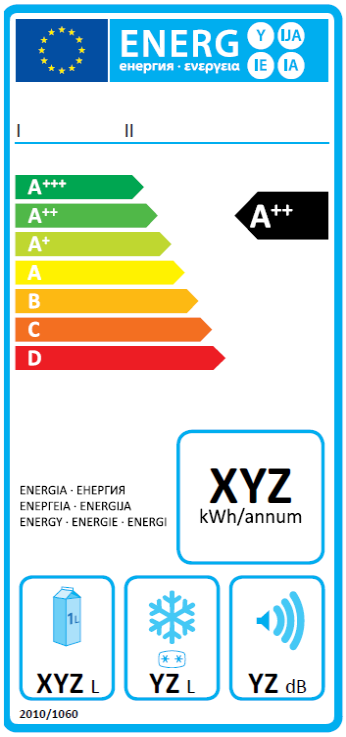


**Figura 2.25 - Etiqueta Energética da União Europeia [1]**

Ao longo dos anos verificou-se uma maior procura de melhores condições de conforto por parte dos utilizadores das habitações, levando a um aumento da factura energética. Torna-se, então, importante reduzir a factura de energia sem comprometer o nível de conforto desejado. [1]

Em primeiro lugar, para que seja possível alcançar o nível de conforto sem que se verifiquem aumentos na factura energética, é necessário que a habitação possua uma envolvente eficiente que possibilite reduzir ao mínimo as trocas de calor e de frio com o exterior. Esta preocupação deve incidir quer na envolvente opaca – paredes, cobertura e pavimentos termicamente isolados – quer no que diz respeito aos envidraçados – janelas com protecção solar eficiente, de vidro duplo e baixa permeabilidade ao ar. Em segundo lugar, é importante dotar a habitação de equipamentos eficientes para arrefecimento e aquecimento. [1]

Com o objectivo de fomentar a implementação de um sistema de certificação energética de edifícios surge, em 2002, uma Directiva relativa ao Desempenho Energético de Edifícios (EPBD) – Directiva Europeia 2002/91/CE. Esta medida teve como objectivo informar os cidadãos sobre a qualidade térmica dos edifícios, na fase de construção, de venda ou de arrendamento dos mesmos. A Directiva tornou obrigatório definir normas mínimas de desempenho energético para edifícios novos e remodelados e introduzir certificados de desempenho energético para todos os Estados-Membros da UE. [28]

A Directiva Europeia 2002/91/CE foi transposta para o Direito Nacional Português de 4 de Abril de 2006 através de um pacote legislativo composto por três Decretos-lei [28]:

- O Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) que transpõe parcialmente para a ordem jurídica a Directiva nº 2002/97/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios.
- O Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE).

- O Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

O cronograma de execução da EPBD em Portugal passou por três fases [28]:

- 1 De Julho de 2007: aplicação do SCE a edifícios novos com uma área total de mais de 1000 $m^2$, registados para construção (quando solicitada a autorização de construção) depois desta data.
- 1 De Julho de 2008: aplicação do SCE a novos pequenos edifícios, independentemente da área, sendo registados para construção (quando solicitada a licença de construção) depois desta data.
- 1 De Janeiro de 2009: a exigência de uma certificação energética de todos os edifícios entra em vigor. Todos os edifícios, de habitação ou comércio, que sejam vendidos ou arrendados depois de Janeiro de 2009 devem ter um Certificado de Eficiência Energética, que inclua informação sobre o nível de eficiência do edifício.

O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) surge com o objectivo de melhorar o desempenho energético e ambiental do parque edificado. O SCE, através da aplicação de métodos específicos, permite incentivar a redução das necessidades de energia não só dos edifícios novos mas também dos sujeitos a reabilitações e identificar medidas que visam a melhoria nos edifícios existentes. [1]

A certificação energética, quando aplicada a edifícios de habitação, permite aos futuros proprietários conhecer o desempenho energético de uma habitação antes mesmo da sua aquisição e/ou utilização. Desta forma, realça-se a importância, junto dos construtores e senhorios, da utilização de soluções construtivas e equipamentos mais eficientes do ponto de vista energético. Com este objectivo, o SCE emite o Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior para um edifício ou fracção autónoma que é classificado em função do seu desempenho energético numa escala de 9 classes – $A^+$ a G – sendo $A^+$ a classe mais eficiente e G a menos eficiente. Uma fracção que cumpra os mínimos exigidos pela actual regulamentação situa-se na classe energética $B^-$. Para além da indicação da classe energética, o referido certificado apresenta ainda algumas sugestões de medidas de melhoria de desempenho energético e da qualidade do ar interior que o proprietário pode adoptar. [1]

Em 2013 entraram em vigor em Portugal novos Diplomas Legais relativos aos Sistemas de Certificação energética de Edifícios, que, dado o período de desenvolvimento do presente trabalho, não serão tidos em conta para análise.

## 2.6. A INEFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O sector doméstico é um dos maiores consumidores de energia representando cerca de 17% do consumo total anual de energia eléctrica em Portugal. Com a crescente necessidade de conforto associada a deficiências de isolamento térmico nas habitações, os aparelhos eléctricos de aquecimento têm sido cada vez mais utilizados, representado cerca de 15% do consumo energético das habitações. A utilização de estratégias que privilegiem a eficiência energética na concepção dos edifícios irá potenciar a menor utilização deste tipo de aparelhos bem como da utilização mais equilibrada da energia eléctrica.

Os factores que mais influenciam os consumos excessivos de energia nas habitações são: [29]

- O grau de conforto exigido pelos utilizadores e seu comportamento;
- O número de utilizadores;
- As condições climáticas do local onde se encontra implantado o edifício;
- A resistência térmica, a orientação e a área dos elementos das envolventes do edifício (parte opaca e envidraçados);
- As perdas e ganhos de carga térmica associados à renovação de ar interior;
- O volume da construção (área útil e pé direito médio);
- As condições económicas dos utilizadores;
- A eficiência energética dos equipamentos existentes.

É necessário propor alterações nos hábitos quotidianos dos agregados familiares para que seja possível atingir um nível adequado de eficiência energética. No entanto, o desconhecimento por parte dos portugueses sobre a questão energética torna a implementação de medidas de eficiência bastante mais difícil. Um estudo da Quercus, que teve como principal objectivo sensibilizar os cidadãos para as questões ligadas ao consumo de energia eléctrica no sector doméstico, demonstra o nível de percepção das famílias acerca das actividades domésticas com maiores consumos energéticos, sendo notório que existe uma diferença quando se comparam os consumos domésticos de electricidade e a percepção das famílias acerca dos mesmos. Os resultados do referido estudo encontram-se na figura 2.26. [30]

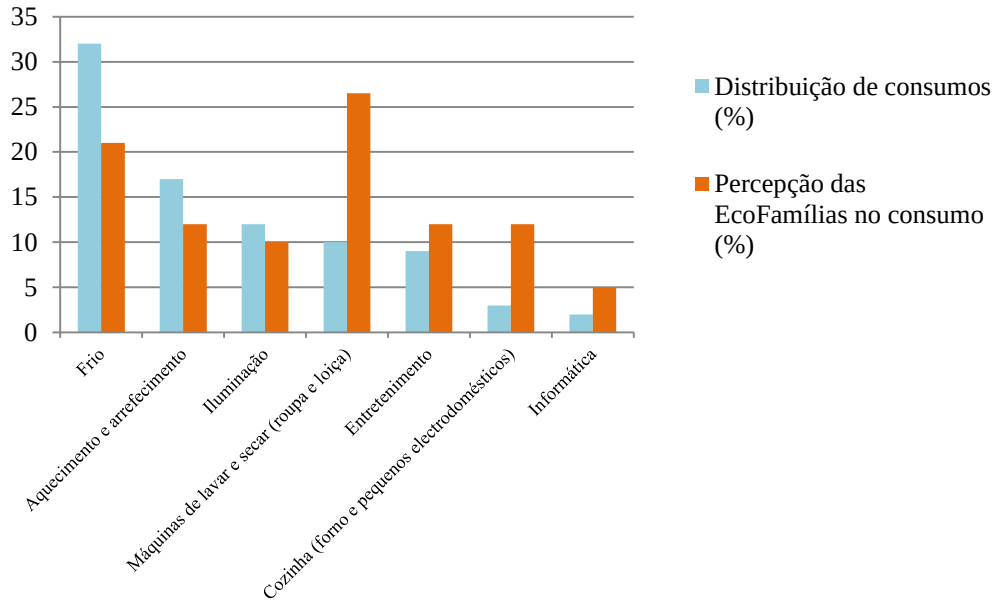


**Figura 2.26 - Comparação da repartição do consumo doméstico de electricidade segundo dados da ADENE e as respostas dos inquiridos quando questionados sobre o tema [30]**

Quando se pretende aumentar a eficiência energética de um edifício é importante perceber quais as características dos edifícios que levam a uma redução do seu desempenho térmico e, consequentemente, a consumos elevados de energia.

Dentro das características do edifício, importa referir as seguintes: [31]

- Isolamento térmico insuficiente nos elementos opacos da envolvente;
- Existência de pontes térmicas na envolvente do edifício;
- Presença de humidade;
- Baixo desempenho de vãos envidraçados e portas, levando a grandes perdas de calor por transmissão térmica e por infiltrações de ar em excesso;
- Falta de protecções solares adequadas nos vãos envidraçados, levando ao sobreaquecimento no interior dos edifícios e ao aumento das necessidades energéticas para arrefecimento da habitação;
- Ventilação não-controlada, levando a maiores necessidades energéticas de aquecimento (situação de Inverno) ou ventilação insuficiente, que origina maiores níveis de humidade relativa no Inverno (originando problemas de condensação) e sobreaquecimento no Verão (potenciando um baixo nível de qualidade do ar interior).

Os consumos elevados de energia podem ainda dever-se a comportamentos inadequados dos habitantes, tais como: [31]

- A manutenção dos equipamentos eléctricos de aquecimento/arrefecimento enquanto as janelas se encontram abertas;
- A climatização desnecessária dos espaços, levando a temperaturas demasiado elevadas no Inverno e demasiado baixas no Verão, no interior das habitações;

## A envolvente exterior

A envolvente de um edifício pode ser dividida em envolvente interior e exterior. A envolvente interior caracteriza-se pela fronteira que divide a fracção autónoma e os ambientes normalmente não climatizados (espaços anexos "não úteis", como é o caso de garagens, outras fracções autónomas de edifícios adjacentes ou zonas comerciais). A envolvente exterior é constituída pelo conjunto de elementos do edifício ou da fracção autónoma que estabelecem a fronteira entre o espaço interior e o espaço exterior do edifício. A envolvente pode ainda ser dividida em zona corrente, onde se admite que a transferência de calor é unidireccional e a resistência térmica do elemento construtivo é constante, e em zonas de pontes térmicas, onde o fluxo de calor é bi ou tridimensional (e os fluxos de calor serão, inevitavelmente maiores) e a resistência térmica deixa de ser uniforme. [32] [33] [34]

As pontes térmicas são zonas de heterogeneidade inseridas em zona corrente da envolvente, de menor isolamento térmico, onde há maiores perdas de calor em relação às restantes áreas da envolvente. Assim, torna-se necessário recorrer a um aumento do consumo de energia para aquecimento para contrariar este fenómeno. As pontes térmicas podem ocorrer em elementos estruturais (como é o caso de vigas e pilares – elementos maciços com coeficientes de transmissão térmica superiores aos das paredes onde se inserem), na envolvente dos vãos exteriores (onde as soluções existentes são diferentes das utilizadas em superfície corrente, por razões construtivas) ou em qualquer cunhal – como é o caso da intersecção de paredes exteriores com paredes interiores – uma vez que as superfícies internas têm nessa situação áreas menores que as superfícies externas. [31] [34]

A eficiência do isolamento térmico só é total se este cobrir completamente a superfície que se pretende isolar. Assim, as descontinuidades do isolamento devem ser evitadas porque se tornam pontos preferenciais de transferência de calor entre os ambientes interior e exterior. O limite do coeficiente de transmissibilidade térmica nas pontes térmicas é, no máximo, igual ao dobro do coeficiente de transmissibilidade térmica da zona corrente onde essa ponte térmica está inserida. Este maior controlo

surgiu com a imposição do segundo RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios) – em vigor desde 1 de Julho de 2007 –, uma vez que até esse momento não havia qualquer controlo sobre o limite do coeficiente de transmissão térmica nas pontes térmicas. A solução mais eficiente para a correcção de pontes térmicas e garantir a continuidade do isolamento térmico e a aplicação de isolamento pelo exterior, no entanto, esta situação acarreta outras desvantagens como a dificuldade da realização dos remates dos vãos de portas e janelas, a dificuldade em assegurar uma boa resistência a choques e acções de vandalismo, a alteração do aspecto exterior do edifício, o custo elevado e os problemas em caso de incêndio (no caso da utilização de um material de isolamento térmico combustível). Quanto melhor o isolamento térmico de uma habitação e melhor a sua orientação solar, melhor será o seu desempenho energético e o conforto dos seus habitantes. [31] [32] [35]

Se analisarmos o tipo de paredes exteriores com o ano de construção (fig. 2.27), verifica-se que há uma melhoria do desempenho térmico das mesmas com a entrada em vigor do primeiro RCCTE (1991), verificando-se um aumento do uso de isolamento térmico. [30]

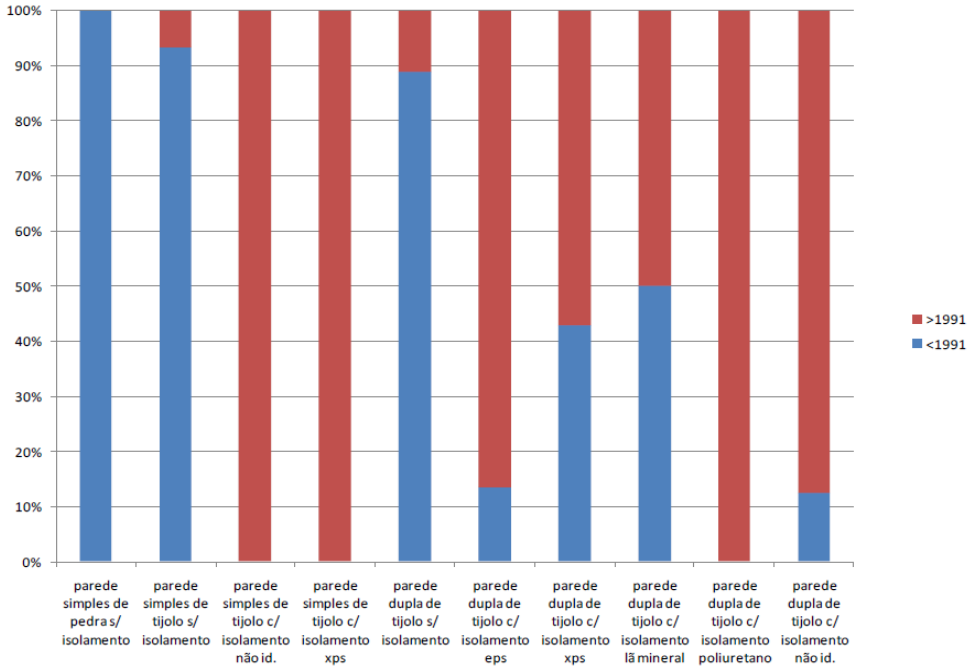


**Figura 2.27 - Tipo de parede exterior de acordo com o ano de construção das habitações [30]**

Torna-se evidente que o isolamento térmico eficiente da envolvente da construção influencia o seu desempenho energético, já que aumenta a resistência às trocas de calor entre o interior e o exterior. Uma vez que a envolvente exterior é constituída por elementos opacos e por vãos envidraçados, pode realizar-se o mesmo tipo de análise apresentada na figura 2.27 para o tipo de envidraçados utilizados antes e após a entrada em vigor do primeiro RCCTE (fig. 2.28). Pode concluir-se que, também neste caso, a entrada em vigor do primeiro RCCTE se traduziu em melhores escolhas das superfícies envidraçadas. [30]

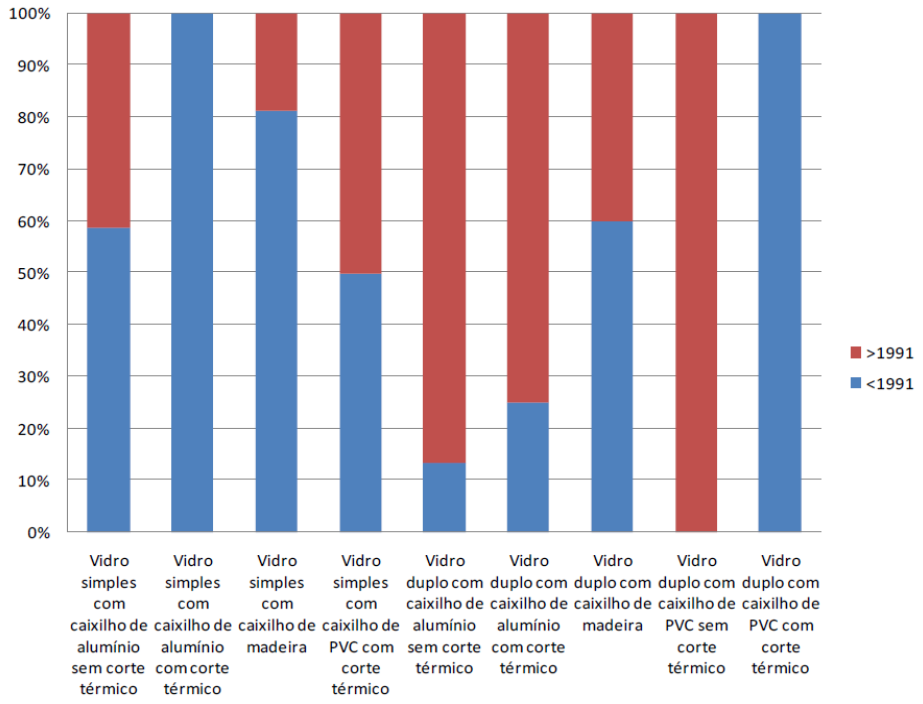


**Figura 2.28 - Tipo de envidraçados de acordo com o ano de construção das habitações [30]**

Sendo a transmissão de energia entre o exterior e o interior um factor determinante no desempenho energético do edifício, a primeira decisão a tomar seja a escolha do sistema construtivo da envolvente da construção que deverá ser adequada ao clima do lugar em que se insere. Assim, as diferenças construtivas entre os elementos analisados ocorrem por diversas razões entre elas a zona do território (norte, sul e centro, interior e litoral do país), factores climáticos e data de construção da habitação. [30]

As principais anomalias relacionadas com o isolamento térmico têm como causas principais as que se apresentam em seguida: [30]

- Inexistência ou espessura insuficiente de isolamento térmico;
- Existência de pontes térmicas;
- Vãos envidraçados e portas com níveis de isolamento insuficiente;
- Ausência de protecções solares adequadas nos vãos envidraçados;
- Ventilação deficiente;
- A sua degradação devido à humidade, uma vez que o aumento do teor de água de um material isolante térmico aumenta a sua condutibilidade térmica e diminui a sua capacidade isolante.

O aumento do isolamento térmico da envolvente exterior, quando bem executado, irá potenciar a diminuição das necessidades de aquecimento/arrefecimento das habitações e, consequentemente, melhorar o seu desempenho energético.

Segundo o estudo realizado pela Quercus, no âmbito do projecto EcoFamílias, o tipo de parede e isolamento mais comum no universo analisado, corresponde à parede dupla de tijolo com isolamento térmico EPS (poliestireno expandido moldado). Os resultados obtidos desta análise encontram-se apresentados na figura 2.29. [30]

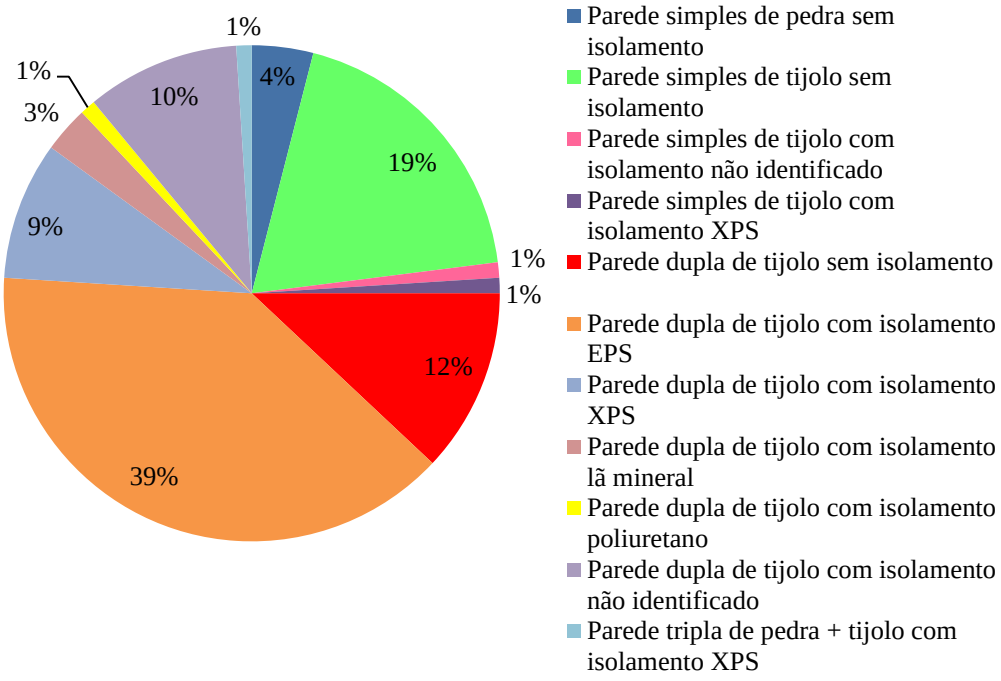


**Figura 2.29 - Tipo de parede e isolamento existente nas habitações das EcoFamílias [30]**

Em seguida, no quadro 2.4, apresentam-se os dados resultantes de um estudo realizado pela DGEG na sua publicação referente à reabilitação da envolvente exterior de edifícios acerca do custo-benefício da aplicação de um sistema ETICS com o objectivo de realizar um melhoramento do comportamento térmico da envolvente exterior de um edifício. Para este efeito, foi considerado um edifício de habitação onde se iria aplicar isolamento térmico pelo exterior. O edifício em questão era constituído por paredes simples de tijolo furado de 22 cm e o isolamento térmico aplicado seria em placas de EPS do tipo ETICS e com revestimento delgado. Realizou-se o estudo para três zonas climáticas diferentes: Lisboa (zona climática $I_1$); Porto (zona climática $I_2$) e Bragança (zona climática $I_3$). Admitiu-se que este edifício tem apenas aquecimento ambiente realizado por radiadores eléctricos ou por caldeira a gás natural, a propano ou a gasóleo.

**Quadro 2.4 - Custo e economia de energia da aplicação de diversas espessuras do isolante térmico, para os Concelhos de Lisboa, Porto e Bragança [31]**

| Espessura do isolante térmico [mm] | Custo total * [Euro/m²] | Economia de Energia** [MJ/m².ano] | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Lisboa ($I_1$) | Porto ($I_2$) | Bragança ($I_3$) |
| 40 | 34,19 | **179,93** | 243,43 | 430,92 |
| 50 | 34,93 | 189,01 | **255,72** | 452,67 |
| 60 | 35,67 | 195,35 | 264,30 | **467,86** |
| 70 | 36,41 | 199,25 | 269,58 | 477,21 |
| 80 | 37,15 | 202,80 | 274,37 | 485,69 |
| 90 | 37,89 | 205,7 | 278,30 | 492,64 |
| 100 | 38,63 | 208,14 | 281,6 | 498,48 |

* Incluindo andaime para a sua aplicação.

** Utilizando a metodologia dos graus-dia, para temperatura base de 20ºC e considerando o rendimento do sistema de aquecimento de 100%.

NOTA: A negrito estão indicados os valores das economias de energia para as espessuras correspondentes aos valores de U – coeficiente de transmissão térmica – de referência do RCCTE.

Da análise do quadro anterior são visíveis as poupanças de energia associadas a colocação de isolamento térmico exterior nas edificações, uma vez que esta medida leva à redução das perdas térmicas pela envolvente.

No que diz respeito à aplicação de isolamento térmico pelo interior, foi também realizado um estudo pela DGEG acerca do custo-benefício desta solução. As características do edifício ao qual esta solução foi aplicada são as descritas anteriormente. Os resultados obtidos apresentam-se no quadro 2.5.

**Quadro 2.5 - Custo e economia de energia da aplicação de diversas espessuras do isolante térmico, para os Concelhos de Lisboa, Porto e Bragança [31]**

| Espessura do isolante térmico [mm] | Custo total * [Euro/m²] | Economia de Energia* [MJ/m².ano] | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Lisboa ($I_1$) | Porto ($I_2$) | Bragança ($I_3$) |
| 30 | 34,10 | **144,2** | 195,1 | 345,36 |
| 40 | 34,84 | 156,28 | **211,44** | 374,28 |
| 50 | 35,58 | 165,81 | 224,33 | **397,1** |
| 60 | 36,32 | 172,73 | 233,69 | 413,68 |
| 70 | 37,06 | 177,49 | 240,13 | 425,07 |
| 80 | 37,80 | 181,64 | 245,75 | 435,02 |
| 90 | 38,54 | 185,1 | 250,42 | 443,30 |

* Utilizando a metodologia dos graus-dia, para temperatura base de 20ºC e considerando o rendimento do sistema de aquecimento de 100%.

NOTA: A negrito estão indicados os valores das economias de energia para as espessuras correspondentes aos valores de U de referência do RCCTE.

A optimização do nível de isolamento térmico em pavimentos é essencial quando estes estão em contacto directo com o ambiente exterior ou com espaços interiores não-aquecidos o que potencia maiores necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento das fracções autónomas ou edifícios.

Como foi já apresentado nos casos do reforço de isolamento térmico nas paredes, também neste caso foi realizado um estudo custo-benefício pela DGEG, apresentado no quadro 2.6, aplicado a um edifício de habitação onde foi aplicado um isolamento térmico inferior à laje de pavimento (sobre a garagem e arrecadações) em lã mineral, em placas, fixado directamente ao pavimento, e com um acabamento contínuo, por exemplo, em placas de gesso cartonado para os concelhos de Lisboa, Porto e Bragança. Os aparelhos de aquecimento ambiente são os mesmos referidos nos estudos custo-benefício anteriormente apresentados.

**Quadro 2.6 - Custo e economia de energia da aplicação de diversas espessuras do isolante térmico, para os Concelhos de Lisboa, Porto e Bragança [31]**

| Espessura do isolante térmico [mm] | Custo total * [Euro/m²] | Economia de Energia* [MJ/m².ano] | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Lisboa ($I_1$) | Porto ($I_2$) | Bragança ($I_3$) |
| 20 | 13,98 | **102,82** | 139,1 | 246,24 |
| 30 | 14,52 | 125,88 | **170,31** | 301,49 |
| 40 | 15,06 | 138,80 | 187,79 | **332,42** |
| 50 | 15,6 | 148,43 | 200,82 | 355,49 |
| 60 | 16,14 | 154,22 | 208,66 | 369,36 |
| 70 | 16,68 | 159,68 | 216,03 | 382,42 |
| 80 | 17,22 | 163,50 | 221,20 | 391,57 |

* Utilizando a metodologia dos graus-dia, para temperatura base de 20ºC e considerando o rendimento do sistema de aquecimento de 100%.

NOTA: A negrito estão indicados os valores das economias de energia para as espessuras correspondentes aos valores de U de referência do RCCTE.

Por último, também a optimização do nível de isolamento térmico em coberturas é uma medida essencial e prioritária, já que a cobertura é o elemento do construtivo que está sujeito a maiores amplitudes térmicas. O facto de esta ser uma medida de fácil implementação e ser pouco dispendiosa aumenta o caracter prioritário desta intervenção.

Quando é realizado o estudo custo-benefício para a situação de aplicação, num edifício de habitação, de isolante térmica na cobertura inclinada sobre a esteira horizontal, em EPS em placas para os três concelhos em analise estando o aquecimento ambiente assegurado pelos meios referidos anteriormente, os resultados obtidos são os apresentados no quadro 2.7.

**Quadro 2.7 - Custo e economia de energia da aplicação de diversas espessuras do isolante térmico, para os Concelhos de Lisboa, Porto e Bragança [31]**

| Espessura do isolante térmico [mm] | Custo total * [Euro/m²] | Economia de Energia* [MJ/m².ano] | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Lisboa ($I_1$) | Porto ($I_2$) | Bragança ($I_3$) |
| 60 | 6,98 | 303,31 | 410,36 | 726,41 |
| 70 | 7,72 | **311,03** | 420,8 | 744,9 |
| 80 | 8,46 | 315,90 | **427,39** | 756,56 |
| 90 | 9,2 | 319,79 | 432,65 | **765,87** |
| 100 | 9,94 | 323,87 | 438,18 | 775,66 |
| 110 | 10,68 | 325,64 | 440,54 | 779,89 |
| 120 | 11,42 | 327,9 | 443,63 | 785,31 |

* Utilizando a metodologia dos graus-dia, para temperatura base de 20ºC e considerando o rendimento do sistema de aquecimento de 100%.

NOTA: A negrito estão indicados os valores das economias de energia para as espessuras correspondentes aos valores de U de referência do RCCTE.

Analogamente às situações anteriormente descritas foi realizado um estudo custo-benefício pela DGEG aplicado a um caso de um edifício de habitação onde foi aplicado isolamento térmico numa cobertura plana não invertida (onde o isolante é suporte de impermeabilização) em EPS em placas e impermeabilização para os três concelhos referidos e as condições de aquecimento ambiente já mencionadas. Os resultados obtidos encontram-se no quadro 2.8.

**Quadro 2.8 - Custo e economia de energia da aplicação de diversas espessuras do isolante térmico, para os Concelhos de Lisboa, Porto e Bragança [31]**

| Espessura do isolante térmico [mm] | Custo total * [Euro/m²] | Economia de Energia* [MJ/m².ano] | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Lisboa ($I_1$) | Porto ($I_2$) | Bragança ($I_3$) |
| 50 | 19,01 | **257,37** | 348,2 | 616,39 |
| 60 | 19,75 | 262,18 | **354,72** | 627,91 |
| 70 | 20,49 | 267,82 | 362,34 | **641,41** |
| 80 | 21,23 | 271,34 | 367,11 | 649,86 |
| 90 | 21,97 | 274,2 | 370,98 | 656,70 |
| 100 | 22,71 | 277,6 | 375,58 | 664,85 |
| 110 | 23,45 | 278,57 | 376,89 | 667,16 |

* Utilizando a metodologia dos graus-dia, para temperatura base de 20ºC e considerando o rendimento do sistema de aquecimento de 100%

NOTA: A negrito estão indicados os valores das economias de energia para as espessuras correspondentes aos valores de U de referência do RCCTE.

A reabilitação térmica dos vãos envidraçados apresenta diversas vantagens no que diz respeito à melhoria das condições de conforto dos habitantes, à qualidade do ar interior e à redução dos consumos energéticos, tais como: [31]

- O reforço do isolamento térmico do edifício;
- A redução das infiltrações de ar não-controladas;
- A melhoria da ventilação natural;
- O aumento dos ganhos solares no Inverno;
- O reforço da protecção da radiação solar no Verão.

Quando os raios solares atingem o envidraçado é criado o chamado "efeito de estufa", isto é, os raios solares atravessam o vidro e aquecem a habitação, sendo impedidos pelo mesmo envidraçado de voltarem a sair. [30]

A caixilharia assume-se como um factor determinante no que diz respeito à permeabilidade ao ar dos vãos envidraçados. As caixilharias mais usuais são as de PVC, alumínio ou madeira (que deve ser seca e de boa qualidade para evitar empenos e posterior aumento das taxas de infiltração de ar). [31]

Segundo o estudo realizado pela Quercus, no âmbito do projecto EcoFamílias, verifica-se que a maioria dos vãos envidraçados, no universo analisado, é composta por vidro duplo e que a caixilharia mais utilizada é a de alumínio, como é apresentado na figura 2.30. [30]

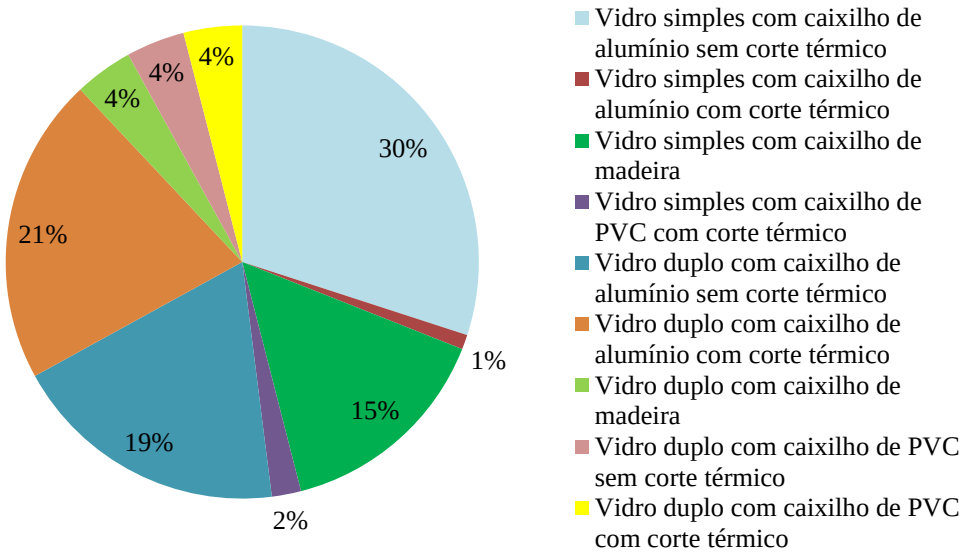


**Figura 2.30 - Tipo de envidraçados existentes nas habitações das EcoFamílias [30]**

Em termos de hierarquização das medidas de eficiência energética do ponto de vista da análise custo-benefício, as mais favoráveis são, em geral, as que incidem nas coberturas, seguidas das que se referem aos pavimentos sobre espaços exteriores e, finalmente, as respeitantes às paredes exteriores. No que diz respeito aos elementos envidraçados, o custo por metro quadrado da substituição de vidro simples por duplo ou da substituição da caixilharia existente por outra com melhor desempenho térmico, é muito superior ao verificado para as paredes exteriores e coberturas. No entanto, deve ter-se em conta que estes têm um peso bastante significativo no balanço térmico global dos edifícios. [31]

## A iluminação natural

A luz natural é a forma mais fácil e menos dispendiosa de iluminar um espaço, uma vez que provém de uma fonte de energia inesgotável, a luz solar.

Num edifício, todos os espaços devem ser localizados, orientados e organizados com o objectivo de tirar o maior partido possível da iluminação natural. É igualmente importante que todos os espaços constituintes das edificações possuam vãos envidraçados de iluminação com um posicionamento e dimensionamento adequados, tendo em conta as actividades que se irão desenvolver. [31]

Uma incorrecta localização dos vãos envidraçados num edifício trará menores níveis de aproveitamento da iluminação natural e, consequentemente, maiores custos associados à iluminação artificial. É, por isso, bastante importante potenciar a utilização da luz solar por forma a conseguir uma redução dos gastos energéticos associados a esta necessidade.

## A iluminação artificial

Os custos associados à iluminação nas habitações representam 12% dos gastos energéticos.

Com base no estudo realizado pela Quercus no projecto EcoFamílias pode verificar-se que o tipo de lâmpadas mais utilizadas para a iluminação artificial são as incandescentes (fig. 2.31). No entanto, começa a assistir-se a uma alteração na decisão do tipo de lâmpadas a utilizar, uma vez que se começa a assistir a uma aumento da utilização de lâmpadas fluorescentes e de halogéneo, soluções que são mais vantajosas do ponto de vista da eficiência energética. [30]

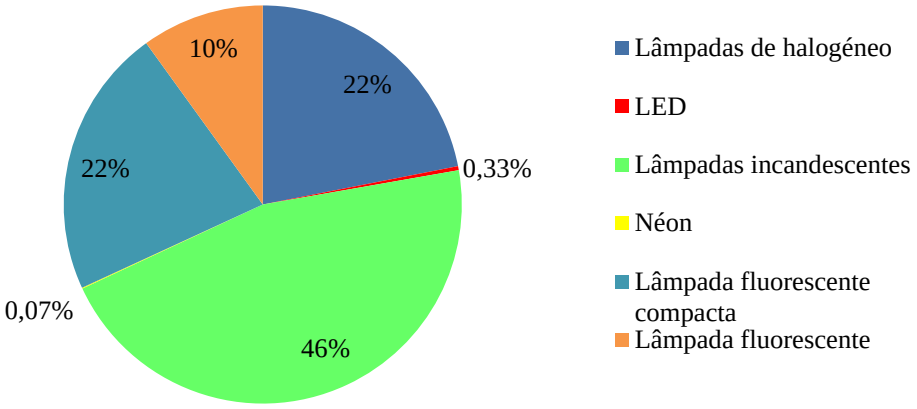


**Figura 2.31 - Percentagem de presença dos vários tipos de lâmpadas nas EcoFamílias [30]**

É importante referir que as lâmpadas incandescentes (onde apenas 5% da electricidade consumida é convertida em luz) apresentam um consumo elevado e que a sua substituição por lâmpadas fluorescentes compactas pode implicar uma redução de cerca de 80% do consumo de energia eléctrica e um aumento da vida útil entre 8 a 10 vezes. [14] [30] [36]

Para que se percebam melhor as vantagens da substituição das lâmpadas incandescentes por compactas fluorescentes, apresenta-se o quadro 2.9 para o qual se assumiu o preço da energia de 0,0965 €/kWh (tarifa simples). Da análise seguinte pode concluir-se, por exemplo, que o custo global associado ao ciclo de vida de uma lâmpada compacta fluorescente é cerca de €66,5 mais barato que de uma lâmpada fluorescente.

**Quadro 2.9 - Exemplo de substituição de lâmpadas incandescentes por compactas fluorescentes [14]**

| | Incandescente | CFL | Diferença face às incandescentes |
|---|---|---|---|
| Potência (W) | 75 | 15 | −60 |
| Fluxo luminoso (lm) | 960 | 1.200 | +240 |
| Vida útil (hora) | 1.000 | 12.000 | +11.000 |
| Nº de lâmpadas para a mesma vida útil | 12 | 1 | — |
| Preço médio de cada lâmpada (€) | 0,5 | 9 | — |
| Preço total das lâmpadas (€) | 12*0,50=6 | 1x9 | +3,0 |
| Consumo em 1.000 h de utilização (kWh) | 75 | 15 | −60 |
| Custo de energia em 1.000 h de utilização (€) | 7,24 | 1,45 | −5,79 |
| Custo global no ciclo de vida de uma CFL (€) | 92,85 | 26,37 | −66,48 |

Uma correcta escolha das lâmpadas a utilizar numa habitação conduzirá a menores gastos energéticos associadas à iluminação artificial de um espaço.

## Os equipamentos

Os equipamentos domésticos que apresentam maior potencial no que diz respeito à poupança energética são os equipamentos de frio (como os frigoríficos/combinados e congelador), a iluminação e os equipamentos audiovisuais (em grande parte, devido ao consumo dos mesmos em *stand-by*),tal como se pode verificar através da análise da figura 2.32. [14]

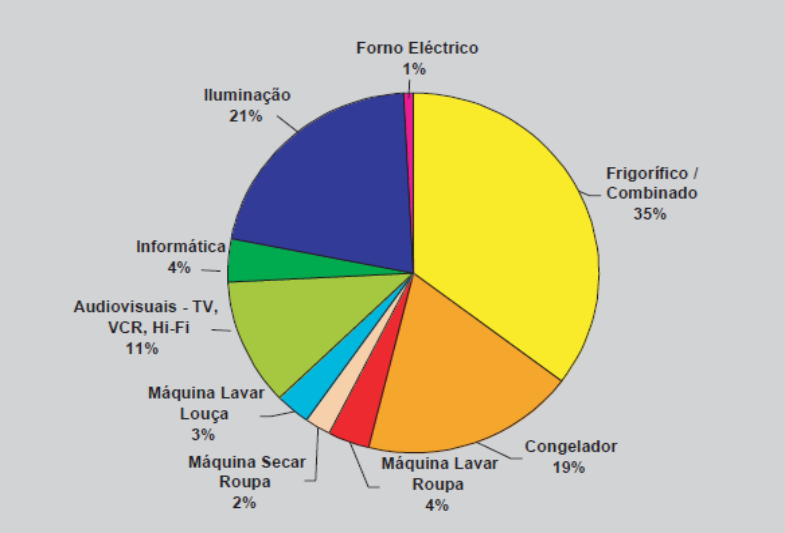


**Figura 2.32 - Potencial de economia na globalidade do sector residencial [14]**

Com o objectivo de incentivar e demonstrar as vantagens da escolha de equipamentos com elevada classe de eficiência energética, a DGEG realizou uma comparação entre os consumos de electricidade e água de uma "Família Standard" que opta pela compra de electrodomésticos sem ter em atenção a sua eficiência energética (tendo optado por um frigorifico de classe C, uma arca de classe D e máquinas de lavar de classe G) e uma "Família Ecológica" que se preocupa com os problemas energéticos e que escolheu todos os electrodomésticos de classe A. Os resultados da comparação referida encontram-se no quadro 2.10. [14]

**Quadro 2.10 - Comparação dos consumos de electricidade e água de uma "Família Standard" e uma "Família Ecológica" [14]**

| Equipamentos | Consumo anual de uma "Família *Standard*" | | Consumo anual de uma "Família Ecológica" | |
|---|---|---|---|---|
| | Electricidade (kWh) | Água ($m^3$) | Electricidade (kWh) | Água ($m^3$) |
| Frigorífico | 380 | — | 140 | — |
| Congelador | 625 | — | 225 | — |
| Máquina de lavar louça | 396 | 5,7 | 264 | 3,3 |
| Máquina de lavar roupa | 240 | 14,0 | 180 | 10,0 |
| Forno eléctrico | 306 | — | 250 | — |
| Computador | 200 | — | 95 | — |
| Audiovisual | 335 | — | 220 | — |
| Iluminação | 500 | — | 160 | — |
| **Total** | **2.982** | **19,7** | **1.534** | **13,3** |
| **Diferença entre as duas situações** | | | **-1.448** | **-6,4** |

Sendo claro que a dependência energética de Portugal do exterior é de quase 80%, essencialmente no que a petróleo, carvão e gás diz respeito, importa impulsionar a utilização de fontes de energias renováveis no país por forma a reforçar a tendência de aumento da utilização deste tipo de fontes energéticas ao longo dos últimos anos. Tal facto assume ainda maior importância quando é notório que em Portugal Continental se registam, a título de exemplo, as melhores condições de aproveitamento solar a nível Europeu com um número médio de horas de Sol que se situa entre as 2200 e 3000 por ano.

No sector doméstico a utilização das fontes de energia não renováveis mantém-se predominante, sendo a electricidade a principal fonte de energia neste sector, que é consumida por 99,9% dos alojamentos. No que diz respeito às energias renováveis neste sector, estas representam apenas 28% do total de energia consumida nas habitações portuguesas. A sensibilização para os correctos hábitos e escolhas dos habitantes no que diz respeito à utilização de aparelhos eléctricos mais eficientes (através da consulta da Etiqueta Energética da União Europeia) ou a melhoria das condições de isolamento da envolvente exterior, por forma a reduzir as trocas de calor com o exterior são medidas importantes para o aumento da eficiência energética das habitações e que podem ser aplicadas no processo de reabilitação de edifícios. Deve também potenciar-se a utilização da luz natural, por significar obviamente uma poupança de electricidade para iluminação, procurando ter atenção à orientação dos espaços de permanência de pessoas a Sul – por ter maior número de horas de exposição solar em Portugal, tendo também preocupação de proteger os envidraçados orientados a Sul de protecção para controlar as contribuições para aquecimento dos mesmos no período de Verão – e de arrumos e circulação a Norte.

Ao longo dos anos tem-se assistido a um crescimento das obras de reabilitação (em 2012 representavam 27% do total de obras realizadas em Portugal) mas a construção nova, mercado que começa a mostrar-se saturado, continua a predominar.

É possível também perceber que a maioria dos edifícios não apresenta necessidades de intervenção ao nível da estrutura, cobertura e caixilharias e paredes exteriores. No entanto, estes dados não contabilizam as possíveis intervenções com vista a uma melhoria do desempenho e eficiência energética dos edifícios pelo que o presente trabalho tem como objectivo realçar as necessidades desse tempo de acções de reabilitação.

Quando se realiza uma hierarquização das medidas que potenciariam um aumento de eficiência energética, do ponto de vista do custo-benefício, observa-se que a melhoria de isolamento das coberturas surge em primeiro lugar, seguida da melhoria de isolamento de pavimentos sobre espaços exteriores e, posteriormente, de paredes exteriores. Por último, observa-se que a substituição de envidraçados de vidro simples por vidro duplo e substituição da caixilharia existente por uma com melhor desempenho apresenta custos elevados – por metro quadrado, quando comparado com intervenções em paredes exteriores – mas tem um enorme peso no balanço térmico global dos edifícios.

Mostra-se, contudo, ser urgente a sensibilização dos ocupantes das habitações para a adopção de medidas simples, que passam essencialmente por escolhas inteligentes, que têm grande impacto na factura energética, tais como a substituição de lâmpadas de halogéneo por lâmpadas LED (que resulta numa poupança de 90% de energia) e na escolha de equipamentos com maior classe energética (já que a substituição de equipamentos de classe energética intermédia por equipamentos de classe energética A representa uma poupança de 49% de energia e 32% de água).

Ainda assim, e apesar de existir cada vez mais informação associada à necessidade de se adoptarem medidas com vista a reduzir os gastos energéticos associados a fontes de energia não renováveis, as recomendações e mudanças que são sugeridas no presente trabalho ainda não são bem aceites pela população porque, eventualmente, ainda não consegue ter a real percepção das vantagens de uma mudança de comportamento. Por isto, decidiu fazer-se uma breve análise a um conjunto de bairros ecológicos que foram construídos e reabilitados com o objectivo de serem energeticamente eficientes, de terem um excelente desempenho energético e de não serem dependentes de fontes de energia não

renováveis. As medidas adoptadas no seu processo construtivo serão tidas em consideração como boas práticas que conduzem a resultados efectivos e positivos no que diz respeito a uma diminuição da factura energética e dos impactes decorrentes de uma melhor selecção das fontes de energia a adoptar para a utilização de edifícios de habitação.

# 3. ANÁLISE DE ESTUDOS DE CASO

Para realçar a importância da adopção de medidas que visem a utilização de fontes de energia renováveis bem como da adopção de hábitos, por parte dos habitantes, que tenham em consideração a necessidade de maior eficiência energética, analisaram-se casos reais onde essas práticas foram adoptadas e que apresentaram resultados bastante positivos no que diz respeito aos níveis de eficiência energética, reduzida produção de $CO_2$ para a atmosfera, redução de custos associados a energia proveniente de fontes não renováveis, entre outros. Assim, em seguida, apresenta-se uma breve análise a nove bairros ecológicos de sucesso que servirão de modelo e de exemplo para o desenvolvimento do presente trabalho.

## 3.1. ESTUDOS DE CASO

### BedZed – Sutton, Reino Unido [37]

O projecto do BedZed (*Beddington Zero Energy Development)* foi a primeira comunidade ecológica e livre de carbono do Reino Unido e está situada em Sutton, a 40 minutos de Londres. É composta por 82 casas e 1600 $m^2$ destinados a espaços de trabalho (loja, café, instalações desportivas, entre outros).

O conceito deste projecto foi impulsionado pela vontade de criar uma rede de energia com desenvolvimento nulo de energias fósseis, que irá produzir pelo menos tanta energia através de fontes de energia renováveis como aquela que consome. Só a energia proveniente de fontes renováveis será utilizada para satisfazer as necessidades energéticas da comunidade de BedZed. Tal facto, conduz a que estejamos perante um sistema livre de emissões de dióxido de carbono para atmosfera que pode ser denominado de "carbono-zero".

Os principais objectivos deste projecto são os seguintes:

- Não utilização de combustíveis fósseis;
- Redução de 50% das energias utilizadas para transporte;
- Redução de 60% da energia nacional, em comparação com a média das famílias britânicas;
- Redução de 90% das necessidades de aquecimento;
- Uso de energias renováveis;
- Redução de 30% do consumo de água;
- Redução do desperdício e incentivo da reciclagem;
- Utilização de materiais de construção a partir de fornecedores locais;
- Desenvolvimento dos recursos locais;
- Desenvolvimento da biodiversidade nas áreas naturais.

O factor determinante na condução do projecto do BedZed foi o ambiente. Este projecto pretendeu ser um exemplo para mostrar que um modo de vida sustentável é possível sem que isso comprometa os padrões modernos. O BedZed foi pensado para reduzir o impacto ambiental em todos os níveis (habitação, incluindo a construção, a energia e alimentos; trabalho; transportes; vida social; entre outros). Este conceito evidencia que viver numa zona com produtos locais é possível.

No que diz respeito à energia, os edifícios foram construídos com materiais maciços que apresentam um bom comportamento térmico, já que armazenam calor durante a estação quente e libertam calor durante os períodos mais frios (como se pode verificar no pormenor de isolamento de uma parede, na figura 3.4). Os terraços das casas são orientados a sul para maximizar os ganhos de calor – ganhos passivos. As zonas de escritório são viradas a Norte para evitar o sobreaquecimento do espaço e a necessidade de utilização de ar condicionado (figura 3.3). A área coberta por painéis solares é de 777 $m^2$.

As casas e escritórios do BedZed estão equipados com iluminação de baixo consumo e electrodomésticos energeticamente eficientes para reduzir as necessidades de energia eléctrica. A água quente é distribuída por toda a área através de tubos altamente isolados. Para que os utilizadores possam controlar os seus usos de calor e electricidade, são instalados medidores em cada casa e escritório.

Por outro lado, os sistemas de reaproveitamento de água levaram a que o consumo diário seja de 76 litros, sendo que 18% deste valor representa água da chuva reaproveitada e água reutilizada. Com o intuito de diminuir a quantidade de água necessária para suprir as necessidades diárias foram instaladas torneiras gaseificadas, autoclismos de pequenas dimensões e banheiras menores. Neste sentido, uma grande inovação do BedZed, é a transformação da água não potável em água passível de ser utilizada em autoclismos ou rega de jardins.

A desvantagem deste tipo de construção é o preço. O projecto em questão teve um custo total de 17 milhões de euros, sendo que 14 milhões de euros representam custos de construção. O preço de uma habitação BedZed é 20% mais elevada que o preço médio de uma habitação convencional na mesma zona.

Alguns dos sistemas mecânicos e de engenharia instalados no bairro de BedZed com objectivo de reduzir as necessidades energéticas provenientes de fontes de energia não renováveis e incrementar a utilização de fontes de energia renováveis estão representados na figura 3.2.

**Figura 3.1 - BedZed, Reino Unido [38]**

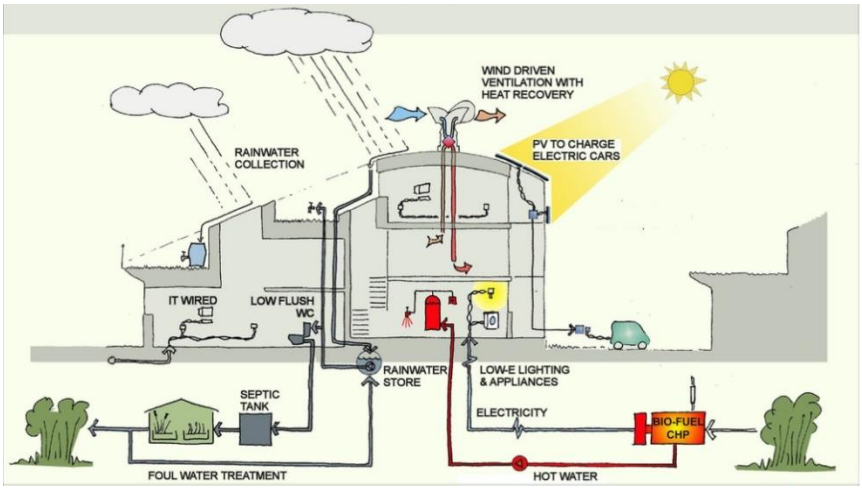


**Figura 3.2 - Sistemas mecânicos e de engenharia instalados nos edifícios, BedZed, Reino Unido [38]**

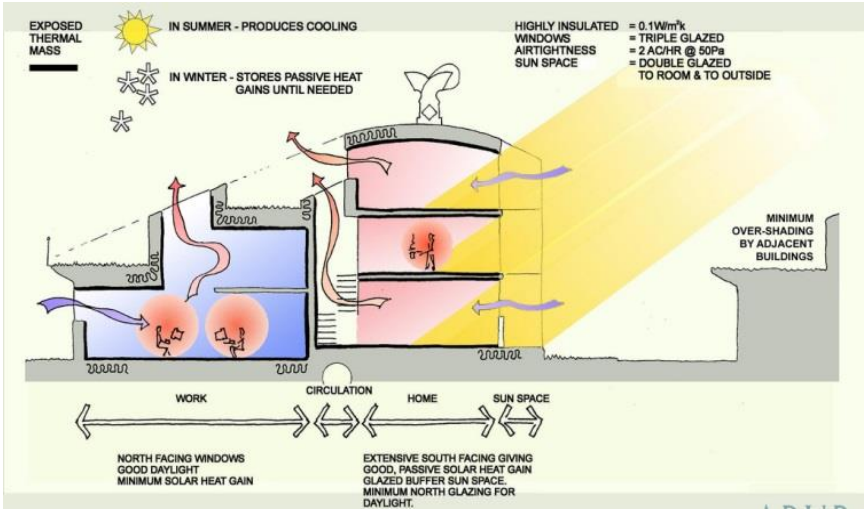


**Figura 3.3 – Comportamento térmico das habitações, BedZed, Reino Unido [38]**

**Figura 3.4 - Pormenor de isolamento de uma parede exterior, BedZed, Reino Unido [38]**

## **Kronsberg** – ***Hannover*, Alemanha [39]**

Kronsberg é um bairro ecológico situado em Hannover construído sobretudo em terrenos agrícolas e nos arredores da cidade, com um total de 1200 hectares, constituído por 6000 habitações e que constitui a habitação de cerca de 15000 pessoas.

O objectivo principal deste projecto foi a construção de um bairro com um conjunto de funções (residências, instalações de lazer e culturais, comércio e agricultura) tendo em conta a protecção do ambiente.

O projecto em questão ("Energy Efficiency Optimisation at Kronsberg") apresenta-se como um dos projectos da Alemanha mais avançados e foi financiado pela União Europeia em associação com a Direcção Geral da Comissão Europeia para a Energia e Transportes e constituiu um investimento de cerca de 2,2 biliões de euros.

Relativamente às questões energéticas, este projecto utilizou energias renováveis como a energia eólica e solar através de duas centrais de cogeração utilizadas para satisfazer as necessidades de aquecimento do bairro de Kronsberg. Com o objectivo de informar e educar os construtores no que diz respeito à eficiência energética na construção nova, foram organizados cursos sobre edifícios de baixo consumo energético. Alguns electrodomésticos foram financiados por subsídios e foram distribuídos, para cada habitação, dispositivos de poupança de água e lâmpadas de baixo consumo.

Em relação à água, toda aquela que é proveniente de precipitação em áreas construídas e pavimentadas é absorvida, recolhida e gradualmente libertada; todos os apartamentos estão dotados de equipamentos de poupança de água.

**Figura 3.5 - Kronsberg, Alemanha [40]**

## **Vauban** – ***Friburgo,* Alemanha [41] [42]**

O bairro de Vauban situa-se a 3 km para Sul do centro da cidade de Friburgo e é constituído por 38 hectares, tendo 5000 habitantes e oferecendo 600 pontos de trabalho. Uma das principais preocupações, desde o inicio do planeamento do projecto, foi sensibilizar os moradores e a opinião pública para o facto de um bairro com preocupações ambientais não ser apenas vantajoso do ponto de vista ecológico mas também do ponto de vista económico, quando pensado a longo prazo.

O principal objectivo do projecto foi a implementação de um bairro que reunisse requisitos sociais, económicos, culturais e ecológicos.

Do ponto de vista energético, verificou-se que todos os novos edifícios apresentaram consumos anuais de 65 kWh/$m^2$; 92 edifícios foram construídos com o objectivo de serem "casas passivas" consumindo 15 kWh/$m^2$/ano; 10 edifícios foram construídos com o objectivo de serem "casas passivas" melhoradas, que se apresentam como edifícios que produzem mais energia do que aquela que necessitam. O uso da energia solar foi rentabilizado através da colocação de 2500 $m^2$ de painéis fotovoltaicos e 500 $m^2$ de painéis solares, o que tornou o bairro de Vauban como um dos maiores bairros solares da Europa (fig. 3.7). A rede de aquecimento e cogeração de energia do bairro é alimentada por 80% de lascas de madeira e 20% de gás.

A maioria das casas de Vauban gera um excesso de energia eléctrica e vende a que não utiliza às companhias de distribuição e fornecimento de energia e uma casa de 90 $m^2$ pode ser aquecida por apenas 114 euros anuais.

Relativamente às preocupações com a água, 80% da área residencial está dotada de um sistema de recolha da água da chuva através da infiltração. Também o sistema de esgoto apresenta inovações, uma vez que a recolha das fezes é efectuada através de tubos de vácuo que as transportam para uma unidade de biogás onde são fermentadas juntamento com o lixo doméstico orgânico, possibilitando a geração de biogás que é utilizado para cozinhar. A água remanescente das águas residuais (águas cinza – provenientes de lavagens de loiça, roupa e banhos) é limpa através de biofiltros constituídos por plantas e é reintroduzida no clico da água.

**Figura 3.6 - Vauban, Alemanha [43]**

**Figura 3.7 - Utilização da superfície dos telhados dos edifícios em Vauban, Alemanha [43]**

## **Rieselfeld** – ***Friburgo*, Alemanha [44]**

O bairro de Rieselfeld é composto por 70 hectares, está situado a Oeste de Friburgo e possui 4200 habitações e tem capacidade para albergar cerca de 10000 a 12000 habitantes, sendo um propósito que este fosse um bairro de elevada densidade populacional.

Entre os principais objectivos do projecto de construção do bairro de Rieselfeld encontrava-se o padrão de construção de baixa energia (consumo máximo de 65 kWh/m$^2$/ano), a execução de redes de aquecimento urbano alimentadas por uma combinação de calor e energia, a integração da energia solar e o reaproveitamento da água da chuva que, depois de tratada através de um processo biológico, é reintegrada numa área de reserva natural em Rieselfeld.

O investimento total neste projecto rondou os 145 milhões de euros.

**Figura 3.8 - Rieselfeld, Alemanha [45]**

**Figura 3.9 - Rieselfeld, Alemanha [45]**

**Figura 3.10 - Rieselfeld, Alemanha [45]**

## **Weingarten** – ***Friburgo*, Alemanha [46] [47]**

O bairro de Weingarten foi construído no final da década de 60 devido à falta de habitações na cidade de Friburgo e era, inicialmente, constituído por 840 apartamentos com 2500 habitantes, sendo os edifícios de grande altura.

Em 2005, a sua remodelação foi concluída e foram tidos em conta os seguintes aspectos: a reconstrução das habitações (colocação de novas janelas, melhoria do isolamento térmico, entre outras), a melhoria da área envolvente e a construção de ciclovias, parques infantis e o aumento da área destinada a peões.

Actualmente, está em curso o projecto "Weingarten 2020" que tem como objectivo reduzir os consumos de energia primária de todos os serviços de energia em 30% em relação ao consumo actual, tornando este bairro um modelo para o futuro. De momento, este bairro é habitado por cerca de 5800 habitantes.

**Figura 3.11 - Weingarten, Alemanha [48]**

**Figura 3.12 - Weingarten, Alemanha [48]**

## **Hammarby Sjöstad** – ***Estocolmo*, Suécia [49]**

O bairro de Hammarby Sjöstad, situado em Estocolmo, foi construído numa antiga área industrial e portuária. Este bairro tinha como objectivo fornecer 10000 apartamentos para 25000 habitantes e ocupa uma área de 200 hectares. Este projecto teve como finalidade servir de apoio para a candidatura de Estocolmo receber os Jogos Olímpicos de 2004, que viria a ser mal sucedida.

A área de Hammarby Sjöstad foi bastante bem planeada, possuindo um modelo de reciclagem local próprio bem como um sistema de tratamento de esgoto. A energia é produzida no local através de combustíveis renováveis e os resíduos combustíveis são igualmente reciclados na forma de calor. O referido modelo integrado para a energia, resíduos e gestão da água é conhecido como o *modelo de Hammarby* e encontra-se na figura 3.13.

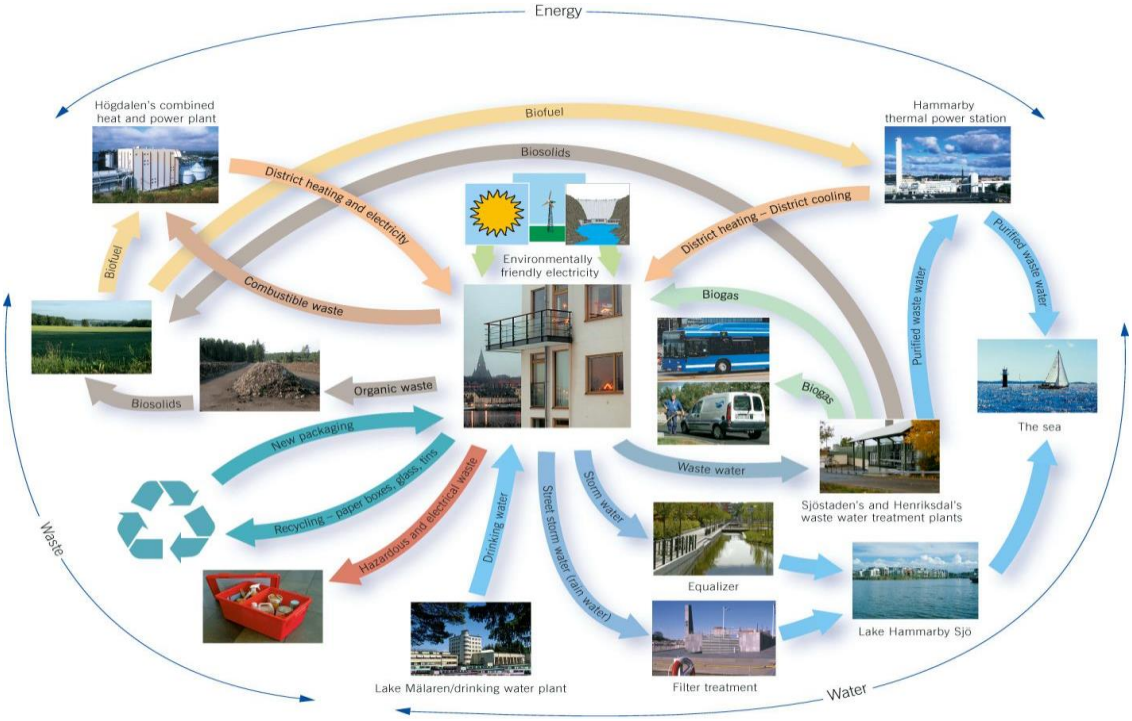


**Figura 3.13 – Modelo de Hammarby [50]**

O objectivo geral do projecto é que o impacto ambiental causado pelas emissões provenientes do bairro de Hamamrby sejam 50% inferiores ao nível correspondente a áreas de habitação do inicio da década de 90. Para que esse objectivo seja atingido foram adoptadas soluções inovadoras e novas tecnologias.

No entanto, foram também definidos objectivos para o ano de 2015, dos quais se destacam:

- 80% das viagens serem efectuadas através de transportes públicos e 25% por carros eléctricos ou a biogás;
- Consumos de energia de edifícios de 50 kWh/m$^2$, dos quais 15 kWh/m$^2$ são provenientes de electricidade;
- Utilização de 100% de energias renováveis;
- Utilização de 80% de energia a partir de resíduos;

- Reciclagem de todos os resíduos e águas residuais provenientes dos habitantes e reaproveitamento sob forma de energia renovável;
- Produção de biogás através de lamas;
- Redução de 60% do consumo de água por pessoa;
- Redução de 90% dos resíduos de aterro e redução de 40% de todos os resíduos produzidos.

**Figura 3.14 - Hammarby Sjöstad , Suécia [50]**

**Figura 3.15 - Hammarby Sjöstad , Suécia [50]**

## **Vesterbro** – *Copenhaga*, Dinamarca [51]

A zona de Vesterbro foi construída entre 1850 e 1920 e situa-se junto ao centro da cidade de Copenhaga. Neste bairro o padrão de construção apresentava deficiências graves como a falta de sistema de aquecimento central e de água quente e a falta de instalações sanitárias.

Em 1990, o município de Copenhaga tomou a decisão de fazer alterações no bairro de Vesterbro tendo em conta aspectos ambientais. Este programa de renovação urbana durou cerca de 10 anos e tornou este bairro numa área residencial composta por 23 edifícios com cinco ou seis andares, alojando 6500 habitantes em 4000 apartamentos. Alem disso, possui também espaços livres, escritórios e bares.

Os principais objectivos deste projecto foram:

- A renovação urbana sustentável:
- A adaptação das habitações a normas e padrões modernos;
- O uso de instalações e equipamentos que minimizassem o uso de recursos, tais como a redução da quantidade de água utilizada por habitante para 100 litros anuais, o uso de água da chuva ou a redução da produção de resíduos em 60%;
- Envolver os habitantes no processo de renovação urbana;
- O estabelecimento de um grande projecto em Copenhaga que servisse de exemplo de renovação urbana sustentável.

Os custos do projecto de renovação do bairro de Vesterbro foram bastante elevados tendo atingido o valor de 2280 €/$m^2$.

Depois da conclusão da primeira fase do projecto de renovação as emissões de dióxido de carbono em Vesterbro foram reduzidas em 2500 toneladas por ano, cerca de 14% das emissões anteriormente verificadas.

Em termos de energia, foram integrados sistemas de painéis solares, sistemas de ventilação de alta qualidade e melhoria do nível de isolamento por forma a fazer uma melhor utilização de fontes de energia renovável. Desta forma, foi possível atingir um consumo eficiente de energia nos edifícios tendo sido atingida uma poupança de 20% em termos de aquecimento. À entrada de cada apartamento foram instalados sistemas de monitoramento do consumo de energia.

No que diz respeito à água e à sua melhor utilização, verificou-se uma poupança de 14% em termos de água quente apesar de terem sido instaladas mais instalações sanitárias nos edifícios para suprir as carências iniciais do bairro. Todas as instalações sanitárias foram equipadas com aparelhos de poupança de água e com sistemas de reaproveitamento das águas pluviais.

**Figura 3.16 - Vesterbro, Dinamarca [51]**

## **Eco-Viikki** – ***Helsínquia*, Finlândia [52]**

O bairro de Eco-Viikki foi construído entre 1999 e 2004 e situa-se a cerca de 8 km do centro da cidade de Helsínquia.

Durante a construção deste bairro foram tidos em conta alguns critérios ecológicos que guiaram o projecto, tais como:

- A redução de poluentes, como o dióxido de carbono, os detritos causados pela construção ou o lixo doméstico;
- O uso de recursos naturais e renováveis com o objectivo de reduzir os combustíveis fósseis e a energia adquirida para aquecimento e o melhor aproveitamento dos espaços;
- O controlo dos problemas de humidade e de ruido, a melhoria do clima interior das habitações, da ventilação natural e do aproveitamento da luz solar.

Durante a fase de construção foram realizados testes de qualidade ambiental para garantir as boas práticas exigidas.

Os principais objectivos durante a construção do bairro de Eco-Viikki foram os seguintes:

- Implementar um projecto de construção de acordo com os princípios de construção ecológica e ganhar experiencia para futuros projectos;
- Apoiar o Programa Nacional de Edifícios Ecologicamente Sustentáveis;
- Utilizar tecnologias baseadas no aquecimento geotérmico e nas energias renováveis (como a energia solar que é responsável por 15% da energia de aquecimento da zona);
- Utilizar a energia do vento e a energia solar;
- Reduzir as emissões de $CO_2$ em 20% em comparação com as de um edifício convencional;
- Atingir um consumo de água por habitante de 40-50 litros diários;
- Reduzir a quantidade de resíduos gerados por habitante em 20% para os 160 kg por ano.

No que diz respeito a melhorias em termos energéticos, foram colocados dois sistemas de aquecimento solar que servem um total de 10 edifícios e a rede de aquecimento urbano foi feita com base em cogeração, isto é, um processo de produção e de utilização combinada de calor e electricidade que permite aproveitar mais de 70% da energia térmica proveniente dos combustíveis utilizados nesse processo. Além disso, um dos blocos de apartamentos possui painéis de energia solar que permitem que essa mesma energia seja convertida em electricidade e sirva as habitações.

Também neste bairro foi implementado um sistema de reaproveitamento de água da chuva para jardinagem.

O gráfico presente na figura 3.17 permite concluir que, face às habitações convencionais, o bairro de Eco-Viikki apresenta valores de emissões de dióxido de carbono 50% inferiores. Relativamente à energia de aquecimento necessária para o bairro Finlandês os valores são cerca de 30% dos necessários para as habitações convencionais.

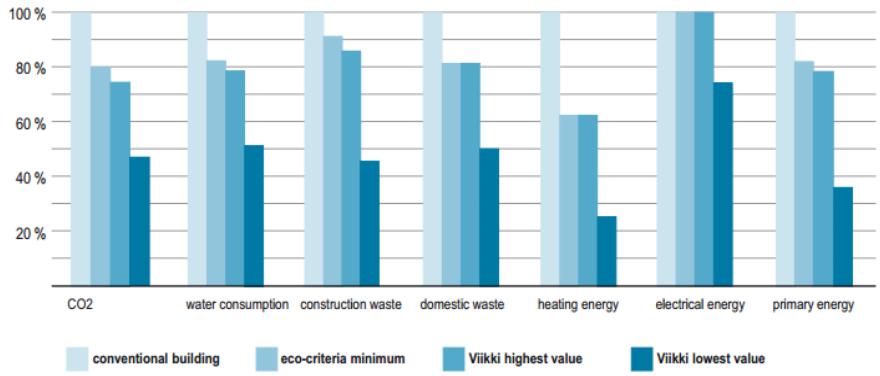


**Figura 3.17 - Comparação de consumos, gastos, emissões e necessidades entre o bairro de Viikki as habitações convencionais [53]**

**Figura 3.18 - Eco-Viikki, Finlândia [53]**

## **EVA-Lanxmeer** – *Culemborg*, Holanda [54]

O bairro de EVA-Lanxmeer foi construído sobre uma área composta por terras agrícolas junto a uma zona protegida de extracção de água. Este bairro sócio ecológico possui 24 hectares e é composto por 250 moradias, 40000 $m^2$ de escritórios e zonas de negócios, um centro ecológico de exploração agrícola (que possibilita o contacto com a natureza e a obtenção de alimentos biológicos), um centro de informação, um centro de bem-estar, um centro de congressos, bares, restaurantes e um hotel.

Este bairro tem como objectivos primordiais fornecer um bom equilíbrio entre os interesses sociais, económicos, culturais, educacionais, recreativos e sustentáveis.

As principais medidas ambientais tidas em conta neste projecto foram a construção de um circuito fechado de água, um sistema integral de gestão de água, uma unidade de produção de biogás, o uso de materiais de construção sustentáveis, o uso de fontes renováveis de energia e a produção de alimentos orgânicos. Este é um bairro que se apresenta como uma referência a nível nacional e internacional no que diz respeito a construção sustentável e desenvolvimento social.

A abordagem escolhida teve como objectivo integrar a tecnologia/inovação e o ambiente e comportamento de forma a garantir a preservação dos recursos naturais diariamente. O projecto final contém seis áreas que formam a estrutura ecológica integrada do bairro de Lanxmeer: energia, água, paisagem, mobilidade, gestão da cadeia de comunicação e educação.

No que diz respeito à energia, foram feitos esforços no sentido de utilizar sistemas de energia sustentável que se esforçam para conseguir o objectivo do equilíbrio de energia zero através da produção de energia aliada ao mínimo consumo de fontes de energia fóssil. Além disso, a produção de energia é realizada através de resíduos e esgoto e as habitações não estão ligadas à rede eléctrica, sendo independentes desta.

Em relação à água, existe um sistema integrado de gestão e tratamento de água e há um reaproveitamento das águas da chuva para as instalações sanitárias e lavagens de roupa. O esgoto é utlizado para a produção de biogás.

Por fim, e no que se refere a medidas tomadas na construção, os materiais de construção foram utilizados tendo em vista a realização de um programa de construção sustentável onde se procurou fechar o ciclo de vida de todos os materiais desde a origem à reciclagem.

Os resultados deste programa foram bastante positivos. Relativamente à energia, a utilização anual de energia foi de 50 GJ por habitação (aproximadamente 1250 $m^3$ de gás e 2500 kWh de electricidade). Foram utilizadas pequenas turbinas eólicas e a maioria das casas foram dotadas de painéis solares para geração de electricidade e colectores solares para aquecimento de água. Além disso, foi construída uma estação de biomassa para produção de energia e geração de calor.

**Figura 3.19 - Eva-Lanxmeer, Holanda [55]**

**Figura 3.20 - Eva-Lanxmeer, Holanda [55]**

Depois de analisados os estudos de caso é possível concluir que a adopção de algumas medidas na fase de construção ou, como se pretende no presente trabalho, na fase de reabilitação de edifícios existentes possibilitam uma diminuição dos gastos energéticos associados aos edifícios bem como um estilo de vida dos habitantes mais saudável e sustentável.

Assim sendo, realça-se a importância da não utilização de fontes de energias fósseis sempre que isso seja possível e o recurso a fontes de energia renováveis como é o caso da energia solar, geotérmica ou eólica. A utilização dos recursos inesgotáveis associados as fontes de energia renováveis referidas não constitui um custo para os habitantes, tendo apenas de se garantir que os edifícios se encontram dotados de sistemas que permitam o seu aproveitamento, o que levará a uma redução significativa da factura energética.

Além disso, uma escolha correcta dos materiais de construção, que potenciem um correcto isolamento das habitações, dos envidraçados e dos equipamentos eléctricos utilizados no interior das fracções autónomas constituem igualmente medidas simples que apresentam resultados muito positivos no que respeita à eficiência e desempenho energético dos edifícios.

É necessário que a necessidade de investimento para o aproveitamento de fontes de energia renováveis e inesgotáveis não constitua uma barreira porque, de futuro, a poupança acabará por compensar o investimento efectuado.

## 3.2. NECESSIDADE DE UMA ABORDAGEM À REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS

Através da análise anteriormente exposta, é possível concluir que os edifícios com maior expressão em Portugal são os construídos entre 1971 e 1990. Como tal, percebeu-se que seria mais vantajoso elaborar um modelo de intervenção nos edifícios da época referida. Através do estilo construtivo, bem como da caracterização do ponto de vista da eficiência energética, é possível entender quais as estratégias a adoptar e qual a melhor forma de execução. Antes de mais, é importante definir qual o tipo de estrutura destes edifícios bem como as soluções construtivas adoptadas. Esses resultados estão apresentados nas figuras 3.21, 3.22 e 3.23.

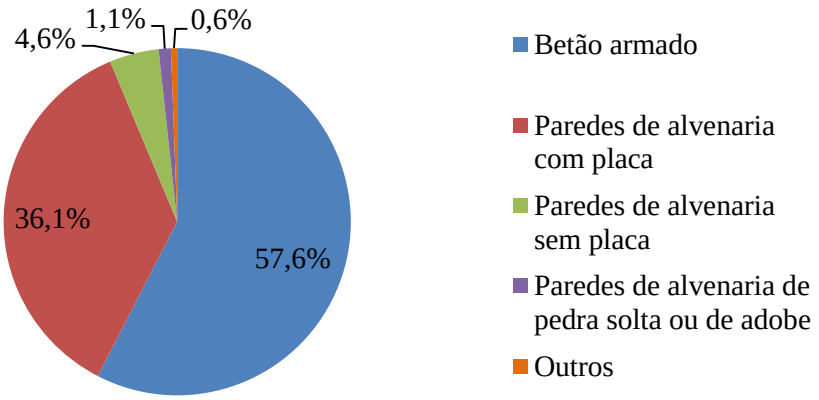


**Figura 3.21 - Tipo de estrutura da construção entre 1971 e 1990 em Portugal [10]**

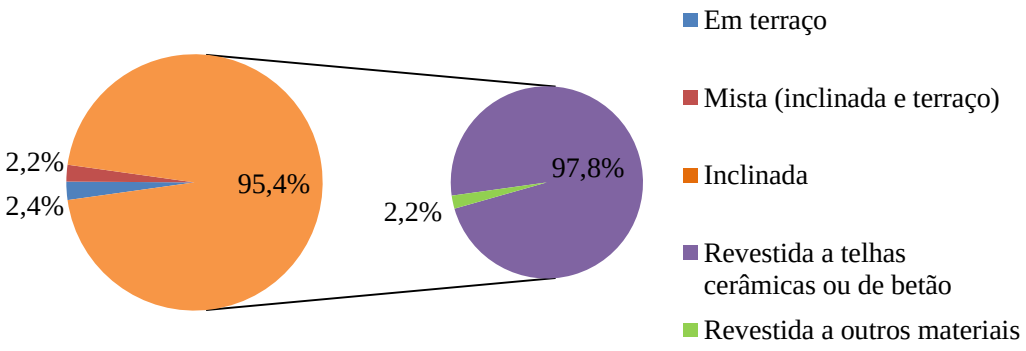


**Figura 3.22 - Tipo de cobertura da construção entre 1971 e 1990 em Portugal [10]**

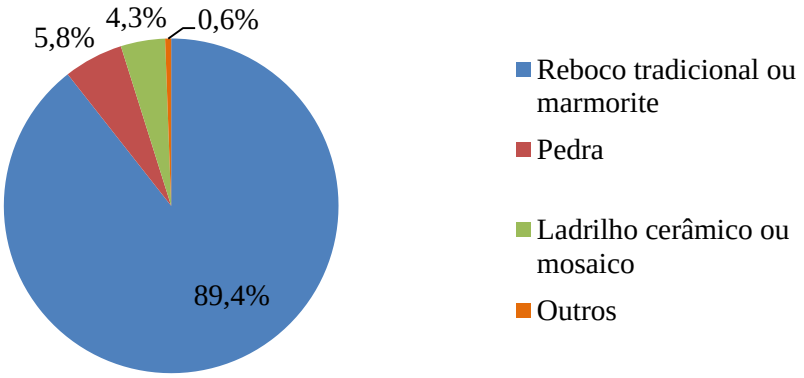


**Figura 3.23 - Tipo de revestimento exterior da construção entre 1971 e 1990 em Portugal [10]**

Através da figura 3.21 pode verificar-se que a maioria dos edifícios no período em estudo apresenta uma estrutura de betão armado. No que diz respeito à constituição das paredes estas são, na sua maioria, duplas de alvenaria de tijolo.

No que diz respeito ao tipo de cobertura, verifica-se que 95,4% dos edifícios construídos entre 1971 e 1990 apresentam cobertura inclinada sendo que 97,8% destas são revestidas com telhas cerâmicas ou de betão, tal como se pode concluir da figura 3.22.

Por fim, relativamente ao tipo de revestimento exterior, 89,4% destes edifícios são revestidos por reboco tradicional ou marmorite, como se pode verificar na figura 3.23.

É também possível caracterizar os edifícios no que diz respeito ao número de pisos, como se demonstra na figura 3.24.

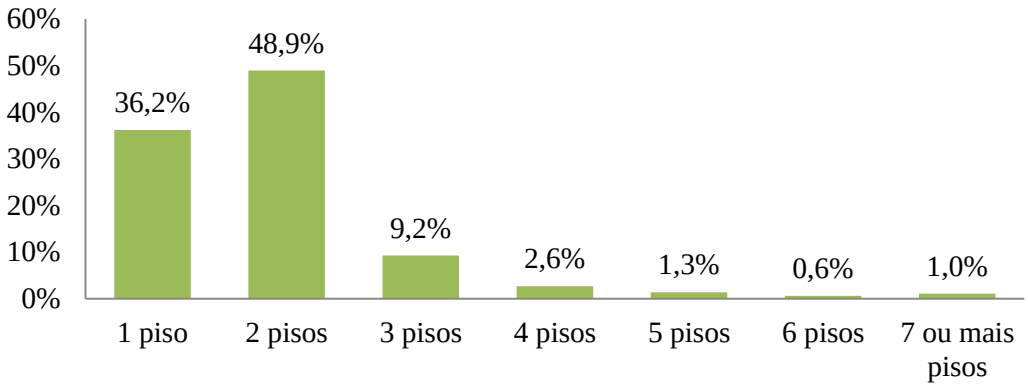


**Figura 3.24 - Caracterização dos edifícios segundo o número de pisos entre 1971 e 1990 em Portugal [10]**

Pela análise da figura anterior conclui-se que a maioria dos edifícios construídos entre 1971 e 1990 apresenta 1 ou 2 pisos, constituindo cerca de 85% dos edifícios da época.

Sendo o objectivo deste trabalho intervir nos edifícios com vista a melhorar o seu comportamento do ponto de vista da eficiência energética, é importante perceber qual o estado de conservação dos edifícios e quais as suas necessidades de intervenção (fig. 3.25).

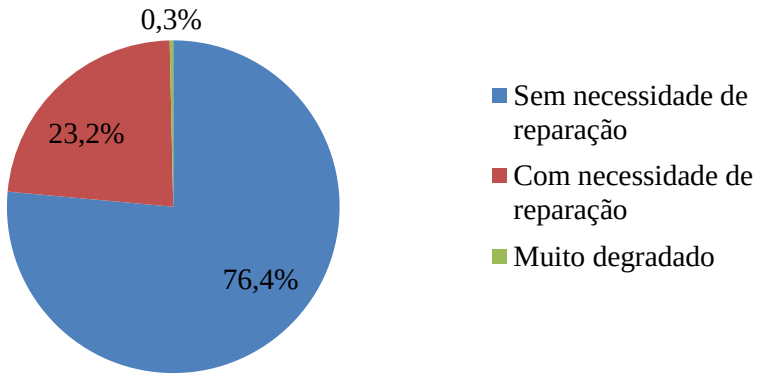


**Figura 3.25 - Edifícios construídos entre 1971 e 1990, segundo o estado de conservação, em Portugal [10]**

A maioria dos edifícios do período em estudo não apresenta necessidades de reparação, no entanto, cerca de 24% dos edifícios precisam de reparações. Dentro dos edifícios com necessidade de reparação pode concluir-se que aproximadamente 77% necessita de pequenas reparações, 19% necessita de reparações médias e apenas 4% necessita de grandes reparações.

Através da análise das necessidades de intervenção ao nível da cobertura dos edifícios (figura 3.26), pode concluir-se que 71,3% destes edifícios não necessita de qualquer intervenção e 20,6% necessitam de pequenas intervenções. Assim, conclui-se que, de uma regra geral, as coberturas destes edifícios se encontram em bom estado de conservação.

No que diz respeito às necessidades de intervenção ao nível da estrutura dos edifícios (figura 3.27), verifica-se 74,4% dos edifícios construídos entre 1971 e 1990 em Portugal não necessitam de qualquer intervenção e 20,6% necessitam de pequenas intervenções. Tal como no que diz respeito às coberturas, pode concluir-se que, de uma regra geral, a estrutura destes edifícios se encontra em bom estado de conservação.

Por último, relativamente às necessidades de intervenção das paredes e caixilharias exteriores dos edifícios (figura 3.28), verifica-se que 68,8% dos edifícios construídos entre 1971 e 1990 em Portugal não necessita de qualquer intervenção e 22,2% necessitam de pequenas intervenções. Mais uma vez, pode concluir-se que estes edifícios se encontram em bom estado de conservação.

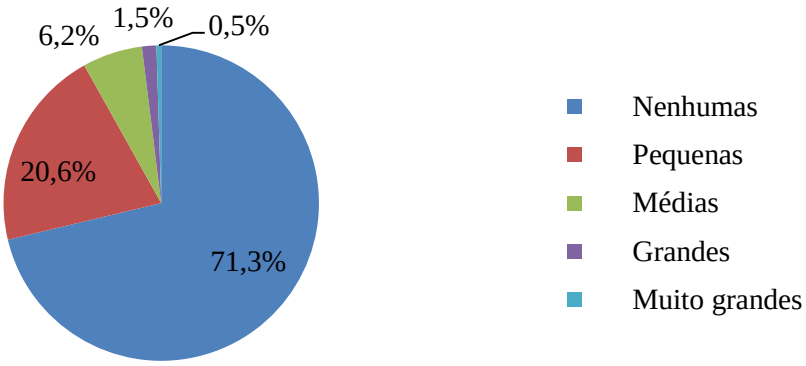


**Figura 3.26 - Necessidade de reparação da cobertura dos edifícios construídos entre 1971 e 1990 em Portugal [10]**

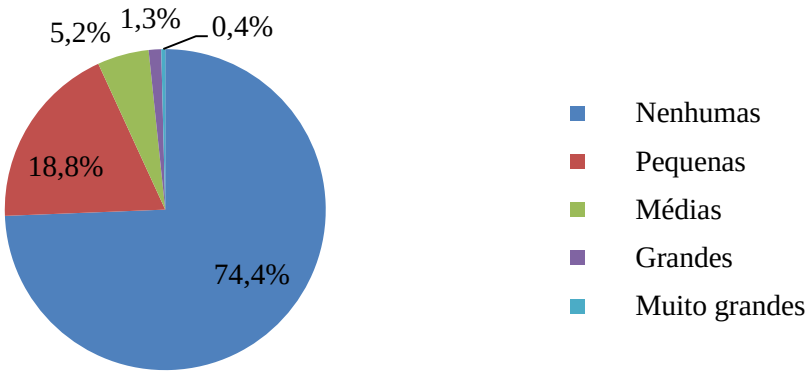


**Figura 3.27 - Necessidade de reparação da estrutura dos edifícios construídos entre 1971 e 1990 em Portugal [10]**

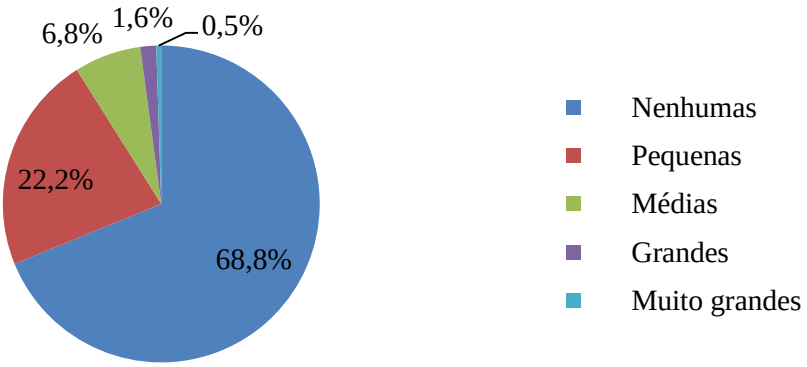


**Figura 3.28 - Necessidade de reparação das paredes e caixilharias exteriores dos edifícios construídos entre 1971 e 1990 em Portugal [10]**

Relativamente à certificação energética dos edifícios da época em estudo foi possível obter informação acerca do número de certificados de energia emitidos para os edifícios da época em estudo, em Portugal Continental pela ADENE. Essa informação encontra-se descrita no quadro 3.1.

**Quadro 3.1 - Número de certificados de energia emitidos entre 1970 e 1989, em Portugal Continental**

| Classe energética | Nº certificados de energia (1970-1979) | Nº certificados de energia (1980-1989) |
|---|---|---|
| **A+** | 7 | 5 |
| **A** | 25 | 38 |
| **B** | 588 | 1139 |
| **B-** | 2010 | 4065 |
| **C** | 10583 | 20805 |
| **D** | 3951 | 8135 |
| **E** | 2937 | 7131 |
| **F** | 729 | 1455 |
| **G** | 145 | 182 |

Como foi referido no capítulo 2.5 da presente dissertação, uma fracção que cumpra os mínimos exigidos pela actual regulamentação situa-se na classe energética $B^{-}$. No entanto, pode verificar-se que, para a época em estudo, em Portugal Continental, a maioria dos certificados de energia emitidos são da classe de eficiência energética C. No que diz respeito à década de 70, verifica-se que 50,46% dos certificados de energia emitidos correspondiam à classe energética C (figura 3.29). Na década de 80 os resultados são semelhantes, continuando a ser a classe de energia C a mais frequente (figura 3.30).

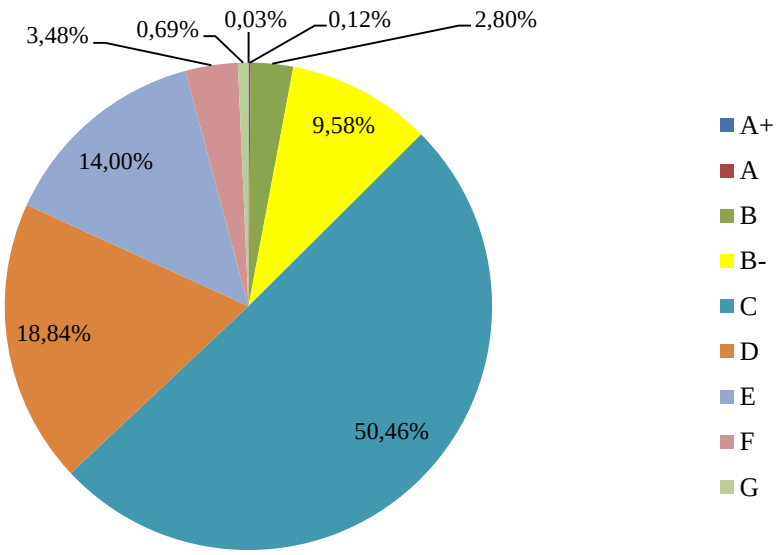


**Figura 3.29 - Certificados de energia emitidos pela ADENE entre 1970 e 1979, por classes, em Portugal Continental**

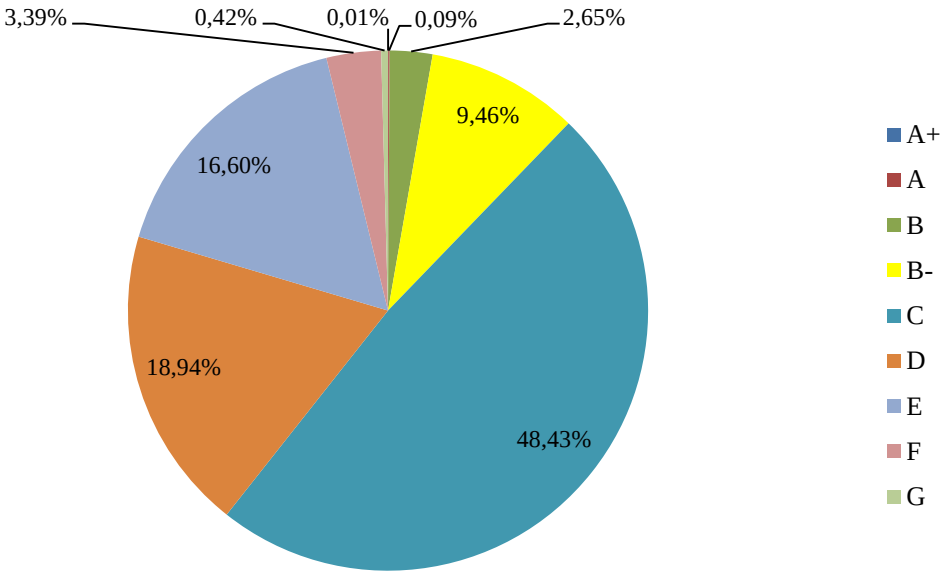


**Figura 3.30 - Certificados de energia emitidos pela ADENE entre 1980 e 1989, por classes, em Portugal Continental**

Através desta análise é possível perceber qual o estado de conservação dos edifícios, que constituem a maior percentagem do parque edificado português, construídos entre 1970 e 1990.

Quando se procede à caracterização do tipo de construção da época em estudo (décadas de 70 e 80), constata-se que a maioria dos edifícios apresenta estrutura de betão armado, revestimento exterior em reboco tradicional ou marmorite, coberturas inclinadas (o que favorece, por exemplo, a utilização de painéis solares e o aproveitamento do elevado número de horas anuais de Sol) revestidas com telhas cerâmicas ou de betão e, quanto ao número de pisos, prevalecem os edifícios de 1 ou 2 pisos. No que diz respeito à envolvente exterior, apresentam na sua maioria paredes duplas de tijolo com EPS e envidraçados constituídos por vidro duplo e caixilharia de alumínio.

Relativamente à necessidade de intervenção neste tipo de edifícios, constata-se que a sua maioria não necessita de intervenções. No entanto, para este efeito não são contabilizadas as intervenções que devem ser feitas por forma a melhorar a eficiência e o desempenho energético desses mesmos edifícios. Seria de facto positivo que essas intervenções pudessem ser efectuadas numa fase em que o parque habitacional não estivesse ainda mais degradado por forma a poderem ser mais facilmente adoptadas.

Para que se perceba a verdadeira necessidade de pensar na reabilitação energética de edifícios, importa referir que 87,7% dos edifícios construídos no período em questão não cumprem os mínimos exigidos pela regulamentação pelo facto da sua classe energética ser superior à classe energética mínima exigida. A constatação de que apenas 12,3% dos edifícios se encontram dentro dos limites regulamentares realça a importância de se actuar no sentido da sua reabilitação energética.

Assim, e considerando a informação disponibilizada pela ADENE no que diz respeito a necessidades de aquecimento, arrefecimento, classe de certificação energética e número de certificados emitidos procurar-se-á entender quais as maiores necessidades energéticas dos edifícios e quais as estratégias de intervenção mencionadas ao longo do presente trabalho que podem ser adoptadas para optimizar e aumentar a eficiência energética dos mesmos edifícios num processo de reabilitação.

Desta forma, o presente trabalho terá como principal objectivo analisar quais as maiores deficiências no que diz respeito a necessidades de aquecimento, arrefecimento, preparação de águas quentes sanitárias e energia primária e perceber quais as técnicas construtivas que devem ser utilizadas em reabilitação por forma a melhorar o desempenho dos edifícios existentes em Portugal construídos nas décadas de 70 e de 80 do século XX.

# 4. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO PARA REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Os edifícios mais representativos do parque habitacional português correspondem aos construídos nas décadas de 70 e 80, representando cerca de 33% do total de edifícios existentes em Portugal actualmente. Dos 1.167.703 edifícios representativos dessa época apenas cerca de 5,5%, representando um total de 63.930 edifícios, possuem certificação energética conferida pela ADENE (Agência para a Energia), o que ilustra a pouca preocupação com os assuntos ligados à eficiência energética em Portugal.

Uma maior procura de informação acerca do nível de eficiência energética das habitações, e do seu nível de certificação, seria uma forma de se perceberem as reais necessidades dos edifícios e das habitações portuguesas e facilitaria a implementação de práticas construtivas de reabilitação. Sem se perceber quais as deficiências do parque edificado não será possível intervir de forma correcta e eficiente e não serão atingidos os resultados pretendidos ao nível da eficiência energética em edifícios. Actualmente, este é um assunto que assume cada vez maior importância se se tiver em consideração que, com o passar dos anos, as fontes de energia não renováveis serão cada vez mais escassas e, por consequência, o preço da energia proveniente dessas mesmas fontes irá aumentar. Uma produção de energia no sector da habitação (e não só) assente em medidas sustentáveis trará vantagens económicas e ambientais relevantes.

De seguida, irão analisar-se quais as maiores necessidades e consumos dos edifícios certificados por forma a concluir quais os âmbitos de intervenção mais importantes e quais as maiores deficiências nos edifícios existentes em Portugal construídos entre 1971 e 1989.

## 4.1. IDENTIFICAÇÃO DAS DEFICIÊNCIAS DE PROJECTO

Por forma a ser efectuado um correcto plano de intervenção na reabilitação dos edifícios portugueses construídos entre 1971 e 1898 é necessário que se percebam as suas verdadeiras necessidades e condições actuais. Para tal, será efectuada uma cuidadosa análise aos dados fornecidos pela ADENE que possibilitarão perceber quais as necessidades energéticas dos edifícios e, assim, quais as medidas que devem ser implementadas para que se inverta a situação actual.

Desta forma, irá analisar-se quais as classes de certificação mais comuns nestes edifícios bem como as suas necessidades de energia para aquecimento, arrefecimento, aquecimento de águas quentes sanitárias e as necessidades nominais globais de energia primária. Além disso, poderá também perceber-se qual o nível de isolamento térmico da envolvente exterior e o factor solar médio dos envidraçados que constituem os edifícios que possuem certificação construídos nas décadas de 70 e 80 em Portugal.

### Classe de certificação energética e tipologia

No que diz respeito à classe de certificação energética dos edifícios construídos nas décadas de 70 e 80 certificados pela ADENE, pode verificar-se através da consulta do quadro 4.1 que quase 50% dos edifícios em estudo possui classe energética C. Segundo a ADENE, uma fracção que cumpra os mínimos exigidos pela actual regulamentação situa-se na classe energética $B^-$ o que significa que a grande maioria dos edifícios deste período (88%) não cumpre os requisitos mínimos exigidos actualmente, como se pode observar na figura 4.1.

**Quadro 4.1 - Número de certificados energéticos atribuídos a edifícios construídos entre 1970 e 1989 de acordo com a sua tipologia**

| Certificação energética/Tipologia | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | Maior T7 | TOTAL | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **A+** | 0 | 1 | 1 | 8 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | **12** | **0,02%** |
| **A** | 0 | 4 | 15 | 16 | 14 | 9 | 2 | 3 | 3 | **66** | **0,10%** |
| **B** | 36 | 188 | 509 | 667 | 215 | 72 | 25 | 8 | 7 | **1727** | **2,70%** |
| **B-** | 70 | 726 | 2386 | 2142 | 525 | 152 | 48 | 12 | 14 | **6075** | **9,50%** |
| **C** | 457 | 4313 | 13589 | 10425 | 1973 | 437 | 120 | 47 | 27 | **31388** | **49,10%** |
| **D** | 466 | 1757 | 4350 | 3765 | 1136 | 406 | 120 | 44 | 42 | **12086** | **18,90%** |
| **E** | 454 | 1955 | 3470 | 2902 | 878 | 296 | 69 | 26 | 18 | **10068** | **15,75%** |
| **F** | 33 | 281 | 696 | 677 | 334 | 105 | 32 | 13 | 13 | **2184** | **3,42%** |
| **G** | 10 | 53 | 80 | 113 | 51 | 18 | 0 | 2 | 0 | **327** | **0,51%** |
| **TOTAL** | **1526** | **9278** | **25096** | **20715** | **5128** | **1495** | **416** | **155** | **124** | **63933** | **100%** |

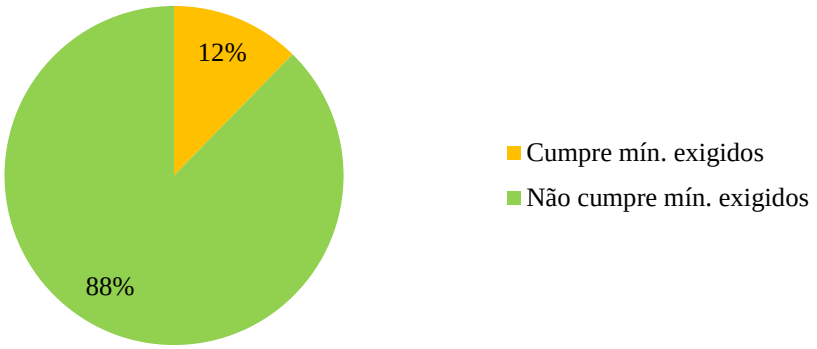


**Figura 4.1 - Percentagem de edifícios construídos entre 1970 e 1989 em Portugal que cumprem e não cumprem os mínimos exigidos pela ADENE**

A tipologia mais representativa de edifícios construídos entre 1970 e 1989 é a T2 com um total de 25.096 que, tal como se conclui anteriormente, apresenta a classe energética C como a mais atribuída pela ADENE. Estes resultados encontram-se apresentados na figura 4.2.

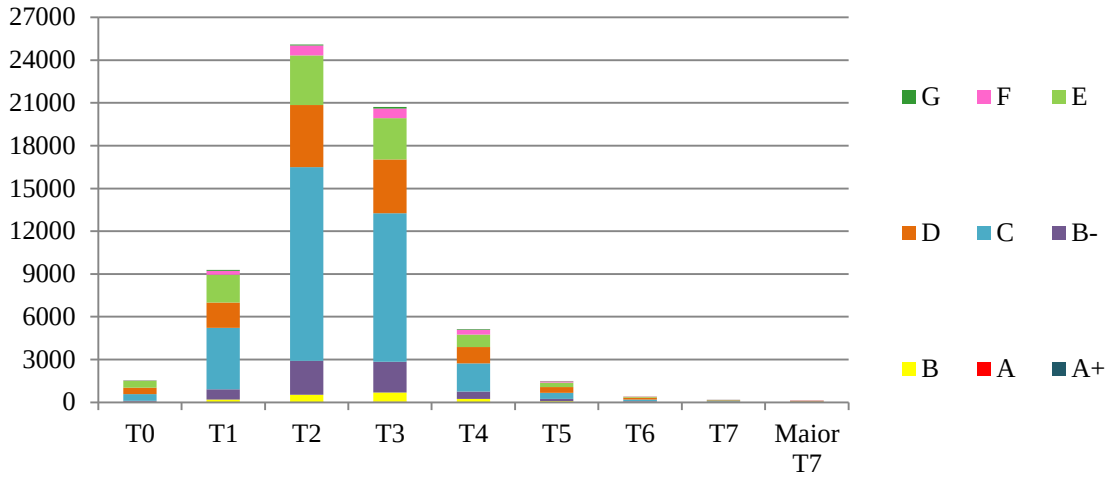


**Figura 4.2 – Número e tipo de certificados emitidos pela ADENE para os edifícios construídos entre 1970 e 1989 em Portugal de acordo com a sua tipologia**

## Necessidades de energia para aquecimento

Segundo o RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios), as necessidades anuais de aquecimento de um edifício ($N_{ic}$) são um parâmetro que exprime a quantidade de energia útil necessária para manter em permanência um edifício ou uma fracção autónoma a uma temperatura interior de referência durante a estação de aquecimento e dependem das perdas de calor por condução através da envolvente durante toda a estação de aquecimento ($Q_t$), da energia necessária para compensar as perdas de calor resultantes da renovação de ar ($Q_v$), dos ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento ($Q_{gu}$) e da área útil de pavimento ($A_p$) – que é definida pela soma das áreas, medidas em planta pelo perímetro interior das paredes, de todos os compartimentos de uma fracção autónoma de um edifício – sendo calculadas através da equação 4.1 [32]:

$$N_{ic} = \frac{Q_t + Q_v - Q_{gu}}{A_p}$$

**Equação 4.1 - Cálculo das necessidades anuais de aquecimento de um edifício ou fracção autónoma [32]**

Por sua vez, é necessário referir que as perdas de calor por condução através da envolvente exterior se relacionam directamente com o nível de isolamento da envolvente e que o número de renovações horárias do ar interior tem implicação directa na energia necessária para compensar as perdas resultantes pela renovação de ar. Por outro lado, os ganhos térmicos úteis podem ter origem nos ganhos térmicos associados a fontes internas de calor e nos ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar. [32]

Assim, é possível concluir que maiores perdas e menores ganhos irão, naturalmente, conduzir a maiores necessidades anuais de aquecimento de um edifício. Torna-se então essencial potenciar os ganhos térmicos solares de um edifício para, em conjunto com a utilização de energias renováveis, reduzir a necessidade de utilização de fontes térmicas internas de produção de calor numa habitação. Da mesma forma, torna-se importante reduzir ao máximo as perdas de calor por condução através da envolvente aumentado os níveis de isolamento térmico da mesma e ajustar a taxa de renovação nominal do ar interior às necessidades da habitação por forma a limitar as necessidades de energia para compensar as perdas resultantes desta acção.

Quando se analisam os dados obtidos juntos da ADENE pode concluir-se que os edifícios com pior classificação energética (G e F) são os que necessitam de maior energia de aquecimento para satisfazer as suas necessidades. Tal facto seria de esperar uma vez que, associado a uma baixa classificação energética, surgem factores como um mau nível de isolamento da envolvente exterior o que resulta em perdas significativas de calor e, consequentemente, em maiores necessidades de aquecimento para que seja atingido o conforto exigido pelos ocupantes.

No entanto, é também interessante verificar que os edifícios com melhor classificação energética (A+) apresentam-se como o terceiro grupo de edifícios com maiores necessidades de aquecimento o que poderá indicar que as eventuais deficiências no isolamento da envolvente exterior sejam compensadas de outra forma ou que os habitantes deste tipo de edifícios pretendem atingir maiores níveis de conforto.

Os edifícios com classificação energética C, os mais representativos da classe de edifícios construídos nas décadas de 70 e 80 em Portugal, apresentam necessidades de energia para aquecimento no valor de 112,67 kWh/m$^2$.ano, apresentando-se como uma das classes com menores necessidades para aquecimento.

Por outro lado, os edifícios de classe energética B são os que apresentam menores necessidades de energia para aquecimento com um total de 87,96 kWh/ m$^2$.ano.

Através da análise efectuada, pode concluir-se que, à excepção dos edifícios de classe B, todos os valores de necessidades de energia para aquecimento são bastante elevados podendo indicar que não são tidos em conta os factores anteriormente mencionados no que diz respeito à renovação de ar interior ou ao aproveitamento da radiação solar. Será ainda um factor adicional o eventual fraco nível de isolamento térmico da envolvente destas habitações o que potenciará as perdas de calor por condução através da mesma.

Os valores de necessidades de energia para aquecimento dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 em função da sua classe energética encontram-se na figura 4.3.

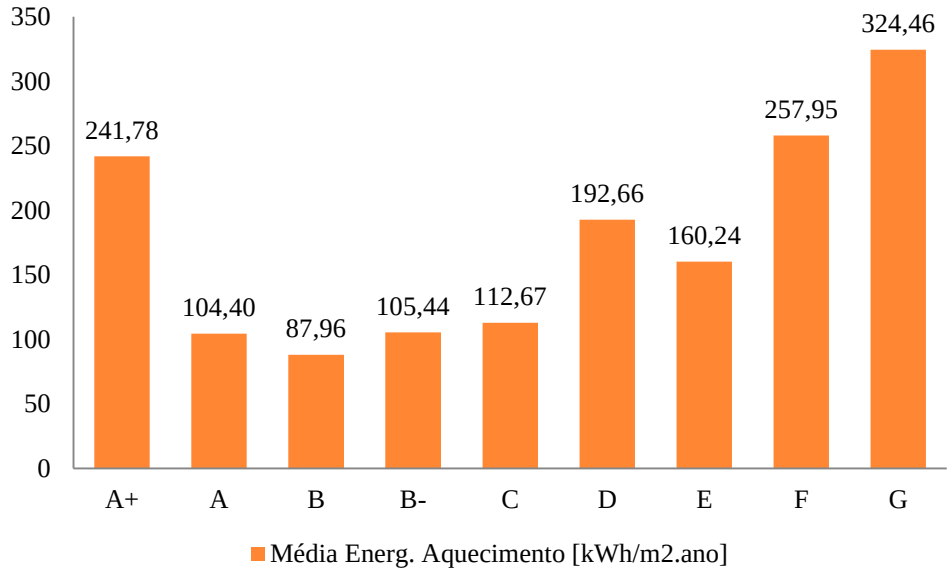


**Figura 4.3 - Necessidades de energia para aquecimento dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 de acordo com a sua classificação energética**

## Necessidades de energia para arrefecimento

Segundo o RCCTE, as necessidades nominais de arrefecimento de um edifício ou fracção autónoma ($N_{vc}$) são um parâmetro que exprime a quantidade de energia útil necessária para manter em permanência um edifício ou uma fracção autónoma a uma temperatura interior de referência durante a estação de arrefecimento e dependem dos ganhos totais brutos do edifício ou fracção autónoma ($Q_g$), do factor de utilização dos ganhos (η) e da área útil do pavimento do edifício ou fracção autónoma ($A_p$), sendo calculadas através da equação 4.2 [32]:

$$N_{vc} = \frac{Q_g \times (1 - \eta)}{A_p}$$

**Equação 4.2 - Cálculo das necessidades nominais de arrefecimento de um edifício ou fracção autónoma [32]**

Por sua vez, é necessário referir que os ganhos totais brutos ($Q_g$) dependem da soma das seguintes parcelas: as cargas individuais devidas a cada componente da envolvente, as cargas devidas à entrada da radiação solar através dos envidraçados, as cargas devidas à renovação do ar e as cargas internas devidas aos ocupantes, aos equipamentos e iluminação artificial. O factor de utilização dos ganhos térmicos (η) é função da inércia térmica do edifício e da relação entre os ganhos totais brutos (internos e solares) e as perdas térmicas totais do edifício. [32]

Desta forma, pode concluir-se que quanto maiores os ganhos totais brutos de um edifício maiores serão as suas necessidades nominais de arrefecimento. Pode igualmente verificar-se que uma diminuição do factor de utilização dos ganhos térmicos levará também a um aumento das necessidades de arrefecimento de um edifício ou fracção autónoma.

Logo, é importante perceber que é essencial minimizar os ganhos totais brutos dos edifícios e tal facto é conseguido se for controlada e bem executada a renovação do ar interior das habitações, se for minimizada a incidência solar na estação de arrefecimento que potencia o aumento da temperatura das habitações e se forem minimizadas as cargas internas que se relacionam com a iluminação artificial (optando-se por lâmpadas que conduzam a um menor aquecimento do espaço) e com os equipamentos que tenham influência a nível térmico.

Quando se analisam os dados fornecidos pela ADENE pode concluir-se que as necessidades de energia para arrefecimento são semelhantes e reduzidas em todos os edifícios, independentemente da classe energética dos mesmos. É interessante referir que todas as classes energéticas cumprem o RCCTE no que diz respeito à limitação das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento uma vez que, da consulta do referido regulamento, se verifica que qualquer dos valores obtidos é inferior ao menor valor limite previsto (correspondente a um edifício ou fracção autónoma na zona norte da zona climática de Verão V1 – representada pelos concelhos de Pombal, Santiago do Cacém e os locais situados numa faixa litoral com 15 km de largura – que apresenta o valor limite para as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento de 16 kWh/m$^2$.ano).

Ainda assim, pode verificar-se que os edifícios de classe G têm maiores valores de necessidades de arrefecimento com um valor de 11,80 kWh/m$^2$.ano e que os edifícios de classe E apresentam o menor valor, com 8,55 kWh/m$^2$.ano.

Os edifícios da classe energética C, a mais representativa dos edifícios das décadas 70 e 80, apresentam necessidades de 11,50 kWh/m$^2$.ano representando a segunda classe energética com mais necessidades deste tipo de energia.

As diferenças nas necessidades de arrefecimento nas classes em análise poderá indicar que os ganhos solares nos diferentes edifícios em análise serão diferentes tendo em conta que nem todos poderão estar dotados de dispositivos de sombreamento ou de iguais níveis de incidência solar. Por outro lado, os hábitos de renovação de ar diferentes levarão naturalmente a diferentes necessidades de

arrefecimento dos espaços bem como a utilização de aparelhos de iluminação ou equipamentos com diferentes níveis de produção de calor.

No entanto, e apesar de ser feita uma análise com o objectivo de perceber o que poderá influenciar os diferentes valores de necessidades de arrefecimento, este não é um problema nos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 pelo facto de todos os valores serem regulamentares e respeitarem o RCCTE.

Os valores de necessidades de energia para arrefecimento dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 em função da sua classe energética encontram-se na figura 4.4.

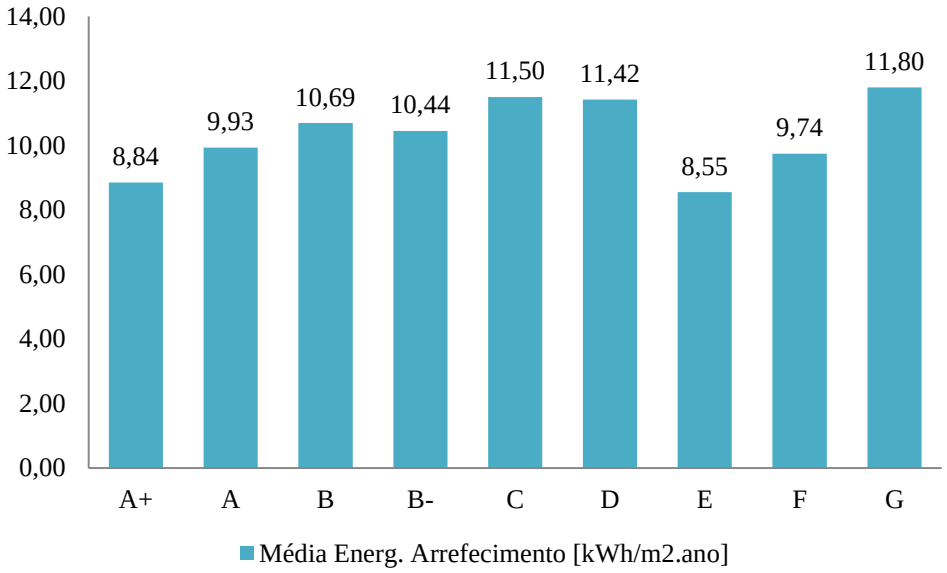


**Figura 4.4 - Necessidades de energia para arrefecimento dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 de acordo com a sua classificação energética**

## Necessidades de energia para aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS)

Segundo o RCCTE, as necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias ($N_{ac}$) são um parâmetro que exprime a quantidade de energia útil necessária para aquecer o consumo médio anual de referência de águas quentes sanitárias a uma temperatura de 60ºC e dependem da energia útil despendida com sistemas convencionais de AQS ($Q_a$), da eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS ($\eta_a$), da contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS ($E_{solar}$), da contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis para a preparação de AQS, bem como de quaisquer formas de recuperação de calor de equipamentos ou de fluidos residuais ($E_{ren}$) e da área útil do pavimento do edifício ou fracção autónoma ($A_p$), sendo calculadas através da equação 4.3 [32]:

$$N_{ac} = \frac{\frac{Q_a}{\eta_a} - E_{solar} - E_{ren}}{A_p}$$

**Equação 4.3 – Cálculo das necessidades de energia para preparação de AQS de um edifício ou fracção autónoma [32]**

Assim, pode concluir-se que as necessidades de energia para preparação de AQS serão menores se a energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS for reduzida, o que tem relação directa com o número de ocupantes de uma fracção autónoma sendo, logicamente, maior quanto maior o número de habitantes e a própria habitação. Também o tipo de aparelho utilizado para preparação de AQS tem grande influência nas referidas necessidades uma vez que diferentes aparelhos apresentam diferentes níveis de eficiência de conversão (por exemplo, um esquentador a gás apresenta apenas 50% de eficiência ao passo que um termoacumulador eléctrico com pelo menos 100 mm de isolamento térmico apresenta uma eficiência de conversão de 95% e que um termoacumulador a gás com pelo menos 100 mm de isolamento térmico apresenta uma eficiência de conversão de 80%). Logo, importa sensibilizar os ocupantes para uma escolha inteligente do aparelho com este fim para que sejam reduzidas as necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias, uma vez que, como se pode verificar, o esquentador a gás que é uma das soluções mais utilizadas no interior das habitações apresenta uma eficiência extremamente baixa quando comparado com outros aparelhos de melhores características. Por fim, a utilização de colectores solares ou de qualquer outra fonte de energia renovável para este fim irá claramente levar a uma diminuição das necessidades de uma habitação no que diz respeito à energia dispensada para preparação de AQS.

À excepção dos edifícios de classe energética A, todos os outros apresentam necessidades de energia para preparação de AQS bastante elevadas o que poderá indicar que a escolha do sistema de preparação de AQS não é a mais adequada e que não são utilizadas fontes de energias renováveis para essa mesma preparação.

Os valores de necessidades de energia para aquecimento de AQS dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 em função da sua classe energética encontram-se na figura 4.5.

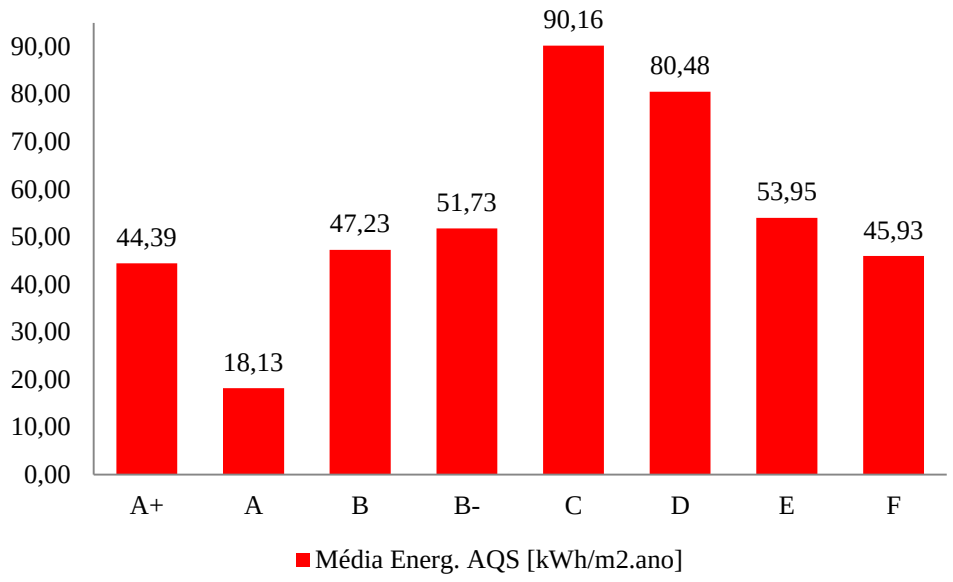


**Figura 4.5 - Necessidades de energia para aquecimento de AQS dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 de acordo com a sua classificação energética**

## Necessidades nominais globais de energia primária

Como já foi referido no presente trabalho, a energia primária é o recurso energético que se encontra disponível na natureza sob a forma de petróleo, gás natural, energia hídrica, energia eólica, biomassa ou solar.

Segundo o RCCTE, as necessidades nominais globais de energia primária ($N_{tc}$) são um parâmetro que exprime a quantidade de energia primária correspondente à soma ponderada das necessidades nominais de aquecimento, de arrefecimento e de preparação de águas quentes sanitárias, tendo em consideração os sistemas adoptados ou, na ausência da sua definição, sistemas convencionais de referência, e os padrões correntes de utilização desses sistemas e são um indicador que caracteriza uma fracção autónoma, calculando-se através da equação 4.4 [32]:

$$N_{tc} = 0{,}1 \times \left(\frac{N_{ic}}{\eta_i}\right) \times F_{pui} + 0{,}1 \times \left(\frac{N_{vc}}{\eta_v}\right) \times F_{puv} + N_{ac} \times F_{pua}$$

**Equação 4.4 - Cálculo das necessidades nominais globais de energia primária de um edifício ou fracção autónoma [32]**

É possível constatar que as necessidades nominais globais de energia primária dependem das necessidades de aquecimento, arrefecimento e de preparação de AQS cujos factores de ponderação têm em conta os padrões habituais de utilização dos respectivos sistemas relativamente aos padrões admitidos no cálculo de $N_{ic}$ e $N_{vc}$, na base dos dados estatísticos mais recentes. [32]

Assim, conclui-se que as considerações tidas nas necessidades de energia apresentadas anteriormente são aplicáveis às necessidades nominais globais de energia primária já que maiores valores de necessidades de energia de aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias conduzem a maiores valores de necessidades nominais globais de energia primária.

No que diz respeito à influência das necessidades anuais de aquecimento de um edifício ($N_{ic}$), estas surgem associadas à eficiência nominal dos equipamentos utilizados para os sistemas de aquecimento ($\eta_i$) e ao factor de conversão de energia útil para energia primária para aquecimento ($F_{pui}$). Analogamente, no que diz respeito à influência das necessidades nominais de arrefecimento de um edifício ou fracção autónoma ($N_{vc}$), estas surgem associadas à eficiência nominal dos equipamentos utilizados para os sistemas de arrefecimento ($\eta_v$) e ao factor de conversão de energia útil para energia primária para arrefecimento ($F_{puv}$). No cálculo das necessidades nominais globais de energia primária as necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento assumem apenas 10% do seu valor, uma vez que os equipamentos utilizados para aquecimento e arrefecimento não são utilizados durante todo o período necessário. As necessidades de energia para aquecimento de águas quentes sanitárias surgem associadas ao factor de conversão de energia útil para energia primária para preparação de AQS ($F_{pua}$).

Através da análise dos dados fornecidos pela ADENE, pode verificar-se que os edifícios de classe energética F são aqueles cujas necessidades globais anuais específicas de energia primária são superiores com um total de 20,09 kgep/$m^2$.ano coincidindo com a classe energética que apresenta maiores necessidades anuais de aquecimento ($N_{ic}$) e um dos valores mais elevados no que diz respeito a necessidades nominais de arrefecimento ($N_{vc}$).

No extremo oposto, a classe energética A apresenta-se como aquela que tem menores necessidades nominais globais de energia primária dado que apresenta igualmente as menores necessidades anuais de aquecimento e de energia para preparação das águas quentes sanitárias ($N_{ac}$), ainda que apresente as necessidades nominais de arrefecimento mais elevadas de todas as classes analisadas.

A classe mais representativa dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989, classe C, é a que tem maiores necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias e apresenta, de

entre os valores obtidos, necessidades de arrefecimento e aquecimento relativamente reduzidas. Como consequência, apresenta-se como a quarta classe energética com maiores necessidades nominais globais de energia primária.

Os valores de necessidades nominais globais de energia primária dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 em função da sua classe energética encontram-se na figura 4.6.

Através da figura 4.7 é possível observar a relação entre as diferentes necessidades e a forma como se influenciam umas em relação às outras.

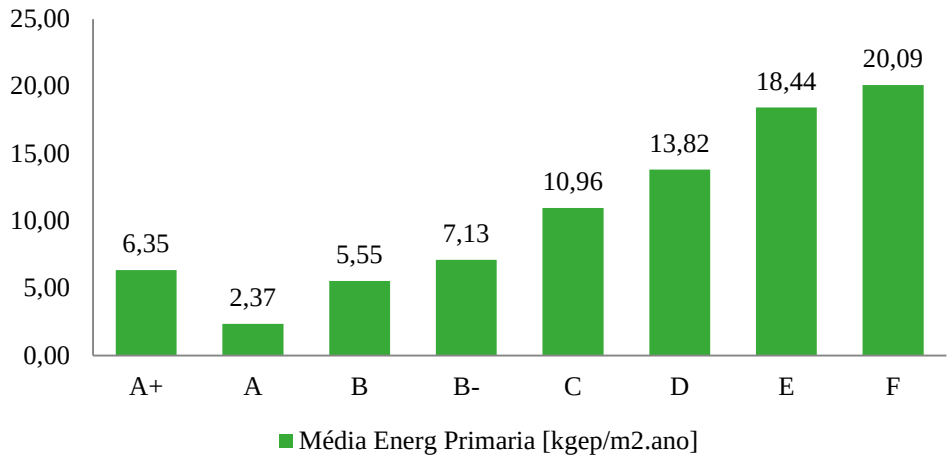


**Figura 4.6 - Necessidades nominais globais de energia primária dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 de acordo com a sua classificação energética**

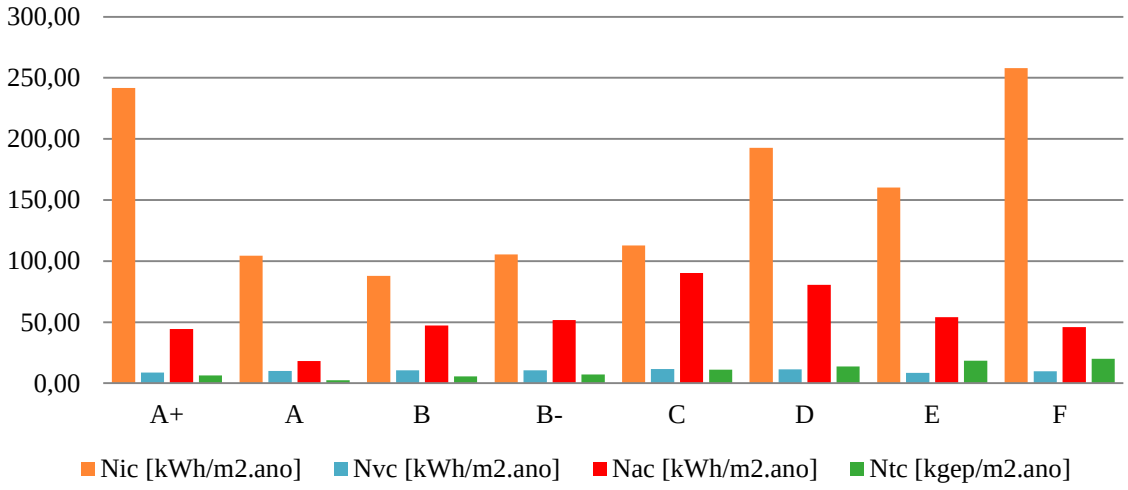


**Figura 4.7 - Relação entre as necessidades de aquecimento, arrefecimento, aquecimento de AQS e primária dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 de acordo com a sua classificação energética**

## Isolamento térmico da envolvente exterior

O nível de isolamento térmico dos elementos da envolvente exterior pode ser aferido através da análise do coeficiente de transmissão térmica dos elementos (U) que constituem a envolvente exterior de um edifício que representa 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 ele separa. Este parâmetro depende do somatório das resistências térmicas das várias camadas que constituem o elemento (R), calculadas através do quociente entre a espessura (d) e a respectiva condutibilidade térmica (λ), uma propriedade térmica típica de um material homogéneo que é igual à quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma camada de espessura e de área unitárias desse material por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces. Além disso, são também tidas em conta as resistências térmicas superficiais interior ($R_{si}$) e exterior ($R_{se}$) que representam os valores convencionais assumidos em Portugal baseados na normalização ISO para definição das condutâncias térmicas superficiais, em termos médios. [32] [34]

O cálculo do somatório das resistências térmicas das várias camadas que constituem um elemento e do coeficiente de transmissão térmica de um elemento pode ser realizado através da equação 4.5 e 4.6, respectivamente:

$$R = \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{\lambda_i} \; [m^2 °C/W]$$

**Equação 4.5 - Cálculo do somatório das resistências térmicas das várias camadas constituintes de um elemento**

$$U = R_{si} + \frac{1}{R} + R_{se} [W/m^2 °C]$$

**Equação 4.6 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica de um elemento**

Através da análise dos dados fornecidos pela ADENE é possível analisar os níveis médios de isolamento térmico, ou seja, do coeficiente de transmissão térmica médio dos elementos, da envolvente exterior dos edifícios, no que diz respeito à fachada exterior (fig. 4.8), coberturas exteriores (fig. 4.9) e pavimentos sobre o exterior (fig. 4.10), construídos em Portugal nas décadas de 70 e 80.

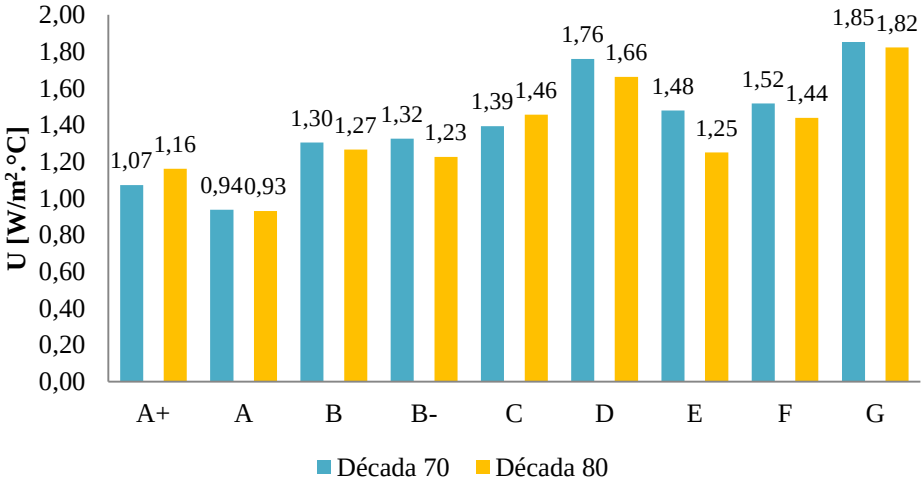


**Figura 4.8 - Nível de isolamento médio das fachadas exteriores dos edifícios construídos em Portugal nas décadas de 70 e 80 consoante as classes energéticas**

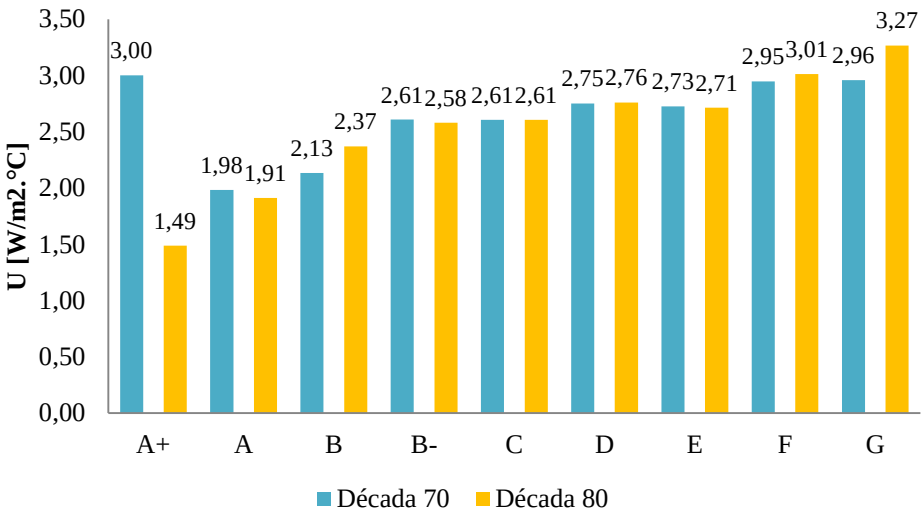


**Figura 4.9 - Nível de isolamento médio das coberturas exteriores dos edifícios construídos em Portugal nas décadas de 70 e 80 consoante as classes energéticas**

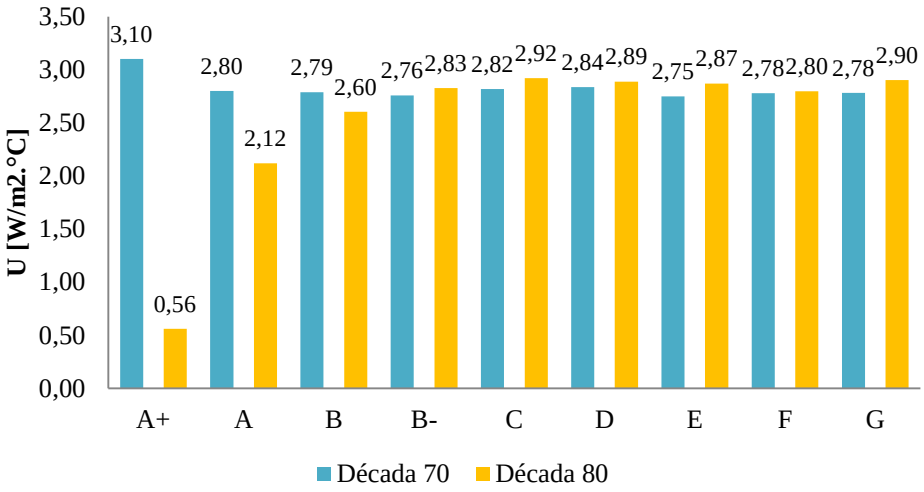


**Figura 4.10 - Nível de isolamento médio dos pavimentos sobre o exterior dos edifícios construídos em Portugal nas décadas de 70 e 80 consoante as classes energéticas**

Tendo em conta que o nível de isolamento térmico da envolvente exterior de um edifício ou fracção autónoma tem enorme influência nas necessidades de aquecimento dos espaços, torna-se interessante verificar que as classes energéticas que apresentam maiores necessidades anuais de aquecimento ($N_{ic}$) – classe F e G – apresentam igualmente maus níveis de isolamento térmico uma vez que apresenta os maiores valores de coeficiente de transmissão térmica da envolvente exterior em ambas as décadas em análise.

No que diz respeito à classe energética A+, a classe mais eficiente, apresenta também valores elevados de necessidades anuais de aquecimento. No entanto, à excepção dos pavimentos sobre o exterior na década de 70, os níveis de isolamento térmico da sua envolvente exterior são, em comparação com as restantes classes energéticas, os melhores. Desta forma, será de esperar que o mau aproveitamento

solar ou uma incorrecta ventilação dos espaços levarão a que os edifícios de classe energética A+ apresentem necessidades de aquecimento tão elevadas.

No que diz respeito a todas as classes, pode concluir-se que a melhores classes energéticas estão associados melhores níveis de isolamento térmico como se pode concluir através da tendência expressa na figura 4.11, onde se torna evidente a tendência positiva que da equação polinomial resulta do nível de desempenho dos valores de isolamento térmico em todos os elementos da envolvente dos edifícios, nos quais a década de 70 é mais uniforme em todos eles.

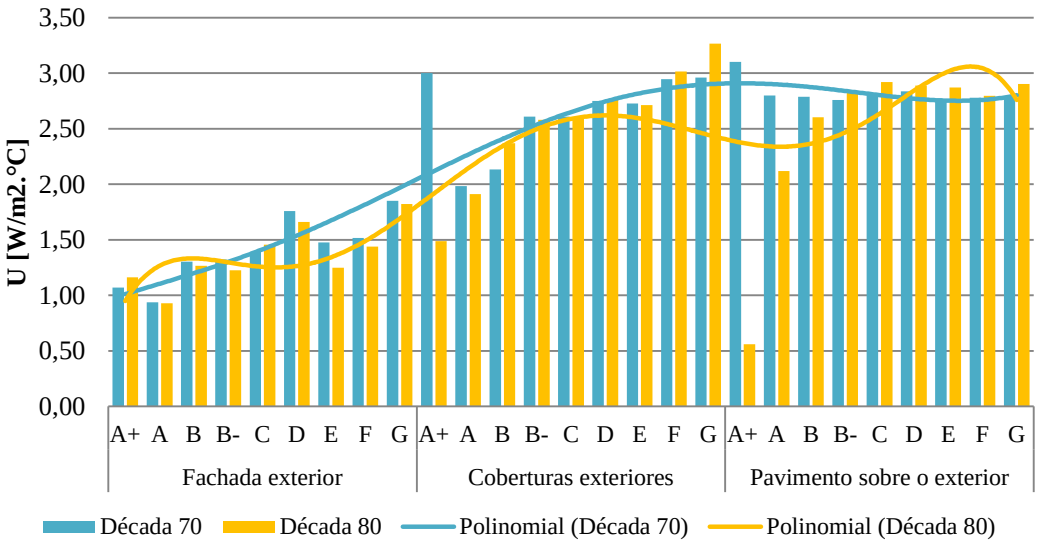


**Figura 4.11 - Tendência de evolução dos níveis de isolamento térmico de acordo com as classes energéticas e década de construção**

## Factor solar médio dos vãos envidraçados

Segundo o RCCTE, o factor solar de um vão envidraçado é o quociente entre a energia solar transmitida para o interior através de um vão envidraçado com o respectivo dispositivo de protecção e a energia da radiação solar que nele incide. [32] Através da análise deste parâmetro é possível avaliar o nível de aproveitamento solar de uma fracção autónoma ou edifício, na medida em que este será tanto maior quanto maior for a energia transmitida através de um vão envidraçado, ou seja, maior factor solar, maior será o aproveitamento da radiação solar. Um bom aproveitamento da energia solar potenciará, por exemplo, uma diminuição das necessidades de aquecimento dos espaços. Por outro lado, uma vez que a energia solar transmitida para o interior contabiliza os dispositivos de protecção, um aumento deste parâmetro conduzirá também a maiores necessidades de arrefecimento visto que a protecção assegurada pelos dispositivos não será suficiente para, em condições de Verão, proteger as habitações da incidência solar.

O valor médio do factor solar dos vãos envidraçados dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 em função da sua classe energética encontra-se na figura 4.12.

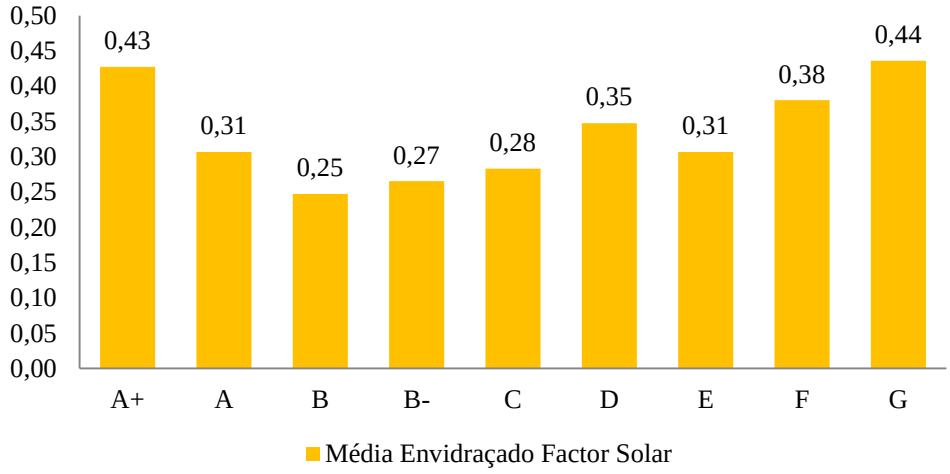


**Figura 4.12 - Média do factor solar dos vãos envidraçados dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1989 de acordo com a sua classe energética**

## 4.2. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS PARA AS INTERVENÇÕES

Uma vez conhecidas quais as maiores necessidades e deficiências do parque edificado português, no que diz respeito ao desempenho energético dos edifícios, é necessário definir quais medidas podem ser implementadas no processo de reabilitação de edifícios para que seja aumentada a sua eficiência energética. Isto é, as necessidades de um edifício ou habitação estão intimamente ligadas ao seu tipo de construção e práticas de utilização. Por exemplo, um mau isolamento da envolvente exterior irá potenciar as necessidades de aquecimento de um edifício por implicar que ocorram perdas térmicas consideráveis por essa envolvente. No entanto, uma incorrecta ventilação dos espaços irá igualmente potenciar um arrefecimento desnecessário e, consequentemente, maiores necessidades para aquecimento. Desta forma, para que seja atingido um nível satisfatório de desempenho e eficiência energética dos edifícios é necessário que na sua construção estes tipos de questões sejam tidas em conta.

Assim, no presente capítulo, serão definidas quais as soluções construtivas que devem ser adoptadas, ao nível da sua envolvente exterior, iluminação e utilização de fontes de energia renováveis, para que o comportamento energético dos edifícios existentes que sejam alvo de intervenção melhore significativamente.

### 4.2.1. Envolvente exterior

**Elementos opacos**

***Paredes exteriores***

**i. <u>Reforço do isolamento térmico aplicado pelo exterior</u>**

A solução de aplicação de isolamento térmico pelo exterior apresenta as seguintes características essenciais: [56]

- A parede existente mantém-se quente e seca, aumentando a sua resistência térmica e a sua capacidade de armazenar energia;
- A eliminação das pontes térmicas, o que possibilita a redução das perdas térmicas e a eliminação de condensações superficiais;
- O reduzido risco de condensações intersticiais no interior da parede;
- A inexistência de trabalhos no interior do edifício, reduzindo o nível de perturbação provocado aos utilizadores durante as obras de reforço de isolamento;
- A manutenção do espaço interior;
- A possibilidade de melhorar o aspecto da parede exterior, quando esta se apresente deteriorada;
- A necessidade de montagem de andaimes, o que poderá constituir uma desvantagens em edifícios com mais de um piso.

As soluções de reforço de isolamento térmico pelo exterior mais utilizadas são as seguintes: [31][35]

**i.i. Revestimento de elementos descontínuos com isolante térmico na caixa-de-ar**

A execução deste tipo de sistema de isolamento térmico exige que sejam realizadas as seguintes operações:

- Recobrimento geral da parede com um isolamento térmico (lã mineral ou poliestireno expandido);

- Fixação à parede de uma estrutura de madeira que servirá de suporte ao revestimento seguinte;
- Fixação à estrutura de madeira de um revestimento independente contínuo (no caso de rebocos armados) ou descontínuo (no caso de ser constituído por placas metálicas, de fibrocimento ou material plástico). No caso do revestimento adoptado ser descontínuo deve proceder-se à sua fixação de modo a que as juntas horizontais entre placas sejam de sobreposição e as juntas verticais sejam desencontradas – entre este revestimento e o isolante térmico deve ser definida uma caixa-de-ar ventilada com pelo menos 20 mm de espessura;
- Pintura do paramento exterior do revestimento – se as placas de fibrocimento não forem já pintadas.

### i.ii. Revestimento delgado exterior sobre isolante (ETICS – *external thermal insulating composite systems with rendering*)

Nas soluções deste tipo a camada de isolante térmico é composta por placas de isolante fixadas contra a parede por colagem, por fixação mecânica ou por ambos os processos. Estas placas recebem, em obra, um revestimento exterior contínuo armado que tem como função proteger o isolamento térmico dos agentes atmosféricos.

Existem dois subtipos de ETICS, que dependem através da espessura do revestimento aplicado: no caso do revestimento espesso, utilizam-se geralmente placas de placas de poliestireno expandido moldado (EPS) ou de lã mineral (MW) na camada de isolamento térmico e um revestimento de ligante mineral armado com uma rede metálica; no caso do revestimento delgado, que é uma solução mais usual que a anterior, utilizam-se essencialmente placas de EPS e um revestimento de ligante sintético ou misto armado com uma rede de fibra de vidro com protecção contra o ataque dos álcalis do cimento, sendo adicionado um reforço do mesmo material em zonas sujeitas a acções mecânicas mais severas, como é o caso de paredes localizadas em pisos térreos de acesso público.

### i.iii. Revestimentos isolantes (por exemplo revestimentos prefabricados isolantes descontínuos e rebocos isolantes)

Nas soluções deste tipo os elementos descontínuos prefabricados são previamente produzidos em fábrica e são constituídos por um material isolante térmico em placa (geralmente poliestireno expandido) e por um revestimento (metálico, mineral ou orgânico). A aplicação destes sistemas é feita de uma só vez, visto que o isolante e o revestimento são prefabricados. Este processo apresenta algumas desvantagens no que diz respeito à realização de pontos singulares em fachadas, como é o caso dos vãos de janelas e portas. Este sistema, quando comparado ao constituído por elementos descontínuos com isolamento térmico na caixa-de-ar apresenta como principal vantagem a inexistência de estrutura de fixação intermédia e do espaço de ar entre o revestimento e o isolante; quando se compara o sistema em questão ao sistema ETICS, a principal vantagem é o facto de ser dispensável a execução de camadas sucessivas (que obrigam a manutenção dos andaimes em obra durante mais tempo e a um custo extra ao processo de aplicação do revestimento de ETICS).

Importa referir que a solução constituída por rebocos isolantes é bastante menos eficiente uma vez que é apenas constituída por um reboco composto por argamassas que contêm grânulos de um isolante térmico (poliestireno expandido, por exemplo) de diâmetro muito reduzido. Esta solução, ainda que seja de aplicação bastante fácil, é 2 a 3 vezes menos eficiente que as apresentadas anteriormente.

### ii. Reforço do isolamento térmico aplicado pelo interior

A solução de aplicação de isolamento térmico pelo interior apresenta as seguintes características essenciais: [56]

- As condições climatéricas não afectam a sua aplicação;
- O fácil acesso às superfícies a tratar;
- Não tem qualquer implicação no aspecto exterior do edifício, não o alterando mas também não lhe assegurando qualquer protecção;
- É mais económica e simples de aplicar do que o isolamento pelo exterior;
- Não elimina pontes térmicas;
- Causa bastantes perturbações ao normal funcionamento das habitações;
- A eliminação das condensações superficiais;
- A redução do espaço interior disponível.

As soluções de reforço de isolamento térmico pelo interior dividem-se, essencialmente, em dois tipos: [31] [35]

#### ii.i. Contra-fachada de placas de gesso cartonado com isolante na caixa-de-ar

A execução deste tipo de sistema de isolamento térmico exige que sejam realizadas as seguintes operações:

- Colagem de placas de poliestireno expandido contra o paramento interior da parede;
- Fixação à parede de uma estrutura de madeira (constituída por réguas verticais convenientemente espaçadas entre si, geralmente com um afastamento de 0,60 m, e por duas travessas, uma inferior e outra superior) para suporte das placas de paramento;
- Fixação, por aparafusamento, à estrutura de madeira de placas de paramento de gesso cartonado (com 12,5 mm de espessura mínima e altura de pé-direito), posicionadas de modo a que as respectivas juntas verticais coincidam com peças da estrutura de madeira, podendo definir-se entre estas placas e o isolamento uma caixa-de-ar com 20 mm de espessura;
- Refechamento das juntas entre as placas e pintura do respectivo paramento interior, se necessário.

Deve ter-se o cuidado de efectuar um tratamento às peças de madeira utilizadas por forma a potenciar a sua preservação de acordo com condições de utilização das mesmas.

#### ii.ii. Contra-fachada de alvenaria com isolante na caixa-de-ar

A execução deste tipo de sistema de isolamento térmico exige que sejam realizadas as seguintes operações:

- Colagem, contra o paramento interior da parede, de placas de poliestireno expandido;
- Execução de um pano interior de alvenaria de tijolo furado de formato 30x20x7 cm, separado da face à vista das placas por uma caixa-de-ar com cerca de 3 cm. Deve ter-se atenção no tratamento da base desta caixa-de-ar de modo a que seja definida uma caleira de recolha de águas de infiltração e condensação, com uma pendente mínima de 2% e dotada de um sistema de drenagem para o exterior;
- Aplicação, nos paramentos interiores daqueles panos, de um revestimento tradicional de ligantes hidráulicos e de uma pintura com tinta de água, ou, em alternativa, aplicação de um revestimento não-tradicional compatível com a natureza do suporte e adequado às condições de uso previstas.

**Quadro 4.2 - Vantagens e inconvenientes do isolamento térmico exterior de fachadas em relação ao isolamento interior [31]**

| VANTAGENS | INCONVENIENTES |
|---|---|
| – Isolamento térmico mais eficiente<br>– Protecção das paredes contra agentes atmosféricos<br>– Ausência de descontinuidade na camada isolante<br>– Supressão de "pontes térmicas" e redução dos riscos de condensação<br>– Conservação da inércia térmica das paredes<br>– Manutenção das dimensões dos espaços interiores<br>– Menores riscos de incêndio e de toxicidade<br>– Manutenção da ocupação dos edifícios durante as obras<br>– Dispensa de interrupções nas instalações interiores e de trabalhos de reposição de acabamentos<br>– Eventual melhoria do aspecto exterior dos edifícios | – Constrangimentos arquitectónicos<br>– Constrangimentos de ordem técnica<br>– Maior vulnerabilidade da parede ao choque, sobretudo no rés-do-chão<br>– Custo em regra mais elevado (aproximadamente o dobro).<br>– Condicionamento dos trabalhos pelo estado do tempo<br>– Risco de fendilhação dos revestimentos (em soluções com revestimentos contínuos) |

### iii. Reforço do isolamento térmico na caixa-de-ar (no caso de paredes duplas) [31] [35]

Esta solução consiste na injecção de produtos a granel (como por exemplo as fibras de lã mineral, os granulados de poliestireno expandido e de argila ou perlite expandida) ou de espumas isolantes expandidas "in-situ" na caixa-de-ar das paredes (como por exemplo as espumas de poliuretano e de ureia-formaldeído). Com esta solução é possível manter o aspecto exterior e interior das paredes. No entanto, com esta solução, existe uma limitação da espessura de isolamento térmico a introduzir que corresponde à espessura da caixa-de-ar. No caso da espessura mencionada ser insuficiente para introduzir melhorias do ponto de vista do isolamento térmico, esta medida torna-se inútil, não sendo atingidos os objectivos pretendidos. Em seguida, apresentam-se as principais vantagens e desvantagens desta solução.

**Quadro 4.3 - Vantagens e desvantagens da solução de reforço do isolamento térmico na caixa-de-ar (no caso de paredes duplas) [35]**

| Vantagens | Desvantagens |
|---|---|
| • Facilidade de aplicação;<br>• Manutenção do aspecto exterior e interior das paredes;<br>• Manutenção da área habitável das edificações. | • Manutenção das pontes térmicas existentes;<br>• Necessidade de garantir estanquidade do pano exterior da parede – uma vez que a parede deixa de ser dupla e deixa de cumprir as funções de corte de capilaridade que possuía;<br>• Necessidade de garantir estabilidade dos panos constituintes da parede – devido às pressões de injecção dos materiais isolantes;<br>• Insuficiente espessura da caixa-de-ar para a espessura de isolamento térmico necessária;<br>• Libertação de elevadas concentrações de vapores, no caso das espumas de ureia-formaldeído, causadoras de desconforto nos ocupantes. |

O reforço do isolamento térmico aplicado pelo exterior apresenta-se como a solução mais vantajosa uma vez que diminui o risco de ocorrência de condensações internas, corrige as pontes térmicas de forma eficaz, mantém a área das habitações não causando grandes incómodos aos seus habitantes e melhora a resistência da parede no que diz respeito à penetração da água da chuva. No entanto, esta solução acarreta problemas do ponto de vista arquitectónico já que induz modificações no aspecto exterior do edifício e causa algumas dificuldades da sua concepção que já foram referidas anteriormente. A espessura de isolante térmico deverá ser definida em função das características da parede existente e das exigências regulamentares da zona climática onde a edificação se localiza. No caso de paredes simples o reforço do isolamento térmico pode ser realizado pelo exterior ou pelo interior. [31][35]

**Quadro 4.4 - Soluções de reforço do isolamento térmico de paredes exteriores [56]**

| **Localização do isolamento térmico** | **Tipo de soluções** | |
|---|---|---|
| **Exterior** | Revestimentos não isolantes independentes (com interposição de isolante térmico no espaço de ar) | Revestimentos descontínuos (elementos fixados mecanicamente) |
| | | Revestimentos contínuos de ligantes hidráulicos armados |
| | Revestimentos aplicados sobre isolante (I) | Revestimentos espessos de ligantes hidráulicos armados |
| | | Revestimentos delgados de ligantes sintéticos ou mistos, armados |
| | Revestimentos isolantes (I) | Revestimentos descontínuos (placas fixadas mecanicamente) (II) |
| | | Revestimentos de ligantes hidráulicos e inerte de material isolante |
| | | Revestimentos de espuma isolante projectada e expandida em obra |
| **Interior** | Painéis isolantes (geralmente com a altura de andar) colados contra a fachada | |
| | Contra-fachadas de alvenaria ou de outra constituição | Com caixa-de-ar simples |
| | | com interposição de um isolante térmico e sem caixa-de-ar |
| | | com interposição de um isolante térmico e com caixa-de-ar |
| | Revestimentos reflectores (III) | |
| **Na caixa-de-ar (em paredes duplas)** | Injecção de produtos a granel | Fibras ou flocos de lã mineral |
| | | Granulado de poliestireno expandido |
| | | Outros granulados (de argila ou perlite expandida, etc.) |
| | Injecção de espumas isolantes (expandidas em obra) | Espuma de poliuretano |
| | | Espuma de ureia-formaldeído |

(I) Soluções também aplicáveis, ainda que menos frequentes, como isolamento térmico interior.

(II) Quando aplicadas como isolamento térmico interior, as placas de revestimento isolante são geralmente coladas.

(III) Apenas em zonas restritas das paredes (por exemplo, por detrás de radiadores).

***Pavimentos***

A optimização do nível de isolamento térmico em pavimentos é essencial quando estes estão em contacto directo com o ambiente exterior ou com espaços interiores não-aquecidos e pode ser feita de três formas distintas: [31]

**i. Isolamento térmico inferior**

Este tipo de solução é indicada sempre que sejam efectuadas reabilitações não destrutivas, quando a zona inferior do pavimento for acessível. A aplicação de isolamento térmico através desta técnica é rápida, fácil, de custo reduzido e é bastante eficiente do ponto de vista térmico já que é aplicado pelo exterior. [57]

**ii. Isolamento térmico intermédio (no caso de pavimentos com vazios)**

Para que seja possível inserir o isolamento térmico no pavimento é necessário efectuar uma reabilitação destrutiva ou parcialmente destrutiva. No caso de se optar por uma solução parcialmente destrutiva seria necessário levantar parte do revestimento do pavimento para se introduzir o isolante térmico; no caso da solução de reabilitação destrutiva, o isolante pode ser colocado na fase de formação da laje, aplicando-se, por exemplo, abobadilhas de EPS que substituem os blocos cerâmicos ou o betão corrente, permitindo o reforço térmico da laje e, simultaneamente, o seu aligeiramento. [57]

**iii. Isolamento térmico superior**

Este tipo de solução obriga a que o isolante térmico utilizado possua adequada resistência à compressão por forma a poder ser mantida a sua espessura durante a sua utilização, uma vez que, tal facto, terá implicação directa na homogeneidade ao longo do tempo da sua resistência térmica. Assim, mostra-se essencial que o isolante seja capaz de aguentar um elevado número de cargas para mandar o seu comportamento e durabilidade ao longo do tempo. Esta solução é utilizada em casos de reabilitação não destrutiva e apresenta como desvantagem o facto de reduzir o pé direito da habitação e a inércia térmica interior. [57]

As soluções de aplicação de isolamento térmico inferior são preferíveis desde que o espaço subjacente ao pavimento seja acessível, já que para alem de ser uma solução mais eficiente do ponto de vista térmica é também uma solução com uma aplicação mais rápida, mais fácil e mais barata. É necessário verificar, no entanto, se a redução do pé direito do espaço subjacente não tem condicionalismos importantes. No que diz respeito à solução de aplicação de isolamento térmico superior esta origina a redução do pé direito do espaço habitável e é uma solução menos eficiente. [31]

**Quadro 4.5 - Soluções de reforço do isolamento térmico de pavimentos em contacto com espaços exteriores ou não-aquecidos [58]**

| Localização do isolamento térmico | Tipos de soluções | |
|---|---|---|
| **Inferior** | Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento sobre isolante | Revestimentos espessos de ligantes minerais (rebocos armados), sobre isolante |
| | | Revestimentos delgados de ligantes sintéticos, ou mistos, armados, sobre isolante |
| | Revestimentos isolantes | Revestimentos prefabricados isolantes descontínuos |
| | | Rebocos isolantes |
| | | Revestimentos de espuma isolante projectada (vocacionados para locais onde o aspecto estético não é relevante) |
| | Tectos-falsos | Tectos-falsos isolantes |
| | | Tectos-falsos suportando uma camada de isolante térmico |
| **Intermédio** | Preenchimento dos vazios entre vigotas de pavimentos de madeira com um isolante térmico (massas de lã mineral ou um isolante a granel) | |
| **Face superior** | Camada isolante de betão leve entre o pavimento resistente e o revestimento de piso | |
| | Camada de isolante térmico entre o pavimento resistente e um piso flutuante | |

***Coberturas***

Em seguida serão analisadas as coberturas inclinadas e em terraço, tendo em conta que para cada um dos tipos de cobertura existem diferentes métodos de intervenção. [31]

**i. <u>Coberturas inclinadas</u> [31]**

Neste tipo de coberturas considera-se o reforço de isolamento da esteira horizontal (no caso do desvão ser não habitável) e o isolamento das vertentes (no caso do desvão ser habitável).

**i.i. Isolamento na esteira horizontal** [31]

Esta medida deve ser adoptada sempre que o espaço debaixo da cobertura não for habitável. Deve aplicar-se o isolamento térmico sobre a esteira horizontal (protegida superiormente, se necessário) se o desvão for acessível e deve garantir-se uma boa ventilação do desvão. Uma vez que a quantidade de isolante é menor nesta situação no que no isolamento das vertentes (dado que a área dos elementos é menor) e a sua aplicação é mais fácil (por ter melhores condições de acessibilidade), esta apresenta-se como uma solução mais económica. Por outro lado, o facto de o desvão não ser habitável faz com que não seja necessário garantir aquecimento deste espaço, no Inverno, gerando menores consumos de energia. Na estação quente, a forte ventilação do desvão potencia a dissipação do calor neste espaço.

**i.ii. Isolamento das vertentes** [31]

Esta solução deve aplicar-se apenas em casos em que o desvão seja habitável. O isolamento térmico sobre as vertentes é preferível do ponto de vista energético. No processo de aplicação deve assegurar-se que exista um espaço de ar ventilado, entre o revestimento exterior da cobertura (por exemplo,

telha) e o isolamento térmico, com o objectivo de evitar a degradação dos materiais. Deve também garantir-se que a eventual penetração de água da chuva através do revestimento da cobertura não prejudica o comportamento do isolamento térmico, uma vez que a molhagem do isolante irá comprometer as suas características. Para isso, deve aplicar-se uma protecção superior no isolante tendo em atenção que esta não deve tornar-se uma barreira ao vapor do mesmo e originar condensações internas.

No caso em que não seja possível a remoção do revestimento exterior da cobertura, as soluções de isolamento térmico terão de ser aplicadas na face inferior da estrutura da cobertura.

**ii. <u>Coberturas em terraço</u>** [31]

Antes de se proceder à reabilitação do ponto de vista térmico da cobertura é necessário verificar se esta não apresenta anomalias que necessitem de intervenção prévia (como é o caso das que resultam de infiltrações de água, fendilhações, descolamentos, entre outras).

Existem três opções de reforço do isolamento térmico em coberturas planas: isolamento térmico superior, intermédio e inferior.

**ii.i. Isolamento térmico superior** [31]

Das opções apresentadas, a mais aconselhada é aquela que prevê a colocação do isolamento térmico acima da camada de forma.

No caso de aplicação de isolamento térmico superior existem dois tipos de cobertura: as coberturas invertidas (em que a camada de impermeabilização se encontra abaixo da de isolamento térmico, que neste caso deve ser XPS – poliestireno expandido extrudido –, ficando assim protegida de grandes amplitudes térmicas) que se apresenta como a melhor solução e as coberturas não invertidas, onde o isolamento térmico serve de suporte ao sistema de impermeabilização.

**ii.ii. Isolamento térmico intermédio** [31]

Esta solução exige cuidados especiais quer na fase de execução quer na de concepção para que ocorram fenómenos de choque térmico nas camadas acima do isolante térmico. Nestas situações, o isolamento térmico é colocado entre a esteira horizontal e a camada de forma, e exige que todas as camadas acima da laje de esteira sejam refeitas.

**ii.iii. Isolamento térmico inferior** [31]

Esta solução só é aceitável quando é integrada num tecto-falso independente da esteira. Ainda assim, não protege termicamente a estrutura. A aplicação do isolante térmico directamente na face interior da laje iria provocar deformações de origem térmica na estrutura do edifício.

**Quadro 4.6 - Soluções de reforço do isolamento térmico de coberturas [56]**

<table>
<tr><th colspan="3">Localização do isolamento térmico</th><th colspan="2">Tipos de soluções</th></tr>
<tr><td rowspan="11">Coberturas inclinadas</td><td rowspan="4">Nas vertentes inclinadas</td><td>Superior (I)</td><td colspan="2">Painéis isolantes espaciais (integrando varas, forro interior e isolante térmico)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Inferior</td><td rowspan="3">Mantas de lã mineral (recobertas eventualmente com um forro interior)</td><td>Fixadas contra as varas da cobertura</td></tr>
<tr><td>Fixadas contra réguas dispostas sob as varas ao longo destas</td></tr>
<tr><td>Cruzadas em duas camadas, com interposição de réguas normais às varas</td></tr>
<tr><td colspan="3">Placas de material isolante fixadas às varas (lã mineral, aglomerado negro de cortiça, etc.)</td></tr>
<tr><td rowspan="7">Na esteira horizontal</td><td rowspan="4">Superior (II)</td><td colspan="2">Mantas de lã mineral</td></tr>
<tr><td colspan="2">Placas de material isolante</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Material isolante a granel</td><td>Fibras ou flocos de lã mineral</td></tr>
<tr><td>Granulados (de argila expandida, de betão celular autoclavado, etc.)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Inferior</td><td>Revestimentos isolantes</td><td>Revestimentos descontínuos (placas fixadas mecanicamente ou coladas)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tectos-falsos</td><td>Tecto-falso isolante</td></tr>
<tr><td>Tecto-falso suportando uma camada de isolamento térmico</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Coberturas em terraço</td><td colspan="2">Superior</td><td>"Cobertura invertida"</td><td>Isolante térmico sobre a impermeabilização</td></tr>
<tr><td colspan="2">Intermédio (III)</td><td colspan="2">Suportes isolantes de impermeabilização</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">Inferior</td><td>Revestimentos isolantes</td><td>Revestimentos descontínuos (placas fixadas mecanicamente ou coladas)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tectos-falsos</td><td>Tecto-falso isolante</td></tr>
<tr><td>Tecto-falso suportando uma camada de isolamento térmico</td></tr>
</table>

(I) Aplicável sobre as madres da cobertura, em substituição das varas.

(II) Só possível se o desvão for não utilizável.

(III) Só possível em caso de substituição da impermeabilização.

Depois de analisados quais os elementos opacos da envolvente exterior que podem ser alvo de intervenções com objectivo de melhorar o desempenho energético das edificações, apresenta-se um quadro indicativo de quais os materiais isolantes mais utilizados na reabilitação térmica de edifícios, de onde se pode concluir que o EPS é o material com maior expressão no que diz respeito aos materiais de isolamento térmico utilizados em placas. A informação anteriormente referida encontra-se no quadro 4.7.

**Quadro 4.7 - Principais isolantes térmicos utilizados na reabilitação térmica [31]**

| Elementos opacos | Constituição | Isolamento térmico | | Placas | | | | | (1) | Material a granel | | | | (2) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | Grânulos | | | (3) | |
| | | Localização | Solução | EPS | XPS | PUR | MW | ICB | MW | EPS | VA | LWA | MW | PUR |
| Paredes de fachada | Simples | Exterior | Revestimento delgado ou espesso sobre o isolante | ● | | | ● | | | | | | | |
| | | | Revestimento independente com isolante no espaço de ar | ● | ● | ● | ● | | | | | | | |
| | | | Reboco isolante | | | | | | | ● | ● | ● | | |
| | | Interior | Painéis isolantes | ● | ● | ● | ● | | | | | | | |
| | | | Contra-fachada com isolante no espaço de ar | ● | ● | ● | ● | | | | | | | |
| | Duplas | Intermédio | Preenchimento total da caixa de ar | | | | | | | ● | ● | ● | ● | ● |
| Pavimentos | — | Exterior | Revestimento sobre o isolante (4) | ● | | ● | ● | | | | | | | |
| | | | Tecto falso com isolante na caixa de ar | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | | | | |
| Coberturas | Horizontais | Exterior | Suporte isolante de impermeabilização | ● | | ● | ● | ● | | | | | | |
| | | | Cobertura «invertida» | ●(5) | ● | | | | | | | | | |
| | Inclinadas | Na esteira horizontal | Sobre a esteira | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | ● | ● | | |
| | | Nas vertentes | Sobre a estrutura resistente | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | | | | |
| | | | Sob a estrutura resistente | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | | | | |

**Siglas dos isolantes térmicos:**

EPS – poliestireno expandido moldado
XPS – espuma de poliestireno extrudido
PUR – espuma rígida de poliuretano
MW – lã mineral
ICB – aglomerado negro de cortiça
VA – vermiculite expandida (em grânulos)
LWA – argila expandida (em grânulos)

1 – Mantas
2 – Espuma "in situ"
3 – Fibras
4 – ETICS – "External thermal insulating composite systems with rendering".
5 – EPS de massa volúmica elevada

## Vãos envidraçados

A adopção de vidros duplos reduz as perdas térmicas e as necessidades de aquecimento, melhorando o conforto térmico. Alem disso, diminui a possibilidade de fenómenos de condensação e melhora o conforto acústico. Quando possível devem adoptar-se vidros duplos com a espessura de lâmina de ar entre eles tão elevada quanto possível, de preferência de 16 mm. O RCCTE prevê a janela de alumínio com vidro duplo como a solução a adoptar. [31]

A utilização de vidos duplos ou triplos com baixa emissividade e preenchidos na lâmina de ar com gases raros, a espessura da lâmina de ar entre os vidros bem como o correcto dimensionamento dos vãos são questões que devem ser ponderadas aquando da reabilitação térmica de edifícios. [31]

Quando estes elementos de caixilharia são intervencionados deve ter-se em atenção que não é aconselhável reduzir drasticamente as infiltrações de ar pelos mesmos, uma vez que estas podem ser essenciais para a correcta ventilação dos espaços. Nestes casos, é necessário que o edifício seja dotado (ou já esteja) de um sistema de ventilação mecânica ou natural adequado. Para tal, deve seguir-se a Norma Portuguesa NP 1037-1 de 2002 (Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás – Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural).

No que diz respeito aos ganhos solares é necessário garantir que o edifício dispõe de protecções solares, preferencialmente exteriores. A aplicação de persianas ou portadas de baixa permeabilidade, além de funcionar como protecção solar, aumenta também o isolamento térmico do vão envidraçado, devendo ser vista como uma medida preferencial. Nos vãos expostos a Sul, que recebem radiação solar directa ao longo do dia, deve também considerar-se a aplicação de palas ou lâminas que terão como principal objectivo reduzir os ganhos solares. Uma medida que visa aumentar estes ganhos na estação de Inverno é o aumento da área de envidraçados virados a Sul e a criação de espaços tipo "estufa" ligados a envidraçados existentes. Os eventuais excessos de ganhos solares que resultem desta solução devem ser previstos e corrigidos com a abertura dos vãos envidraçados (aumentando a ventilação), a aplicação de dispositivos de sombreamento e a colocação de protecções solares reguláveis e eficientes. [30] [31]

Neste caso, os habitantes assumem um papel de extrema importância no que diz respeito à conservação de energia devendo ser incentivados a adquirir os seguintes hábitos nas suas habitações: [31]

- Abertura das janelas para ventilação em alturas em que a temperatura exterior seja superior à interior, no caso do Inverno, e na situação inversa no caso do Verão;
- Abertura completa das janelas para ventilação por períodos curtos;
- Fechamento dos vãos nos períodos nocturnos de Inverno e quando se verifiquem ganhos solares excessivos.

### 4.2.2. Soluções solares passivas

Os sistemas solares passivos contribuem para a climatização do ambiente interior sem que seja necessário recorrer à energia mecânica. Para isso, tiram partido do Sol e de outras variantes climáticas do local, como o vento e a chuva, para manter o nível de conforto exigido no interior dos edifícios. O funcionamento destes sistemas é dependente da orientação da fachada, da forma do edifício e do seu posicionamento relativamente a obstáculos sombreadores, como por exemplo, outros edifícios ou vegetação. [59]

Um sistema solar passivo para aquecimento ou arrefecimento pode ser definido como aquele em que as trocas de energia térmica se fazem por meios naturais. [60]

Os sistemas solares passivos para aquecimento podem ser classificados em três categorias: [60]

- **Ganho directo:** a absorção, armazenamento e libertação de energia é feita directamente no compartimento, de acordo com o efeito de estufa (fig. 4.13);
- **Ganho indirecto:** a radiação solar incide sobre uma massa térmica colocada entre o Sol e o espaço a aquecer e a radiação absorvida pela massa transforma-se em energia térmica que é transferida para o interior do edifício (fig. 4.14);
- **Ganho isolado:** a captação de energia solar é realizada num espaço (estufa) ou num elemento (sistema de termossifão) separado da zona habitável do edifício.

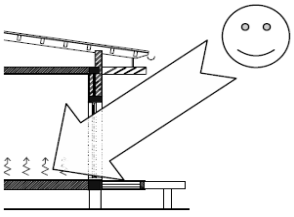

**Figura 4.14 - Ganho directo [60]**

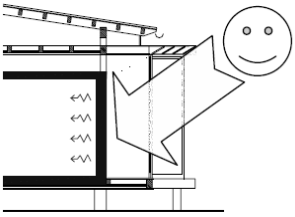

**Figura 4.14 - Ganho indirecto [60]**

Os sistemas solares passivos para arrefecimento podem ser classificados em três categorias: [60]

- **Arrefecimento directo:** inclui a protecção solar e os procedimentos de arrefecer um ambiente colocando-o em contacto directo com uma fonte fria (o céu durante a noite, o ar fresco nocturno, a terra ou a absorção do calor pela água ao evaporar-se);
- **Arrefecimento indirecto:** utiliza elementos (superfície radiante ou elemento de armazenamento térmico) que absorvem o calor do edifício e o arrefecem radiando energia para o exterior ou permitindo o fluxo de ar fresco através dele;
- **Arrefecimento separado:** obtém ar fresco numa zona separada do ambiente que se pretende arrefecer através da circulação do ar exterior por uma tubagem enterrada ou que atravesse um leito de água, sendo que o ar arrefecerá mais quanto maior for o percurso antes de chegar ao edifício.

A dependência de questões externas como é o caso das condições ambiente torna este tipo de sistemas insuficiente para dar resposta a todas as necessidades actuais de conforto. No entanto, mostram-se como uma solução interessante do ponto de vista da eficiência energética por recorrerem totalmente a energias renováveis.

Em seguida, no quadro 4.8, apresentam-se alguns exemplos de sistemas solares passivos de aquecimento e arrefecimento.

**Quadro 4.8 - Exemplo de sistemas passivos [59]**

| | | |
|---|---|---|
| **Sistemas de aquecimento** | Directos | Envidraçados |
| | | Lucernário |
| | | Clarabóia |
| | Indirectos | Paredes, coberturas e pavimentos de armazenamento térmico |
| | Isolados | Estufas |
| | | Sistemas de termossifão |
| **Sistemas de arrefecimento** | Directos | Protecção solar |
| | | Ventilação |
| | | Construções enterradas |
| | | Refrigeração por evaporação/desumidificação |
| | Indirectos | Irradiação nocturna |
| | | Ventilação dos elementos de armazenamento térmico |
| | Separados | Refrigeração por ventilação a partir de zonas separadas |

### 4.2.3. A iluminação natural

Como já foi referido no capítulo 2.6, a luz natural é a forma mais fácil e menos dispendiosa de iluminar um espaço, uma vez que provém de uma fonte de energia inesgotável, a luz solar.

Assim, é importante que sejam tomadas medidas que assegurem um melhor aproveitamento da luz solar e, consequentemente, uma melhor iluminação natural dos edifícios, tais como: [31]

- Orientar os espaços de permanência de pessoas a Sul, Nascente e Poente uma vez que são os quadrantes que recebem directamente o Sol no período diurno; orientar os espaços de circulação e arrumos a Norte por terem menores necessidades de aquecimento;
- Utilização de tectos brancos e paredes de cor clara para facilitar a reflectividade, melhorando as condições de iluminação;
- Recorrer à iluminação vertical (clarabóias, lanternins, poços de luz, etc.) para que haja uma distribuição mais uniforme da luz natural dos espaços;
- Recorrer à iluminação bidireccional em espaços com profundidade duas vezes superior ao seu pé direito, por ser impossível iluminar estes espaços apenas recorrendo à iluminação natural;
- Em Portugal, dotar os envidraçados orientados a Sul (por serem os únicos que beneficiam das diferentes alturas do Sol nas estações fria e quente) de dispositivos de sombreamento exterior e palas horizontais que protejam os mesmos da posição do Sol no Verão, quando este se encontra mais alto, e que possam ser controláveis para permitir maximizar a incidência do Sol no Inverno, quando este se encontra mais baixo; os envidraçados virados a Poente e Nascente, cujo sombreamento é mais difícil, podem ser protegidos por vegetação de folha caduca que apresentam diferentes condições de sombreamento no Inverno e no Verão.

É necessário que sejam ponderadas três questões importantes, na definição da área de envidraçados da envolvente: os consumos de energia para aquecimento, arrefecimento e iluminação que decorram do aumento ou da diminuição da área em questão. Na figura 4.15, apresentam-se os valores óptimos das percentagens de envidraçados das fachadas para edifícios residenciais, tendo em consideração o clima português, para vidros duplos e dispositivos sombreamento, questão que é essencialmente aplicável à construção de edifícios novos mas que deve ser tida em conta no processo de reabilitação de edifícios.

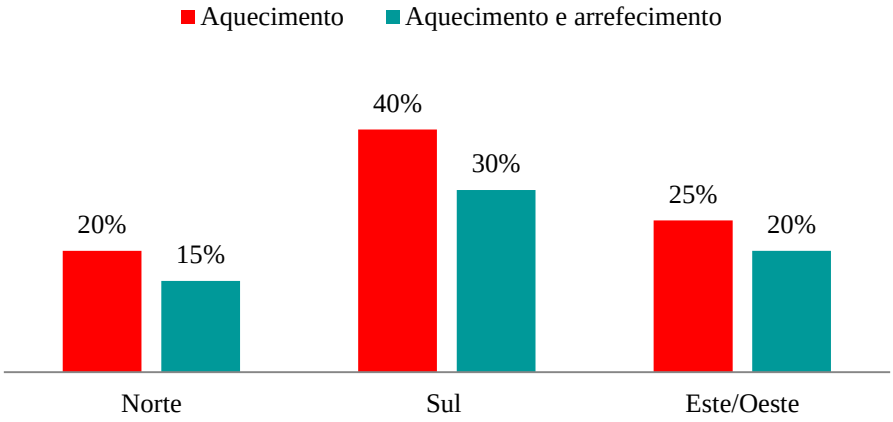


**Figura 4.15 - Valores óptimos das percentagens de envidraçados das fachadas para edifícios residenciais [31]**

### 4.2.4. A iluminação artificial

Como se pode concluir no capítulo 2.6. as lâmpadas mais utilizadas pelas famílias do programa EcoFamílias para iluminação artificial são as lâmpadas incandescentes (que representam uma solução onde apenas 5% da electricidade consumida é convertida em luz) e lâmpadas de halogéneo. A adopção de lâmpadas mais eficientes potenciará uma redução dos gastos energéticos associados à iluminação natural das habitações.

A utilização de lâmpadas fluorescentes compactas consistirá numa redução de cerca de 80% do consumo de energia eléctrica e um aumento da vida útil entre 8 a 10 vezes. A substituição das

lâmpadas de halogéneo por LED (díodos emissores de luz), altamente eficientes, pode também significar poupanças de energia até 90% e um aumento de vida útil de cerca de 25 anos. [14] [30] [36]

Ainda assim, as lâmpadas fluorescentes compactas apresentam como desvantagem o facto de o seu fluxo luminoso não ser atingido rapidamente, o que torna desaconselhado o seu uso em locais onde os períodos de iluminação sejam curtos. A par disso, o seu custo inicial é bastante superior, compensando no entanto a longo prazo a preferência por estas lâmpadas. [14]

Para que o consumo energético associado à iluminação seja optimizado devem adoptar-se algumas medidas, além das já indicadas, como: [14] [36] [61]

- Manter as lâmpadas limpas para que seja possível obter maior luminosidade;
- Adaptar a iluminação às necessidades do espaço;
- Adoptar reguladores de intensidade luminosa;
- Usar lâmpadas tubulares fluorescentes em zonas com grande necessidade de iluminação (por exemplo, nas cozinhas);
- Pintar as paredes e o tecto com cores claras, que reflictam melhor a luz, reduzindo a necessidade de iluminação artificial;
- Colocar sensores de presença nas zonas comuns, garagens e armazéns para permitir que estes espaços sejam iluminados apenas quando necessário e optar por lâmpadas de longa duração em locais de difícil acesso;
- Optar por lâmpadas de classe energética A.

### 4.2.5. Utilização de fontes de energia renováveis

Para conseguir uma maior eficiência energética dos edifícios é importante diminuir o recurso a fontes de energia não renováveis, com recursos limitados e custos cada vez mais elevados. Desta forma, e como já foi referido no capítulo 1.1.2. do presente trabalho, sendo Portugal um país com um número médio anual de horas de Sol bastante elevado, situando-se, em Portugal Continental, entre as 2200 e 3000 horas anuais, a Energia Solar mostra-se uma fonte de energia a aproveitar tendo em conta os recursos existentes. Outro factor que demonstra o grande potencial da utilização da Energia Solar em Portugal é o facto de, como apresentado no capítulo 1.2. do presente trabalho, 94,9% das coberturas dos edifícios em Portugal serem inclinadas o que favorece o aproveitamento solar.

Por outro lado, o RCCTE, no Artigo 7º, prevê o recurso a sistemas de colectores solares térmicos para aquecimento de água sanitária nos edifícios abrangidos por este regulamento, sempre que haja uma exposição solar adequada. Desta forma, deve prever-se a colocação de colectores solares na base de 1 $m^2$ de colectores por ocupante convencional previsto. Segundo o RCCTE, entende-se por exposição solar adequada a "existência de cobertura em terraço ou de cobertura inclinada com água cuja normal esteja orientada numa gama de azimutes de 90º entre sudeste e sudoeste, que não sejam sombreadas por obstáculos significativos no período que se inicia diariamente duas horas depois do nascer do Sol e termina duas horas antes do ocaso". [32]

Importa ainda realçar o facto de os edifícios da classe energética mais representativa em Portugal nas décadas de 70 e 80 – classe C – serem aqueles com maiores necessidades de energia para aquecimento de águas quentes sanitárias com um total de 90,16 $kWh/m^2$.ano, o que evidencia a utilidade deste tipo de soluções para que seja possível reduzir os gastos energéticos das habitações.

Seria então bastante vantajoso o aproveitamento deste recurso inesgotável tanto a nível económico, constituindo uma poupança significativa de matérias primas como o gás natural ou o gás butano, como a nível ambiental já que não constituiria uma fonte de emissão de $CO_2$.

Através da figura 4.16 pode então constatar-se que, durante todo o ano, pelo menos metade das necessidades energéticas para aquecimento de água seriam satisfeitas através da energia fornecida por um sistema solar. Nos meses mais quentes do ano, Julho e Agosto, as necessidades encontrar-se-iam totalmente satisfeitas através do recurso a um sistema de colectores solares para aquecimento de AQS.

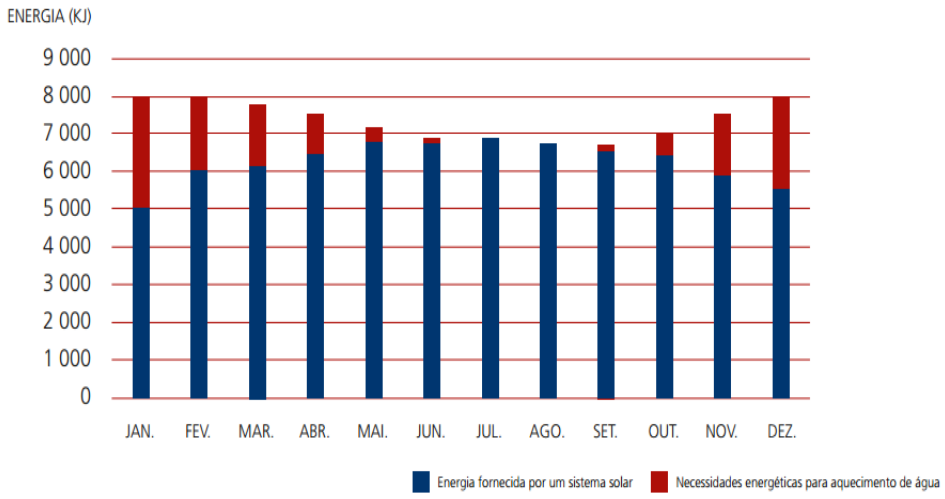


**Figura 4.16 - Cobertura solar das necessidades de água quente durante o ano [6]**

O esquema de instalação de painéis solares em habitações encontra-se na figura 4.17.

**Figura 4.17 - Esquema de instalação de painéis solares em habitações [4]**

Existem diferentes tipos de colectores solares térmicos, que dependem da protecção térmica que utilizam, da utilização, ou não, de concentração e que se adequam a diferentes tipos de utilização. Podem distinguir-se quatro grupos diferentes de colectores solares térmicos: [62]

- Colectores planos sem cobertura: utilizados para aquecimento de piscinas;
- Colectores planos com cobertura: utilizados para aquecimento de águas;
- Colectores concentradores (CPC) com cobertura: utilizados para aquecimento de águas e produção de vapor;
- Colectores de tubo de vácuo: utilizados para aquecimento de águas e produção de vapor.

Na figura 4.18 é possível perceber quais os tipos de colectores solares térmicos que potenciam maiores temperaturas de aquecimento de água. Para utilização doméstica, o colector plano possibilita o aquecimento de águas até 60ºC pelo que se demonstra suficiente para este efeito.

**Figura 4.18 - Tipos de colectores solares de acordo com a sua temperatura de utilização [62]**

Além de ser bastante útil para o aquecimento de águas, a energia solar oferece também a possibilidade de ser convertida em energia eléctrica através da utilização de painéis fotovoltaicos nos edifícios, tal como foi referido no capítulo 2.1.2. da presente dissertação. O nível de eficiência deste tipo de sistema depende da intensidade da radiação solar e da temperatura do ar. [59]

A par da energia solar, também a energia da biomassa pode ser aproveitada no interior das habitações através da adopção de aparelhos como fogões de "pellets". Estes aparelhos de aquecimento utilizam como material combustível sólido limpo, proveniente da secagem ou serradura de madeira, mais barato e ecológico que os convencionais. Desta forma, é possível aquecer o ambiente interior das fracções autónomas dos edifícios sem que para isso seja necessário recorrer a fontes de energia não renováveis.

Os recuperadores de calor a "pellets" apresentam elevados rendimentos na produção de calor dispondo de funcionalidades como: [4]

- Controlo da temperatura;
- Alimentação automática;
- Compactação automática das cinzas;
- Ausência de produção de fumos;
- Entre outras.

Um aparelho de aquecimento a biomassa apresenta como grande vantagem a maior segurança de utilização. Por outro lado, o facto das cinzas produzidas terem de ser removidas periodicamente e a necessidade da existência de um local para armazenamento da biomassa constituem as principais desvantagens desta solução. [4]

## 4.3. PLANO DE MANUTENÇÃO

Com o passar dos anos tem-se assistido a uma degradação acentuada do parque habitacional português que, estando o mercado da construção cada vez mais saturado, tem levado a que este se apresente progressivamente mais envelhecido. Tal facto tem conduzido a que se tenha vindo a perder importantes características dos edifícios ao nível da sua funcionalidade, salubridade e qualidade. [63]

É importante pois, que sejam implementadas medidas que visem a obrigatoriedade da manutenção e da conservação dos edifícios. Desta forma, aumentar-se-á o período de vida útil dos mesmos, reduzindo os custos energéticos de funcionamento e aumentando deste modo, a qualidade de vida e segurança dos habitantes. [63]

Uma correcta manutenção dos edifícios, baseada num plano de manutenção bem estruturado e efectuado na fase de projecto, poderá não só garantir um aumento da vida útil dos edifícios, como também informar e sensibilizar os habitantes para a real importância do seu papel durante a fase de utilização dos edifícios em que habitam.

De futuro, se forem adoptadas medidas neste sentido, o envelhecimento dos edifícios poderá tornar-se cada vez menos acentuado e as eventuais deficiências poderão ser corrigidas de forma mais atempada e com menos custos. Além disso, a qualidade de vida dos habitantes será mantida por mais tempo. No entanto, é preciso uma sensibilização para com a população para que percebam efectivamente a importância deste tipo de acções e não as entendam como uma fonte de gastos e de custos desnecessários.

No quadro 4.9 apresentam-se algumas das medidas que devem ser adoptadas para que seja assegurada uma correcta manutenção das habitações e edifícios. Os prazos constantes no referido quadro são apenas indicadores de boas práticas não contemplando eventuais imprevistos que possam surgir e que impliquem que haja necessidade de intervenções antes dos prazos previstos.

**Quadro 4.9 - Plano de manutenção dos edifícios, [63], adaptado**

| Componente | Aspectos a verificar | Periodicidade | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mensal | 4 em 4 meses | 6 em 6 meses | 1 em 1 ano | 2 em 2 anos | 3 em 3 anos | 5 em 5 anos | 6 em 6 anos | 10 em 10 anos |
| **Estrutura** | Fissuras, rachas, deformações, quedas parciais | | | | | ■ | | | | |
| | Análise técnica estrutural | | | | | | | | | ■ |
| **Paramentos exteriores** | Revisão do estado da pintura | | | | | ■ | | | | |
| | Revisão da estabilidade dos elementos de adorno, decoração e protecção | | | | | ■ | | | | |
| | Pintura geral do edifício | | | | | | | | ■ | |
| **Paramentos interiores, tectos e pavimentos** | Revisão do estado da pintura | | | | | ■ | | | | |
| | Pintura dos paramentos interiores e tectos | | | | | | ■ | | | |
| | Verificação de fenómenos de humidade | | | ■ | | | | | | |
| **Cobertura** | Limpeza de caleiras e algerozes | | | ■ | | | | | | |
| | Revisão geral do telhado | | | | ■ | | | | | |
| | Revisão do sistema de impermeabilização | | | | | | | ■ | | |
| **Vãos** | Revisão do sistema de protecção solar (estore/portada) | | | | ■ | | | | | |
| | Revisão/substituição do mástique de vedação ou borrachas | | | | ■ | | | | | |
| **Ventilação** | Revisão dos sistemas de ventilação passivos e activos | | | | ■ | | | | | |
| **Equipamentos** | Revisão do esquentador, caldeira e fogão | | | | ■ | | | | | |
| | Revisão e limpeza de filtros de água, torneiras e contadores | | | ■ | | | | | | |
| | Revisão de aparelhagem de iluminação e energia | | | | ■ | | | | | |
| **Ascensores** | Operação de manutenção | ■ | | | | | | | | |
| | Revisão geral dos equipamentos | | | | | | | ■ | | |
| **Sistemas de incêndio** | Verificação local de extintor | | ■ | | | | | | | |
| | Verificação do sistema de desenfumagem | | | ■ | | | | | | |
| | Verificação da validade dos extintores | | | | ■ | | | | | |
| **Instalações e tubagens** | Verificação das instalações eléctricas (iluminação, tomadas, interruptores) | ■ | | | | | | | | |
| | Verificação das tubagens (água e gás) e detecção de fugas | | | | ■ | | | | | |
| | Verificação da estanquidade das tubagens | | | | ■ | | | | | |
| **Portas e pavimentos de madeira** | Afagamento e envernizamento de todas as madeiras com três camadas de verniz de baixa toxicidade | | | | | | | | | ■ |
| | Verificação do estado das portas interiores | | | | | ■ | | | | |
| | Lubrificação das ferragens das portas | | | | ■ | | | | | |

## 4.4. PROCEDIMENTOS DE UTILIZAÇÃO

Para garantir que as habitações mantêm níveis reduzidos de dependência de energia com base em fontes não renováveis mantendo elevados níveis de conforto como desejados e inicialmente definidos, apresentam-se algumas medidas que os habitantes/ocupantes devem procurar implementar durante a fase de utilização dos edifícios.

Os ocupantes das habitações são determinantes no seu funcionamento. Os seus comportamentos, as suas exigências e necessidades têm implicação directa no desempenho dos edifícios onde habitam. Por isso, não e suficiente que sejam adoptadas praticas construtivas que valorizem a eficiência energética das construções se, durante a vida útil dos edifícios, a sua utilização for deficiente e comprometer todos os esforços efectuados. Assim sendo, devem sensibilizar-se os habitantes para o papel determinante que desempenham nas suas habitações e para o facto de serem potenciais causadores de níveis mais reduzidos de eficiência e desempenho energético das fracções autónomas onde habitam.

### Ventilação natural [35] [63] [64]

A ventilação das habitações deve ser geral e permanente. Mesmo nos períodos de Inverno, onde as diferenças de temperatura entre o interior das habitações e o exterior dos edifícios são superiores a 8ºC e as janelas devem ser mantidas fechadas, a ventilação não pode deixar de acontecer.

A ventilação natural tem duas funções essenciais: garantir em permanência a boa qualidade do ar interior da habitação (diminuindo a sua humidade relativa) e possibilitar o seu arrefecimento quando necessário através da abertura de janelas com orientações opostas ou pelos sistemas autónomos instalados nas instalações sanitárias, cozinhas e salas de estar. Os espaços com excesso de humidade, como é o caso das instalações sanitárias e cozinhas devem estar concebidos por forma a terem sempre ventilação natural, sem que tal afecte o conforto térmico da habitação.

Para tal, é importante que o edifício possua uma forma que permita que o ar flua e que a abertura dos vãos a norte e sul da fracção autónoma ou a nascente e poente para que com o diferencial de temperaturas seja garantida a dissipação do ar necessária.

A ventilação das habitações pode ser de dois tipos, consoante esta se efectue separadamente por compartimentos (fig. 4.19) ou conjuntamente para toda a habitação (fig. 4.20). O primeiro tipo de ventilação pressupõe que a abertura das janelas seja efectuada pelos ocupantes e funciona sem grandes problemas nos edifícios com alguns anos de construção; no segundo, a admissão de ar é feita pelos compartimentos principais (salas e quartos), dá-se a passagem de ar interior dos compartimentos principais para os de serviço (instalações sanitárias e cozinha) e a evacuação de ar faz-se nos compartimentos de serviço.

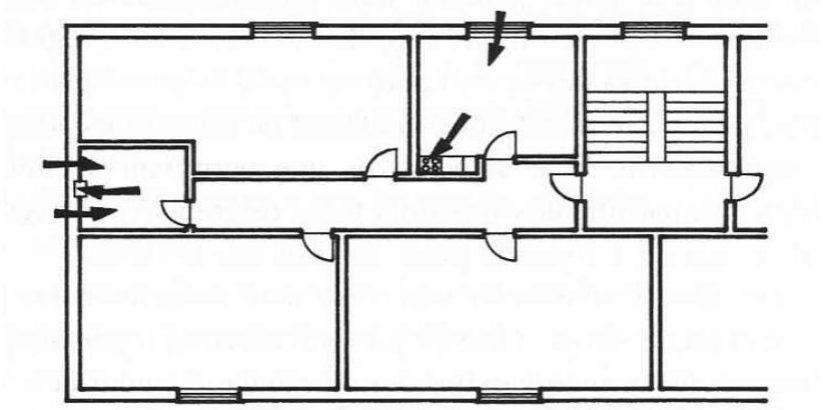

**Figura 4.19 - Ventilação de uma habitação separadamente por compartimentos**

**[35]**

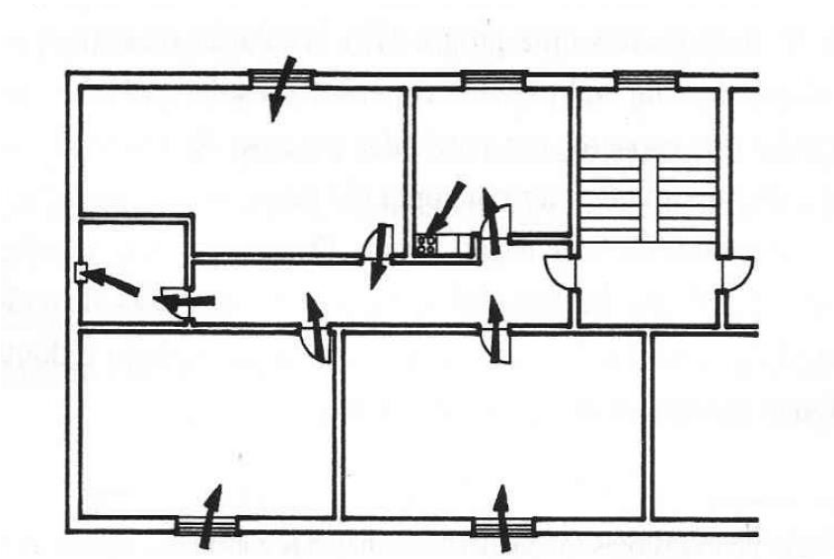

**Figura 4.20 - Ventilação conjunta de uma habitação [35]**

Assim, devem ser abertas as janelas no interior das fracções autónomas sempre que se sinta demasiado calor no interior da fracção autónoma. As janelas a abrir deverão estar sempre situadas em partes opostas da habitação, isto é, uma janela no alçado Norte/Nascente e outra no alçado Sul/Poente. Desta forma, irá sentir-se rapidamente uma redução da temperatura do ar interior da fracção autónoma e atingir-se-ão, mas rapidamente, os níveis de conforto desejados de forma mais eficiente.

É essencial que os ocupantes sejam sensibilizados para o facto de ser necessário manter encerradas as portas dos locais onde existe maior produção de vapor de água (cozinhas, instalações sanitárias zonas de lavagem de roupas, etc.) uma vez que esta acção tem contribuição directa para a redução dos valores médios da humidade relativa.

É igualmente importante baixar os estores exteriores nos períodos onde a incidência solar for maior uma vez que estes controlam a iluminação e ajudam no arrefecimento dos espaços interiores.

## Ventilação mecânica [32] [35] [63] [64]

É desaconselhado o uso de exaustor mecânico uma vez que este reduz consideravelmente o caudal de renovação do ar usado e da humidade. Este tipo de equipamento além de consumir energia não funciona nem cumpre a sua função quando se encontra desligado. No caso das instalações sanitárias possuírem extractores mecânicos que não sejam independentes dos pontos de luz, deve corrigir-se esta situação para que a extracção do ar viciado seja independente da iluminação e possa funcionar mesmo as luzes apagadas, constituindo uma diminuição dos gastos energéticos para esta operação. Estes equipamentos, para que sejam eficazes, devem ser colocados em funcionamento durante períodos de tempo geralmente longos até que e tenha procedido à extracção total do excesso de vapor de água produzido nos compartimentos onde se encontram instalados.

Esta ideia é ainda reforçada se tivermos em conta que, segundo a NP 1037-1 (Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás - Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação Natural) de 2002, a instalação de exaustores com ventilador incorporado, por constituírem sistemas de ventilação mecânicos – que, segundo o RCCTE, permitem a renovação do ar interior por ar novo atmosférico exterior recorrendo a ventiladores movidos a energia eléctrica –, não ser permitida

já que a sua integração em sistemas de ventilação natural implica graves distúrbios que levam ao incumprimento das exigências de ventilação.

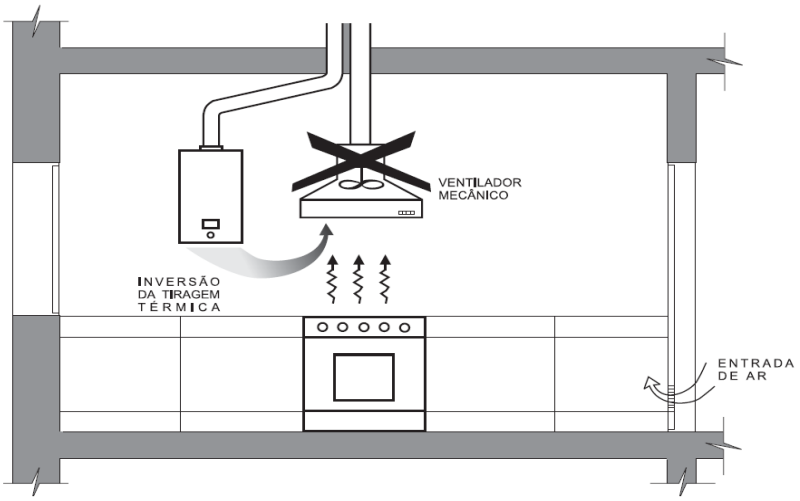


**Figura 4.21 - Impossibilidade de combinação de exaustão mecânica com ventilação natural [64]**

## Sistemas de sombreamento exteriores [63]

Todos os vãos de janelas devem possuir sombreamento pelo exterior que, dependendo da orientação solar, poderão ser do tipo activo ou passivo.

Os estores, que devem existir em todas as janelas, poderão ser regulados manualmente por forma a controlar a entrada de mais ou menos luz, consoante as necessidades dos habitantes no que diz respeito a iluminação e/ou necessidades de aquecimento e arrefecimento. A manutenção dos estores deve ter em conta que, no acto de limpeza, não devem ser danificadas as lâminas, os fios e os seus mecanismos para que esteja garantida a sua qualidade durante a sua vida útil.

As varandas e as palas exteriores têm a função de constituírem sombreamento das janelas nos alçados do quadrante Sul do edifício durante o solstício de verão e durante os meses mais quentes do ano.

## Selecção e utilização de equipamentos [36] [63]

A escolha de aparelhos de classe energética elevada constitui uma boa prática de poupança de energia numa habitação. Como tal, no acto de aquisição de máquinas deve optar-se por aquelas cujo nível de eficiência energética é da classe A ou superior.

No que diz respeito às máquinas de roupa, para uma maior poupança energética, devem apenas ligar-se estes equipamentos com a carga completa e devem ser evitados os programas com ciclos desnecessários bem como seleccionar aqueles que consumam menos quantidade de água. Também no que às máquinas de loiça diz respeito devem evitar-se as lavagens que não sejam efectuadas com a carga completa. Em ambos os casos uma limpeza regular dos filtros e remoção de depósitos trará benefícios no desempenho das máquinas.

O frigorífico deverá ter a temperatura do termóstato regulada por forma a evitar a formação de gelo e gastos energéticos desnecessários. Além disso, devem evitar manter-se o frigorifico próximo de fontes de calor, evitar a abertura desnecessária da porta do mesmo e não o encher demasiado nem colocar no

seu interior alimentos quentes. A grelha traseira do frigorifico deverá estar agastada da parede pelo menos 10 cm e deve ser limpa anualmente. Durante os períodos em que os ocupantes se ausentem mais do que 4 semanas devem esvaziar-se e desligar-se os aparelhos de frio. É ainda determinante a classe energética do aparelho que deve ser superior à classe A+.

Em relação à iluminação das habitações é importante adquirir o hábito de desligar as luzes sempre que estas não sejam necessárias  deve evitar-se deixar os equipamentos eléctricos na posição *stand by* porque o consumo de energia é constante, ainda que desnecessário. A correcta escolha das lâmpadas, optando por lâmpadas economizadores em vez de incandescentes, será também uma prática a ter em conta.

## 4.5. MODELO DE INTERVENÇÃO

Depois de se terem identificado as maiores deficiências dos edifícios construídos em Portugal entre 1970 e 1990 e quais as técnicas construtivas que podem ser adoptadas no processo de reabilitação de edifícios com o objectivo de aumentar a sua eficiência e desempenho energético, importa esquematizar e sistematizar qual será o modelo de intervenção a assumir. Para isso, foi realizado um esquema que apresenta todas as hipóteses de intervenção no que diz respeito à melhoria da envolvente exterior dos edifícios de habitação, à utilização de fontes de energias renováveis nas habitações, à melhoria do comportamento dos ocupantes e à utilização de equipamentos eléctricos mais eficientes. O referido esquema encontra-se apresentado na figura 4.22 e servirá de base à fase seguinte do presente trabalho.

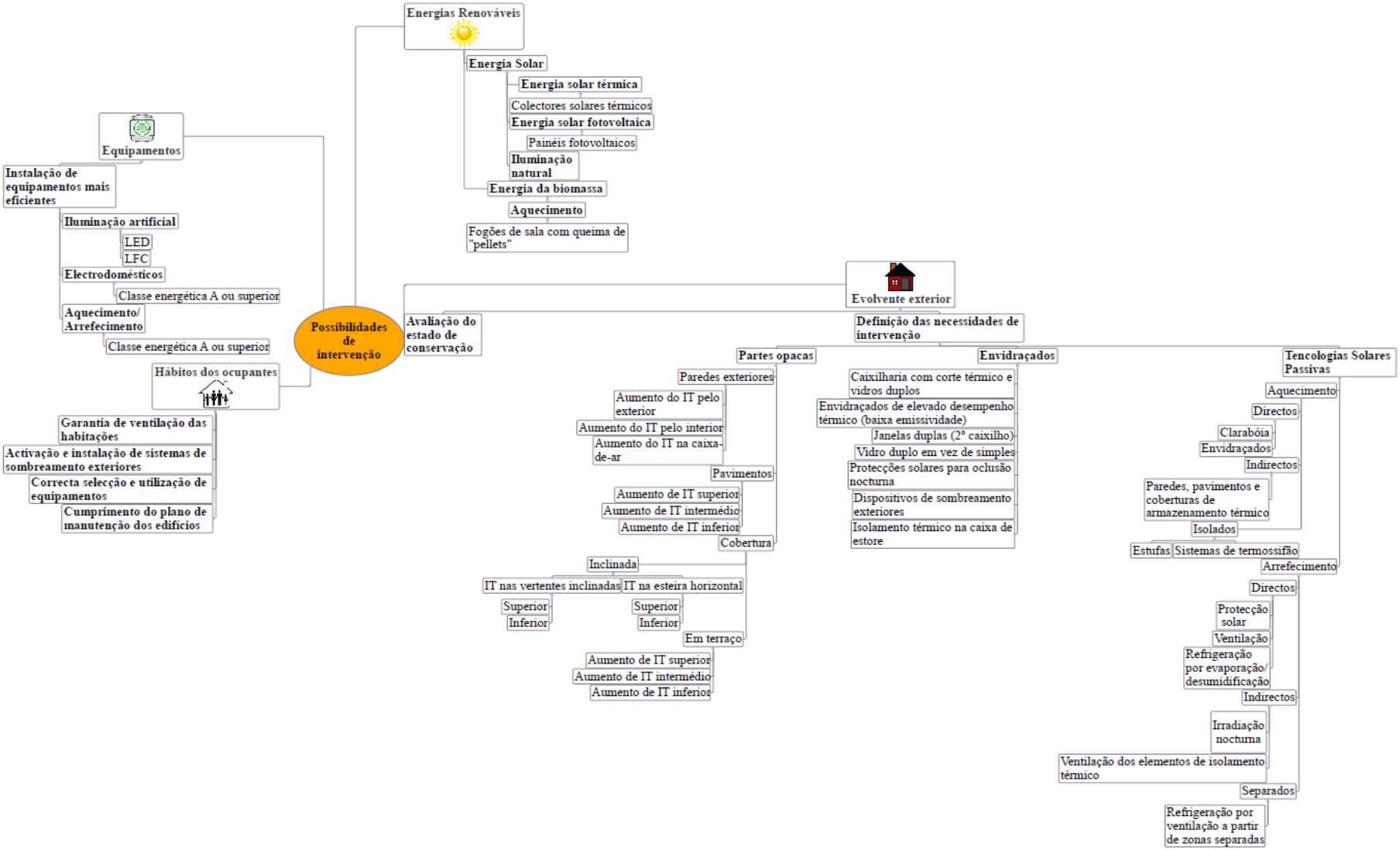


**Figura 4.22 - Possibilidades de intervenção no aumento da eficiência e desempenho energético no processo de reabilitação de edifícios de habitação**

# 5. ANÁLISE DA METODOLOGIA DE ESTUDO

Por forma a elaborar o modelo final de intervenção no processo de reabilitação de edifícios de habitação com objectivo de aumentar a sua eficiência e desempenho energético foi, primeiramente, elaborado um esquema com o objectivo de resumir quais as possibilidades de intervenção mencionadas ao longo do presente trabalho. Em seguida, foi realizado um questionário e enviado a um grupo de peritos na matéria que teve como função poder realizar uma hierarquia das medidas mencionadas e, assim, realizar o modelo final de intervenção.

O questionário realizado foi construído com base no esquema anteriormente apresentado no capítulo 4.5 do presente trabalho e o seu modelo encontra-se nos anexos. Através da análise das respostas obtidas no questionário foi possível perceber quais as medidas cuja implementação traria maiores vantagens no que diz respeito a sua eficiência e do ponto de vista do custo-benefício da solução.

## 5.1. ANÁLISE DE RESULTADOS

O questionário elaborado foi enviado a um painel de peritos, nacionais e internacionais, nas áreas da reabilitação, eficiência e desempenho energético de edifícios intervenientes em processos de certificação e investigação a nível europeu. Assim, o questionário foi enviado a um total de 45 profissionais tendo-se obtido 19 respostas.

No que diz respeito à área de formação académica dos inquiridos, constatou-se que a maioria eram profissionais formados em arquitectura e engenharia civil. Os resultados respeitantes à formação académica dos inquiridos encontram-se na figura 5.1.

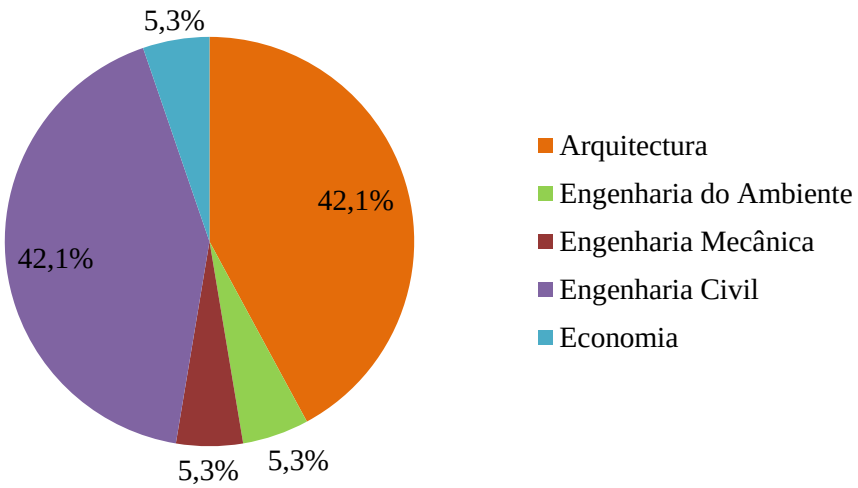


**Figura 5.1 - Formação académica dos participantes no questionário elaborado**

Em primeiro lugar, procurou efectuar-se uma hierarquização das principais medidas a ter em consideração no processo de reabilitação energética de edifícios de habitação. Para tal, foi pedido que os inquiridos ordenassem (de 1 a 4, sendo 1 a medida mais eficiente e 4 a medida menos eficiente) as quatro principais medidas consideradas no presente trabalho e que se encontram no esquema apresentado na figura 4.22: melhoria do isolamento da envolvente exterior, introdução de fontes de energia renováveis nas habitações, opção por equipamentos eléctricos mais eficientes e modificação dos comportamentos dos utilizadores. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na figura 5.2.

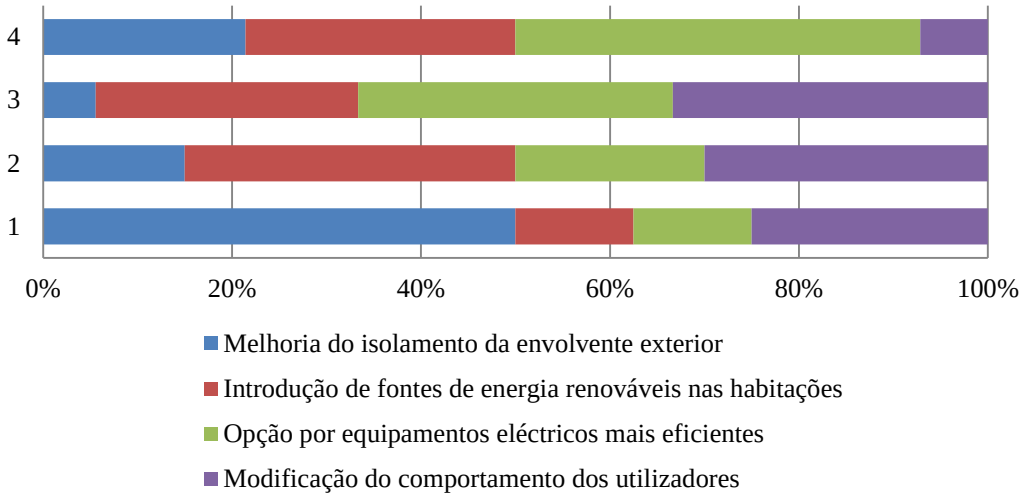


**Figura 5.2 - Hierarquização de medidas a considerar, do ponto de vista do nível de eficiência, no processo de aumento da eficiência e desempenho energético no processo de reabilitação de edifícios de habitação em Portugal**

Desta forma, é possível concluir que a medida mais eficiente seria a melhoria do isolamento da envolvente exterior. Em seguida, deve procurar criar-se condições para a introdução de fontes de energia renováveis nas habitações e, posteriormente, implementar uma modificação do comportamento dos utilizadores. A opção por equipamentos eléctricos mais eficientes apresenta-se como a menos eficiente, para os profissionais que participaram no questionário.

O modelo de intervenção formulado no presente trabalho encontra-se assente nas quatro medidas anteriormente descritas e que foram analisadas pelos peritos. Quando se questionaram os profissionais que responderam ao questionário se adoptariam o referido modelo de intervenção se tivesse como objectivo aumentar a classe energética de um edifício em , pelo menos, uma classe, tendo em conta que se constatou que a maioria dos edifícios analisados pertencem a classe energética C e que um edifício que cumpra os mínimos regulamentares deve apresentar classe energética B-, os resultados foram positivos. A maioria dos inquiridos respondeu afirmativamente, tendo 16% indicado que não se baseariam num modelo como o formulado no presente trabalho. Entre as razões para não adoptarem o presente modelo, surgem questões como o facto da modificação dos comportamentos dos utilizadores não ser contemplada na classe energética de um edifício de habitação e o facto de para o consumidores final a classe energética não ser um ponto essencial, interessando apenas que a diminuição da factura energética seja acompanhada da manutenção ou melhoramento dos níveis de conforto. Desta forma, a validação do modelo elaborado foi conseguida e prosseguiu-se o processo de hierarquização de medidas de intervenção.

Por forma a aprofundar quais as medidas que deviam ser primeiramente tomadas no processo de aumento de eficiência e desempenho energético dos edifícios de habitação no processo de reabilitação dos mesmos, os participantes no questionário efectuaram uma nova hierarquização de medidas de intervenção mais especificas. As medidas que necessitariam de ordenar, do ponto de vista do seu momento de aplicação, foram as seguintes: aumento da classe energética dos equipamentos domésticos, melhoria das características dos envidraçados, aumento do isolamento térmico da cobertura, aumento do isolamento térmico dos pavimentos em contacto com o exterior ou com espaços não aquecidos, aumento do isolamento térmico das paredes exteriores, instalação de equipamentos para o uso de fontes de energia renováveis e sensibilização dos habitantes para a adopção de medidas correctas de utilização e manutenção. Os resultados obtidos encontram-se na figura 5.3.

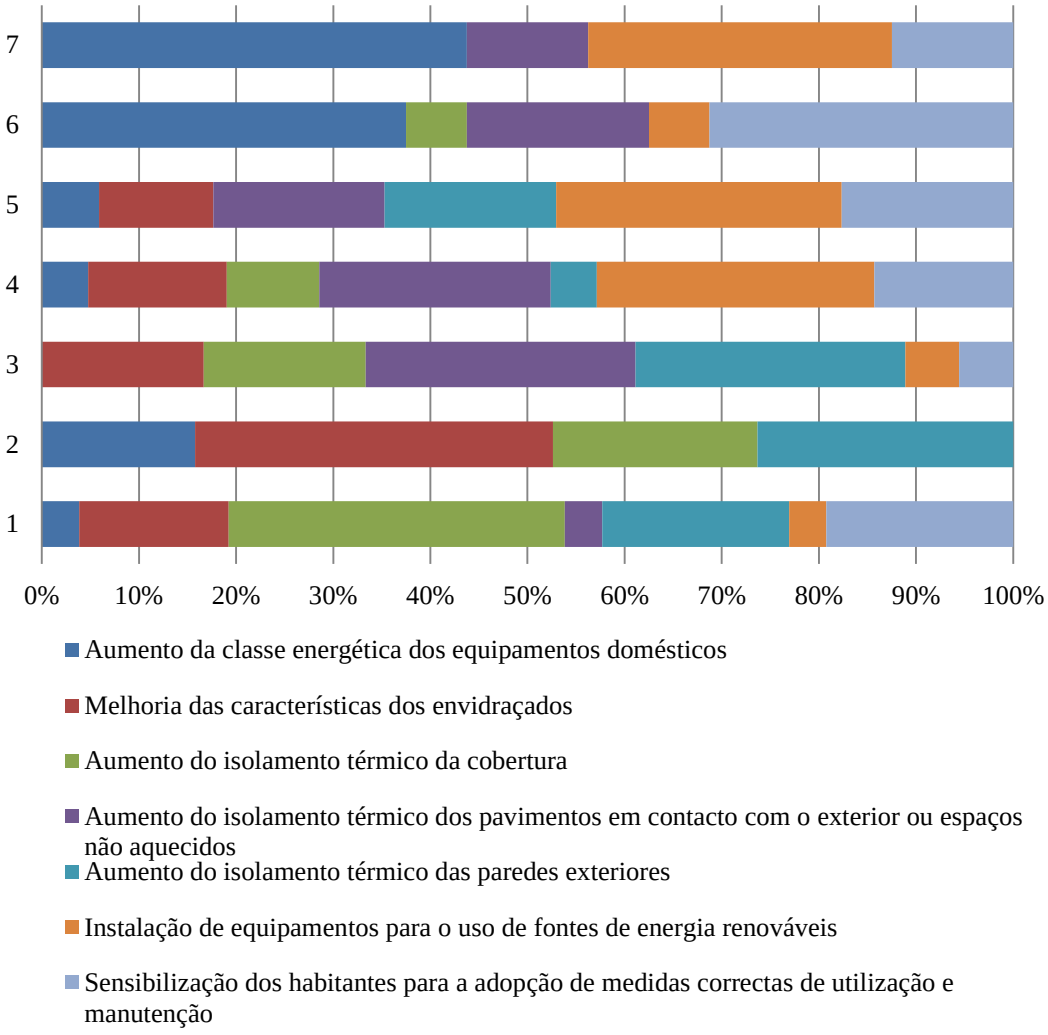


**Figura 5.3 - Hierarquização de medidas a considerar no processo de aumento da eficiência e desempenho energético no processo de reabilitação de edifícios de habitação em Portugal, do ponto de vista do momento de aplicação das mesmas**

Desta forma, é possível concluir que o modelo criado no presente trabalho deve ser aplicado por forma a que, primeiramente, seja efectuado um aumento do isolamento térmico da cobertura uma vez que esta foi a medida que foi considerada como aquela que devia ser adoptada inicialmente. A hierarquização das medidas, segundo os resultados obtidos, apresenta-se de seguida:

1º. Aumento do isolamento térmico da cobertura;
2º. Melhoria das características dos envidraçados;
3º. Aumento do isolamento térmico dos pavimentos em contacto com o exterior ou com espaços não aquecidos e aumento do isolamento térmico das paredes exteriores;
4º. Instalação de equipamentos para o uso de fontes de energia renováveis;
5º. Sensibilização dos habitantes para a adopção de medidas correctas de utilização e manutenção;
6º. Aumento da classe energética dos equipamentos domésticos.

Assim, foi possível definir qual a ordem de aplicação de medidas que possibilitam o aumento da eficiência e desempenho energético de edifícios de habitação no processo de reabilitação.

Em seguida, procurou analisar-se mais profundamente cada uma das medidas apresentadas anteriormente. Desta forma, foram colocadas hipóteses específicas de intervenção que foram também hierarquizadas pelos inquiridos.

Relativamente à melhoria da classe energética dos equipamentos domésticos procurou concluir-se que tipo de equipamentos, quando trocados por uns mais eficientes, conduziria a maior efeito na classe energética do edifício de habitação no qual se encontravam inseridos. Para isso, consideraram-se os aparelhos de iluminação, de aquecimento/arrefecimento e restantes electrodomésticos. Foi pedido que fosse realizada uma hierarquização tendo em conta qual seria o equipamento que produziria maior e menor efeito. Os resultados obtidos encontram-se na figura 5.4.

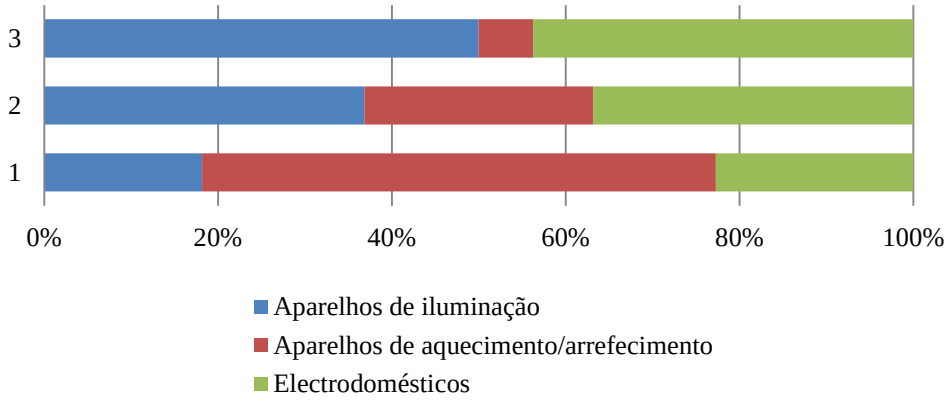


**Figura 5.4 - Hierarquização dos aparelhos domésticos cuja mudança por uns de maior classe energética conduziria a um aumento da classe energética dos edifícios de habitação nos quais estão inseridos**

Foi possível concluir-se que os aparelhos de aquecimento/arrefecimento são aqueles que deve procurar alterar-se em primeiro lugar, efectuando uma substituição por aparelhos de maior classe energética. Em seguida, os electrodomésticos surgem como os aparelhos domésticos que devem ser alterados e, por fim, os aparelhos de iluminação são aqueles cuja substituição por outros mais eficientes menos influência tem num possível aumento da classe energética dos edifícios de habitação nos quais estão inseridos.

Os aparelhos de iluminação que devem ser utlizados nos edifícios de habitação, por forma a conseguir uma melhoria da eficiência energética dos mesmos, são as lâmpadas LED ou fluorescentes compactas, segundo 95% dos inquiridos.

A classe energética mínima dos aparelhos de aquecimento/arrefecimento e restantes electrodomésticos (como máquina de lavar roupa, máquina de lavar loiça, máquina de secar, entre outros) por forma a conseguir um aumento do desempenho energético dos edifícios em que se encontram inseridos, é classe A+, segundo 53% dos peritos. Os resultados obtidos neste sentido encontram-se na figura 5.5.

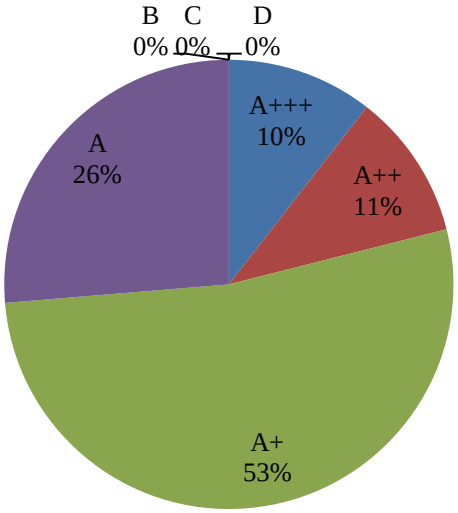


**Figura 5.5 - Classe energética mínima a adoptar nos aparelhos de aquecimento/arrefecimento e restantes electrodomésticos, por forma a conseguir um aumento do desempenho energético dos edifícios de habitação em que se encontram inseridos**

Também no que diz respeito aos envidraçados, procurou perceber-se que medidas que tivessem em vista a melhoria das suas características seriam mais eficientes. Os resultados obtidos encontram-se na figura 5.6 e servirão de base na elaboração da hierarquização das soluções.

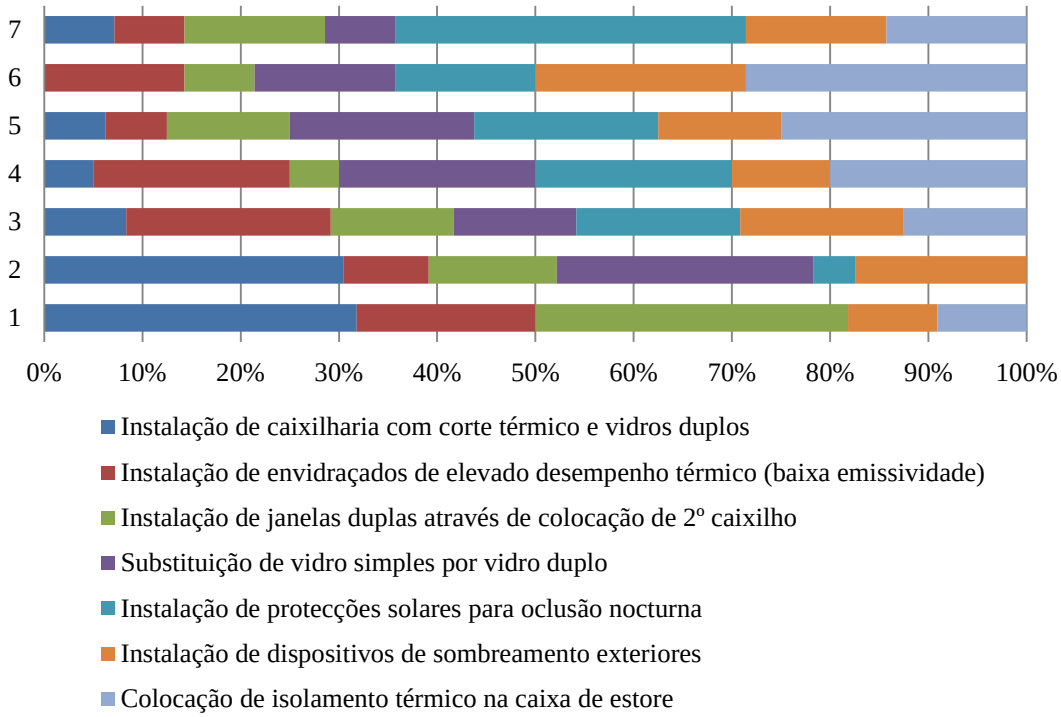


**Figura 5.6 - Hierarquização de medidas de melhoria das características dos envidraçados tendo em conta o aumento da eficiência energética dos edifícios de habitação em que estão instalados**

Através dos resultados obtidos é possível efectuar uma hierarquização das medidas de melhoria das características dos envidraçados quando se pretenda garantir um aumento da eficiência energética dos edifícios de habitação em que estão inseridos:

1º. Instalação de caixilharia com corte térmico e vidros duplos ou instalação de janelas duplas através de colocação de um segundo caixilho;
2º. Substituição de vidro simples por vidro duplo;
3º. Instalação de envidraçados de elevado desempenho térmico (baixa emissividade);
4º. Colocação de isolamento térmico na caixa de estore;
5º. Instalação de protecções solares para oclusão nocturna;
6º. Instalação de dispositivos de sombreamento exteriores.

Tendo sido o aumento de isolamento térmico em coberturas a medida que, através da análise dos resultados questionário, se apresenta como sendo a primeira a adoptar, procurou perceber-se qual a melhor solução de aplicação de isolamento térmico em coberturas inclinadas e em terraço.

No que diz respeito a coberturas inclinadas foram consideradas quatro hipóteses de intervenção por forma a aumentar o isolamento térmico (IT) neste tipo de coberturas: colocação de IT superior nas vertentes inclinadas, colocação de IT inferior nas vertentes inclinadas, colocação de IT superior na esteira horizontal e colocação de IT inferior na esteira horizontal. Foi então pedido que fosse efectuada uma hierarquização das referidas medidas por forma a perceber qual seria mais eficiente num processo de reabilitação de edifícios de habitação com objectivo de aumentar a sua eficiência e desempenho energético. Os resultados obtidos encontram-se na figura 5.7.

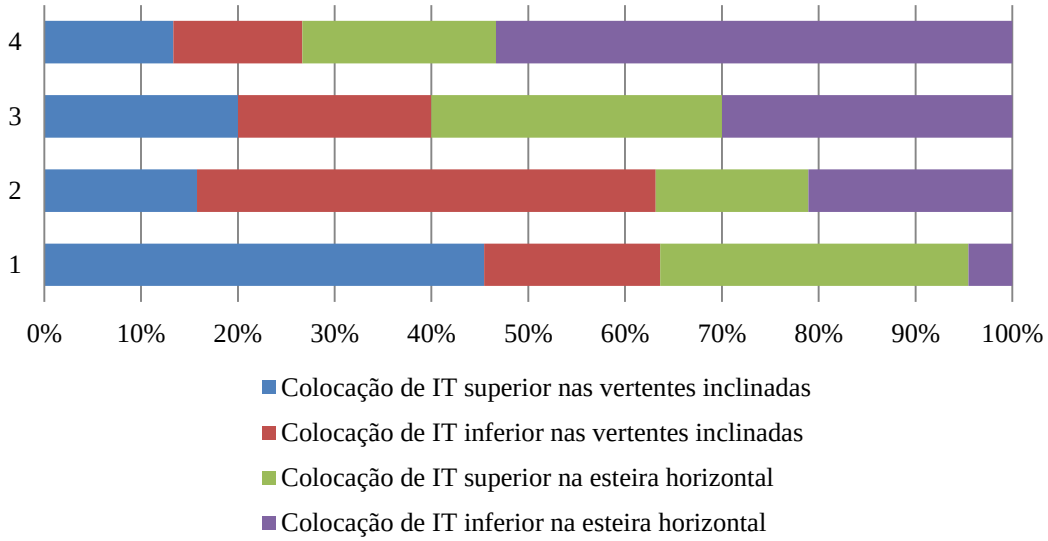


**Figura 5.7 - Hierarquização das diferentes hipóteses de intervenção em coberturas inclinadas com objectivo de aumentar o seu isolamento térmico, tendo em conta os seus níveis de eficiência**

Quando se procura aumentar o isolamento térmico de uma cobertura inclinada as soluções mais eficientes são a colocação de isolamento térmico superior nas vertentes inclinadas e na esteira horizontal, seguida da colocação de isolamento térmico inferior vertentes. Por fim, a colocação de isolamento térmico inferior na esteira horizontal apresenta-se como a medida menos eficiente.

Analogamente ao que foi feito para coberturas inclinadas, procurou perceber-se qual a hipótese de intervenção mais eficiente no aumento de isolamento térmico em coberturas em terraço nos edifícios de habitação quando se procurava aumentar a sua eficiência e desempenho energético. Os resultados obtidos apresentam-se na figura 5.8.

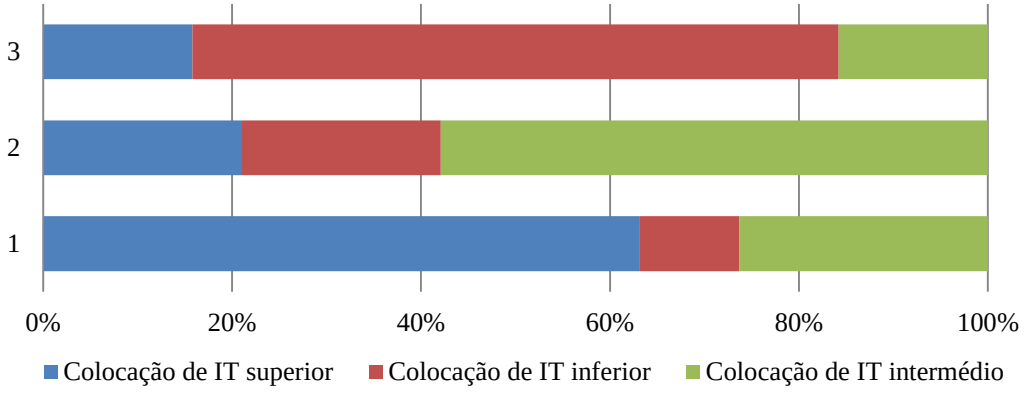


**Figura 5.8 - Hierarquização das diferentes hipóteses de intervenção em coberturas em terraço com objectivo de aumentar o seu isolamento térmico, tendo em conta os seus níveis de eficiência**

Conclui-se se que deve, em primeiro lugar, optar pela opção de colocação de isolamento térmico superior, seguida pela colocação de IT intermédio e, por fim, a colocação de IT inferior. Esta hierarquização tem em conta o grau de eficiência quando se procura o aumento de eficiência e desempenho energético no processo de reabilitação de edifícios de habitação de cada uma das referidas medidas.

Em relação ao aumento do isolamento térmico em pavimentos em contacto com o exterior ou com espaços não aquecidos – medida que foi considerada, pelos peritos, como a terceira mais eficiente no processo de reabilitação de edifícios de habitação com o objectivo de aumentar a sua eficiência e desempenho energético – foi igualmente pedido aos inquiridos que efectuasse uma hierarquização das diferentes medidas de colocação de isolamento térmico. Foi possível concluir que a solução mais eficiente consiste na colocação de isolamento térmico superior, seguida da colocação de isolamento térmico intermédio e, por fim, inferior. Os resultados obtidos encontram-se na figura 5.9.

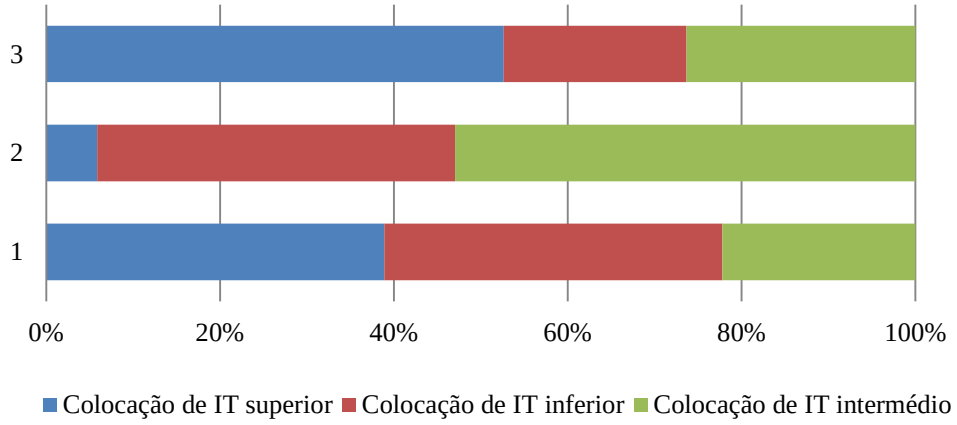


**Figura 5.9 - Hierarquização das diferentes hipóteses de intervenção em pavimentos em contacto com o exterior ou com espaços não aquecidos com objectivo de aumentar o seu isolamento térmico, tendo em conta os seus níveis de eficiência**

Por fim, relativamente ao aumento do isolamento térmico em paredes exterior, foi pedido aos peritos que ordenassem segundo o grau de eficiência as seguintes medidas: colocação de isolamento térmico pelo exterior, colocação de isolamento térmico pelo interior e colocação de isolamento térmico na caixa de ar (no caso de paredes duplas). A melhor solução, segundo os peritos, é a colocação de isolamento térmico pelo exterior, seguida da colocação de isolamento térmico na caixa-de-ar e, por fim, a colocação de isolamento térmico interior. Os resultados obtidos encontram-se na figura 5.10.

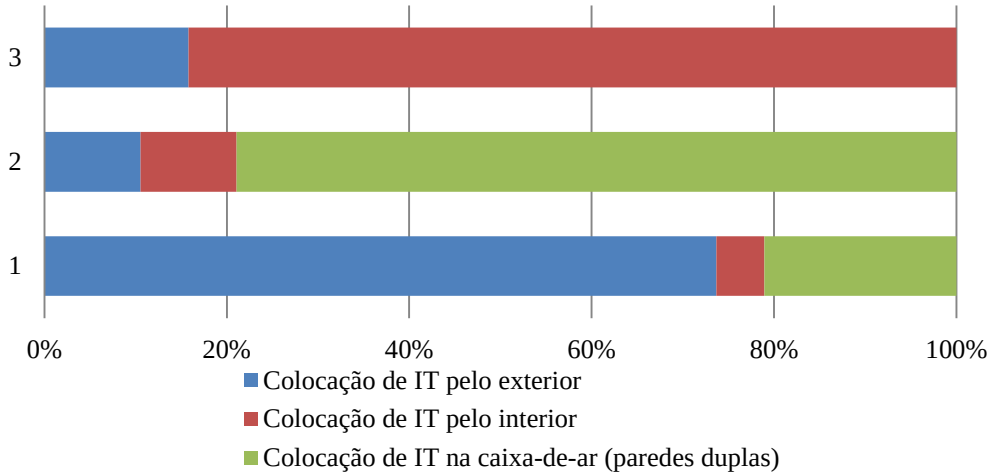


**Figura 5.10 - Hierarquização das diferentes hipóteses de intervenção em paredes exteriores com objectivo de aumentar o seu isolamento térmico, tendo em conta os seus níveis de eficiência**

Uma opção também considerada no presente trabalho foi a implementação de soluções solares passivas quer de aquecimento quer de arrefecimento nos edifícios de habitação por forma a aumentar o seu desempenho energético. Relativamente às soluções solares passivas de aquecimento, foram considerados os três tipos de sistemas já referidos no capítulo 4.2.1 do presente trabalho: de ganhos directos, de ganhos indirectos e de ganhos isolados. No que diz respeito às soluções solares passivas de arrefecimento foram considerados os sistemas de arrefecimento directos, indirectos e se parados. Os resultados obtidos, quando foi pedido que fosse efectuada uma ordenação das diferentes medidas segundo a sua facilidade de aplicação em reabilitação, encontram-se apresentados na figura 5.11 (para soluções de aquecimento) e na figura 5.12 (para soluções de arrefecimento).

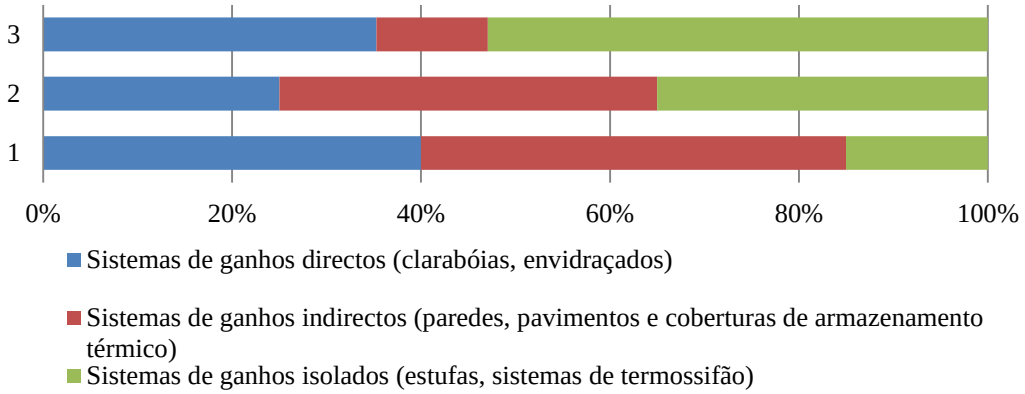


**Figura 5.11 - Hierarquização das diferentes soluções solares passivas de aquecimento, tendo a sua facilidade de implementação, a adoptar no processo de reabilitação de edifícios quando se pretenda aumentar o seu desempenho energético**

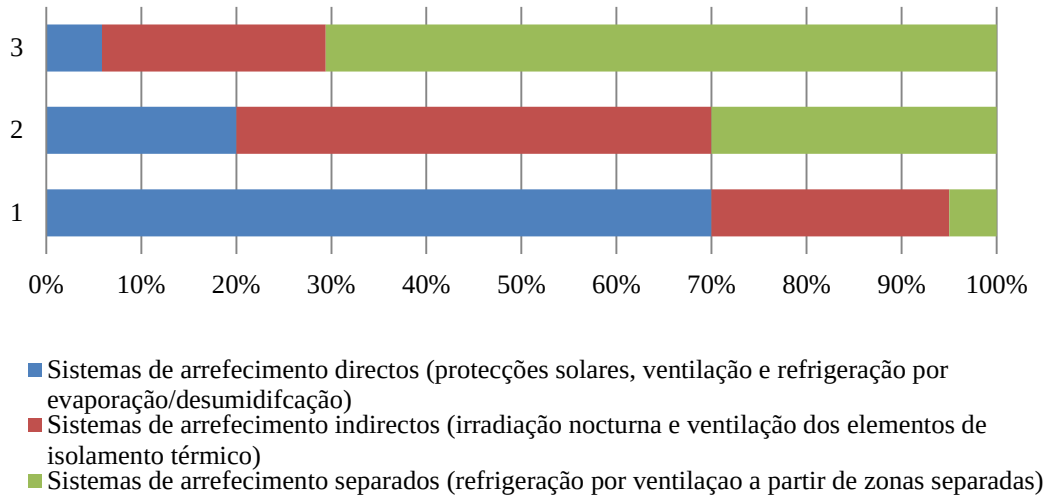


**Figura 5.12 - Hierarquização das diferentes soluções solares passivas de arrefecimento, tendo a sua facilidade de implementação, a adoptar no processo de reabilitação de edifícios quando se pretenda aumentar o seu desempenho energético**

Desta forma foi possível constatar que a melhor solução em termos de sistemas passivos de aquecimento são os sistemas de ganhos indirectos, seguido dos sistemas de ganhos directos e, por fim, os sistemas de ganhos isolados. No que diz respeito aos sistemas passivos de arrefecimento, a melhor solução são os sistemas de arrefecimento directos, seguido dos sistemas de arrefecimento indirectos e, por fim, os sistemas de arrefecimento separados.

Através do questionário realizado, procurou igualmente perceber-se qual a fonte de energia renovável que poderia proporcionar maior desempenho nos edifícios de habitação. Tendo em conta o modelo de intervenção realizado no presente trabalho, as duas fontes de energia renovável consideradas foram a energia solar e da biomassa. Segundo os peritos, a energia solar apresenta-se como a melhor solução com 89% dos inquiridos a demonstrarem preferência por esta opção.

Relativamente às diferentes formas de aproveitamento da energia solar, a maioria (mais especificamente, 79%) dos participantes no questionário realizado considerariam quer a utilização de colectores solares quer de painéis fotovoltaicos. A utilização apenas de colectores solares foi considerada como a segunda melhor solução a adoptar, com 16% dos inquiridos a apontarem para esta hipótese. Por outro lado, não houve qualquer participante no questionário a considerar apenas o uso de painéis fotovoltaicos como a melhor forma de aproveitamento da energia solar em edifícios de habitação em Portugal. Importa ainda referir que 5% dos peritos consideraram que não adoptariam nenhuma solução de aproveitamento solar, por terem considerado a energia da biomassa como a melhor fonte de energia renovável a utilizar os edifícios de habitação. Os resultados obtidos nesta questão encontram-se na figura 5.13.

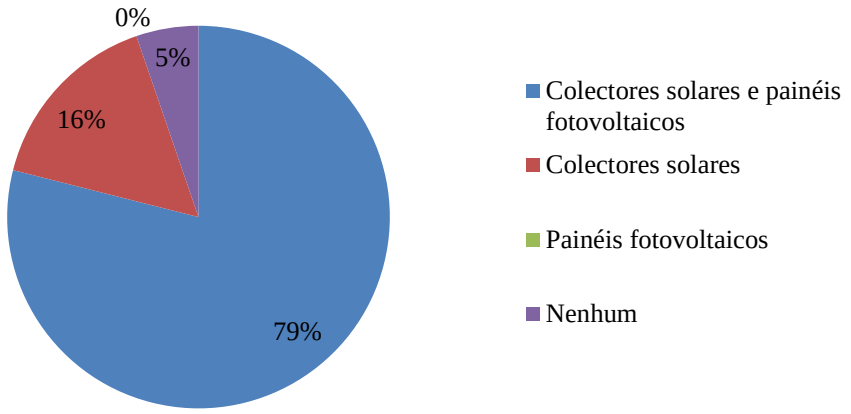


**Figura 5.13 - Melhores soluções de aproveitamento da energia solar nos edifícios de habitação em Portugal com o objectivo de aumentar o seu desempenho energético**

As maiores vantagens do uso e aproveitamento da energia solar em Portugal, segundo os participantes no questionário, são essencialmente a possibilidade de ser explorada uma energia barata, dependente de um recurso inesgotável, endógeno e sem necessidade de importação, que conduziria a uma redução de custos energéticos nas habitações. Além disso, o facto de ser uma energia limpa, não poluente (potenciando uma redução da produção de $CO_2$ para a atmosfera) e com contribuições positivas na qualidade do ambiente interior foi também mencionado. Foi também referido o seu potencial para aquecimento de águas quentes sanitárias e a possibilidade de produção de electricidade para consumo doméstico. Em termos globais, foi ainda mencionado o facto de um maior aproveitamento da energia solar poder contribuir para uma redução dos custos dos combustíveis fósseis nos países que adoptassem estas formas de energia limpa nos seus edifícios.

No que diz respeito às formas de aproveitamento da energia da biomassa, ainda que esta tenha sido a fonte de energia renovável considerada menos vantajosa pelos inquiridos, 68% dos participantes consideraram que o uso de fogões com queima de "pellets" para aquecimento é uma medida a considerar quando se pretenda aumentar o desempenho energético de edifícios de habitação em Portugal. Inclusivamente, foi referido que esta era actualmente a solução mais vantajosa, do ponto de vista económico, a aplicar nos edifícios em Portugal. Ainda assim, foi mencionado o facto de esta ser uma solução mais aconselhável junto à costa por necessitar de algum nível de humidade relativa, para que o ar interior não seque demasiado e que a sua implementação teria de prever uma boa exaustão que poderia, eventualmente, constituir um constrangimento na fase de aplicação desta solução.

Por fim, questionou-se se os peritos considerariam a utilização de outras fontes de energia renováveis nos edifícios em Portugal. Para este efeito, 47% dos inquiridos respondeu afirmativamente surgindo a energia eólica (para produção de energia) e geotérmica (dependendo do potencial da região) como as hipóteses sugeridas.

## 5.2. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO

Depois de analisados os resultados obtidos através do questionário efectuado, pode realizar-se então uma hierarquização das medidas a adoptar no processo de reabilitação de edifícios de habitação quando se pretenda aumentar a sua eficiência e desempenho energético.

Foi possível concluir que a medida que conduz a um maior aumento da eficiência e desempenho energético no processo de reabilitação de edifícios de habitação é o aumento do isolamento da envolvente exterior. Dentro desta medida, o aumento do isolamento térmico da cobertura surge como a medida que deve ser adoptada em primeiro lugar, seguida da melhoria dos envidraçados, do aumento do isolamento térmico das paredes exteriores e dos pavimentos em contacto com o exterior e espaços não aquecidos e, por último, a adopção de medidas solares passivas.

A introdução de fontes de energia renováveis nos edifícios de habitação apresenta-se como a segunda grande medida a adoptar. A energia solar é a melhor fonte de energia renovável que deve ser aproveitada nos edifícios de habitação em Portugal tendo em conta o enorme potencial do nosso país, visto ser um dos países europeus com maior número de horas de Sol anuais. Para tal, devem instalar-se colectores solares – muito vantajosos para o aquecimento de águas sanitárias – e painéis fotovoltaicos para produção de energia eléctrica de forma limpa e sustentável nas habitações.

Por último, realça-se a grande importância dos habitantes dado que a modificação dos seus procedimentos de utilização bem como uma melhor escolha dos equipamentos eléctricos para o interior das suas habitações são medidas que podem influenciar grandemente o nível de eficiência e desempenho energético dos edifícios onde habitam.

Assim sendo, o modelo de intervenção encontra-se apresentado no quadro 5.1, sendo possível identificar não só quais as melhores medidas a adoptar do ponto de vista da sua eficiência como a ordem pela qual devem ser adoptadas por forma a conseguir, no processo de reabilitação de edifícios de habitação, uma melhoria da eficiência e desempenho energético.

**Quadro 5.1 - Modelo final de intervenção proposto**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Aumento do isolamento térmico da envolvente exterior** | 1. Aumento do isolamento térmico da cobertura | Coberturas inclinadas | 1. Colocação de IT superior nas vertentes inclinadas |
| | | | 2. Colocação de IT superior na esteira horizontal |
| | | | 3. Colocação de IT inferior nas vertentes inclinadas |
| | | Coberturas em terraço | 1. Colocação de IT superior |
| | | | 2. Colocação de IT intermédio |
| | 2. Melhoria das características dos envidraçados | 1. Caixilharia com corte térmico e vidro duplo | |
| | | 2. Colocação de 2º caixilho | |
| | | 3. Substituição de vidro simples por duplo | |
| | | 4. Instalação de envidraçados de elevado desempenho térmico (baixa emissividade) | |
| | | 5. Colocação de IT na caixa de estore | |
| | 3. Aumento do isolamento térmico das paredes exteriores | 1. Colocação de IT pelo exterior | |
| | | 2. Colocação de IT na caixa de ar (paredes duplas) | |
| | 4. Aumento do isolamento térmico em pavimentos em contacto com o exterior ou espaços não aquecidos | 1. Colocação de IT superior | |
| | | 2. Colocação de IT intermédio | |
| | 5. Adopção de sistemas solares passivos | Aquecimento | 1. Sistemas de ganhos indirectos |
| | | | 2. Sistemas de ganhos directos |
| | | Arrefecimento | 1. Sistemas de arrefecimento directos |
| | | | 2. Sistemas de arrefecimento indirectos |
| **Introdução de fontes de energia renováveis** | 1. Aproveitamento da Energia Solar | Instalação de colectores solares | |
| | | Instalação de painéis fotovoltaicos | |
| | 2. Aproveitamento da Energia da Biomassa | Instalação de fogões de aquecimento com queima de "pellets" | |
| | 3. Aproveitamento de outras fontes de energia renováveis | Energia Eólica | |
| | | Energia Geotérmica | |
| **Modificação do comportamento dos ocupantes** | 1. Garantia da correcta ventilação das habitações | | |
| | 2. Respeito pelo plano de manutenção dos edifícios e habitações | | |
| | 3. Escolhas correctas de equipamentos eléctricos | | |
| | 4. Correcta utilização e regulação dos sistemas de sombreamento exteriores | | |
| **Escolha de equipamentos eléctricos mais eficientes** | 1. Aparelhos de aquecimento/arrefecimento | Classe energética mínima: A+ | |
| | 2. Restantes electrodomésticos | Classe energética mínima: A+ | |
| | 3. Aparelhos de iluminação | Lâmpadas LED | |
| | | Lâmpadas fluorescentes compactas | |

# 6. CONCLUSÕES

## 6.1. CONCLUSÃO

O parque edificado português, apesar de recente, apresenta necessidades ao nível da reabilitação energética. É possível verificar que as necessidades energéticas dos edifícios construídos em Portugal mais representativos são elevadas, o que denota alguma falta de qualidade das construções e a falta de preocupações existentes logo desde a fase de projecto desses edifícios. Ainda assim, verifica-se que o peso das obras de reabilitação é bastante reduzido, apesar de um certo crescimento nesse sentido.

Com o evoluir dos tempos, também a população se tornou mais exigente no que respeita aos níveis de conforto que pretendem ver assegurado no interior das suas habitações. No entanto, a mudança de mentalidade por parte dos ocupantes não foi acompanhada com uma melhoria de desempenho e de qualidade de construção. Se aliarmos a este facto a forte dependência energética de Portugal consegue perceber-se que, se não forem tomadas medidas de futuro que controlem e invertam esta situação, a dependência do nosso país tenderá a aumentar cada vez mais e a população continuará a consumir energia de forma descontrolada.

Para resolver esta situação, que tenderá a agravar-se, importa uma alteração dos processos de construção em Portugal e promover o consumo sustentável de energia baseado em fontes de energia inesgotáveis, como é o caso da energia solar que tem um enorme potencial de utilização em Portugal, já que este é um pais que, a nível europeu, apresenta um dos melhores valores de horas de Sol anuais. É pois importante realçar não só a necessidade de alteração dos hábitos em Portugal como também as excelentes condições existentes para que tal ocorra.

Por tudo isto, o presente trabalho procurou desenvolver um modelo de intervenção hierarquizado sob o ponto de vista da eficiência energética, tendo em conta o custo e beneficio das medidas apresentadas, sempre no sentido de que estas ajudem a incentivar o desenvolvimento de iniciativas de reabilitação de edifícios e que sejam um modelo que permita, efectivamente, aumentar não só a eficiência como também o desempenho energético dos edifícios onde sejam aplicadas.

Através de uma avaliação dos potenciais resultados da aplicação deste modelo de intervenção surgem questões de elevada importância como o aumento da classe energética dos edifícios, a diminuição das suas necessidades energéticas e o aumento das condições de conforto dos ocupantes. Além disso, todas estas melhorias se suportam em técnicas sustentáveis das quais, a implementação de equipamentos que permitam produzir energia com origem em fontes de energia renováveis como a energia solar, a energia da biomassa, a energia eólica ou a geotermia, se destacam.

Em suma, é preciso implementar mudanças não só na fase de projecto dos edifícios mas também na sua fase de utilização. Só estes esforços conjugados poderão levar a que a eficiência energética em edifícios seja uma realidade e não apenas uma utopia.

## 6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

As preocupações com a eficiência e desempenho energético dos edifícios devem ser mantidas e intensificadas além do âmbito explorado no presente trabalho. Uma maior preocupação com esta temática pode contribuir para o reforço e garantia das condições de vida da população actual e para as gerações futuras e ajudará não só a população mundial como o próprio planeta.

Na presente dissertação foram abordados processos a adoptar no âmbito da reabilitação contudo torna-se urgente que os projectistas comecem a ter mais conhecimento do real desempenho das soluções que propõe para os edifícios projectados e construídos para que se possam, antes de mais, reduzir as necessidades de intervenção no futuro.

Por outro lado, no caso do actual parque edificado é importante que este conhecimento seja aprofundado para que o processo de reabilitação energética dos edifícios possa ser mais agilizado e possibilite intervenções cada vez mais eficientes.

Neste contexto propõe-se que o desenvolvimento deste estudo aborde outros intervenientes, além dos projectistas, e que se possam quantificar os resultados efectivos de melhoria das acções de reabilitação energética realizadas, como modo de incentivar os utilizadores das edificações pela sensibilização e informação do potencial do modelo.

O desenvolvimento e implementação de um plano de manutenção para todos os edifícios é outro dos desenvolvimentos futuros deste trabalho e permitirá garantir que, durante o tempo de vida útil dos edifícios, estes funcionarão em melhores condições e não ficarão comprometidas as condições de utilização para que foram projectados.

# 7. BIBLIOGRAFIA


[1] ADENE - Agência para a Energia, "Guia da Eficiência Energética, ADENE," 2012.

[2] Getep, "Glossário - Certificação energética," [Online]. Available:

http://www.getep.pt/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=3&id=8&Itemid=42. [Acedido em 8 Agosto 2013].

[3] DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia, "Caracterização Energética Nacional 2011," 2011. [Online]. Available: http://www.dgeg.pt/. [Acedido em 2013 Agosto 8].

[4] Projecto EnerBuilding, "Manual do Consumidor - Eficiência energética nos edifícios residenciais," Lisboa, 2008.

[5] AGENEAL - Agência municipal de energia de Almada, [Online]. Available: http://www.ageneal.pt/content01.asp?BTreeID=00/01&treeID=00/01&newsID=7. [Acedido em 8 Agosto 2013].

[6] VULCANO, "Catálogo painéis solares térmicos," [Online]. Available: http://vulcano-pt.resource.bosch.com/media/vulcano/documenta__o/cat_logo_de_produtos/solar/versonet26setcatlogo_solar_2012_22.pdf. [Acedido em 8 Agosto 2013].

[7] APREN - Associação de Energias Renováveis, [Online]. Available: www.apren.pt. [Acedido em 8 Agosto 2013].

[8] "Energia Lateral," [Online]. Available: http://energialateral.pt/solar-termica.html. [Acedido em 8 Agosto 2013].

[9] "Energias Renováveis," [Online]. Available: http://apenergiasrenovaveis.wordpress.com/solar/energia-solar-termica/. [Acedido em 8 Agosto 2013].

[10] INE - Instituto Nacional de Estatísica, "Censos 2011 Resultados Definitivos," Portugal, 2012.

[11] INE - Instituto Nacional de Estatística, "Estatísticas da Construção e Habitação 2012", 2013.

[12] INE - Instituto Nacional de Estatística, "Estatísticas da Construção e Habitação 2009", 2010.

[13] EUROSTAT, Energy, Transport and Environment Indicators, 2011 Edition, Luxemburgo: Publications Office of the European Union, 2011.

[14] DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia, "Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial," 2004.

[15] DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia, "Inquérito ao consumo de energia no sector doméstico," 2010.

[16] PINHEIRO, Manuel Duarte, "Construção sustentável - Mito ou realidade? - VII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente," 2003.

[17] INE - Instituto Nacional de Estatística, "Inquérito ao consumo de energia no sector doméstico

2010", 2011

[18] DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia, "Balanço Energético Nacional 2011 (provisório)".

[19] DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia, "Balanço Energético Nacional 2010".

[20] DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia, "Balanço Energético Nacional 2009".

[21] DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia, "Balanço Energético Nacional 2008".

[22] DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia, "Balanço Energético Nacional 2007".

[23] DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia, "Balanço Energético Nacional 2006".

[24] DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia, "Balanço Energético Nacional 2005".

[25] DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia, "Balanço Energético Nacional 2004".

[26] ITIC - Instituto Técnico para a Indústria da Construção, O sistema nacional de certificação energética e da qualidade do ar interior dos edifícios: Oportunidades para o sector da construção - Segmento Residencial, 2008.

[27] Grupo DST, [Online]. Available: http://www.dstsgps.com/content.asp?startAt=2&categoryID=896&newsID=2653&offset=48. [Acedido em 15 Setembro 2013].

[28] "IDEAL-EPBD," [Online]. Available: http://www.ideal-epbd.eu/. [Acedido em 15 Setembro 2013].

[29] BRAGANÇA, L.; MATEUS, R., Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção, Porto: Edições Ecopy, 2006.

[30] QUERCUS, "Projecto EcoFamílias - Relatório Final," Lisboa, 2008.

[31] DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia, "Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais," Lisboa, 2004.

[32] "RCCTE," *Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril de 2006; Diário da República - I SÉRIE-A*, pp. 2468-2513.

[33] RODRIGUES, António; PIEDADE, A. Canha.; BRAGA, Ana, Térmica de edifícios, Amadora: Edições Orion, 2009.

[34] HENRIQUES, Fernando, "Comportamento higrotérmico de edifícios," 2011.

[35] HENRIQUES, Fernando, Humidade em paredes, Lisboa: LNEC, 2007.

[36] EDP, "Guia de eficiência energética - Viva a sua casa com uma energia mais sutentável," 2012. [Online]. Available: http://www.eco.edp.pt/images/stories/PDF/GuiaEE2012_webB.pdf. [Acedido em 26 Novembro 2013].

[37] [Online]. Available:

http://www.energy-cities.eu/IMG/pdf/Sustainable_Districts_ADEME1_Kronsberg.pdf. [Acedido em 2 Janeiro 2014].

[38] [Online]. Available: http://www.energy-cities.eu/IMG/pdf/Sustainable_Districts_ADEME1_BedZed.pdf. [Acedido em 2 Janeiro 2014].

[39] [Online]. Available: http://www.rudi.net/files/paper/illustrations/limbo04.jpg. [Acedido em 2 Janeiro 2014].

[40] [Online]. Available: http://www.flickr.com/photos/bioregional/sets/72157623341525932. [Acedido em 2 Janeiro 2014].

[41] [Online]. Available: http://www.energy-cities.eu/IMG/pdf/Sustainable_Districts_ADEME1_Vauban.pdf. [Acedido em 2 Janeiro 2014].

[42] [Online]. Available: http://www.presseurop.eu/pt/content/article/43331-vauban-cidade-alema-sem-carros. [Acedido em 2 Janeiro 2014].

[43] [Online]. Available: http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/explore-more/initiatives-around-the-world/vauban-a-pioneering-sustainable-community-in-germany. [Acedido em 3 Janeiro 2014].

[44] [Online]. Available: http://www.energy-cities.eu/IMG/pdf/Sustainable_Districts_ADEME1_Rieselfeld.pdf. [Acedido em 2 Janeiro 2014].

[45] [Online]. Available: http://gellersworldtravel.blogspot.pt/2013/07/rieselfeldfreiburgs-other-model.html. [Acedido em 3 Janeiro 2014].

[46] [Online]. Available: http://www.energy-cities.eu/IMG/pdf/Sustainable_Districts_ADEME1_Weingarten.pdf,. [Acedido em 2 Janeiro 2014].

[47] [Online]. Available: http://www.eneff-stadt.info/en/pilot-projects/project/details/model-city-district-refurbishment-weingarten-west-freiburg/. [Acedido em 3 Janeiro 2014].

[48] [Online]. Available: http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Weingarten_(Freiburg_im_Breisgau). [Acedido em 3 Janeiro 2014].

[49] [Online]. Available: http://www.energy-cities.eu/IMG/pdf/Sustainable_Districts_ADEME1_Hammarby.pdf. [Acedido em 2 Janeiro 2014].

[50] [Online]. Available: http://www.white.se/en/project/15-hammarby-sjostad/. [Acedido em 3 Janeiro 2014].

[51] [Online]. Available: http://www.white.se/en/project/15-hammarby-sjostad/. [Acedido em 2 Janeiro 2014].

[52] [Online]. Available: http://www.energy-cities.eu/IMG/pdf/Sustainable_Districts_ADEME1_Eco-Viikki.pdf. [Acedido em 2 Janeiro 2014].

[53] [Online]. Available: http://www.hel.fi/static/ksv/julkaisut/eco-viikki_en.pdf. [Acedido em 3 Janeiro 2014].

[54] [Online]. Available: http://energy-cities.eu/IMG/pdf/Sustainable_Districts_ADEME1_EVA-Lanxmeer.pdf. [Acedido em 2 Janeiro 2014].

[55] [Online]. Available: http://www.eva-lanxmeer.nl/. [Acedido em 2 Janeiro 2014].

[56] APPLETON, João, Reabilitação de Edifícios Antigos - Patologias e tecnologias de intervenção, Amadora: Edições Orion, 2011.

[57] SILVA, João Carlos, Reabilitação térmica de edifícios residenciais: propostas de intervenção, ISEL, 2012.

[58] PAIVA, José Vasconcelos et al, Guia Técnico de Reabilitação Habitacional, vol. 2, LNEC/INH, 2006.

[59] BRITO; Mariana Couto, "Reabilitação de fachadas e o seu contributo energético. Caso de estudo de um hotel em Lisboa," Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

[60] MENDONÇA, Paulo, " Habitar sob uma segunda pele - Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados," Universidade do Minho, Guimarães, 2005.

[61] RODRIGUES, M. da Conceição, "Eficiência Energética no Setor Residencial - Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na especialidade e Energia e Ambiente," Universidade de Coimbra - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Coimbra, 2011.

[62] [Online]. Available: http://www.cienciaviva.pt/rede/himalaya/home/guia6.pdf. [Acedido em 26 Fevereiro 2014].

[63] Progesto Arquitectura, "Manual de utilização e manutenção da habitação, Empreendimento Casas de Santo António - Barreiro, Lote nº 43".

[64] "NP 1037-1; Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás - Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação Natural," 2002.

# ANEXO

## ANEXO 1

## Modelo de questionário enviado ao painel de peritos

1. **Área de formação académica:** _____

2. **Profissão:** _____

3. **Num contexto de custo-benefício das soluções, ordene as seguintes formas de intervenção no processo de aumento de eficiência energética de desempenho de edifícios de habitação.** **(Considere 1 como a mais eficiente e 4 como a menos eficiente)**

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| Melhoria do isolamento da envolvente exterior | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Introdução de fontes de energia renováveis nas habitações | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Opção por equipamentos eléctricos mais eficientes | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Modificação dos comportamentos dos utilizadores | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

4. **Adoptaria um modelo de intervenção baseado nas medidas anteriormente apresentadas se tivesse como objectivo aumentar a classe energética de um edifício de habitação em, pelo menos, uma classe?**

   Sim ☐

   Não ☐

5. **Se respondeu "Não" à pergunta anterior, explique porquê.**

   _____

   _____

   _____

   _____

6. **Ordene as seguintes medidas, do ponto de vista do momento de aplicação das mesmas, por forma a conseguir uma melhoria da eficiência energética dos edifícios o fracções autónomas, no processo de reabilitação energética de edifícios de habitação.** **(Considere 1 a primeira medida a adoptar e 7 a última medida a adoptar)**

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aumento da classe energética dos equipamentos domésticos | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Melhoria das características dos envidraçados | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aumento do isolamento térmico da cobertura | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Aumento do isolamento térmico das paredes exteriores | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Instalação de equipamentos para o uso de fontes de energia renováveis | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Sensibilização dos ocupantes para a adopção de medidas correctas de utilização e manutenção | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

7. **Relativamente à melhoria da classe energética dos equipamentos domésticos, quais pense serem aqueles cuja mudança do equipamento actual para um equipamento de maior classe energética conduzirá a maior efeito na classe energética do edifício de habitação em que estão inseridos?** **(Considere 1 o aparelho que conduzirá a maior efeito e 3 o aparelho que conduzirá a menor efeito)**

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Aparelhos de iluminação | ☐ | ☐ | ☐ |
| Aparelhos de aquecimento/arrefecimento | ☐ | ☐ | ☐ |
| Electrodomésticos | ☐ | ☐ | ☐ |

8. **Relativamente aos aparelhos de iluminação, considera que a instalação de lâmpadas LED ou fluorescentes compactas são as melhores opções do ponto de vista da melhoria da eficiência energética dos edifícios de habitação?**

Sim ☐

Não ☐

9. **Relativamente aos aparelhos de aquecimento/arrefecimento e restantes electrodomésticos (maquina de lavar roupa, máquina de lavar loiça, frigorífico/combinado, máquina de secar, entre outros), qual considera ser a classe energética mínima a adoptar por forma a garantir o aumento do desempenho energético de uma fracção autónoma?**

A+++ ☐

A++ ☐

A+ ☐

A ☐

B ☐

C ☐

D ☐

**10. Relativamente à melhoria das características dos envidraçados dos edifícios de habitação, ordene por ordem de eficiência as seguintes medidas.** **(Considere 1 a medida mais eficiente e 7 a medida menos eficiente)**

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Instalação de caixilharia com corte térmico e vidros duplos | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Instalação de envidraçados de elevado desempenho térmico (baixa emissividade) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Instalação de janelas duplas através de colocação de 2º caixilho | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Substituição de vidro simples por vidro por vidro duplo | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Instalação de protecções solares para oclusão nocturna | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Instalação de dispositivos de sombreamento exteriores | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Colocação de isolamento térmico na caixa de estore | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

**11. Relativamente ao aumento de isolamento térmico em coberturas inclinadas, ordene as seguintes hipóteses de intervenção segundo o seu grau de eficiência.** **(Considere 1 a opção mais eficiente e 4 a opção menos eficiente)**

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| Colocação de IT superior nas vertentes inclinadas | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Colocação de IT inferior nas vertentes inclinadas | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Colocação de IT superior na esteira horizontal | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Colocação de IT inferior na esteira horizontal | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

**12. Relativamente ao aumento do isolamento térmico em coberturas em terraço, ordene as seguintes hipóteses de intervenção segundo o seu grau de eficiência.** **(Considere 1 a opção mais eficiente e 3 a opção menos eficiente)**

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Colocação de IT superior | ☐ | ☐ | ☐ |
| Colocação de IT inferior | ☐ | ☐ | ☐ |
| Colocação de IT intermédio | ☐ | ☐ | ☐ |

**13. Relativamente ao aumento de isolamento térmico em pavimentos em contacto com o exterior ou espaços não aquecidos, ordene as seguintes hipóteses de intervenção segundo o seu grau de eficiência.** **(Considere 1 a opção mais eficiente e 3 a opção menos eficiente)**

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Colocação de IT superior | ☐ | ☐ | ☐ |
| Colocação de IT inferior | ☐ | ☐ | ☐ |
| Colocação de IT intermédio | ☐ | ☐ | ☐ |

**14. Relativamente ao aumento de isolamento térmico em paredes exteriores, ordene as seguintes hipóteses de intervenção segundo o seu grau de eficiência.** **(Considere 1 a opção mais eficiente e 3 a opção menos eficiente)**

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Colocação de IT pelo exterior | ☐ | ☐ | ☐ |
| Colocação de IT pelo interior | ☐ | ☐ | ☐ |
| Colocação de IT na caixa-de-ar (paredes duplas) | ☐ | ☐ | ☐ |

**15. Considerando as diferentes soluções solares passivas de aquecimento, ordene as opções tendo em conta a facilidade de implementação e o contributo da solução em termos de desempenho energético.** **(Considere 1 a opção mais eficiente e 3 a opção menos eficiente)**

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Sistemas de ganhos directos (envidraçados, clarabóias) | ☐ | ☐ | ☐ |
| Sistemas de ganhos indirectos (paredes, pavimentos e coberturas de armazenamento térmico) | ☐ | ☐ | ☐ |
| Sistemas de ganhos isolados (estufas, sistemas de termossifão) | ☐ | ☐ | ☐ |

**16. Considerando as diferentes soluções solares passivas de arrefecimento, ordene as opções tendo em conta a facilidade de implementação e o contributo da solução em termos de desempenho energético.** **(Considere 1 a opção mais eficiente e 3 a opção menos eficiente)**

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Sistemas de arrefecimento directos (protecções solares, ventilação e refrigeração por evaporação/desumidificação) | ☐ | ☐ | ☐ |
| Sistemas de arrefecimento indirectos (irradiação nocturna e ventilação dos elementos de isolamento térmico) | ☐ | ☐ | ☐ |
| Sistemas de arrefecimento separados (refrigeração a partir de zonas separadas) | ☐ | ☐ | ☐ |

**17. Entre as duas soluções de energias renováveis, qual considera ser a que maior desempenho pode proporcionar?**

Energia Solar ☐

Energia da Biomassa ☐

**18. Relativamente ao aproveitamento da energia solar, consideraria o uso de colectores solares e painéis fotovoltaicos para os edifícios e habitações em Portugal com o objectivo de aumentar o seu desempenho energético?**

Sim, consideraria ambos ☐

Sim, consideraria apenas o uso de colectores solares ☐

Sim, consideraria apenas o uso de painéis fotovoltaicos ☐

Não ☐

**19. Relativamente ao aproveitamento da energia da biomassa, consideraria o uso de fogões com queima de "pellets" para o aquecimento nos edifícios e habitações em Portugal para aumentar o seu desempenho energético?**

Sim ☐

Não ☐

**20. Quais considera serem as maiores vantagens da utilização da energia solar nos edifícios de habitação no processo de reabilitação energética dos mesmos?**

_____

_____

_____

_____

**21. Consideraria a utilização de outras fontes de energia renováveis no processo de reabilitação energética de edifícios de habitação em Portugal?**

_____

_____

_____

_____

22. **Se respondeu "Sim" à questão anterior, que fontes de energia renováveis utilizaria e de que forma implementaria o seu uso em edifícios de habitação em Portugal?**