

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia de Civil



NZEB – Um desafio para a engenharia civil

RUI MIGUEL SANTOS BAIONA

Licenciado em Engenharia Civil

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

Orientadores:

Licenciado, Especialista, João António Antunes Hormigo

Doutor, Pedro Miguel Matos Soares

Júri:

Presidente: Doutor, Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva

Vogais:

Doutor, Maria Dulce e Silva Franco Henriques

Doutor, Pedro Miguel Matos Soares

Novembro de 2014

AGRADECIMENTOS

Em primeira instância, gostaria de agradecer todo esforço e apoio infindável, que os meus pais fizeram para que pudesse concretizar esta dissertação.

Gostaria também de agradecer todo o apoio dado pelos meus amigos e colegas, os quais acompanharam todo o meu percurso académico, e me que ajudaram em inúmeras ocasiões, pois sem eles este percurso teria sido, sem dúvida, mais penoso.

Agradeço incondicionalmente o apoio prestado pelo Professor João António Antunes Hormigo e pelo Professor Pedro Matos Soares, que me acompanharam desde início ao fim da elaboração desta dissertação, na qual me ajudaram com a transmissão dos seus conhecimentos, opinando sempre de forma elucidativa e construtiva.

RESUMO

Na União Europeia (UE), os edifícios representam 40% no consumo de energia final, logo se forem efetuadas alterações para melhoria da eficiência energética neste sector, poderá reduzir-se os consumos associados e as emissões dos gases com efeito estufa (GEE).

Com o objetivo de reduzir o consumo de energia no parque edificado, a UE publicou a 19 de Maio de 2010 a diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios e que revoga a diretiva 2002/91/CE. A nova diretiva obriga que a partir de 31 de Dezembro de 2020 todos os novos edifícios da UE sejam NZEB (*Nearly Zero Energy Building*), ou seja, com balanço energético anual quase nulo. Os NZEB são edifícios que ao incorporarem sistemas de produção de energia, conseguem suprir as suas necessidades energéticas, contribuindo para tendencialmente se garantir um balanço anual energético quase nulo.

Com esta dissertação pretende-se caracterizar as técnicas construtivas e tecnologias existentes que permitam a um edifício construído, habitacional e comercial, poupar e produzir energia, com os parâmetros normais de utilização, de forma a atingirem um balanço energético anual nulo, ou seja, tornarem-se num NZEB.

Para analisar o impacto da implementação das técnicas e tecnologias abordadas, foi elaborado um caso de estudo dum edifício existente, onde se recorreu a um *software* de modelação e simulação energética, que permitiu prever a poupança de energia associada a cada medida aplicada. De seguida elaborou-se uma análise de mercado para prever a viabilidade económica de cada medida. No final foram aplicadas várias medidas, tais como, a aplicação de um sistema de sombreamento no 3º piso, a aplicação de envidraçados de baixa emissividade, a aplicação de películas reflexivas nos envidraçados, isolamento térmico no pavimento térreo, substituição de lâmpadas de halogéneo por *LED* e a instalação de um sistema fotovoltaico, que permitiram o alcance do objetivo ao tornar o edifício num NZEB.

Palavras-chave: NZEB, Eficiência Energética, Diretiva 2010/31/UE, *Design Builder*.

ABSTRACT

In the European Union (EU), the buildings have a share of 40% in the final energy consumption, so if changes are made to improve energy efficiency in this sector, they will reduce the emissions of greenhouse gases.

With the goal of reducing energy consumption in the building park, the EU published in 19th of May in 2010, the Directive 2010/31/EU about the energy performance of buildings and repealing Directive 2002/91/EC. The new Directive requires that after 31th of December in 2020, all new buildings in the EU should be NZEB (Nearly Zero Energy Building), they must have a zero annual energy balance.

The NZEB are buildings that have energy production systems, their target is to fulfill, tendentiously, all their energy demands, to achieve a zero annual energy balance.

With this thesis is intended to characterize the construction techniques and technologies that enable a constructed building, save and produce energy, with normal standard usage, in order to achieve a zero annual energy balance, becoming a NZEB.

In order to analyze the impact of the implementation of the techniques and technologies discussed, it was developed a case study of an existing building, using an energy simulation and modeling software, which allowed to predict the energy savings associated with each measure applied. Then we prepared a market analysis to predict the economic viability of each measure. At the end it was applied the necessary measures to make a building a NZEB.

Keywords: NZEB, Directive 2010/31/EU, Energy Efficiency, Design Builder.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AQS – Águas quentes sanitárias

ADENE – Agência para a Energia

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

FAI – Fundo de Apoio à Inovação

FER – Fontes de Energia Renovável

FPC – Fundo Português de Carbono

QREN – Quadro de Referência Estratégica Nacional

GEE – Gases com efeito de estufa

LED – Díodos emissores de luz, (*Lighting – Emitting Diode*)

NZEB – *Nearly zero energy building*

PNAC - Plano Nacional para as Alterações Climáticas

PNAEE - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNAER - Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RNBC - Roteiro Nacional de Baixo Carbono

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios

tep – Toneladas Equivalentes de Petróleo

UE – União Europeia

UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*

INE – Instituto Nacional de Estatística

ETICS - *External Thermal Insulation Composite Systems*

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	vi
Capítulo 1 - INTRODUÇÃO	1
Capítulo 2 - REGULAMENTAÇÃO ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS	5
2.1 Diretiva Europeia de desempenho energético dos edifícios	6
2.1.1 Diretiva 2010/31/UE	6
2.2 Legislação nacional de energia em edifícios.....	11
2.2.1 SCE.....	11
2.2.2 RSECE.....	11
2.2.3 RCCTE	12
2.2.4 Em vigor: Decreto-Lei n.º 118/2013.....	12
2.2.5 RNBC 2020 e PNAC 2020	14
2.2.6 Resumo da resolução do conselho de ministros nº20/2013	16
2.2.7 PNAEE 2016.....	19
2.2.8 PNAER 2020.....	22
Capítulo 3 - ENQUADRAMENTO AMBIENTAL E ENERGÉTICO	27
3.1 Análise energética da União Europeia e de Portugal	27
3.2 Caracterização do consumo de eletricidade no sector residencial	38
Capítulo 4 - ESTRATÉGIAS E TECNOLOGIAS PARA UM DESEMPENHO ENERGÉTICO MAIS EFICIENTE	43
4.1 Soluções passivas	43
4.1.1 Forma, localização e orientação do edifício.....	43
4.1.2 Sistemas de sombreamento.....	47
4.1.3 Vãos Envidraçados.....	50
4.1.4 Iluminação natural	52
4.1.5 Revestimento reflexivo	58
4.1.6 Envolvente opaca	59
4.1.7 Sistemas de arrefecimento	71
4.1.8 Sistemas de aquecimento	74
4.2 Soluções ativas.....	75

4.2.1 Iluminação artificial	76
4.2.2 Tecnologias para otimização da iluminação artificial	80
4.2.3 Coletores solares térmicos	81
4.2.4 Painéis fotovoltaicos	85
Capítulo 5 - CASO DE ESTUDO	89
5.1 Caracterização do edifício	89
5.1.1 Definição do modelo	90
5.2 Simulação térmica dinâmica – <i>DesignBuilder</i> e <i>EnergyPlus</i>	97
5.2.1 Conceção e calibração do modelo	98
5.2.2 Análises e resultados	99
5.3 Propostas para melhoria da eficiência energética	106
5.3.1 Medida 1 - Aplicação de sistema de sombreamento no 3º piso.	107
5.3.2 Medida 2 – Aplicação de envidraçados de baixa emissividade.	110
5.3.3 Medida 3 - Aplicação de películas reflexivas nos envidraçados.....	112
5.3.4 Medida 4 - Isolamento térmico no pavimento térreo.	113
5.3.5 Medida 5 - Substituição das lâmpadas de halogéneo por <i>LED</i>	115
5.3.6 Medida 6 - Instalação do sistema fotovoltaico.	117
5.3.7 Medida 7 – Combinação da medida 6 e 5	120
5.3.8 Conclusão	120
Capítulo 6 - CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	121
6.1 Conclusões	121
6.2 Desenvolvimentos futuros	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
ANEXO 1 – Tabela de isolantes térmicos	130
ANEXO 2 – Consumos energéticos do edifício do caso de estudo em 2012 e 2013	131
ANEXO 3 – Ficha Técnica Envidraçado SGG Planitherm	132
ANEXO 4 – Orçamento do Envidraçado Planitherm Ultra	133
ANEXO 5 – Ficha técnica Película Refletora CHROME 285	134
ANEXO 6 – Orçamento Película Refletora CHROME 285	135
ANEXO 7 – Ficha Técnica painel fotovoltaico Luxor	136
ANEXO 8 – Ficha Técnica inversor SMA	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução do consumo de energia primária mundial [1].	1
Figura 2 - Cronologia dos marcos internacionais relevantes, na eficiência energética dos edifícios.	5
Figura 3 - Alteração da tabela de classes de desempenho. Tabela antiga à esquerda e nova tabela à direita [9].	14
Figura 4 - Organização dos instrumentos.	15
Figura 5 - Variação das emissões e do PIB em relação a 1990 (1990=100) [2].	15
Figura 6 - Consumo total de energia final, por sector, na UE-27 [14].	27
Figura 7 - Consumo final de energia, por sector, em Portugal [16].	28
Figura 8 - Consumo interno bruto de energia, por combustível, da UE-27 [16].	29
Figura 9 - Produção total de energia primária, por combustível, da EU-27 [16].	30
Figura 10 - Dependência energética da EU-27 e Portugal [16].	31
Figura 11 - Consumo total de eletricidade, por sector, na UE-27 [14].	32
Figura 12 - Consumo final de eletricidade, por sector, em Portugal [17].	33
Figura 13 - Eletricidade gerada por energias renováveis, na EU-27 e Portugal [16].	34
Figura 14 - Percentagem de energias renováveis no consumo final bruto de energia, na EU-27 e Portugal [16].	35
Figura 15 - Produção solar, na EU-27 e na Alemanha [16].	36
Figura 16 - Produção solar, na Portugal [16].	37
Figura 17 - Evolução de GEE na EU-27 e Portugal [16].	38
Figura 18 - Distribuição do consumo de eletricidade no sector doméstico, por tipo de utilização - UE-27, 2007 [19].	39
Figura 19 - Temperatura média anual na Europa [20].	40
Figura 20 - Distribuição do consumo de eletricidade no sector doméstico, por tipo de utilização – Portugal, 2010 [21].	41
Figura 21 - Zonas climáticas de inverno	44
Figura 22 - Zonas climáticas de verão	45
Figura 23 - Percurso do sol ao longo do ano, em Portugal [19].	46
Figura 24 - Tipos de sistemas de sombreamento	47

Figura 25 -	Sistemas de sombreamento exteriores fixos, laterais e horizontais [27]. 48	
Figura 26 -	Sistemas de sombreamento exteriores móveis [28] e [29].	49
Figura 27 -	Fluxos de energia [31].	50
Figura 28 -	Comparativo de coeficientes de transmissão térmica (U_w) de várias soluções de caixilhos, para a dimensão de 1 m^2 [30].	52
Figura 29 -	Princípio de funcionamento de uma pala refletora tradicional [27].	54
Figura 30 -	Princípio de funcionamento de um sistema de palas refletoras móveis [27].	54
Figura 31 -	Princípio de funcionamento de uma pala refletora anidólica [27].	55
Figura 32 -	Modo de funcionamento das lamelas para a reorientação da luz solar [34].	56
Figura 33 -	Demonstração da distribuição de luz através da utilização dos vidros para reorientação da luz solar [34].	56
Figura 34 -	Demonstração do mecanismo de fibras óticas [27].	57
Figura 35 -	Painel coletor de luz (à direita) e luminária de acrílico semitransparente [35].	58
Figura 36 -	Cobertura do <i>City Hall</i> em Chicago [42].	62
Figura 37 -	Camadas de uma cobertura verde.	63
Figura 38 -	Composição do sistema ETICS [47].	65
Figura 39 -	Sistema de uma fachada ventilada [51].	67
Figura 40 -	Fotografia infravermelha, demonstrando a temperatura numa fachada [53].	68
Figura 41 -	Sistema modular [55].	69
Figura 42 -	Reutilização de garrafas [56].	69
Figura 43 -	Sistema de mantas [57].	69
Figura 44 -	Pormenor da composição de um pavimento interior (à esquerda) e exterior (à direita) [58].	70
Figura 45 -	Funcionamento do sistema de uma chaminé solar [61].	72
Figura 46 -	Aspirador estático de secção circular, quadrada e oval respetivamente [62].	73
Figura 47 -	Aspirador estático com ventoinha incorporada [62].	73
Figura 48 -	Sistema de ligação do Zypho [64].	75
Figura 49 -	Composição de lâmpada incandescente	77

Figura 50 -	Lâmpadas de halogéneo	77
Figura 51 -	Lâmpadas fluorescentes tubulares circulares e lineares.	78
Figura 52 -	Lâmpadas fluorescentes compactas.	78
Figura 53 -	Lâmpadas <i>LED</i>	79
Figura 54 -	Temperatura de cor, medida em graus Kelvin [62].	80
Figura 55 -	Constituição de um coletor solar térmico [71].	83
Figura 56 -	Sistema de termossifão [72].	83
Figura 57 -	Sistema de circulação forçada [69].	84
Figura 58 -	Composição do sistema fotovoltaico de entrega à rede elétrica [74]. ..	86
Figura 59 -	Balanço de calor pelos elementos da envolvente do edifício.....	103
Figura 60 -	Balanço de calor pelos elementos da envolvente, por piso.	103
Figura 61 -	Ganhos internos de calor, por piso.	104
Figura 62 -	Sombreamento sobre a envolvente do edifício. Solstício de verão (à esquerda) e solstício de inverno (à direita), ambos às 12 horas.	105
Figura 63 -	Ganhos solares, no piso 3.	107
Figura 64 -	Balanço de calor anual, nos tetos interiores.	108
Figura 65 -	Balanço de calor anual, nos pavimentos interiores.....	109
Figura 66 -	Ganhos solares, no edifício.	110
Figura 67 -	Ganhos solares, no edifício.	112
Figura 68 -	Consumo da iluminação, no edifício.	115

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Impacto do setor Residencial e Serviços no PNAEE 2016. Fonte: [11] ..	20
Tabela 2 - Síntese das políticas influentes no âmbito desta dissertação	23
Tabela 3 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno	44
Tabela 4 - Critérios para a determinação da zona climática de verão.....	45
Tabela 5 - Cor da superfície exterior da proteção solar [30].....	59
Tabela 6 - Os cinco principais tipos de lâmpadas.	76
Tabela 7 - Relação Watt/fluxo luminoso das várias lâmpadas [61].	79
Tabela 8 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude, para a estação de aquecimento e arrefecimento.	90
Tabela 9 - Descrição da solução construtiva da cobertura.....	91
Tabela 10 - Descrição das soluções construtivas das paredes.	91
Tabela 11 - Descrição das soluções construtivas dos pavimentos.....	92
Tabela 12 - Tipologia e quantidade de lâmpadas nas frações.....	93
Tabela 13 - Densidade ocupacional, por fração.	94
Tabela 14 - Consumos dos equipamentos	95
Tabela 15 - Resumo dos consumos energéticos, relativos aos equipamentos de cozinha.....	95
Tabela 16 - Resumo dos consumos energéticos relativos aos restantes equipamentos.....	96
Tabela 17 - Descrição da divisão das zonas.	99
Tabela 18 - Consumos energéticos das frações, previstos e reais.....	100
Tabela 19 - Consumos parciais simulados.	101
Tabela 20 - Consumo de energia anual resultante da aplicação da medida 1. ...	108
Tabela 21 - Cálculo do período de retorno para a medida 1.....	109
Tabela 22 - Consumo da energia anual resultante da medida 2.	111
Tabela 23 - Cálculo do período de retorno para a medida 2.....	111
Tabela 24 - Consumo da energia anual resultante da medida 3.	113
Tabela 25 - Cálculo do período de retorno para a medida 3.....	113
Tabela 26 - Consumo de energia anual resultante da medida 4.	114
Tabela 27 - Cálculo do período de retorno para a medida 4.....	115
Tabela 28 - Consumo da energia anual resultante da medida 5	116
Tabela 29 - Cálculo de período de retorno para a medida 5.....	116

Tabela 30 - Potências contratadas e admissíveis de produção, no edifício.....	117
Tabela 31 - Radiação solar no concelho de Portimão com as coordenadas nominais de 37,2°N e 8,6°W [80].....	118
Tabela 32 - Cálculo do período de retorno para a medida 6.....	119

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial iniciou-se no Reino Unido no século XVIII, e expandiu-se pelo globo a partir do século XIX. Este marco deveu-se, essencialmente, a alteração dos processos de produção. Iniciou-se a corrida à produção em massa, que simbolizava desenvolvimento económico. Consequentemente registou-se o incremento da necessidade de recorrer à extração dos recursos naturais que se traduzissem em matérias-primas e fontes de energia para este processo. Assim desencadeou-se um desgaste excessivo dos recursos naturais finitos.

A evolução tecnológica e o aumento de produção que se registou a partir de 1986 repercutiu-se no aumento dos consumos energéticos por parte da população e da indústria, como se pode verificar na Figura 1 [1].

Em 2008 verifica-se a redução do consumo energético em todas as fontes de energia. Este decréscimo de consumo de energia mundial pode refletir a crise económica existente em muitos países do globo, e consequentemente o abrandamento da produtividade industrial das economias. Após 2009 verifica-se novamente o aumento do consumo, que representa a recuperação das economias mundiais.

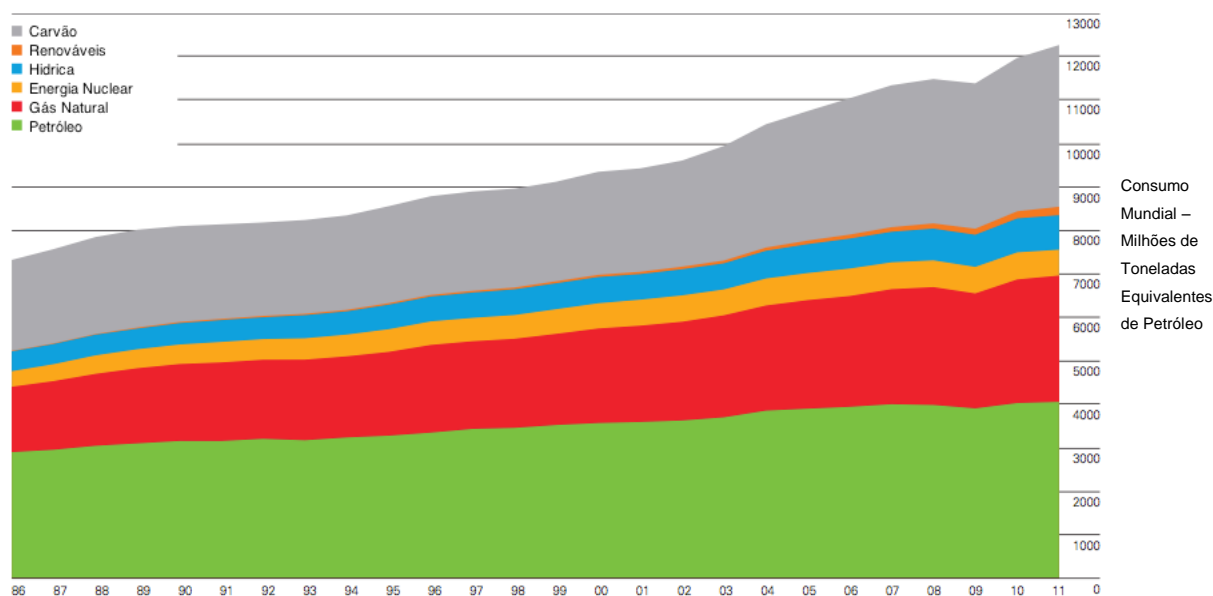


Figura 1 - Evolução do consumo de energia primária mundial [1].

O petróleo e o carvão são os combustíveis fósseis mais utilizados, com uma cota de mercado de 33,1% e 30,3% respetivamente, dado que estes combustíveis são recursos naturais finitos, a proporção da sua utilização representa diretamente um impacto significativo no meio ambiente [1].

Pode-se observar que em 1986 a cota de mercado das energias renováveis é quase inexistente, e que, sensivelmente, a partir do ano 2000 já se verifica um aumento da sua utilização. A necessidade de utilização de energias sem emissões de gases com efeito de estufa (GEE) levou ao investimento e desenvolvimento deste tipo de tecnologias que começou a ganhar novo enfoque no globo, por proteger o meio ambiente. O crescimento deste tipo de energias em detrimento dos combustíveis fósseis é sem dúvida o caminho para garantir um planeta mais saudável e eficiente energeticamente.

A crescente utilização que se verificou na utilização dos combustíveis fósseis está associada ao aquecimento global derivado das emissões de GEE produzidos pela utilização destes combustíveis.

A primeira conferência mundial para debater este tema ocorreu entre 5 a 16 de Junho de 1972, em Estocolmo, por iniciativa das Nações Unidas. Nesta conferência foi criada a “Declaração de Estocolmo para o Ambiente Relacionado com o Homem”, e foram discutidas várias medidas concretas para atingir uma gestão sustentável do consumo energético mundial.

As Nações Unidas, em 1992, organizaram uma nova conferência, no Rio de Janeiro, com o objetivo de criar uma agenda para a mudança, um plano de ação para alterar a situação mundial, e assinar um tratado (UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*) com o comprometimento dos países com esta causa, tendo no entanto responsabilidades diferentes consoante o seu nível de desenvolvimento económico. Este documento não impunha qualquer meta a ser atingida pelos países participantes, mas o objetivo era que no futuro fossem criados protocolos, ou atualizações do documento, para que fossem criadas metas bem definidas.

Um dos protocolos consequentes do tratado UNFCCC foi o Protocolo de Quioto. Este protocolo internacional foi adotado a 11 de Dezembro de 1997, na cidade de Quioto, no Japão, entrou em vigor no ano 2005, e foi assinado por 55 países, com o objetivo de limitar e monitorizar as emissões de GEE. O principal objetivo deste protocolo seria que os países desenvolvidos (Anexo I) reduzissem as emissões de GEE, no período

de 2008 a 2012, em pelo menos 5%, relativamente às emissões registadas do ano 1990. Os países signatários deste protocolo estão divididos por grupos, o Anexo I contempla os países desenvolvidos e o Protocolo distingue ainda um subconjunto, o Anexo B. Os países em vias de desenvolvimento são conhecidos como os “não Anexo I”, os quais não têm metas quantificadas de redução de emissões. A União Europeia, por forma a dar o exemplo e a demonstrar a sua preocupação com este tema, estabeleceu a meta mais ambiciosa dos países constituintes do Protocolo, comprometendo-se a diminuir as emissões dos GEE em 8% no período de 2008 a 2012 [2].

O Protocolo estimula os países signatários a cooperarem entre si, por forma a cumprir as metas impostas, através de algumas ações [3]:

- Aumento da eficiência energética;
- Promoção de formas sustentáveis da agricultura;
- Desenvolvimento das fontes renováveis de energia;
- Intercâmbio de experiências ou de informação com os signatários;
- Coordenação das políticas nacionais através de licenças de emissões;
- Aplicação conjunta;
- Mecanismos de desenvolvimento limpo.

Estas medidas, entre outras, foram implementadas na União Europeia.

Face à elevada dependência externa que Portugal apresenta no domínio dos combustíveis fósseis para a produção de energia, e por forma a atenuar esta lacuna e garantir o fornecimento energético, Portugal definiu como estratégia incentivar a produção de energia a partir das energias renováveis. O Estado português incentivou a população na implementação de sistemas para produção de energias renováveis através de subsídios e participações na aquisição destes sistemas, o que representou um elevado investimento. Outras medidas foram aplicadas, tais como, a reformulação das centrais elétricas com tecnologia mais eficiente, co-combustão de biomassa em centrais termoelétricas e aplicação de cogeração e trigeração em situações adequadas [4].

Assim a forma de preservar o ambiente, passa por reduzir o consumo dos combustíveis fósseis, com a consequente redução da emissão de GEE para a atmosfera.

Como iremos demonstrar adiante, os edifícios representam uma grande quota de mercado no consumo de energia mundial, logo uma forma de reduzir a fatura energética passa por tornar este sector mais eficiente, ou seja, é necessário reformular e desenvolver o parque edificado por forma a torná-lo eficiente. Torna-se portanto necessário reabilitar e conservar os edifícios com intervenções que minimizem os consumos de eletricidade e contruir novos edifícios de balanço energético, no ciclo anual, tendencialmente nulo – edifícios NZEB.

Definição de NZEB (*Nearly Zero Energy Building*), ou em português, edifício com necessidades quase nulas de energia – é um edifício que tem um balanço energético anual quase nulo, como se referiu. O valor quase zero, ou muito baixo de energia, significa que o edifício deve garantir as suas necessidades energéticas produzindo energia proveniente de fontes renováveis, no local ou nas proximidades.

O desempenho energético de um edifício caracteriza o valor calculado ou medido de energia necessária, para atender as necessidades de funcionamento do próprio edifício, associado a um uso típico que inclui, a energia usada para aquecimento, água quente, refrigeração, ventilação e iluminação. Assim o objetivo, conforme referido, é consumir o mínimo de energia necessária para o seu funcionamento, e por produzir energia provinda de fontes renováveis para cobrir esse consumo, atingindo um balanço anual energético nulo.

Tornando o sector dos edifícios quase auto-suficiente a nível energético, irá originar uma poupança significativa no consumo de combustíveis fósseis. É portanto necessário desenvolver as tecnologias de captação de energias renováveis por forma a ter disponíveis equipamentos para aplicação aos diversos tipos de edifícios. Por outro lado, também deve ser desenvolvida tecnologia para minimizar o dispêndio de energia associado ao normal funcionamento dos edifícios. Consumir menos energia para o mesmo fim, e produzir energia por via de fontes renováveis é o meio para garantir uma eficiência energética sustentável.

O objetivo fundamental desta tese é a caracterização do potencial de aplicação das novas tecnologias ao edificado construído e a construir, de modo a tendencialmente corresponderem a NZEBs. Este estudo permitirá caracterizar as tecnologias

existentes e em desenvolvimento, e estudar a viabilidade técnico-económica das soluções adotadas num caso de estudo.

O trabalho a desenvolver pretende refletir os conhecimentos adquiridos na pesquisa associada ao NZEBs, e em simultâneo dar a conhecer uma área de especialização ainda pouco desenvolvida no país.

Capítulo 2 - REGULAMENTAÇÃO ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS

No seguimento do Protocolo de Quioto, em 16 de Dezembro de 2002 entrou em vigor a diretiva europeia 2002/91/CE que visava aumentar a eficiência energética dos edifícios da União Europeia. Esta diretiva foi transposta para a legislação portuguesa em 2006 através do Decreto-Lei nº 78/2006 a 4 de Abril [5]. Em Abril de 2006 o Parlamento Europeu publicou uma nova diretiva que volta a focar a necessidade de melhoria da eficiência energética na utilização final de energia devido às dificuldades para cumprir o Protocolo de Quioto. A diretiva 2006/32/CE vem revogar a diretiva 93/76/CEE e refere o potencial de poupança de energia como consequência da implementação de medidas de eficiência energética que podem levar à redução da dependência energética externa [6].

Em Maio de 2010 foi publicada a diretiva europeia 2010/31/EU, que é a diretiva mais recente e a qual vamos dar mais ênfase neste trabalho, sobre o desempenho energético dos edifícios, que veio substituir a diretiva 2002/91/CE.



Figura 2 - Cronologia dos marcos internacionais relevantes, na eficiência energética dos edifícios.

2.1 Diretiva Europeia de desempenho energético dos edifícios

2.1.1 Diretiva 2010/31/UE

“Os edifícios representam 40% do consumo de energia total na União.” [7]

O sector dos edifícios está diretamente ligado à população e ao seu conforto, isto é, o desenvolvimento das economias vai proporcionar às famílias um natural aumento de qualidade de vida, que se vai repercutir num aumento de consumo energético no agregado familiar. Por outro lado, com o crescimento da tecnologia e da concorrência, o sector dos serviços vai querer proporcionar à população ambientes mais atrativos, que por sua vez também vão gerar maiores dispêndios de energia [7].

Para combater este aumento esperado de consumo de energia, são necessárias medidas que reduzam a fatura energética dos países, assim como, tecnologias que produzam energia limpa (sem emissões de GEE) para que a União cumpra as metas estabelecidas no Protocolo de Quioto, que se comprometeu a longo prazo de manter a subida de temperatura global abaixo dos 2°C, e reduzir até 2020 as emissões globais de GEE em pelo menos 20% em relação ao ano de referência de 1990, e em 30% no caso de conseguir um acordo internacional [7].

As medidas a aplicar para melhorar o desempenho energético dos edifícios deverão ser ajustadas aos locais dos mesmos, tendo em conta a sua localização, o clima e o conforto, e não podem comprometer a acessibilidade, a segurança e a utilização prevista do edifício, isto sempre numa perspetiva de maior rentabilidade económica possível [7].

É necessário uma metodologia de cálculo que diferencie a nível regional e nacional, o desempenho energético dos edifícios. Esta metodologia deve conter todos os sistemas tecnológicos e construtivos que possam ter influência no conforto e na luminosidade na conceção dos edifícios. É imprescindível que a metodologia para o cálculo do desempenho energético dos edifícios englobe o desempenho do edifício ao longo do ano, para que o investimento e o projeto seja o mais ajustado possível, e não se cometam investimentos por excesso ou por defeito. Esta metodologia deve cumprir as normais europeias em vigor [7].

“No estabelecimento de requisitos de desempenho energético para os sistemas técnicos dos edifícios, os Estados-Membros deverão utilizar, sempre que disponível e adequado, instrumentos harmonizados, descritos nas diretivas europeias.” [7]

Por forma a incentivar a construção de NZEBs, os Estados-Membros deverão efetuar planos com incentivos a construção dos mesmos, e reportá-los regularmente à Comissão.

Os instrumentos financeiros da União com o objetivo de estimular as medidas de eficiência energética são:

- Regulamento (CE) nº 1080/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Julho de 2006, relativo ao Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional;
- Banco Europeu de Investimento (BEI) com “Iniciativa de financiamento da energia sustentável da UE”;
- Fundo “Marguerite”, liderado pelo BEI: Fundo Europeu 2020 para a Energia, as Alterações Climáticas e as Infraestruturas;
- Diretiva 2009/47/CE do Conselho, de 5 de Maio de 2009, que altera a Diretiva 2006/112/CE relativa às taxas reduzidas de Imposto sobre o Valor Acrescentado.

Estes instrumentos financeiros deverão ser canalizados para aplicar os objetivos da presente diretiva, sem no entanto substituir as medidas nacionais.

A presente diretiva estabelece requisitos no que se refere [7]:

- a) Ao quadro geral comum para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios e das frações autónomas;
- b) À aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios novos e das frações autónomas novas;
- c) À aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos:
 - i. Edifícios existentes, frações autónomas e componentes de edifícios sujeitos a grandes renovações,
 - ii. Elementos construtivos da envolvente dos edifícios com impacto significativo no desempenho energético da envolvente quando forem renovados ou substituídos, e

- iii. Sistemas técnicos dos edifícios quando for instalado um novo sistema ou quando o sistema existente for substituído ou melhorado;
- d) Aos planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia;
- e) À certificação energética dos edifícios ou das frações autónomas;
- f) À inspeção regular das instalações de aquecimento e de ar condicionado nos edifícios;
- g) Aos sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção.

Os requisitos expostos na presente diretiva, são requisitos mínimos e não se contrapõem a que os Estados-Membros apliquem medidas de proteção mais estritas, as quais devem ser compatíveis com o Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia e notificados à Comissão.

A presente diretiva intitula “Grandes renovações”, as obras de renovação de um edifício em que:

- O custo total da renovação relacionada com a envolvente do edifício ou com os sistemas técnicos do edifício é superior a 25% do valor do edifício, excluindo o valor do terreno em que este está situado;
- É renovada mais de 25% da superfície da envolvente do edifício.

Nos edifícios novos, os Estados-Membros devem assegurar que, antes do início da construção, seja feito um estudo sobre a viabilidade técnica, ambiental e económica dos sistemas alternativos de elevada eficiência a seguir enumerados [7]:

- Sistemas descentralizados de fornecimento energético baseados em energias provenientes de fontes renováveis;
- Co-geração;
- Redes urbanas ou coletivas de aquecimento ou arrefecimento, em especial baseadas total ou parcialmente em energia proveniente de fontes renováveis;
- Bombas de calor.

Os sistemas técnicos dos edifícios estão intimamente ligados ao conforto, e por outro lado, ao consumo energético do edifício. Estes necessitam de ser monitorizados para minimizar os consumos associados à utilização dos equipamentos.

Nesta perspetiva os Estados-Membros estabelecem requisitos relativos ao desempenho energético geral, à instalação correta e ao dimensionamento, ajustamento e controlo adequados dos sistemas técnicos instalados nos edifícios.

Os sistemas que necessitam destes requisitos são:

- Sistemas de aquecimento;
- Sistemas de fornecimento de água quente;
- Sistemas de ar condicionado;
- Grandes sistemas de ventilação;
- ou uma combinação destes sistemas.

Na ordem de otimizar os consumos energéticos, os Estados-Membros incentivam a introdução de sistemas de:

- Contagem inteligentes;
- Automatização;
- Controlo;
- Monitorização.

Nos novos edifícios, assim como nas grandes renovações.

No âmbito desta dissertação, a meta fulcral desta diretiva é que os Estados-Membros asseguram que:

- **O mais tardar em 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia;**
- **Após 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia.**

No sentido de cumprir esta meta, os Estados-Membros necessitam de elaborar planos nacionais para incentivar, a construção ou remodelação, de NZEBs.

Os planos nacionais devem de incluir os seguintes elementos [7]:

- Uma descrição pormenorizada da forma como a definição de edifícios com necessidades quase nulas de energia é aplicada na prática pelo Estado-Membro, que reflita as condições nacionais, regionais ou locais dos edifícios, e que inclua um indicador numérico da utilização de energia primária, expressa em kWh/m² por ano. Os fatores de energia primária aplicados para a determinação da utilização de energia primária podem basear-se em valores anuais médios a nível nacional ou regional, e podem ter em conta as normas europeias pertinentes;
- Objetivos intermédios para melhorar o desempenho energético dos edifícios novos, até 2015, a fim de preparar a execução do disposto no n^o 1;
- Informações sobre as políticas e as medidas financeiras ou de outro tipo, tomadas no contexto dos n^{os} 1 e 2 para fomentar a criação de edifícios com necessidades quase nulas de energia, incluindo uma descrição pormenorizada dos requisitos e das medidas nacionais respeitantes à utilização de energia proveniente de fontes renováveis nos edifícios novos e nos edifícios existentes sujeitos a grandes renovações no contexto do n^o 4 do artigo 13^o da Diretiva 2009/28/CE e dos artigos 6^o e 7^o da presente diretiva.

Na medida de clarificar e de regular o desempenho energético dos edifícios, os Estados-Membros asseguram que seja emitido um certificado de desempenho energético para:

- Os edifícios ou frações autónomas construídos, vendidos ou arrendados a um novo inquilino;
- Os edifícios com uma área útil total ocupada por uma autoridade pública superior a 500 m² e frequentemente visitada pelo público. Em 9 de Julho de 2015, este limiar de 500 m² é reduzido para 250 m².

2.2 Legislação nacional de energia em edifícios

A legislação nacional sobre a eficiência energética em edifícios sofreu uma evolução por forma a seguir os referenciais da União Europeia. A preocupação pela qualidade do ambiente e das pessoas levou a que fosse criada a Diretiva 2010/31/CE, que deu novo enfoque aos utilizadores dos edifícios, mostrando uma maior preocupação pela qualidade do ar e ambiente no interior dos espaços. Portugal como país membro da UE atualizou a sua legislação neste âmbito, criando o novo Decreto-Lei n.º 118/2013, que revoga os Decretos-Lei nº 78/2006, o nº 79/2006 e o n.º 80/2006, que estão resumidos nos subcapítulos seguintes, com base na legislação europeia [8].

2.2.1 SCE

O Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios tinha como objetivo assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas nos documentos RSECE (Decreto-Lei nº 79/2006) e RCCTE (Decreto-Lei nº 80/2006). A certificação energética seria efetuada por peritos qualificados e a aplicação dos regulamentos seria supervisionada pela ADENE, Agência para a energia, pela DGEG, Direção Geral de Energia e Geologia, e pelo IA, Instituto do Ambiente.

2.2.2 RSECE

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios servia para regulamentar a eficiência energética dos edifícios de serviços, determinando limitações máximas em termos de consumos, assim como definir os procedimentos de manutenção, monitorização, auditorias energéticas e a qualidade do ar interior. Os edifícios abrangidos pelo regulamento possuem uma potência de calor ou frio superior a 25 kW ou uma área superior a 1000 m², ou superior a 500 m² no caso de serem centros comerciais, supermercados ou piscinas aquecidas. Em termos de condições térmicas, para além do imposto pelo RCCTE, o RSECE impunha limitações mínimas em termos de renovação de ar e máximas em termos de concentração de poluentes.

2.2.3 RCCTE

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios destinava-se a garantir a qualidade térmica dos edifícios residenciais e edifícios de serviços, de pequena dimensão. Os edifícios abrangidos pelo regulamento tinham de possuir uma potência de climatização inferior a 25 kW, sendo que os edifícios de serviços tinham de possuir uma área útil até 1000 m², ou menor que 500 m², no caso de serem centros comerciais, supermercados ou piscinas aquecidas. O regulamento também contemplava normas relativas à instalação de painéis solares térmicos e aquecimento das AQS (águas quentes sanitárias).

2.2.4 Em vigor: Decreto-Lei n.º 118/2013

Este Decreto-Lei assegura a transposição da Diretiva 2010/31/CE para a ordem jurídica nacional, e contempla uma revisão da legislação nacional que se traduz em melhorias ao nível da sistematização e âmbito de aplicação ao uniformizar num único diploma, o SCE, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). [8]

Das alterações a vários níveis da nova legislação, salienta-se, em primeiro lugar, a aglomeração, num só diploma, de uma matéria anteriormente regulada em três diplomas distintos, o que possibilita uma reorganização, que pretende a harmonização concetual e terminológica, com o objetivo de facilitar a interpretação das normas aos destinatários. Em segundo lugar, a distinção clara no âmbito de aplicação do REH e do RECS, separando por completo os edifícios de habitação e os de comércio e serviços, o que facilita a análise técnica e a gestão administrativa dos processos. [8]

Na avaliação do desempenho energético dos edifícios de habitação assume-se como principal pilar o comportamento térmico e a eficiência energética, ao que se

acrescenta, nos edifícios de comércio e serviços, a instalação, a condução e a manutenção de sistemas técnicos. [8]

Os sistemas técnicos ganham ênfase, e são introduzidos padrões mínimos de eficiência energética para os principais tipos de sistemas dos edifícios, tais como, os sistemas de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação, de aproveitamento de energias renováveis de gestão de energia. São também definidas regras e requisitos de instalação, condução e manutenção dos sistemas de climatização em edifícios de comércio e serviços para uma otimização energética de funcionamento. [8]

No campo da qualidade do ar interior, assume maior relevância a manutenção dos valores mínimos de caudal de ar novo por espaço e dos limiares de proteção para as concentrações de poluentes do ar interior de forma a privilegiar os níveis de proteção de saúde e de bem-estar dos ocupantes dos edifícios. As auditorias de qualidade do ar interior são eliminadas, no entanto, mantém-se a necessidade de controlo das fontes de poluição e a adoção de medidas preventivas, de forma a cumprir-se os requisitos legais para a redução de possíveis riscos para a saúde pública. [8]

É privilegiada a utilização de sistemas ou soluções passivas, tanto na climatização como na ventilação, em detrimento das soluções ativas, numa ótica de poupança de recursos.

No âmbito da certificação, destaca-se o reconhecimento do pré-certificado e do certificado SCE como certificações técnicas, tornando-as obrigatórias na instrução de operações urbanísticas. Passa a ser obrigatório a existência de certificado dum imóvel sujeito a novo contrato de arrendamento.

O novo certificado energético apresenta várias melhorias, com destaque para a nova tabela de classes de desempenho, como demonstra a figura 3.

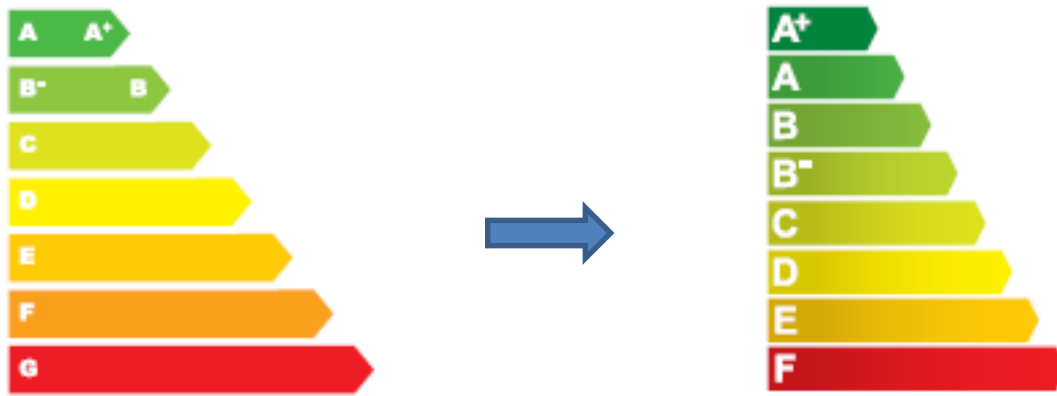


Figura 3 - Alteração da tabela de classes de desempenho. Tabela antiga à esquerda e nova tabela à direita [9].

Este certificado está mais focado no consumidor final, fornecendo informação mais simples, com incorporação de referenciais, apresentando indicadores qualitativos, medidas de melhoria e a combinação ideal destas e recomendações. A nível profissional, fornece informação detalhada, indicadores energéticos e de carbono, verifica requisitos, faz uma previsão dos consumos de energia, ou seja, existe uma melhor agregação de informação comparativamente ao certificado anterior.

2.2.5 RNBC 2020 e PNAC 2020

O Roteiro Nacional de Baixo Carbono (RNBC) 2020 é um instrumento que pretende orientar a definição das políticas no âmbito do controlo das emissões de GEE, até 2020, e com base nos cenários de evolução prever as emissões dos GEE para 2030 e 2050, com o objetivo de colocar a economia portuguesa mais sustentável, eficiente e competitiva [10].

O Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) 2020 identifica as políticas, medidas e instrumentos a adotar, as responsabilidades sectoriais, o financiamento e o mecanismo de monitorização e controlo com o objetivo de cumprir os limites das emissões para os sectores não contemplados pelo Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) [10].

Estes instrumentos políticos estão organizados como demonstra a figura seguinte.



Figura 4 - Organização dos instrumentos

O Acordo de Copenhaga realizado a Dezembro de 2009 pelas Nações Unidas, delimitou um acordo a longo prazo de limitar o aumento da temperatura média global a um máximo de 2^o C, e foi neste sentido que se criou estes instrumentos para se monitorizar a redução das emissões dos GEE [10].

No entanto, este objetivo só será atingido em 2050, se as emissões globais de GEE se reduzirem drasticamente, sendo os países desenvolvidos responsáveis pela diminuição de cerca de 80% a 95% até 2050, face a 1990. Portugal cumpriu os objetivos delineados para o período 2008-2012 no que respeita nas emissões de GEE. Este cumprimento só foi possível devido ao início do processo de desacoplagem entre o crescimento da economia e as emissões de GEE, ou seja, a geração de riqueza deixou de estar diretamente proporcional às emissões de GEE [10].

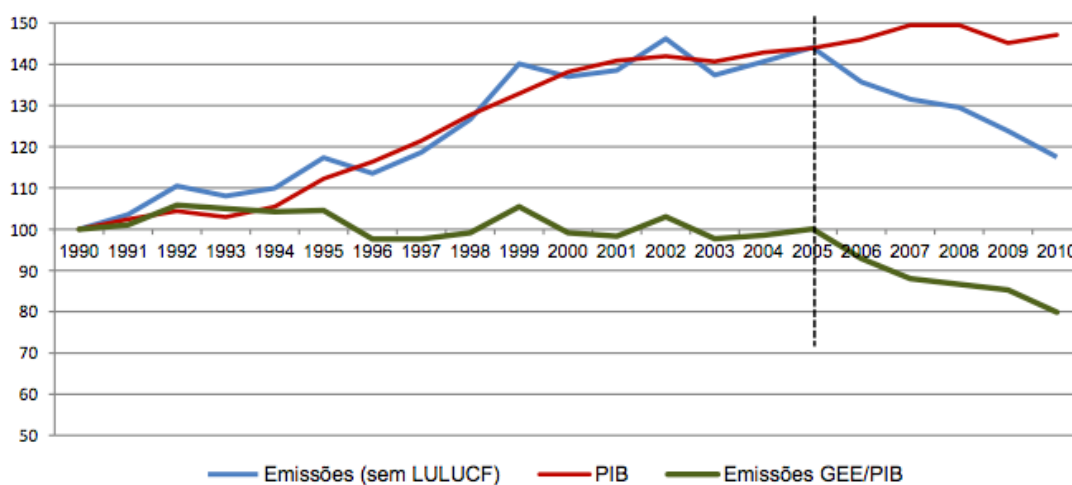


Figura 5 - Variação das emissões e do PIB em relação a 1990 (1990=100) [2].

Através da Figura 5 observa-se que foi em 2005 que houve uma desacoplagem entre o PIB e as emissões, resultante da “descarbonização” da economia. Foram vários os fatores que originaram esta tendência, desde o crescimento da penetração de fontes energéticas menos poluentes como o gás natural, a instalação de centrais de ciclo combinado e de unidades de cogeração, mais eficientes, o crescimento de energias produzidas através de fontes renováveis, a implementação de medidas de eficiência energética, e a certificação dos edifícios [11].

Assim os objetivos do RNBC 2020, em articulação com o PNAC 2020 são [10]:

- Consolidar e reforçar as políticas, medidas e instrumentos de carácter sectorial previstos no PNAC 2006 e Novas Metas 2007;
- Definir novas políticas, medidas e instrumentos com o objetivo de dar resposta à limitação de emissões para os sectores não abrangidos pelo CELE, designadamente os sectores residencial, dos serviços, dos transportes da agricultura e florestas e dos resíduos, e ainda de parte da atividade industrial;
- Prever as responsabilidades sectoriais, o financiamento e os mecanismos de monitorização e controlo.

2.2.6 Resumo da resolução do conselho de ministros nº20/2013

Tendo como referência a meta europeia do “20-20-20” para 2020, 20% de redução dos GEE relativamente aos níveis de 1990, 20% de quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto e 20% de redução do consumo de energia primária relativamente à projeção do consumo, efetuada a partir do *Baseline* 2007 por aplicação do modelo *PRIMES* da Comissão Europeia, Portugal traçou as suas metas para 2020, na redução de 25% no consumo de energia primária e especificamente para a Administração Pública, e como exemplo, uma redução de 30%. No âmbito das energias renováveis, a meta foi estabelecida em 31% do consumo final bruto de energia, no sector dos transportes também se pretende que 10% da energia utilizada seja proveniente de fontes renováveis.

Segundo o Programa do Governo e das grandes opções do Plano para 2013, aprovadas pela Lei nº 66-A/2012, de 31 de dezembro, no quadro da 5ª Opção «O

Desafio do Futuro - Medidas sectoriais prioritárias», na parte respeitante ao “Mercado de energia e política energética”, o XIX Governo Constitucional pretende prosseguir, entre outros, os objetivos de [12]:

- Assegurar a continuidade das medidas para garantir o desenvolvimento de um modelo energético com racionalidade económica, que assegure custos de energia sustentáveis, que não comprometam a competitividade das empresas nem a qualidade de vida dos cidadãos;
- Assegurar a melhoria substancial na eficiência energética do País, através da execução do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e do Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER), após a conclusão da respetiva revisão, do reforço da coordenação dos atuais programas de apoio à eficiência energética (Fundo de Eficiência Energética, Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica, Fundo de Apoio à Inovação, fundos do Quadro de Referência Estratégica Nacional), reforçando-se a sua dotação, e da conclusão da execução do Programa de Eficiência Energética na Administração Pública - ECO.AP; e
- Manter o reforço da diversificação das fontes primárias de energia, sendo os investimentos em renováveis reavaliados e apresentado um novo modelo de remuneração para que as tecnologias mais eficientes mantenham um papel relevante.

O PNAEE e o PNAER são os instrumentos de planeamento energético nacionais, que visam concretizar as metas assumidas pelo país, em consonância com os compromissos assumidos com a União Europeia, no âmbito da eficiência energética e da utilização da energia proveniente de fontes renováveis.

Neste sentido, foram aprovados, a 20 de Maio de 2008, o PNAEE de 2008, e em 30 de Julho de 2010, o PNAER de 2010.

Dado ao atual paradigma económico, é necessário fazer uma revisão a estes planos de forma a ajustá-los à atualidade, assim as principais linhas comuns à revisão destes planos são [12]:

- Alinhamento dos objetivos dos Planos em função do consumo de energia primária;

- Eliminação de medidas não implementadas, de difícil quantificação ou com impacto reduzido e sua substituição por novas medidas ou por um reforço de medidas já existentes de menor custo e maior facilidade de implementação;
- Avaliação estruturada dos impactos das medidas preconizadas por cada Plano; e
- Instituição de um sistema conjunto de acompanhamento e monitorização dos Planos.

Na ordem de concretizar estas atualizações, e nos termos da alínea g) do artigo 199.o da Constituição, o Conselho de Ministros decidiu [12]:

- Aprovar o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética para o período 2013-2016 (Estratégia para a Eficiência Energética - PNAEE 2016) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis para o período 2013-2020 (Estratégia para as Energias Renováveis - PNAER 2020), que constituem o anexo I à presente resolução, que dela faz parte integrante.
- Atribuir ao membro do Governo responsável pela área da energia a responsabilidade pela monitorização da execução do PNAEE e do PNAER.
- Determinar que, até ao final do primeiro semestre de 2013, o membro do Governo responsável pela área da energia, em articulação com os membros do Governo responsáveis pelas áreas das finanças e do ambiente, desencadeie as iniciativas legislativas e regulamentares necessárias à instituição de um sistema de acompanhamento e monitorização conjunta da implementação dos programas e medidas do PNAEE e do PNAER., bem como a alteração das respetivas estruturas de gestão.
- Determinar que o sistema de acompanhamento e monitorização conjunta referido no número anterior defina a metodologia de acompanhamento e as entidades envolvidas, o tipo e a periodicidade de monitorização, a avaliação do impacto das medidas constantes do PNAEE e do PNAER, e as entidades responsáveis pelas mesmas.
- Revogar as Resoluções do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de maio e 29/2010, de 15 de abril.
- Todas as referências à Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de maio, devem considerar-se feitas à presente resolução.

Os objetivos revistos do PNAEE e do PNAER visam:

- Cumprir todos os compromissos assumidos por Portugal de forma economicamente mais racional;
- Reduzir significativamente as emissões de gases com efeito de estufa, num quadro de sustentabilidade;
- Reforçar a diversificação das fontes de energia primária, contribuindo para aumentar estruturalmente a segurança de abastecimento do País;
- Aumentar a eficiência energética da economia, em particular no setor Estado, contribuindo para a redução da despesa pública e o uso eficiente dos recursos;
- Contribuir para o aumento da competitividade da economia, através da redução dos consumos e custos associados ao funcionamento das empresas e à gestão da economia doméstica, libertando recursos para dinamizar a procura interna e novos investimentos.

2.2.7 PNAEE 2016

O objetivo principal do PNAEE 2016 é definir novas metas e ações para 2016, em conjunto com o PNAER 2020 e seguindo os dispostos da Diretiva 2010/31/CE. Este plano baseia-se em três eixos de atuação [12]:

- Ação, através da adequação das medidas ao atual contexto económico-financeiro, tendo em vista a redução do custo global do programa nacional de eficiência energética;
- Monitorização, através da revisão dos métodos de monitorização de resultados em conformidade com as diretrizes europeias e criação de uma visão macro do impacto do programa nacional de eficiência energética; e
- Governação, através da redefinição do modelo de governação do PNAEE.

O PNAEE 2016 é uma atualização dos objetivos do PNAEE 2008, que tinha como meta, a redução do consumo de energia final em 10% até 2015, Para garantir esse objetivo foram definidas 50 medidas, organizadas em 12 programas, que abrangiam os sectores da indústria, residencial e serviços, transportes e estado [12].

No âmbito desta dissertação iremos abordar, apenas, o sector residencial e serviços.

De seguida enuncia-se os programas que foram estabelecidos no PNAEE 2016, e as percentagens de execução face a 2016, que permite uma monitorização dos resultados dos programas, e 2020 para o qual estão definidas as metas impostas pela União Europeia.

Tabela 1 - Impacto do setor Residencial e Serviços no PNAEE 2016. Fonte: [12]

Programa	Medida	Energia poupada (tep)		Execução face à meta de energia final de 2016	Execução face à meta de energia primária de 2020
		Final	Primária		
Renove Casa & Escritório (RSp1)	RSp1m1 - Promoção de equipamentos mais eficientes	99.931	156.869	53%	43%
	Incentivos para a substituição de eletrodomésticos mais eficientes				
	RSp1m2 - Iluminação eficiente	48.530	76.181	49%	49%
	Introdução de 15 milhões de lâmpadas fluorescentes compactas (CFL)				
	RSp1m3 - Janela eficiente	311	339	31%	21%
	Promoção na substituição de envidraçados eficientes				
	RSp1m4 - Isolamento eficiente	435	475	41%	25%
	Aplicação de isolamentos eficientes na reabilitação do parque edificado				
RSp1m5 - Calor verde	15.796	15.796	14%	10%	
Dinâmica no mercado de recuperadores de calor para aquecimento					
Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios (RSp2)	RSp2m1 - SCE Edifícios Residenciais	57.473	71.554	74%	61%
	RSp2m2 - SCE Edifícios de Serviços	23.697	29.098	28%	16%
	Implementação de orientações que regulam o SCE				
Solar Térmico (RSp3)	RSp3m1 - Solar Térmico Residencial	16.303	16.303	31%	20%
	RSp3m2 - Solar Térmico Serviços	4.532	4.532	21%	13%
	Incentivos à aquisição de equipamentos para o aquecimento de AQS				
TOTAL PNAEE 2016		267.008	371.147	42%	34%

Sabendo que a meta imposta pela UE, para o ano 2020, é a poupança de 20% de energia primária e que o objetivo do Governo é a redução de 25% no consumo de energia primária, através desta tabela 1 pode se constatar que em 2013, com a implantação destas medidas, já se concretizou 34% de poupança de energia primária em relação às metas definidas pelo Governo Português.

Com a aplicação do PNAEE 2016 estima-se uma poupança energética de 1501 ktep, que corresponde a uma redução aproximada de 8,2%, relativamente à média do consumo energético verificada no período entre 2001 e 2005, que se verifica muito próxima da meta indicativa definida pela UE de 9% de poupança de energia até 2016 [12].

Fontes de financiamento

O PNAEE 2016 será executado através de [12]:

- Medidas regulatórias;
- Mecanismos de diferenciação fiscal;
- Fundos que disponibilizem verbas para programas de eficiência energética, tais como [12]:
 - a) Fundo de Eficiência Energética (FEE), criado pelo Decreto-Lei n.o 50/2010, de 20 de maio, e regulamentado pela Portaria n.o 26/2011, de 10 de janeiro, destinado a apoiar especificamente as medidas do PNAEE;
 - b) Fundo de Apoio à Inovação (FAI), criado pelo Despacho n.o 32276-A/2008, de 17 de dezembro de 2008, que aprovou igualmente o seu Regulamento de Gestão, posteriormente alterado pelo Despacho n.o 13415/2010, de 19 de agosto de 2010, e pelo Despacho do Secretário de Estado da Energia, de 5 de julho de 2012, que alargou o âmbito de aplicação do FAI a projetos de investimento em eficiência energética;
 - c) PPEC - Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica, promovido pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) no quadro do PNAC;
 - d) Fundo Português de Carbono (FPC), criado pelo Decreto-Lei n.o 71/2006, de 24 de março, destinado a apoiar, entre outros, projetos que conduzam à redução de emissões de gases com efeito de estufa;
 - e) Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN) e outros instrumentos financeiros comunitários, tais como a iniciativa *Joint European Support for Sustainable Investment in City Areas* (JESSICA), focalizado para a reabilitação e desenvolvimento urbano sustentáveis.

2.2.8 PNAER 2020

O Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis, assim como o PNAEE 2016, abrange os sectores da indústria, residencial e serviços, transportes e estado, seguindo a mesma linha de ação, iremos apenas abordar o sector residencial e serviços.

O PNAER 2020 é uma atualização, das políticas para as fontes de energias renováveis (FER), do antigo PNAEE 2010. Foi necessário o estabelecimento de novas políticas que fossem ao encontro das novas metas da UE, sendo estas ajustadas à economia do país.

Dado ao estado económico de Portugal, estima-se uma redução de 18% na capacidade instalada em tecnologias baseadas em FER em 2020, relativamente ao antigo Plano, no entanto, a quota de eletricidade de base renovável no PNAER 2020 é superior (60% contra 55%), assim como a meta global a ser alcançada, que será 35%, ou seja, 4% acima da meta anterior [12].

Portugal é um exemplo na UE neste âmbito, representando um dos melhores registos históricos no cumprimento da incorporação de FER no consumo bruto de energia, sendo que em 2010, com base nas metas de 2020, apresentou 34,5% de FER no eixo de aquecimento e arrefecimento (meta de 30,6%), 41,1% na eletricidade (meta de 55,3%) e 24,6% no consumo final bruto de energia (objetivo de 31,0%). Na atualidade, acima de 45% da eletricidade produzida em Portugal é com base na utilização de FER e cerca de 25% do consumo final de energia é satisfeito com recurso a energias renováveis [12].

Na tabela 2 enuncia-se as políticas do PNAER 2020 que interferem diretamente nas FER, e conseqüentemente nos NZEBs.

Tabela 2 - Síntese das políticas influentes no âmbito desta dissertação

Principais políticas e medidas específicas para o setor de Aquecimento e Arrefecimento (AA)					
Nome	Descrição	Resultado previsto	Estado	Início	Fim
Solar térmico	Promover a instalação de sistemas solares térmicos no setor residencial e em piscinas e recintos desportivos, bem como a renovação de sistemas solares térmicos em fim de vida útil.	Residencial: 76.200 tep e Serviços: 31.776 tep, em 2020.	E	2003	2020
Calor Verde	Promover a instalação em edifícios de sistemas energéticos mais eficientes e de melhor desempenho ambiental alimentados para fins de climatização.	157.354 tep em 2020.	P	2010	2020
Registo de instaladores de pequenos sistemas renováveis	Criar um sistema nacional de registo de instaladores e pequenos sistemas renováveis para fins térmicos (solar térmico, bombas de calor e sistemas de biomassa).	Melhoria da qualidade das instalações, melhoria da qualidade da informação prestada aos clientes, estabelecimento de uma rotina de recolha de dados para o PNAER.	P	2013	2020
Principais políticas e medidas específicas para o setor Elétrico					
Regime geral	Introdução de um regime remuneratório geral, que possibilite ao produtor de eletricidade a partir de FER exercer a sua atividade nos termos aplicáveis à PRO	Dinamizar o investimento em tecnologias maduras com uma ordem de mérito que viabilize a sua atuação em regime de mercado.	E	2012	2020
Facilitador de mercado	Operacionalização da figura do facilitador de mercado, obrigado a adquirir a energia produzida pelos centros eletroprodutores a partir de FER que pretendam vender-lhe a referida energia em regime de mercado	Criar condições efetivas para viabilizar a atuação dos operadores de menor dimensão em mercado	P	2013	2020
Garantias de Origem	Operacionalização da Entidade Emissora de Garantias de Origem (EEGO)	Contribuir para a viabilização económica de projetos de produção de eletricidade a partir de FER e o aumento da transparência através da transação das garantias de origem decorrentes da produção deste tipo de eletricidade.	P	2013	2020
Miniprodução	Reformulação e fusão dos atuais programas de microprodução e miniprodução.	Agilizar e harmonização dos procedimentos administrativos. Racionalização dos apoios concedidos.	E	2012	2013
Balcão Único da Eletricidade	Agilização dos procedimentos de licenciamento de centrais renováveis de eletricidade.	Diminuir os prazos de licenciamento através da criação de um balcão único (DGEG), da figura de “gestor de projeto” e de uma plataforma eletrónica por forma a facilitar a tramitação dos processos de licenciamento e a informação sobre os mesmos.	E	2007	2013

Legenda: E – Existente; P - Programada

Portugal é um dos países da UE com maior exposição solar, com um número médio de horas de sol que varia entre as 2.200 e as 3.000 [13]. Assim o investimento no aproveitamento da energia solar assume um papel importante no sentido de aumentar a produção descentralizada de eletricidade. Além do programa existente de microprodução, em 2011 foi criado o programa de miniprodução, com o objetivo de instalar cerca de 250 MW até 2020. O alvo principal deste programa é o setor dos serviços e o setor industrial. Neste momento ocorre a reformulação e fusão destes dois programas [12].

No âmbito do solar térmico, encontram-se instalados cerca de um milhão de m² de painéis, sendo que o setor residencial contempla dois terços, e o setor dos serviços o remanescente. Até 2020 estima-se que sejam instalados cerca de 2.214.282 m², o que corresponde a uma taxa de 11,5% entre 2010 e 2020 [12].

Setor do Aquecimento e Arrefecimento

O programa de microprodução exige a instalação de painéis solares térmicos para ter acesso à tarifa bonificada para a produção de eletricidade.

Nos edifícios novos, sempre que existirem condições técnicas para a instalação de painéis solares térmicos, o SCE assim o impõe. Os edifícios, novos ou remodelados, que utilizem energias renováveis para a climatização ou para o aquecimento de AQS são beneficiados na classificação da classe energética, no âmbito do SCE [12].

Fontes de financiamento

O financiamento deste Plano, à semelhança do PNAEE 2016, provém sobretudo do Fundo de Apoio à Inovação (FAI), do Fundo Português de Carbono (FPC) e do Quadro de Referência Estratégica Nacional (QREN).

Impactes

A nível de emprego estima-se que com o cumprimento do Plano se possam gerar 70 mil novos postos de trabalho, diretos e indiretos [12].

“O impacto na balança energética poderá significar uma poupança na ordem dos 2.657 milhões de euros (Brent = 112 \$/barril; Gás Natural = 11 \$/Mbtu), o que equivale a uma redução nas importações de produtos energéticos de 3.018 milhões de m³ de gás natural no setor elétrico e 17 milhões de barris de petróleo, fora do setor elétrico (transportes, aquecimento e arrefecimento). Este esforço global de investimento nas energias renováveis e eficiência energética permitirá reduzir a dependência energética dos atuais 79% para valores próximos dos 74% em 2020.” [12]

Com o cumprimento deste Plano prevê-se uma redução estimada de 28,6 Mton até ao ano 2020, o que significa uma poupança de 286 milhões de euros (CO₂ = 10€/ton) [12].

Capítulo 3 - ENQUADRAMENTO AMBIENTAL E ENERGÉTICO

Nas últimas décadas registou-se um crescimento do consumo energético, tanto em Portugal como no resto da União Europeia. Este crescimento deve-se sobretudo ao aumento da qualidade de vida das populações e associado a este crescimento, está também o aumento da dependência energética da União Europeia em relação a países terceiros.

3.1 Análise energética da União Europeia e de Portugal

No âmbito da energia, os sectores que mais consomem a energia dos países são cinco, a pesca e a agricultura, os serviços, a habitação, a indústria e os transportes. Os transportes e a habitação são os grandes consumidores da energia mundial, representando 31,7% e 26,6%, respetivamente, da energia final total consumida, como se pode analisar na figura 6 [14].

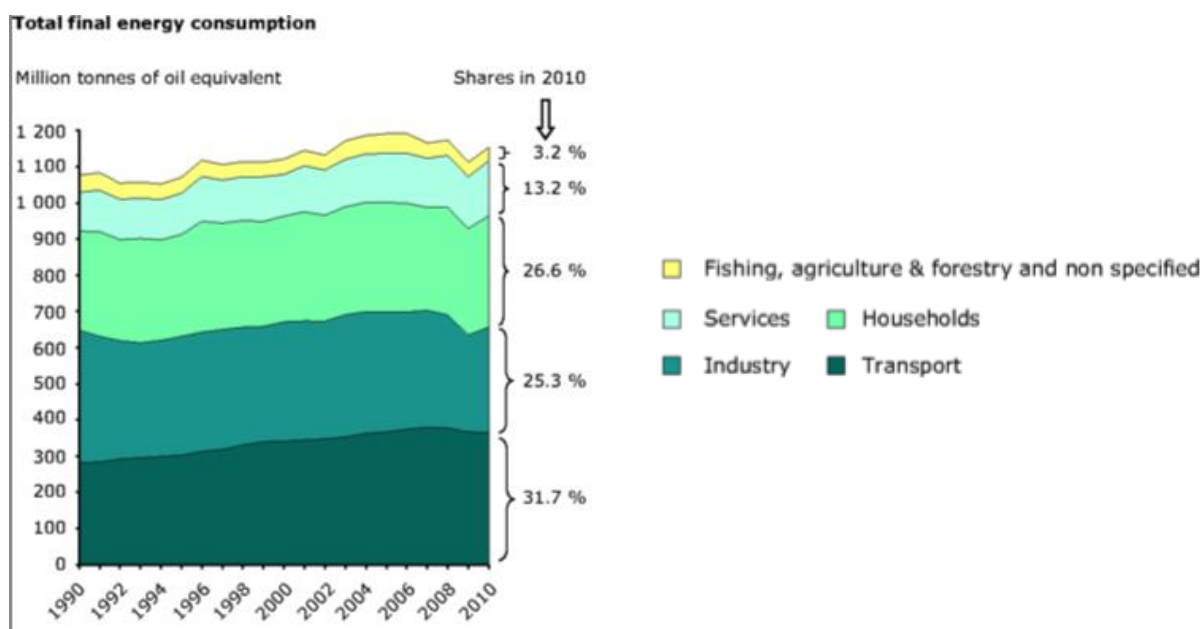


Figura 6 - Consumo total de energia final, por sector, na UE-27 [14].

Em 2008 houve uma quebra no consumo de energia, em todos os sectores. A redução do consumo neste ano foi devido há crise económica que passou pela UE, as

economias retraíram-se, e todos os sectores baixaram a sua produtividade. O sector dos transportes foi o que sofreu uma queda menos abrupta no consumo de energia. No entanto, em 2009, verifica-se um aumento do consumo de energia, que demonstra a recuperação dos mercados e o aumento de confiança das economias da UE.

Considerando que o sector dos edifícios é composto pela componente habitacional e serviços, temos um consumo final de energia na ordem dos 39,8%, o que faz deste sector, o maior consumidor de energia final na UE.

Apesar do sector dos edifícios simbolizar 40% no consumo final de energia na UE, no contingente nacional este sector é responsável pelo consumo de 30% no consumo final de energia nacional [15].

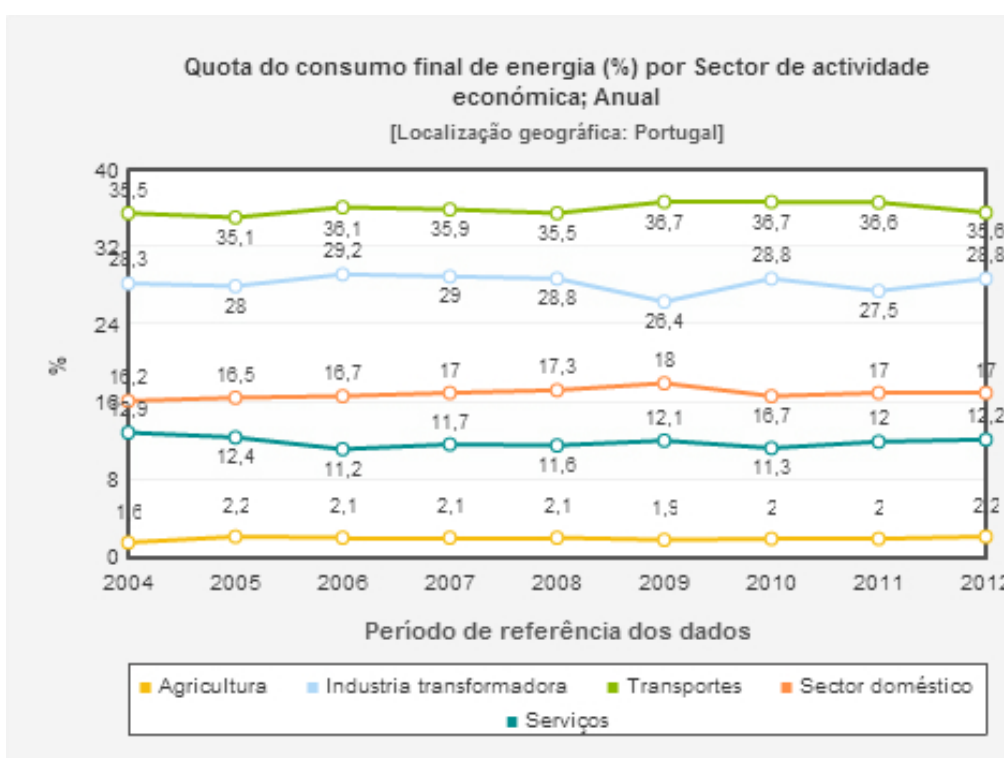


Figura 7 - Consumo final de energia, por sector, em Portugal [16].

Como se pode averiguar através da figura 7, o sector doméstico e o sector dos serviços representaram, em 2012, cerca de 29,2% do consumo final de energia em Portugal. O sector mais consumidor de energia em Portugal foi o sector dos transportes com uma quota de 35,6%, seguindo-se o sector da indústria com 28,8% do consumo final de energia no país. Assim pode-se concluir que ao contrário do que

acontece na UE, o sector dos edifícios não é o sector que mais consome energia, mas no entanto, a sua quota de mercado, não deixa de ser representativa no consumo final de energia. Na evolução do consumo final de energia repare-se que em 2008, na oposição do que aconteceu na UE, apenas os sectores da indústria e da agricultura sofreram um abrandamento, os restantes sectores continuaram a consumir mais energia.

A energia pode ser produzida através de várias fontes. Analisando os vários tipos de combustível, chega-se à conclusão que o combustível mais usado para produzir energia são os produtos petrolíferos, seguidamente, é o gás natural, os combustíveis sólidos, a energia nuclear, e por último, as energias renováveis.

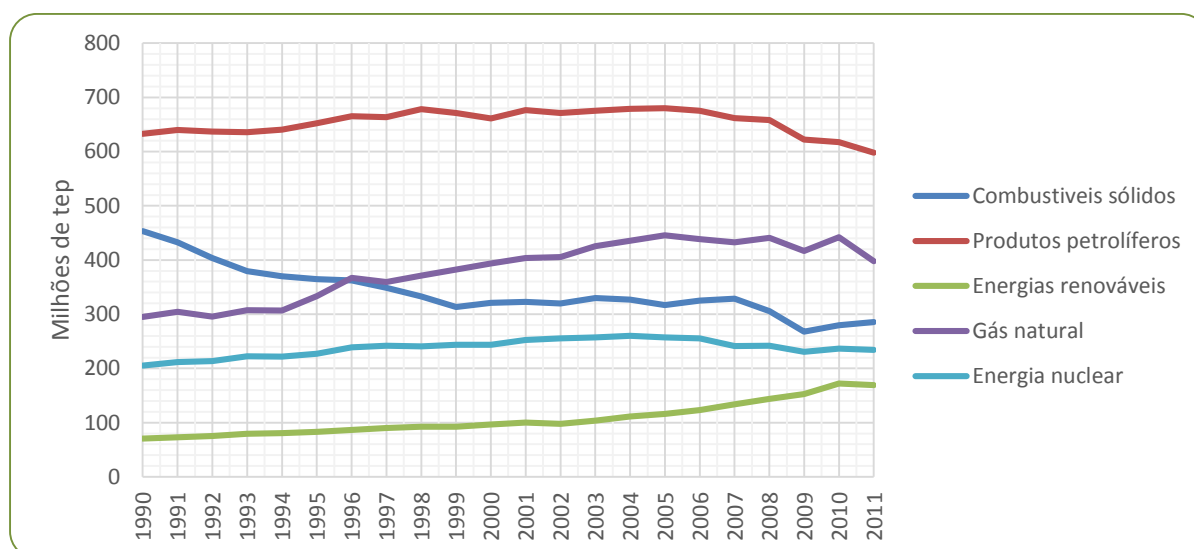


Figura 8 - Consumo interno bruto de energia, por combustível, da UE-27 [16].

Através da figura 8 observa-se que o uso dos produtos petrolíferos e da energia nuclear, para a produção de energia, não têm grandes variações ao longo das duas últimas décadas, no entanto, ambas têm vindo a decrescer sensivelmente após o ano 2005. Os combustíveis sólidos são os que apresentam maior descida na cota de mercado, a sua linha é praticamente sempre descendente. O gás natural é o combustível que apresenta maior crescimento, este teve poucas quebras pontuais, e nos últimos vinte anos, o seu consumo passou de trezentos para quatrocentos milhões de tep. As energias renováveis, apresentam um crescimento contínuo, com destaque para o ano 2003 a partir do qual se denota um crescimento mais acentuado

no uso deste tipo de combustível, no entanto a produção de energia por esta via ainda está muito abaixo dos restantes combustíveis.

Após a análise do consumo de energia, por tipo de combustível, será importante averiguar a produção de energia da mesma forma, com o objetivo de fazer a comparação e determinar em qual dos combustíveis a UE é mais dependente energeticamente.

Através da figura 9 está evidenciado que o combustível que mais se produz na UE é a energia nuclear. Em 2011, a produção de energias renováveis e de carvão foi muito próxima. O gás natural e o petróleo bruto são os combustíveis menos produzidos na UE.

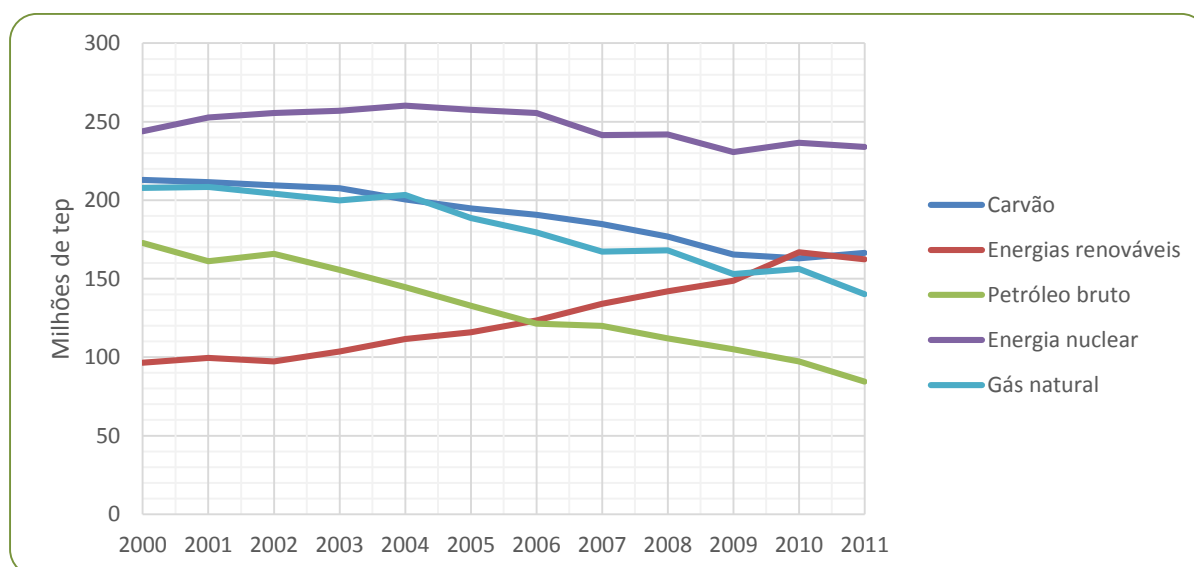


Figura 9 - Produção total de energia primária, por combustível, da EU-27 [16].

Na última década, é importante salientar que todos os combustíveis sofreram uma descida considerável, em detrimento das energias renováveis, onde se verificou um aumento de produção muito significativo, a rondar os 50%.

O combustível que apresentou maior queda de produção foi o petróleo bruto, que passou dos 170 milhões de tep, em 2000, para 85 milhões de tep, em 2011. Na figura 8 ficou claro que o combustível mais usado na UE são os produtos oriundos do petróleo, assim sendo, comprova-se que a UE está muito dependente deste tipo de combustível, pelo que tem de o importar em grandes quantidades para satisfazer as suas necessidades de consumo.

Estas últimas análises remetem-nos para a dependência energética que a UE apresenta, face a países terceiros, aos quais tem de importar combustível para produzir energia para o seu próprio consumo.

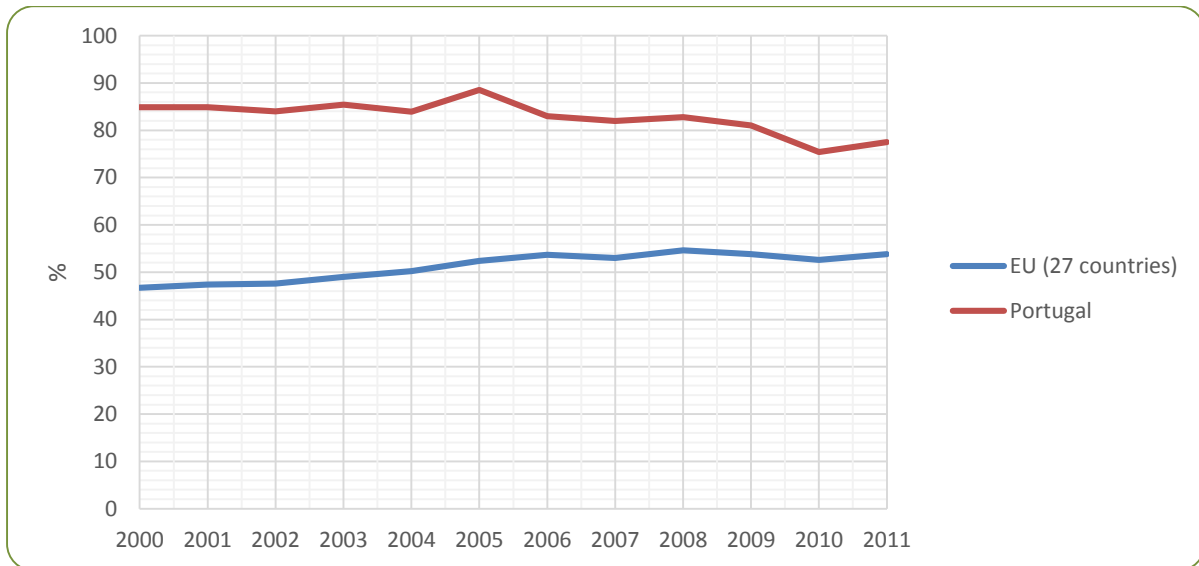


Figura 10 - Dependência energética da EU-27 e Portugal [16].

Analisando a figura 10 verifica-se que nos últimos dez anos a dependência energética da UE, aumentou substancialmente, cerca de 6%. O que demonstra que a diminuição de produção de energia, não foi acompanhada pela diminuição do consumo desta. A dependência energética da UE, 2011, foi de 53%, ou seja, a UE apenas produz quase metade da energia que consome.

Portugal contrariou a tendência da UE, diminuindo a sua dependência energética na última década. No entanto, a sua dependência energética continua muito acima da média europeia, cerca de 25%.

Analisando somente os consumos de eletricidade na União Europeia, pode-se verificar mediante a figura 11, que o sector dos transportes deixou de ter relevância neste tipo consumo, pelo facto deste sector ter como fonte de energia outros tipos de energia.

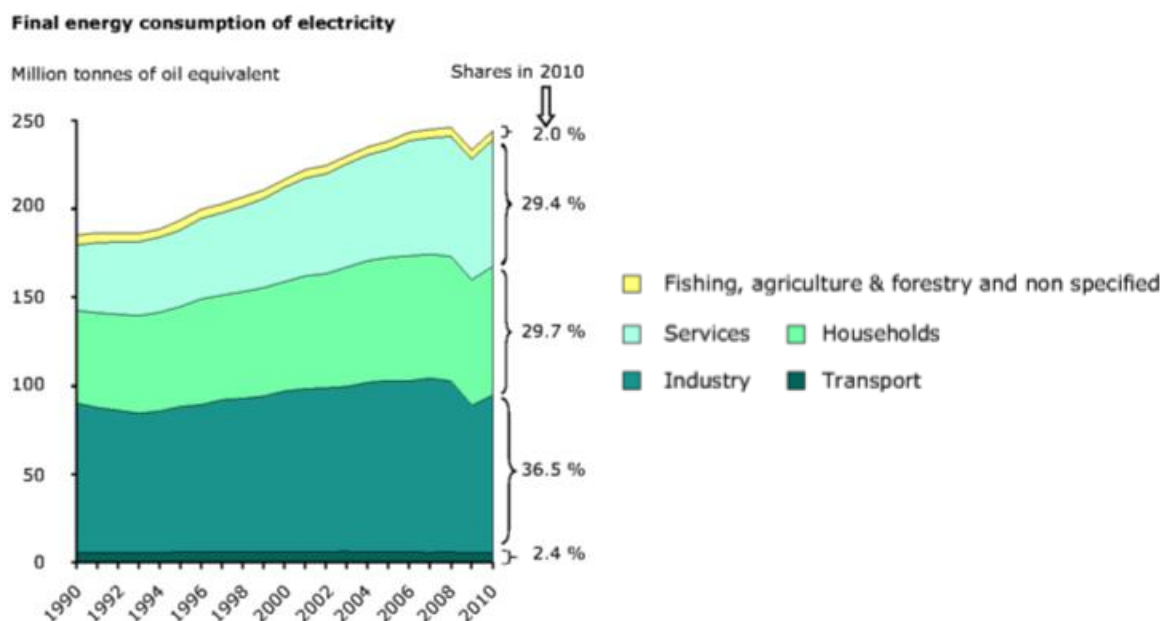


Figura 11 - Consumo total de eletricidade, por sector, na UE-27 [14].

Constata-se segundo a figura 11 que o consumo de eletricidade foi, sensivelmente, sempre crescente, com a exceção do ano 2008 devido a crise económica. Denota-se que a partir do ano 1994, o consumo de eletricidade acelerou mais no sector dos serviços e habitação que no sector da indústria, sendo que o maior aumento no consumo foi efetivamente no setor dos serviços.

Efetuando a mesma abordagem, verifica-se que o sector dos edifícios (habitação e serviços) consumiu 59,1% da totalidade da energia elétrica na União Europeia, valor que é bastante superior ao consumo do sector da indústria.

Por fim conclui-se que o sector dos edifícios é de facto o sector que mais energia consome na União Europeia, e que o seu peso na fatura energética é extremamente elevado, daí ser necessário aplicar medidas para a sua redução e contrariar a sua evolução, que tem sido crescente nas últimas décadas.

Elaborando a mesma análise do consumo de eletricidade em Portugal, observa-se que em sintonia com a UE, o sector dos transportes também perde a sua importância.

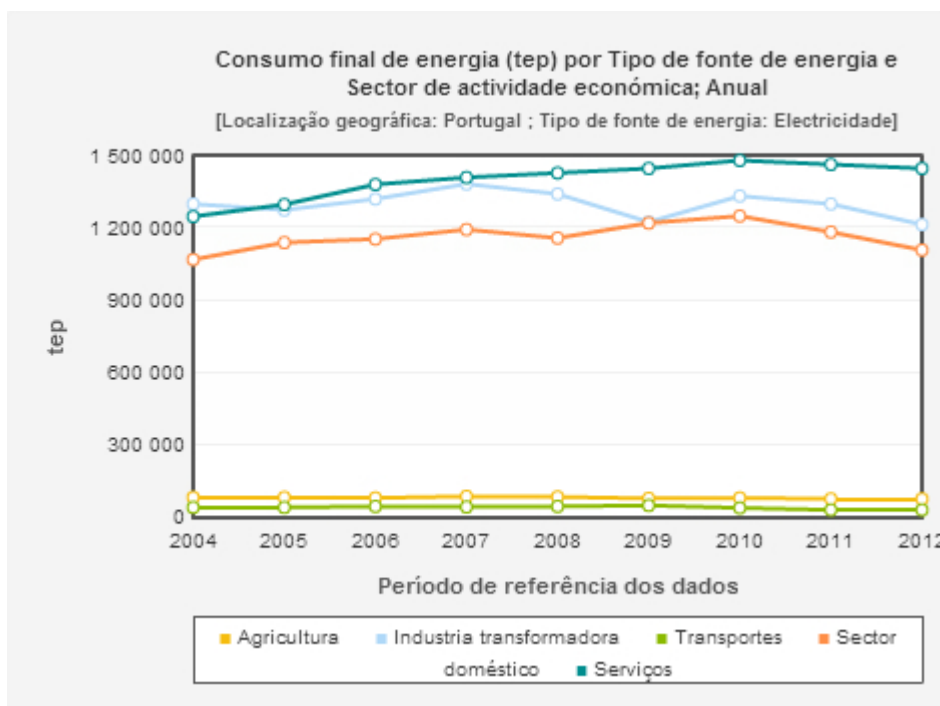


Figura 12 - Consumo final de eletricidade, por sector, em Portugal [17].

A grande diferença a nível nacional comparativamente à UE, é o facto da quota de mercado dos serviços assumir o papel principal no consumo de eletricidade, ou seja, esta é superior às quotas de mercado da indústria e do sector doméstico. É importante salientar que na figura 12 apenas é retratada a indústria transformadora, o que não acontece na figura 11, onde é representada a indústria como um todo.

O consumo no sector dos serviços foi o que mais cresceu desde 2004, em oposição do sector da indústria, que foi o sector onde houve um decréscimo mais acentuado. O sector doméstico apresentou uma evolução sem grandes variações, sendo que em 2009 consumiu a mesma eletricidade que a indústria, ano em que este sector atingiu o seu mínimo, no período referenciado.

Assim conclui-se que em Portugal, assim como na UE, o sector dos serviços é aquele que tem aumentado mais o seu consumo de eletricidade, no entanto este sector em Portugal é o mais relevante no consumo de eletricidade, o que não acontece na UE.

As energias renováveis têm sido a principal aposta dos governos, neste novo paradigma energético, no sentido de combater a dependência energética, sem no entanto aumentar as emissões de GEE para a atmosfera. É a forma de construir um desenvolvimento futuro mais sustentável, cumprindo os pressupostos do Protocolo de Quioto.

Verificou-se que nos últimos vinte anos o consumo de eletricidade disparou, será então necessário colmatar este aumento de consumo no que respeita à eletricidade.

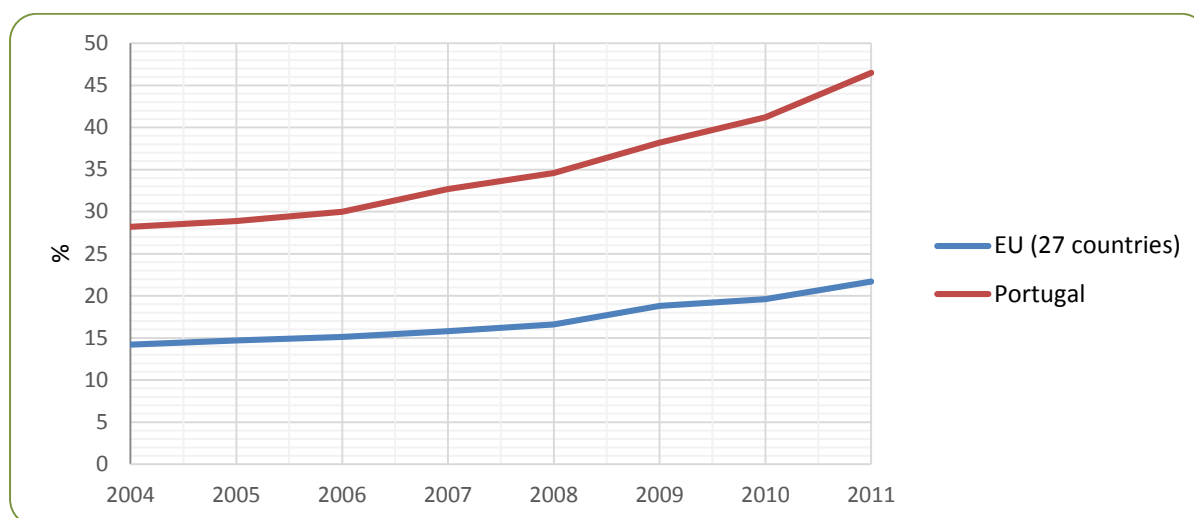


Figura 13 - Eletricidade gerada por energias renováveis, na EU-27 e Portugal [16].

Na figura 8 constatou-se que a produção de energias renováveis tem aumentado na última década, o que vai de acordo com o que está demonstrado na figura 11, em que as energias renováveis têm gerado cada vez mais eletricidade.

Neste âmbito Portugal supera a média europeia, apresentando um crescimento maior do que a UE, de 2004 a 2011, e gerando 47% de eletricidade através das energias renováveis, contra os 23% na UE, em 2011. É de notar que em 2006, o crescimento na geração de eletricidade através das energias renováveis assumiu um novo rumo, se de 2004 a 2006 o crescimento foi de 2% por ano, nos anos seguintes o crescimento foi de, em média, 3,2%, sendo que em 2011 quase metade da energia elétrica produzida em Portugal foi através das energias renováveis, demonstrando o potencial desta fonte de energia na produção de eletricidade.

Confirmou-se que as energias renováveis têm um papel muito importante na geração de eletricidade, no entanto, na figura 7 verificou-se que no consumo interno bruto, as energias renováveis são as que têm menos significado no consumo, comparativamente às outras opções.

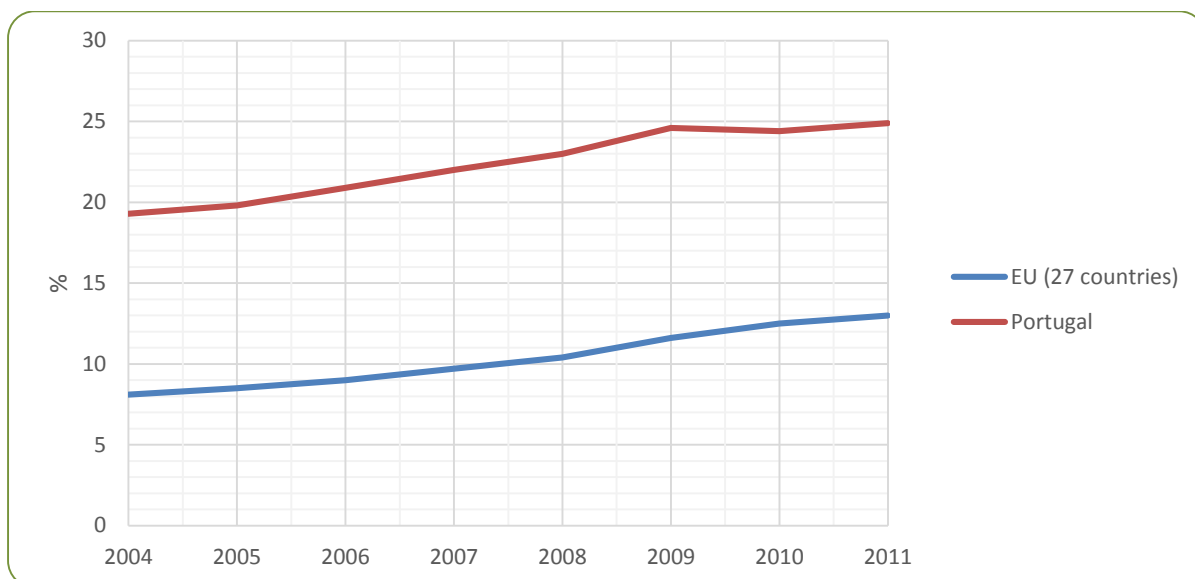


Figura 14 - Percentagem de energias renováveis no consumo final bruto de energia, na EU-27 e Portugal [16].

Apesar das energias renováveis representarem ainda uma fatia pequena no consumo interno bruto de energia, esta percentagem tem aumentado na última década. O que é consequência do aumento de produção deste tipo de energia, assim como das novas políticas que favorecem a implantação e o uso destas, como foi verificado anteriormente. Através da figura 12 observa-se que foi em 2008, ano da crise económica em que os consumos energéticos baixaram em todos os sectores, que as energias renováveis tiveram maior crescimento na percentagem no consumo final bruto de energia. Também foi em 2008 que houve a viragem na dependência energética da UE e de Portugal, ou seja, foi neste ano que se contrariou a subida da dependência e esta passou a decrescer, o que demonstra que as energias renováveis foram cruciais nesta mudança para a sustentabilidade.

Em relação a Portugal, e à semelhança do que aconteceu na geração de eletricidade através das energias renováveis, estas representaram 25%, em 2011, no consumo final bruto de energia, contra os 13% na UE. Assim conclui-se que Portugal está no caminho certo para a sustentabilidade energética e acima da média europeia neste campo.

Até agora as energias renováveis foram analisadas como um todo, no entanto, estas provêm de várias fontes, como a biomassa, a hídrica, a geotérmica, a eólica, a solar, o hidrogénio e as ondas e marés.

Para se construir um NZEB, edifício com um balanço energético anual quase nulo, é necessário que este produza energia por alguma via. Assim sendo recorre-se às energias renováveis, por outro lado, nem todos os processos e mecanismos de produção das energias renováveis podem ser acoplados na construção dos edifícios, o que nos restringe as opções na escolha do tipo de energia renovável que pode ser passível de construção num edifício. Chega-se à conclusão que o meio de produção de energia que mais se adequa na construção dos edifícios, aquele que facilmente se implanta em qualquer edifício e que não exige grandes complicações a nível de projeto e execução em obra, é através dos painéis solares térmicos, para o aquecimento de águas, e dos painéis fotovoltaicos, para a produção de eletricidade, ou seja, a energia mais apetecível na construção de um NZEB é a energia solar.

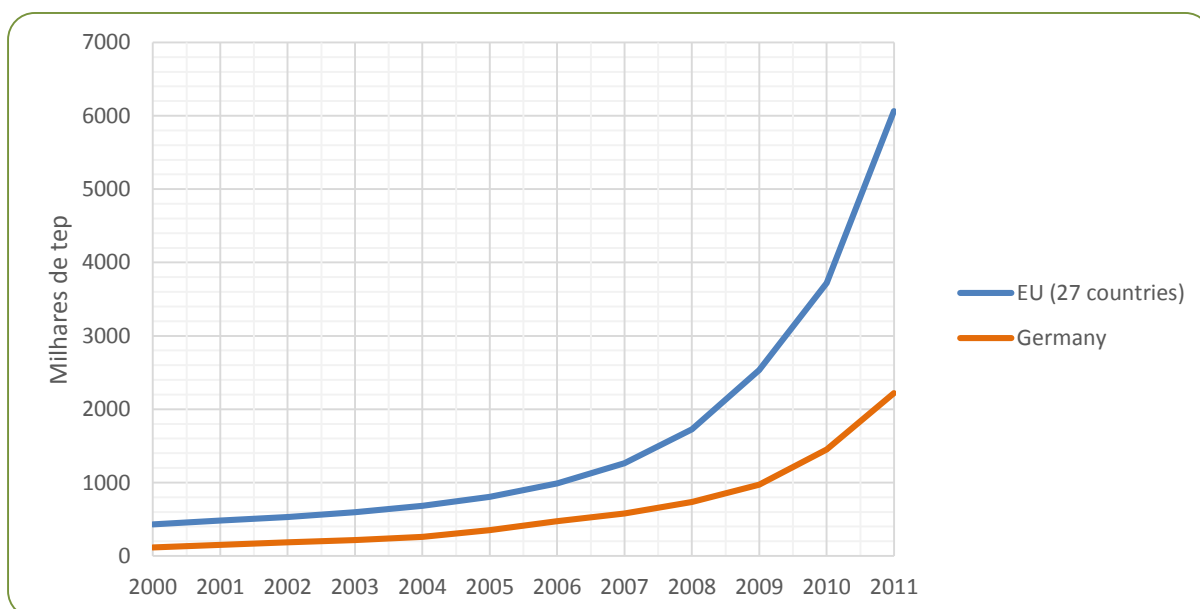


Figura 15 - Produção solar, na EU-27 e na Alemanha [16].

A figura 13 comprova o investimento que a UE tem feito na produção solar, onde a curva de evolução mostra, claramente, um crescimento abrupto a partir de 2006. Observando que nesse ano a produção foi de 1000 milhares de tep, e apenas cinco anos depois, a produção passou a ser seis vezes superior.

Foi importante inserir a linha de evolução da Alemanha nesta figura, por ser o maior produtor solar na UE. Como se pode verificar, a evolução da Alemanha na produção solar foi mais gradual que na UE, e pela proximidade das linhas, constata-se a

importância que a Alemanha representa neste sector para a UE. Observando-se ainda que em 2011, a produção solar da Alemanha representou um terço da produção solar total da UE.

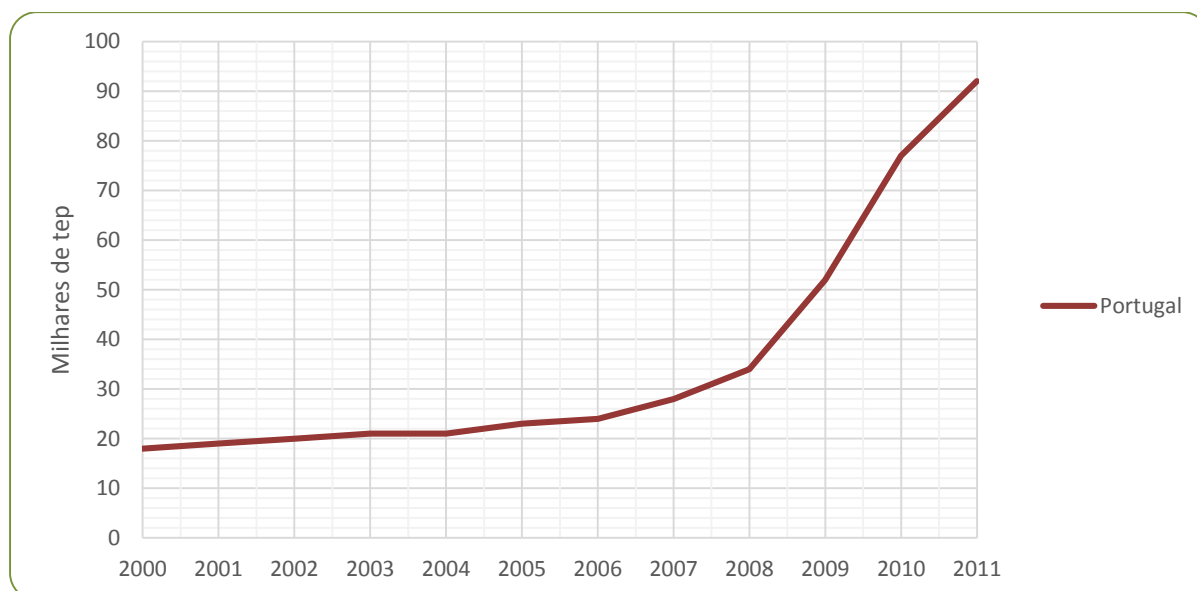


Figura 16 - Produção solar, na Portugal [16].

Em Portugal, a curva de evolução é semelhante à curva da UE mostrada na figura 13, no entanto, foi em 2008 que se notou um novo ritmo no crescimento da produção solar. Este facto advém de ter sido em 2008 que se deu o início do regime remuneratório bonificado para a microprodução, em que apenas tinham acesso a este regime os primeiros 10 MW registados, neste ano, sendo que os restantes registos teriam de ser enquadrados no regime remuneratório geral. [18]

Um dos principais objetivos do Protocolo de Quito é reduzir as emissões de GEE em 20% até 2020, com a referência do ano de 1990, o que vem explicar todo este conjunto de medidas governamentais que vieram incentivar o investimento em energias renováveis, por parte da UE.

Assim o registo das emissões de GEE no ano 1990, corresponde a 100%, e será o ponto de partida para análise da evolução das emissões GEE.

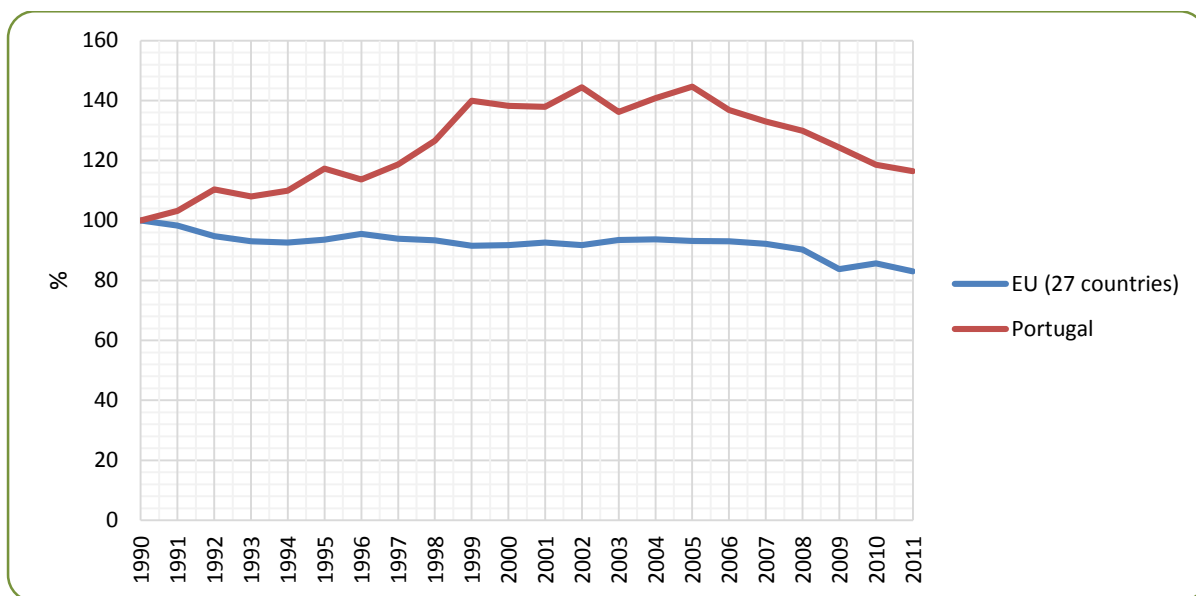


Figura 17 - Evolução de GEE na EU-27 e Portugal [16].

A figura 15 mostra-nos que a UE está no bom caminho para o cumprimento do Protocolo de Quito, pelo que em 2011 já apresenta uma redução de 19% nas emissões de GEE, ou seja, está apenas a 1% para cumprir o objetivo e ainda faltam nove anos para a data limite. A evolução das emissões dos GEE nas duas últimas décadas foi muito progressiva, registou-se muitos altos e baixos, e como era de se esperar, foi em 2008 que houve a maior queda nas emissões.

Em Portugal o cenário foi muito diferente do exibido pela UE, dado que as emissões estiveram sempre acima dos 100%, observaram-se muitos altos e baixos na evolução das emissões, mas destaca-se o crescimento a partir de 1996 que se prolongou até 1999, que foi o mais longo. Apesar do percurso sinuoso, a partir de 2005 as emissões começaram a descer, até ao fim dos registos. Foi também em 2005 que se deu o ponto de viragem na dependência energética em Portugal, como demonstrado na figura 9.

3.2 Caracterização do consumo de eletricidade no sector residencial

O aumento da eletrificação dos sistemas (ex: placas de indução em detrimento dos fogões a gás) e o aumento da utilização de equipamentos elétricos, como os computadores, os aparelhos de ar condicionado, entre outros, repercutiu-se no aumento do consumo de eletricidade no sector doméstico como se descreveu no

subcapítulo anterior. Será então determinante que se faça uma análise sobre a fonte dos consumos elétricos no sector doméstico, para que se possa perceber o peso de cada sistema no consumo de eletricidade e definir estratégias para a redução dos mesmos.

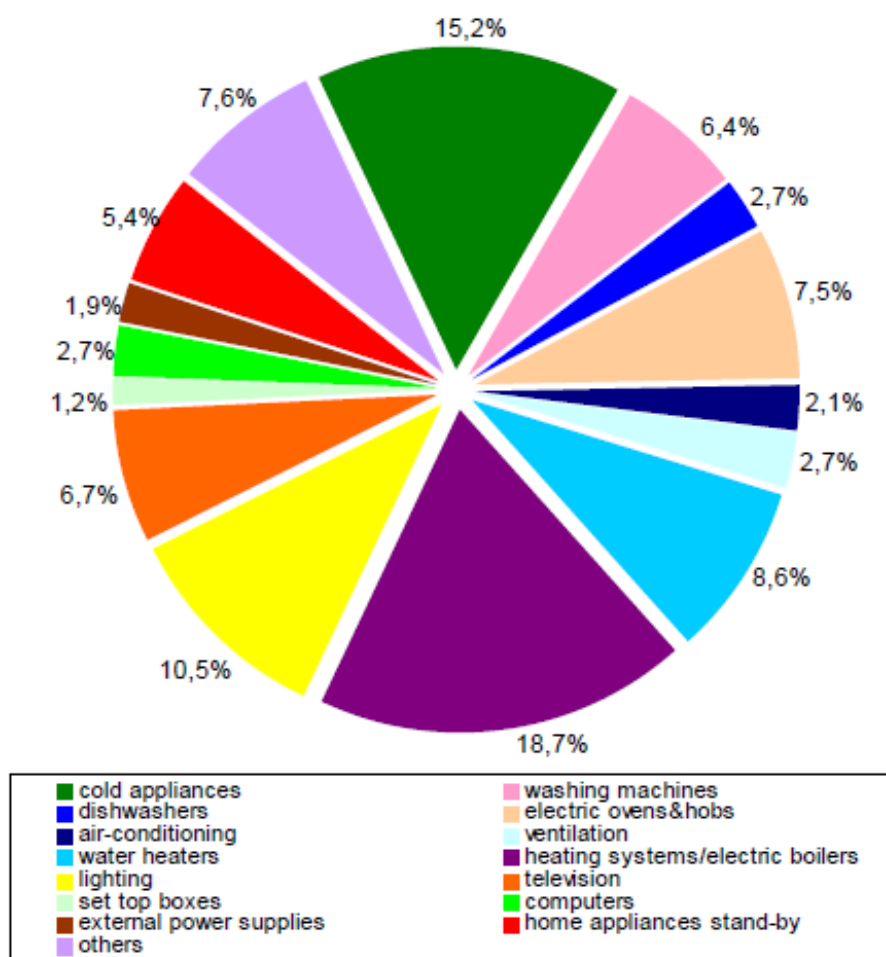


Figura 18 - Distribuição do consumo de eletricidade no sector doméstico, por tipo de utilização - UE-27, 2007 [19].

A figura 18 apresenta alguns dos sistemas que consomem eletricidade no sector doméstico e o seu peso na fatura energética. Através desta figura é possível observar que, na UE, os três sistemas que mais consomem eletricidade neste sector são os sistemas de aquecimento, os sistemas de arrefecimento e a iluminação com cotas de 18,7%, 15,2% e 10,5%, respetivamente. O uso dos sistemas de aquecimento/arrefecimento é condicionado pelo clima onde a habitação está inserida, pois é o clima que vai determinar quando se tem de aquecer ou arrefecer o ambiente dentro da habitação.

Portugal apresenta um clima mediterrânico e é dos países europeus com a temperatura mais amena, logo as necessidades de aquecimento no sector doméstico será inferior à média europeia.

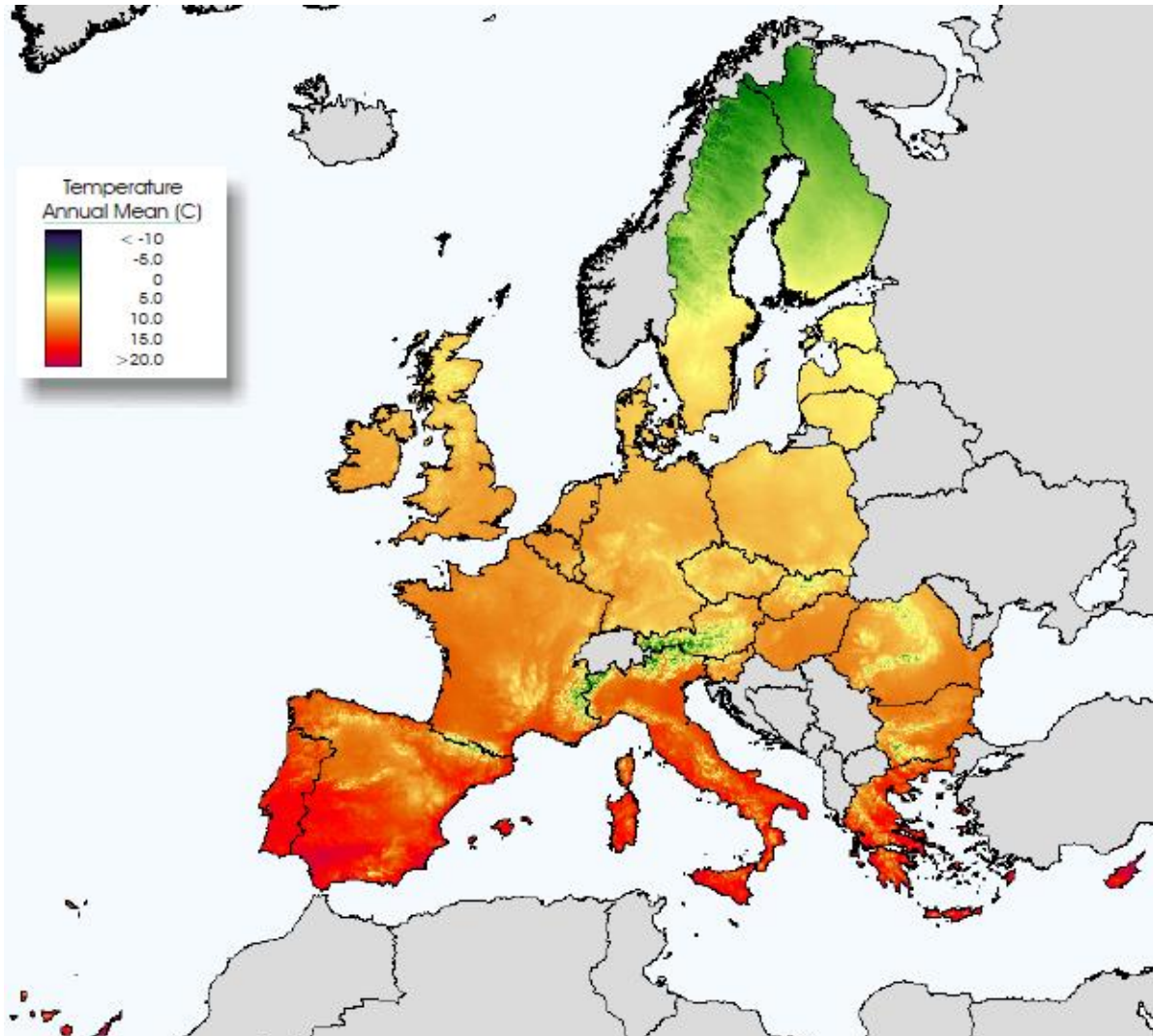


Figura 19 - Temperatura média anual na Europa [20].

Assim não nos devemos guiar apenas pelos consumos analisados na UE em geral, porque a realidade nacional será com certeza diferente.

Num inquérito ao consumo de energia por tipo de utilização, no sector doméstico, elaborado pelo INE e pela Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), foram considerados seis tipos de utilização de energia, que são: aquecimento do ambiente, arrefecimento do ambiente, iluminação, cozinha (que engloba, fogão com forno, placa, forno independente, fogareiro, lareira, micro-ondas, exaustor/extrator,

frigorífico com e sem congelador, combinado, arca congeladora, máquina de lavar loiça, máquina de lavar e secar roupa, máquina de secar roupa e máquina de lavar roupa) e os equipamentos elétricos (que contempla, aspirador, aspiração central, ferro de engomar, máquina de engomar, desumidificador, televisão, rádio, aparelhagem, leitor de DVD, computador, impressora e impressora/fax).

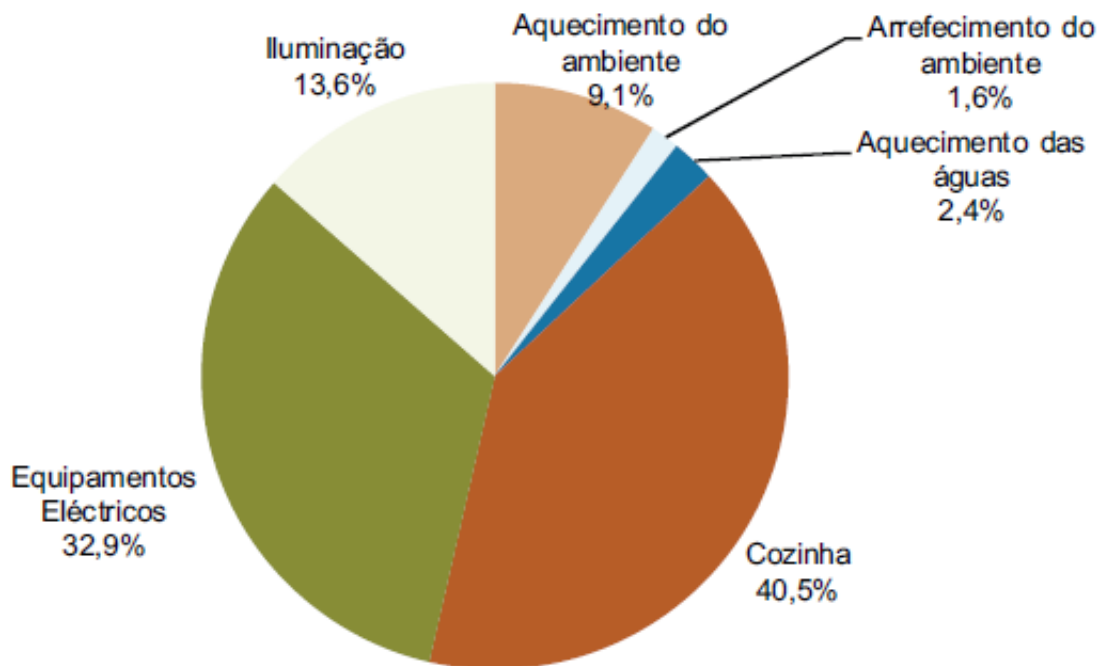


Figura 20 - Distribuição do consumo de eletricidade no sector doméstico, por tipo de utilização – Portugal, 2010 [21].

Através da figura 20 verifica-se que os equipamentos da cozinha são os que mais consomem eletricidade numa habitação, seguidamente são os equipamentos elétricos e a iluminação. O aquecimento do ambiente apresenta uma quota de 9,1% no consumo de eletricidade, este que é o maior consumidor de energia na UE, deixou de o ser em Portugal, não só pelo clima mediterrânico, mas também pelo facto de em Portugal se usar a lenha para o aquecimento das habitações, em alguns locais maioritariamente não urbanos, e esta representa 68% do consumo total de energia para o aquecimento do ambiente, o que é bastante significativo e uma boa alternativa, visto que é um recurso mais económico que a eletricidade⁵. [21]

Capítulo 4 - ESTRATÉGIAS E TECNOLOGIAS PARA UM DESEMPENHO ENERGÉTICO MAIS EFICIENTE

Neste capítulo iremos abordar as várias soluções que são passíveis de implementar nos edifícios de forma a torná-los mais eficientes energeticamente. Estas soluções poderão ser passivas ou ativas, e devem ser implementadas em consonância com as variáveis climáticas exteriores ao edifício para que as soluções tenham realmente um efeito positivo.

É necessário o conhecimento das variáveis climáticas que vão interagir com o edifício, como a temperatura, a velocidade e direção dos ventos predominantes, a humidade, a pressão, a insolação e a trajetória do sol. Para um dimensionamento eficiente é essencial conjugar estas variáveis com as soluções disponíveis que melhor se apliquem para um favorecimento energético do edifício.

4.1 Soluções passivas

Denominam-se soluções passivas, as soluções que integram a construção do edifício em si, de forma a controlar os fluxos naturais de energia, em forma de condução, radiação solar, convecção e ação do vento, com o fim de reduzir as necessidades de iluminação artificial durante as horas de exposição solar e de reduzir as necessidades de aquecimento/arrefecimento recorrendo a sistemas que despendem recursos energéticos.

4.1.1 Forma, localização e orientação do edifício

Forma

A forma de um edifício é um fator importante na eficiência do mesmo, porque é através das superfícies que estão em contacto com o exterior que existem maiores transferências de energia. Assim a relação entre a superfície (S) que envolve o volume (V) condiciona as transferências de energia para se atingirem as temperaturas de conforto.

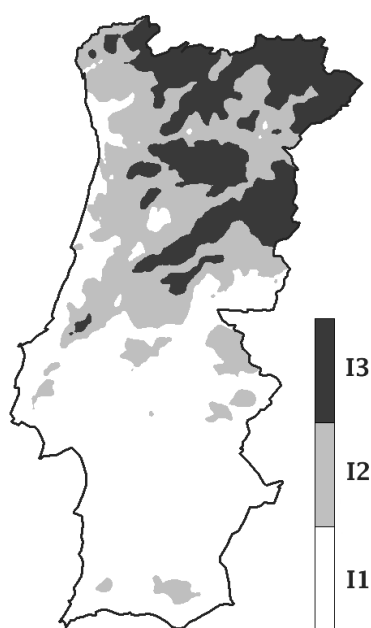
Um fator de forma (FF), ou uma relação S/V baixo, garante mais eficiência num edifício, visto que quanto maior for o volume e menor for a superfície, pela qual

existem as perdas de energia, mais fácil será de manter a temperatura interior, o que evita dispêndios de energia adicionais. [22]

Localização

A localização e as suas variáveis climáticas adjacentes vão ter influência direta nas necessidades térmicas interiores do edifício. Para uma perceção mais concreta do clima nas estações de aquecimento (inverno) e arrefecimento (verão) deverão ser consideradas as zonas climáticas correspondentes, que estão descritas no Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013.

As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dias (GD) na base de 18 °C, correspondente à estação de aquecimento [23].

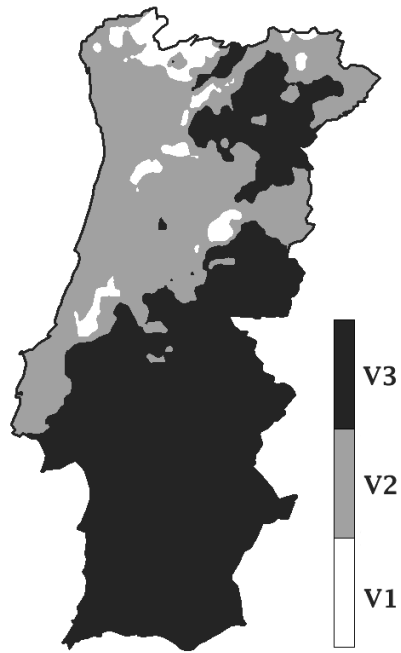


Graus-dias de aquecimento - é um número que caracteriza a severidade de um clima durante a estação de aquecimento e que é igual ao somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura de base (18°C) e a temperatura do ar exterior durante a estação de aquecimento. As diferenças são calculadas com base nos valores horários da temperatura do ar (termómetro seco) [24].

Tabela 3 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno

Zona	Critério
I1	$GD \leq 1300$
I2	$1300 < GD \leq 1800$
I3	$GD > 1800$

Figura 21 - Zonas climáticas de inverno



As zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ($\Theta_{ext, v}$).

Tabela 4 - Critérios para a determinação da zona climática de verão.

Zona	Critério
V1	$\Theta_{ext, v} \leq 20^{\circ}\text{C}$
V2	$20^{\circ}\text{C} < \Theta_{ext, v} \leq 22^{\circ}\text{C}$
V3	$\Theta_{ext, v} > 22^{\circ}\text{C}$

Figura 22 - Zonas climáticas de verão

Orientação do edifício

Na ótica de um adequado conforto térmico que se traduz em boa eficiência energética de um edifício, é muito importante conhecer os diferentes percursos do sol ao longo do dia nas diferentes estações do ano, de forma a aproveitar a radiação solar para o aquecimento do espaço interior na estação de aquecimento, e de restringir essa mesma radiação na estação de arrefecimento. O bom aproveitamento da radiação solar, que é gratuita, permite assim poupar energia no uso de equipamento para o aquecimento/arrefecimento.

Portugal situa-se no hemisfério Norte, e o percurso do sol vai variar consoante a latitude da localização do edifício.

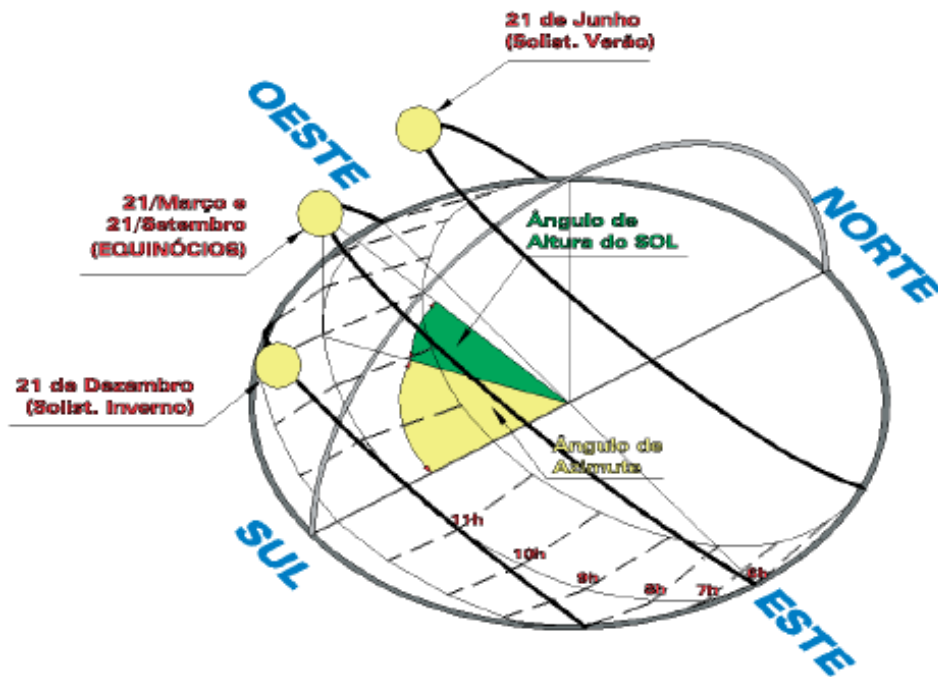


Figura 23 - Percurso do sol ao longo do ano, em Portugal [25].

Através da figura 23 observa-se que a fachada que mais radiação solar recebe ao longo do ano, é a fachada orientada a sul.

As fachadas são compostas por vãos envidraçados (os que permitem a entrada de radiação solar para o interior do edifício) e vãos opacos. Para maiores ganhos térmicos solares as fachadas orientadas a sul deverão ter mais percentagem de vãos envidraçados em detrimento dos vãos opacos, em comparação às outras orientações, sendo a fachada orientada a norte a que deverá conter maior percentagem de vão opaco.

No Inverno, as fachadas envidraçadas não deverão ser obstruídas, por forma a permitir a entrada da radiação solar que irá aquecer o interior do edifício, obtendo assim um ganho térmico gratuito.

No Verão, estação de arrefecimento, é necessário evitar os ganhos solares por forma a minimizar o dispêndio de energia em arrefecimento por via de equipamentos auxiliares. Assim as fachadas envidraçadas deverão conter sistemas de sombreamento que evitem a radiação solar no Verão. Estes sistemas deverão ser dimensionados por forma a não comprometerem a entrada da radiação solar no Inverno, ou seja, é relevante analisar o ângulo de incidência da radiação solar na fachada envidraçada no Inverno e no Verão.

4.1.2 Sistemas de sombreamento

Como foi referido no subcapítulo anterior, os sistemas de sombreamento assumem um papel relevante na eficiência energética de um edifício. Para o bom dimensionamento destes sistemas é necessário o conhecimento do percurso do sol ao longo do dia e das estações, devido ao ângulo de incidência da radiação solar nos vãos envidraçados, que varia com a latitude e a orientação das fachadas [26].

O objetivo destes sistemas é permitir ou bloquear a entrada de radiação solar através das fachadas envidraçadas, o que constitui, ganhos térmicos pela envolvente, ou não. Outro fator importante, é a permissividade da luz natural ao interior do edifício, que ao ser obstruída gera maiores consumos energéticos através da necessidade do uso da iluminação artificial [26].

Assim para um bom dimensionamento tem de haver um compromisso entre a proteção solar e a iluminação natural ao interior do edifício.

Os sistemas de sombreamento podem classificar-se como descrito na figura a seguir.

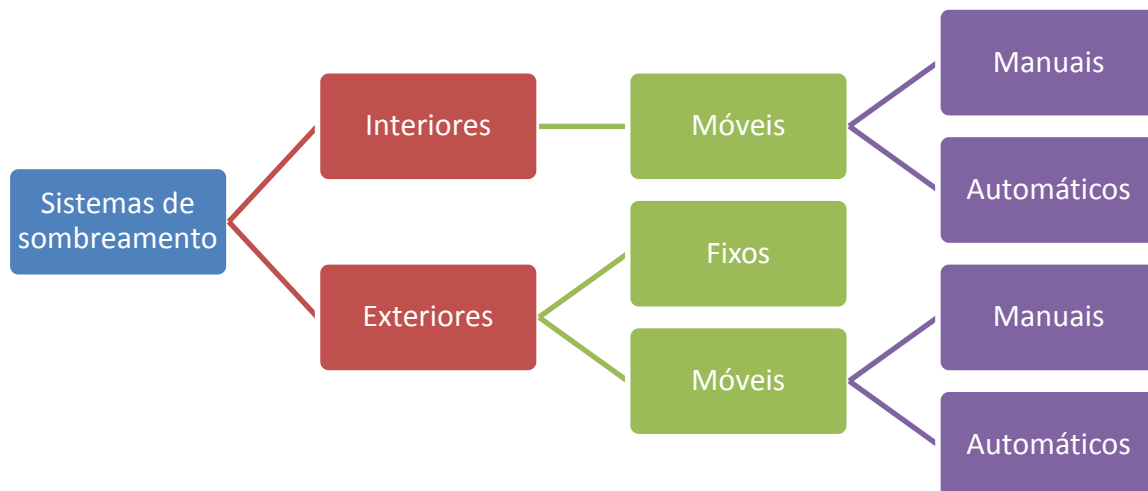


Figura 24 - Tipos de sistemas de sombreamento

Na escolha entre sistemas de sombreamento pelo interior ou pelo exterior, é necessário avaliar as vantagens e desvantagens para o fim que se pretende. A nível de ganhos térmicos um sistema exterior é mais vantajoso que um interior, visto que,

o primeiro bloqueia a entrada da radiação solar ao interior do edifício através dos vãos envidraçados, o que vai permitir uma redução de ganhos de calor até 80%. Os sistemas exteriores provocam sombreamento à fachada do edifício, o que evita também ganhos térmicos por condução através das fachadas, para o interior do edifício, além de que ainda permite a ventilação pelo exterior, que constitui uma forma de arrefecimento nas fachadas do edifício. Como desvantagem, os sistemas exteriores são mais dispendiosos que os interiores, mas a longo prazo traduzem-se em maior eficiência energética. Os sistemas exteriores têm grande impacto na estética da fachada do edifício, o que não acontece com os sistemas interiores [26].

No entanto os sistemas interiores também têm vantagens, principalmente no controlo de iluminação natural ao interior do edifício, pois estes sistemas são móveis e podem adaptar-se facilmente ao uso pretendido pelo utilizador, contribuindo para maior privacidade da habitação [26].

Estes dois sistemas podem ser implantados em conjunto para melhor eficiência energética do edifício.

Os sistemas de sombreamento exteriores podem ser fixos ou móveis. Como foi analisado, existem estações do ano em que é proveitoso ganho solar térmico e outras em que não. Assim, quando estes sistemas são fixos podem constituir soluções para uma estação, mas para a outra não, logo deverá existir um compromisso no dimensionamento de modo a estas soluções serem vantajosas em todas as estações, considerando também o fator da iluminação natural [26].



Figura 25 - Sistemas de sombreamento exteriores fixos, laterais e horizontais [27].

Os sistemas de sombreamento exteriores móveis são mais dispendiosos, mas podem adaptar-se às estações do ano, ou seja, estes têm a possibilidade de permitir ganhos térmicos quando é mais favorável e de bloqueá-los quando constituem um sobreaquecimento ao interior do edifício. Também permitem controlar a entrada de luz natural quando necessário. Resumidamente, estes sistemas são bastante flexíveis e cabe ao utilizador fazer uma boa gestão do seu uso para garantir maior eficiência energética no edifício [26].

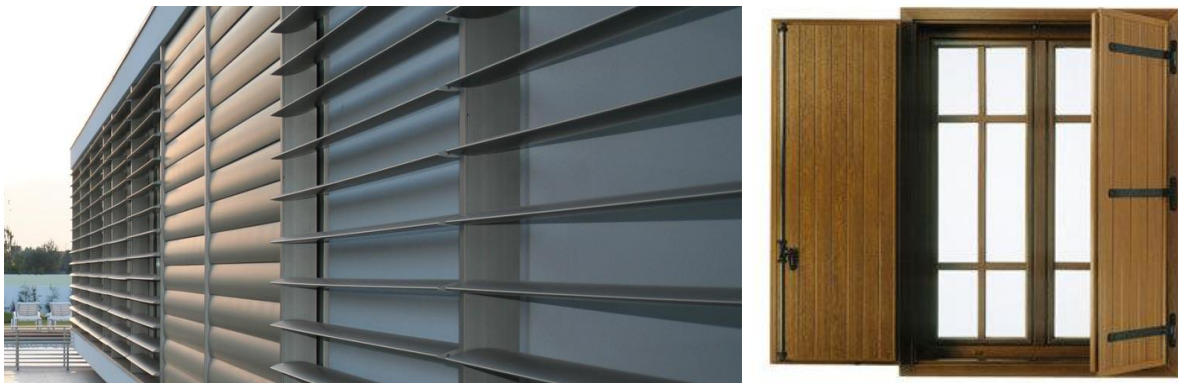


Figura 26 - Sistemas de sombreamento exteriores móveis [28] e [29].

Os sistemas de sombreamento móveis podem ser manuais ou automáticos. Os sistemas manuais são menos dispendiosos, mas exigem uma participação ativa da parte do utilizador para se adaptarem às estações climáticas. Os sistemas automáticos são regulados e controlados através de células fotoelétricas ou vários sensores, que reagem consoante as variações da inclinação do sol, níveis de temperatura e níveis de luminosidade, no entanto estes sistemas são muito dispendiosos [26].

Existe uma grande variedade de sistemas de sombreamento no mercado e podem ser compostos de vários materiais e apresentar variadas cores. Como exemplo de sistemas de sombreamento exterior fixos, temos as palas fixas de betão (fazendo parte da estrutura), as lamelas em vidro, metálicas ou madeira (são acopladas a estruturas por vários mecanismos e podem ser fixas ou móveis) e as malhas metálicas. Os sistemas móveis podem ser: portadas de alumínio, PVC ou madeira (exterior), as venezianas em alumínio ou madeira (interior ou exterior), os estores de bandas horizontais (interior), as telas de rolo ou estores verticais em PVC, poliéster,

fibra de vidro ou tecido metálico (interior ou exterior), poliéster ou PVC (interior) e os toldos (exteriores) [26].

4.1.3 Vãos Envidraçados

Os vãos envidraçados são os elementos da parte envolvente do edifício mais suscetíveis aos fatores ambientais exteriores, como a radiação solar e o vento, que influem diretamente com o conforto e eficiência energética do próprio edifício. Em Portugal estima-se que entre 25 e 30% da energia consumida para aquecimento/arrefecimento num edifício é desperdiçada pelos vãos envidraçados, por estes serem pouco eficientes termicamente [30].

Os vãos envidraçados são constituídos por vidros e caixilhos, e a principal característica que deve ser analisada para uma boa eficiência energética é o coeficiente de transmissão térmica (valor U_w) do conjunto. Este coeficiente caracteriza a energia térmica que é transmitida através do vão envidraçado, logo, quanto menor for este valor, mais eficiente será o vão envidraçado [30].

Vidros

Através dos vãos envidraçados podem existir três tipos de fluxos de energia [31]:

- Ganho de calor solar na forma de radiação;
- Ganhos e perdas de calor (não solar) na forma de condução, convecção e radiação;
- Trocas de ar (arrefecimento por ventilação e infiltração).

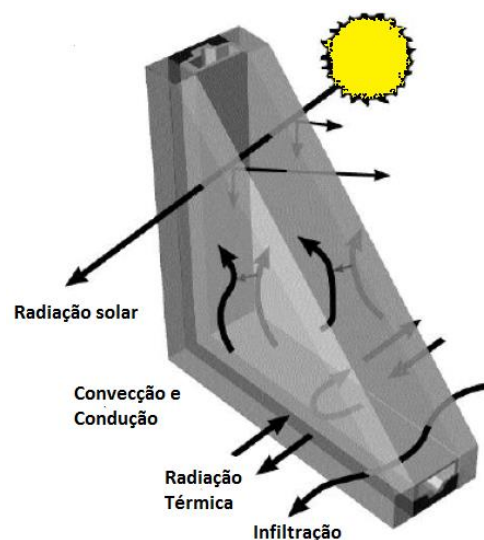


Figura 27 - Fluxos de energia [31].

De seguida enumera-se as várias tecnologias disponíveis no mercado, que melhoram o coeficiente de transmissão térmica do vidro [31]:

- Vidros duplos: a redução de transmissão de luz é escassa, comparativamente ao vidro simples, e a caixa-de-ar garante maior resistência térmica.
- Vidros e películas múltiplas: por cada vidro e película adicional, irá conferir maior resistência térmica, originará menor condensação durante o inverno, mas, irá se perder visibilidade e ganhos de calor solar, comparativamente a um vidro duplo
- Vidros coloridos, absorvem o calor e reduzem a transmissão de luz; dependendo da cor podem manter a transmissão de luz.
- Vidros e películas reflexivas: reduzem o ganho de calor solar e a passagem de luz, podem produzir efeito de espelho no exterior.
- Camadas de baixa emissividade e espectralmente seletivas: garantem a reflexão de radiação em maior comprimento de onda do espectro, que se traduz na redução da perda de calor no inverno e na redução do ganho de calor no verão, diminuem a ocorrência de condensação e mantêm uma boa visibilidade.
- Gases de baixa condutividade, quando inseridos nas caixas-de-ar dos vidros duplos ou múltiplos, diminuem a perda/ganho de calor por condução, reduzem a ocorrência da condensação e não reduzem a transmissão de luz visível. Os gases podem ser argon, krypton, hexafluoreto de enxofre e dióxido de carbono.
- Espaçadores termicamente melhorados, reduzem a perda de calor por condução e mantêm a temperatura mais elevada na borda dos vidros reduzindo assim a condensação.

Com o avanço da tecnologia foi possível desenvolver mecanismos mais eficientes que possam ser aplicados nos vidros. Assim destacam-se algumas novas tecnologias [31]:

- *Cool Windows*, são janelas que permitem a passagem da luz visível enquanto bloqueiam grande parte do calor solar da zona infra vermelha do espectro.
- Aerogel, é um material de preenchimento, em forma de espuma, constituído por 4% de sílica e 96% ar, que melhora o coeficiente de transmissão térmica.
- *Smart Windows*, são janelas compostas por camadas microscopicamente finas que alteram as suas propriedades em resposta à luz, calor e sinais elétricos, no sentido de controlar os fluxos de calor e de luz.

Caixilhos

Os caixilhos podem ser de alumínio com corte térmico, alumínio com madeira, madeira e PVC, PVC e fibra de vidro.

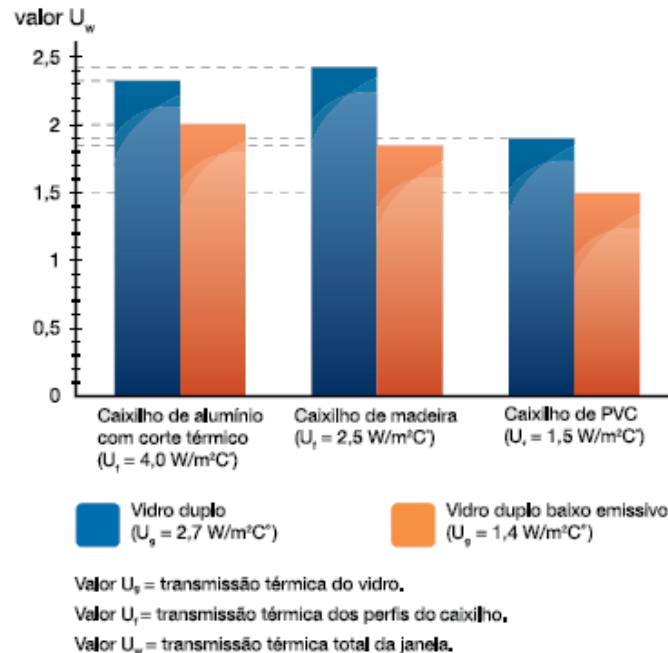


Figura 28 - Comparativo de coeficientes de transmissão térmica (U_w) de várias soluções de caixilhos, para a dimensão de 1 m^2 [30].

Segundo o quadro comparativo dos caixilhos com o mesmo tipo de vidro exibido na figura 28, os caixilhos mais eficientes termicamente são os materializados em PVC, sendo que este material pode ser comercializado em várias cores, e deverá constituir a melhor opção sempre que for viável o seu uso.

4.1.4 Iluminação natural

Na UE a iluminação representa, no setor residencial, cerca de 10% no consumo de eletricidade, sendo a 3ª maior parcela do consumo de eletricidade a seguir ao aquecimento e aos aparelhos de climatização [32]. Assim por forma de reduzir as necessidades artificiais de iluminação é necessário, garantir sempre que possível, iluminação natural nos edifícios em prol da eficiência energética. Como já foi mencionado anteriormente, a permissão da entrada da luz solar pode gerar o

problema do aquecimento no verão, logo é necessário desenvolver sistemas que sejam proveitosos tanto no verão como no inverno.

Assim têm-se desenvolvido mecanismos que têm a capacidade de proporcionar elevados níveis de luz natural e, simultaneamente, controlam a entrada da radiação solar direta que provoca o aquecimento do espaço.

Existem vários tipos de sistemas, e estes são classificados consoante as suas características geométricas. Assim os três grupos de sistemas são [33]:

- Sistemas refletores;
- Elementos integrados em envidraçados;
- Sistemas de transporte de luz.

Cada sistema contempla várias tecnologias, seguidamente iremos enumerar as tecnologias e explicar uma, como exemplo, para cada sistema.

Sistemas refletores

Estes sistemas refletem a luz solar incidente, são posicionados exteriormente ou interiormente, face ao vão envidraçado e têm grande impacto na fachada do edifício.

As tecnologias presentes neste tipo de sistemas são [33]:

- Palas refletoras;
- Aberturas zenitais anidólicas;
- Sistema de sombreamento anidólicos reorientador de luz.

As palas refletoras são compostas sobretudo, por um defletor horizontal ou próximo da horizontal e podem ser posicionadas no interior ou exterior da fachada do vão envidraçado. A pala é colocada acima do nível de visão dos ocupantes, e acima dela irá existir outro vão envidraçado que irá permitir a entrada da luz solar refletida pela pala, para o interior do edifício [33].

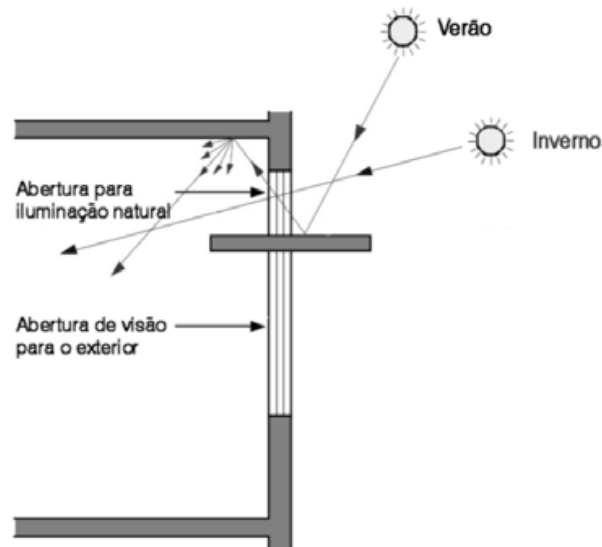


Figura 29 - Princípio de funcionamento de uma pala refletora tradicional [33].

As palas refletoras são tradicionalmente horizontais, são em geral sistemas fixos, no entanto podem ser sistemas móveis incorporando sistemas de lamelas orientáveis, que permitem obter maior controlo na iluminação/sombreamento do edifício [33].



Figura 30 - Princípio de funcionamento de um sistema de palas refletoras móveis [33].

As palas refletoras também desempenham funções de sombreamento nos vãos envidraçados, e por isso têm de ser dimensionado em função do local e orientação onde são implantadas. Um fator importante é o acabamento da superfície superior das palas, pois vão ter muita influência na quantidade e na direção da luz solar refletida.

Para maior penetração da luz solar refletida no edifício, pode-se recorrer às palas refletoras anidólicas.

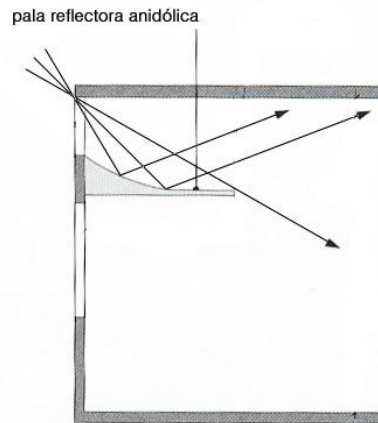


Figura 31 - Princípio de funcionamento de uma pala refletora anidólica [33].

Este é um sistema de palas fixo e interior. O seu interior é composto por um refletor anidólico horizontal, que dado à sua geometria curva permite redirecionar a luz solar em direção ao plano do teto em maior profundidade, comparando com uma pala refletora tradicional [33].

Elementos integrados em envidraçados

Estes elementos são constituídos em miniatura ou em micro escala, e são posicionados num plano paralelo a milímetros de um vidro simples ou entre os panos de um vidro duplo [33].

No mercado existem vários sistemas deste tipo, como [33]:

- Vidro para reorientação de luz;
- Vidros prismáticos;
- Estores e lamelas;
- *Laser-Cut Panels* (LCP) e *Chanel Panel*;
- Elementos óticos holográficos (EOH).

O vidro para reorientação da luz consiste num vidro duplo, em que entre os panos existem umas lamelas de acrílico extrudido com 12 mm de largura transparente, destinadas a captar e reorientar a luz solar para o interior do edifício [33].

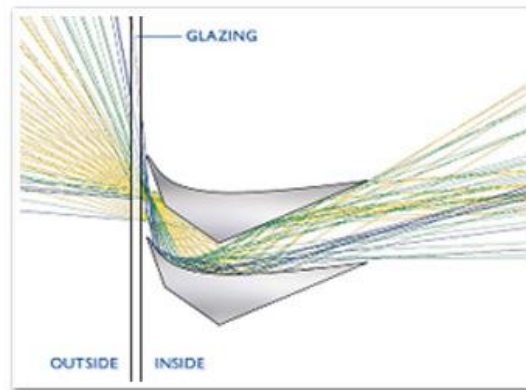


Figura 32 - Modo de funcionamento das lamelas para a reorientação da luz solar [34].

Estas lamelas foram desenhadas para redirecionar a luz com ângulos de incidência entre os 25° e 50°, e para evitar a emissão de luz abaixo da horizontal para todos os ângulos de incidência de luz solar possível.

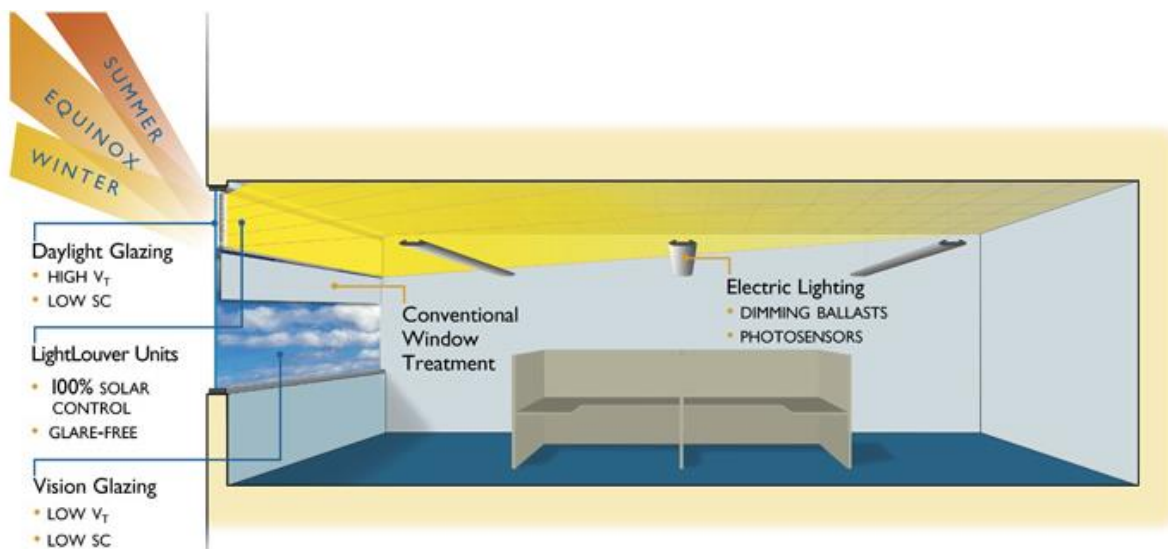


Figura 33 - Demonstração da distribuição de luz através da utilização dos vidros para reorientação da luz solar [34].

Este sistema foi concebido principalmente para ser utilizado em fachadas, e deve ser acompanhado por sistemas convencionais de sombreamento. A sua aplicação deverá ser feita como está indicada na figura 33. No entanto este sistema de vidro também pode ser utilizado nas coberturas para a iluminação de átrios, nesse caso deverá ser colocado com uma inclinação de cerca de 20° em relação ao plano horizontal para reorientar a luz solar com pouco ângulo de incidência (Inverno) [33].

Sistemas de transporte de luz

Este tipo de sistemas consiste em concentrar e transportar a luz natural, a alguma distância para zonas interiores do edifício, de forma a substituir a utilização de luz artificial pelos sistemas usuais.

Os sistemas deste tipo que existem no mercado são [33]:

- Fibras óticas;
- Helióstatos;
- Túneis de luz;
- Tetos anidólicos.

Os mecanismos de fibras óticas são constituídos por três componentes, um painel exterior coletor de luz solar, os cabos de fibras óticas que transportam a luz captada pelo coletor e a luminárias interiores que transmitem e difundem a luz para os espaços interiores do edifício.

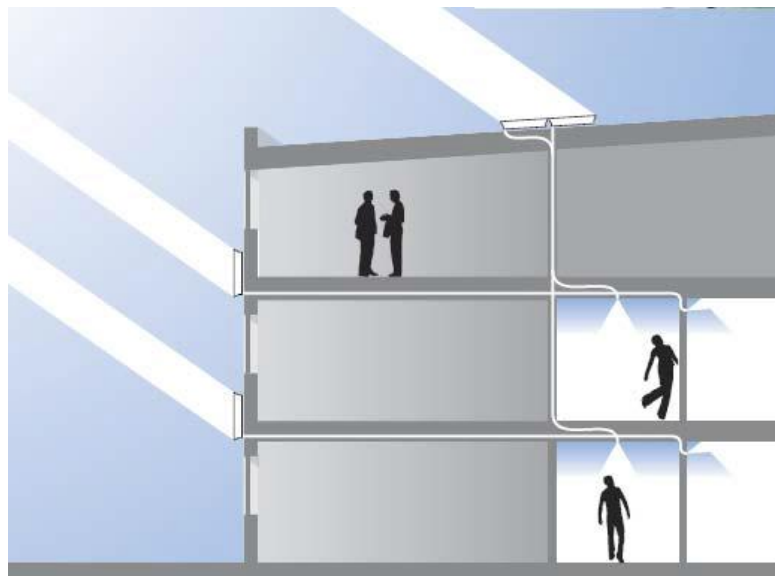


Figura 34 - Demonstração do mecanismo de fibras óticas [33].

O painel coletor de luz é composto por lentes Fresnel monitorizadas automaticamente que seguem o movimento do sol, posteriormente encaminham a luz para os cabos de fibra ótica. Estes utilizam o fenómeno da reflexão interna total, transportando a luz solar captada até as luminárias que estão situadas no interior dos espaços. Este mecanismo tem perdas mínimas e permite transportar luz com qualidade até 15

metros de distância. Os cabos de fibra ótica são compostos por fios muito finos de sílica, e por possuírem um pequeno diâmetro e serem flexíveis permitem uma instalação bastante facilitada. As luminárias que estão no interior dos espaços podem ser de diversos tipos e formas, e são constituídas por painéis de material acrílico semitransparente [33].



Figura 35 - Painel coletor de luz (à direita) e luminária de acrílico semitransparente [35].

Este mecanismo apenas funciona com a presença de luz direta, e por esse facto as luminárias são equipadas com lâmpadas fluorescentes ou *leds*, para atuarem quando não existe incidência solar direta nos painéis coletores. O sistema também pode ser desativado através de um interruptor. Para a obtenção do máximo rendimento do sistema, os painéis coletores deverão ser colocados em locais onde a exposição solar seja máxima. Normalmente os painéis coletores são colocados nas coberturas, no entanto também podem ser colocados nas fachadas com maior exposição solar (orientadas a sul) [33].

4.1.5 Revestimento reflexivo

A escolha da cor dos revestimentos de um edifício pode traduzir-se numa maior eficiência energética, dado que, as cores claras refletem uma percentagem maior de radiação solar, do que as cores escuras.

Tabela 5 - Cor da superfície exterior da proteção solar [24].

Cor da proteção	Clara	Média	Escura
Coefficiente de absorção solar da superfície exterior da proteção	0,4	0,5	0,8
Cor	Branco	Vermelho-escuro	Castanho
	Creme	Verde-claro	Verde-escuro
	Amarelo	Azul-claro	Azul-vivo
	Laranja		Azul-escuro
	Vermelho-claro		Preto

O revestimento ao refletir mais radiação, vai absorver menos radiação, o que faz com que transmita menos energia, por condução, ao interior do edifício. Sabendo que a radiação solar é energia em forma de calor, logo a escolha de uma cor clara evita o aumento de temperatura interior [36].

No interior dos edifícios também há vantagens no uso de cores claras, pois ao refletir maior radiação vai permitir menor iluminação artificial, o que ainda evita maior emissão de calor, para o espaço interior, por parte das lâmpadas.

4.1.6 Envolvente opaca

A envolvente opaca (coberturas, paredes exteriores e pavimentos) de um edifício que faz fronteira com o exterior, influencia as condições de conforto no interior do edifício. É através destas superfícies que vão ocorrer transferências de calor por condução entre o exterior e o interior do edifício. Assim o objetivo térmico destas superfícies é minimizar as transferências de calor, para que se limitem os ganhos de calor no Verão e as perdas de calor no Inverno, para uma poupança energética na utilização dos mecanismos de arrefecimento/aquecimento. As características principais a observar nos materiais de construção são a inércia térmica e o seu poder isolante.

Inércia térmica

O conceito de inércia térmica caracteriza a resistência oferecida por um material na mudança da sua temperatura interior. A temperatura exterior varia ao longo do dia, o que faz com que os materiais em contacto com o exterior fiquem expostos a estas

variações de temperatura, assim a inércia térmica constitui um amortecedor aos picos climáticos que existem durante o dia.

Isolamento térmico

Os materiais que isolam termicamente a envolvente opaca dos edifícios têm a capacidade de constituir uma barreira à transferência de energia que vem do exterior, seja por convecção, radiação ou condução. A utilização destes materiais vai possibilitar grandes poupanças de energia ao evitar a utilização de equipamentos de aquecimento/arrefecimento, assim como eleva o nível de conforto no interior dos edifícios.

Existem vários tipos de materiais e técnicas de isolamento. A escolha do material e técnica a usar deve depender do clima da zona de implantação e do grau de isolamento que se pretende obter para o determinado edifício. No Anexo 1 está representado um quadro retirado do ITE 50 com os materiais isolantes térmicos utilizados na construção e as suas respetivas condutibilidades térmicas.

Os sistemas de isolamento podem ser aplicados pelo exterior, pelo interior ou na caixa-de-ar.

O isolamento pelo exterior constitui a solução mais eficaz, pelo facto de ser um sistema que elimina com maior eficácia as pontes térmicas. As pontes térmicas dão-se no encontro de dois materiais com resistência térmica diferentes, o que representa uma descontinuidade térmica e que pode causar patologias com origem em fenómenos de condensação, logo a eliminação destas garante um ambiente mais saudável no interior da habitação. A aplicação deste sistema requer mão-de-obra especializada, o que se traduz num maior custo [22].

O isolamento pelo interior não necessita de mão-de-obra especializada o que torna a intervenção mais económica. Este sistema é proveitoso para as paredes interiores simples, evitando as pontes térmicas nos pilares. Tem a grande desvantagem do desaproveitamento da inércia térmica das paredes [22].

Em Portugal, as paredes exteriores mais comuns são as duplas, com caixa-de-ar e parcialmente preenchidas com isolamento térmico. Esta solução, quando bem dimensionada, apresenta bons resultados com custos de execução aceitáveis [22] [37].

Coberturas

As coberturas assumem um papel muito relevante no conforto e na eficiência energética do edifício, isto porque são o elemento construtivo com maior exposição à radiação solar e à chuva.

Na cobertura existem vários processos de transferência de calor que são impostos pela radiação solar. A cobertura consegue refletir parte da radiação solar, e a outra percentagem será transferida para o interior por condução. A subida do ar quando aquece, por ser menos denso, também provoca calor convectivo nas coberturas [38]. Para que uma cobertura seja eficiente energeticamente é necessário estar dotada de um bom isolamento que permita a limitação dos fluxos ascendentes (perdas de calor no Inverno) e descendentes (ganhos de calor no Verão). Contudo, uma cobertura eficiente se não for acompanhada por paredes externas isoladas, pode provocar sobreaquecimento no edifício, porque se as paredes exteriores admitirem ganhos térmicos significativos, posteriormente a cobertura eficiente irá oferecer mais resistência na saída do calor [39].

Os materiais de isolamento térmico nas coberturas, são na generalidade os mesmos que se aplicam nas paredes exteriores, no entanto existem outros processos e mecanismos disponíveis no mercado com o objetivo de dissipar e bloquear a radiação solar nas coberturas [40]. De seguida ir-se-ão abordar estes processos.

❖ Coberturas verdes

As coberturas verdes são uma ótima solução para as coberturas planas e inclinadas, e podem desempenhar um papel fulcral no contributo para a sustentabilidade e eficiência energética nas cidades.

Este tipo de coberturas melhora o isolamento térmico, minimizando os fluxos energéticos entre o ambiente exterior e o interior, contribuindo assim para a poupança energética na redução de climatização mecânica dos espaços interiores. Ao constituir uma barreira às transferências de calor, aumenta o tempo de vida útil da cobertura. A camada vegetal serve ainda de sistema de absorção acústica, atenuando os níveis de ruído ambiente e de impacto. Este sistema ao reter água das chuvas que pode ser aproveitada, reduz o caudal das águas pluviais nas redes e diminui os ciclos de rega.

A vegetação tem a propriedade de reter a humidade e de captar CO₂ o que contribui para melhoria do clima urbano. Além de esteticamente valorizar as coberturas, ainda possibilita a produção de alimentos em ambiente urbano [41].



Figura 36 - Cobertura do *City Hall* em Chicago [42].

Existem dois tipos de coberturas verdes, as intensivas e as extensivas.

As coberturas verdes intensivas diferenciam-se das extensivas pelo tipo de plantas que são implantados. Nas coberturas intensivas são plantados arbustos e árvores, logo requerem mais substrato (15 a 100 cm) para as raízes, o que torna o sistema mais pesado. São adequadas para áreas maiores e também necessitam de uma manutenção mais expressiva [43].

Nas coberturas extensivas são plantadas sedum, perenes e plantas de baixo crescimento que requerem apenas cerca de 8 a 15 centímetros de substrato, têm pouca manutenção e um custo menor [43].

Apesar de existirem dois tipos de coberturas verdes, a sua metodologia de implantação é comum, apenas variando a espessura da camada de substrato, como podemos observar na figura seguinte.

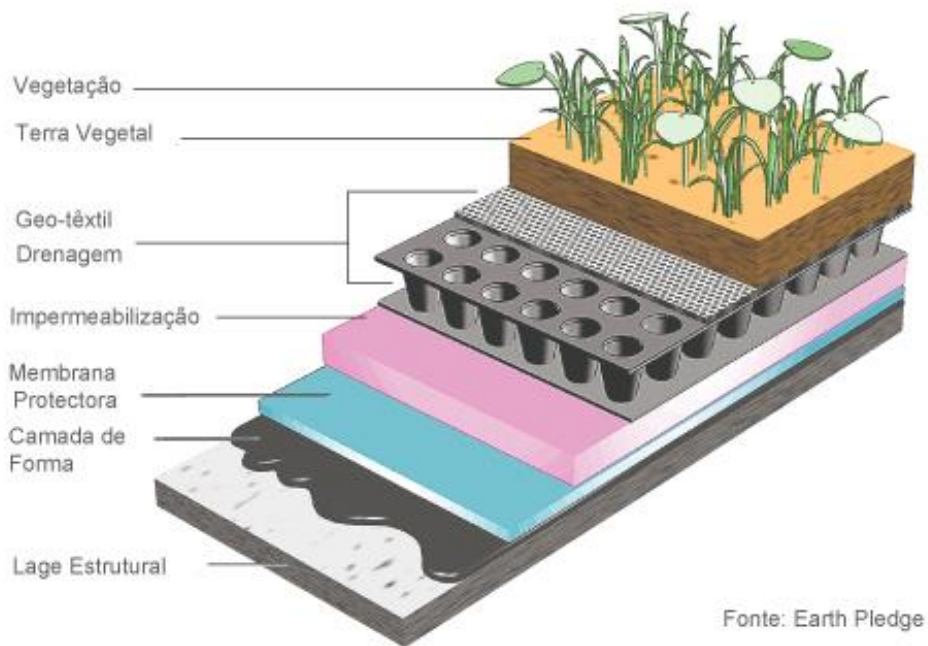


Figura 37 - Camadas de uma cobertura verde.

Devido às cargas inerentes ao sistema das coberturas verdes, os edifícios em que são implantadas deverão estar preparados estruturalmente.

❖ Tintas refletoras

As tintas refletoras têm o objetivo de melhorar o conforto térmico reduzindo a transferência de calor, por condução, para o interior do edifício, o que se traduz numa poupança de energia porque permite diminuir o uso de sistemas mecânicos para climatização. A aplicação destas tintas na cobertura maximiza a propriedade de refletividade solar e emissividade térmica, o que prolonga o tempo de vida útil da cobertura. O aumento destas propriedades na cobertura permite reduzir a temperatura superficial até 3°C, em condições de temperaturas e ventos médios no Verão [44]. Estas tintas estão disponíveis em várias cores e podem ser aplicadas em coberturas planas ou coberturas inclinadas com telhas.

Paredes exteriores

As paredes exteriores representam uma grande percentagem da envolvente opaca nos edifícios e são responsáveis pela divisão entre o interior dos edifícios e o

ambiente exterior, logo é através delas que vão existir os fluxos de transferência de energia, sob a forma de calor, os quais devem de ser controlados por forma a garantir o conforto térmico no interior dos edifícios.

O isolamento térmico utilizado nas paredes exteriores mais convencionais (parede dupla), permite controlar os fluxos de transferência de energia, contudo já estão disponíveis outros sistemas a aplicar nas paredes exteriores com o objetivo de maximizar o isolamento térmico em comparação com método tradicional de parede dupla. Seguidamente ir-se-ão abordar os sistemas de ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*), as fachadas ventiladas e as fachadas verdes.

❖ ETICS

O sistema ETICS é uma solução bastante eficiente para isolamento das paredes exteriores. A implementação das diretivas europeias relativamente à eficiência energética nos edifícios forçou o aparecimento de novas soluções mais eficientes, e este sistema tem-se difundido em Portugal por ser um sistema muito versátil, de fácil aplicação e ainda possibilitar a aplicação de inúmeros acabamentos exteriores que podem ser inseridos em qualquer âmbito arquitetónico [45].

Este sistema pode ser aplicado em paredes de alvenaria, constituídas por tijolos, blocos de betão ou blocos de betão celular autoclavado, em paredes de betão pré-fabricadas ordinárias ou reforçadas com argamassas, paredes de betão betonadas *in-situ*, argamassa projetada, barras de metal ou barrotes de madeira e ainda em revestimentos de madeira desde que a superfície seja estruturalmente resistente, limpa, seca e uniformemente plana. Resumindo este sistema pode ser aplicado em todo o tipo de construção [46].



Legenda:

- 1 – Base
- 2 – Perfil de arranque
- 3 – Isolamento térmico
- 4 – Produto de colagem
- 5 – Fixadores mecânicos
- 6 – Barramento e colagem
- 7 – Armadura de fibra de vidro
- 8 – Perfil de canto
- 9 – Segundo barramento
- 10 – Primário
- 11 – Revestimento final

Figura 38 - Composição do sistema ETICS [47].

Os isolantes térmicos que podem ser aplicados nestes sistemas são o poliestireno expandido (EPS), o aglomerado negro de cortiça expandida (ICB), o poliestireno extrudido (XPS), o polisocianurato (PIR) e a lã de rocha, todos em formato de placa e com espessura variável entre os 40 e 100 milímetros, os quais podem ser fixados só com produtos de colagem ou com produtos de colagem e fixadores mecânicos [45] [46]. As especificações destes isolamentos térmicos estão descritas no Anexo 1. O revestimento final é aconselhável que seja de cor clara de modo a melhor refletir a radiação solar, e pode ser constituído por tintas, revestimentos plásticos espessos (RPE) ou revestimentos minerais de silicatos ou de cimento, revestimentos descontínuos de ladrilhos cerâmicos, placas de pedra ou de outra natureza [45].

Este sistema apresenta várias vantagens como [45] [46]:

- Melhoria do desempenho térmico interior, o que permite economizar energia no uso de sistemas de climatização;
- Minimização das pontes térmicas o que reduz o problema das condensações no interior, e aumenta o equilíbrio térmico interior;
- Contribuição para o aumento de inércia térmica interior, o que aumenta o conforto térmico;
- Aumento da durabilidade dos elementos estruturais, por estarem protegidos aos choques térmicos;

- Ganho na área de habitação, dado que o sistema permite a utilização de paredes simples que em conjunto com o sistema, tem menor espessura que uma parede convencional dupla;
- Redução das cargas permanentes na estrutura, pois as paredes tornam-se mais leves o que necessita de menores esforços estruturais;
- Maior proteção contra a água da chuva, visto que todos os elementos estão protegidos e o sistema é impermeável à água e permeável ao vapor de água;
- Ótima solução para reabilitação, porque a sua aplicação é fácil e feita pelo exterior.

No entanto este sistema também tem algumas desvantagens como [45] [46]:

- Maior custo de produção, comparativamente à solução de parede dupla convencional;
- Necessidade de mão-de-obra especializada para bom funcionamento do sistema;
- Limitação na utilização de cores escuras (com coeficiente de absorção solar superior a 0,6) no acabamento. Podem utilizar-se cores com coeficiente de absorção solar $> 0,60$, apenas em áreas devidamente protegidas dos raios solares, porque o aquecimento excessivo pode causar fissuração no sistema;
- Inadequação na aplicação em fachadas históricas devido ao seu aspeto estético exterior e em paredes antigas com água de capilaridade ascendente devido ao bloqueio da evaporação da água interior.

❖ Fachadas ventiladas

As fachadas ventiladas são sistemas para revestimentos exteriores que têm assumido um papel importante na construção moderna, pelo facto de serem bons isolantes térmicos e ainda possibilitar conceber projetos de elevado qualidade estética e funcional [48] [49] [50].

O sistema consiste em criar uma câmara-de-ar, com largura superior a 20 milímetros, entre o revestimento exterior e a parede interior onde será aplicada o isolamento térmico. A câmara-de-ar permite a ventilação natural e contínua da parede do edifício, através do efeito de chaminé (o ar frio entra pela parte inferior e sai a uma temperatura

mais elevada pela parte superior). Este sistema de ventilação melhora o comportamento térmico e reduz as pontes térmicas do edifício, o que permite a economia na utilização de sistemas de climatização mecânicos e evita o aparecimento de humidades e condensações, resultando assim num aumento de conforto térmico interior. O revestimento por ser exterior protege o resto da estrutura da radiação solar, o que conseqüentemente aumenta o seu tempo útil de vida, aumenta o espaço interior habitacional pelo facto de só necessitar de um pano de alvenaria para suporte da estrutura e potencia a inércia térmica do edifício [48] [49] [50].

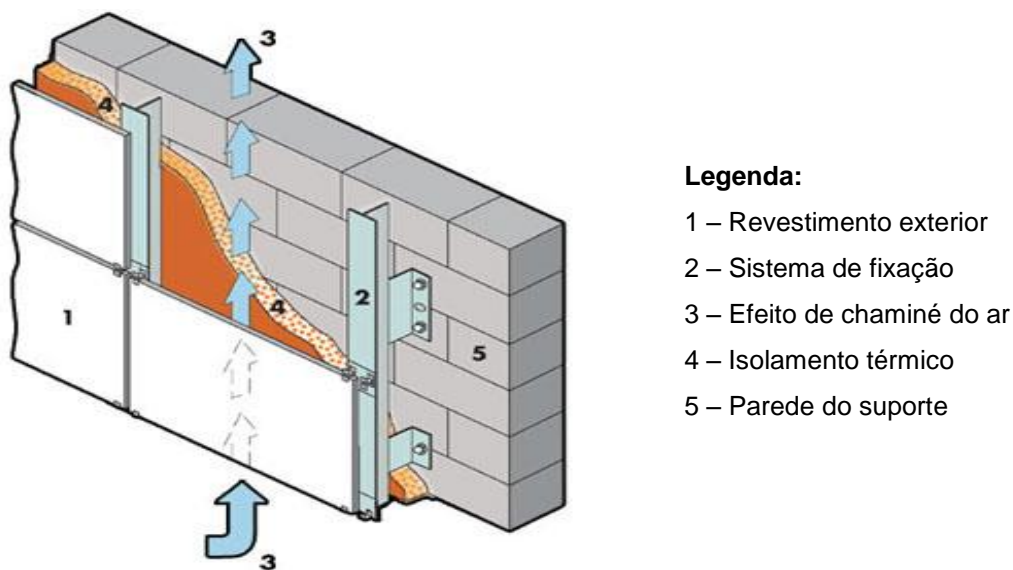


Figura 39 - Sistema de uma fachada ventilada [51].

Do ponto de vista técnico, é um sistema de implantação rápida, que permite a fácil desmontagem e substituição de pequenas áreas. Pode ser aplicado a vários tipos de parede de suporte, o que perfaz uma boa solução para a reabilitação [48] [49] [50].

O revestimento exterior pode ser constituído por vários materiais, tais como, betão polímero, alumínio perfilado, alumínio tricamada, vidro, cerâmica, pedra, painéis fenólicos HPL (*high pressure laminates*) e madeira modificada, cada um com características diferentes, as quais devem ser utilizadas de forma a aumentar a eficiência energética do edifício, considerando o local de implantação [50].

❖ Fachadas verdes

As fachadas verdes são uma solução sustentável, tanto a nível de eficiência energética para os edifícios como para ambiente urbano.

A inclusão de vegetação nas fachadas dos edifícios cria uma barreira à incidência da radiação solar, reduzindo assim a sua temperatura superficial, o que consequentemente diminui a transferência de fluxos de energia para o interior do edifício, traduzindo-se numa poupança de energia no uso de sistemas de climatização. A vegetação tem a capacidade de absorver a radiação solar, o que produz a sua fotossíntese e aumenta a sua temperatura interior, e que posteriormente será dissipada pela transpiração evaporativa. Além disso a vegetação também pode absorver água através das suas raízes, libertando-a posteriormente através das suas folhas, a este processo chama-se transpiração. Por outro lado, quando a água contida no solo da vegetação, passa de estado líquido para o estado gasoso, dá-se a evaporação. À combinação destes dois processos chama-se transpiração evaporativa, ou evapotranspiração. Este fenómeno em combinação com a sombra produzida pela vegetação, permite baixar em média 7,1°C na temperatura da fachada dos edifícios, durante os meses mais quentes (Junho, Julho e Agosto) [52] [53].

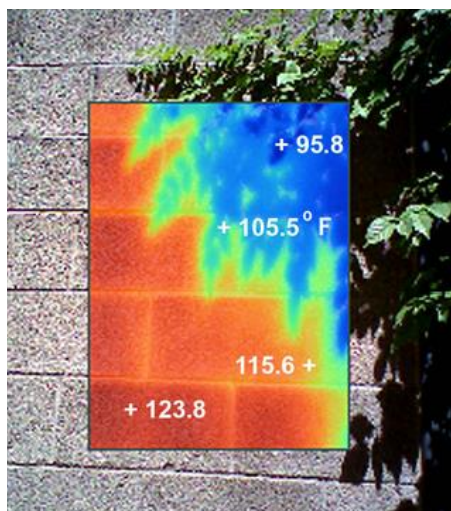


Figura 40 - Fotografia infravermelha, demonstrando a temperatura numa fachada [53].

As fachadas verdes vão ser suportadas pelas paredes exteriores dos edifícios, logo é necessário analisar os materiais constituintes das paredes, por forma a saber se têm capacidade para suportar as cargas aplicadas pela estrutura da fachada verde.

Nas paredes de alvenaria com estrutura de betão, a melhor técnica será distribuir os pontos de apoio pelas zonas dos pilares e lajes [54].

Os sistemas construtivos de fachadas verdes podem ser os seguintes [54]:

- Sistemas modulares, que consistem na pré-fabricação de módulos que vão albergar as plantas, os quais serão inseridos numa estrutura de suporte adicional à fachada. Este sistema deve contemplar sistema de rega e goteiras na base ou gotejadores de topo.

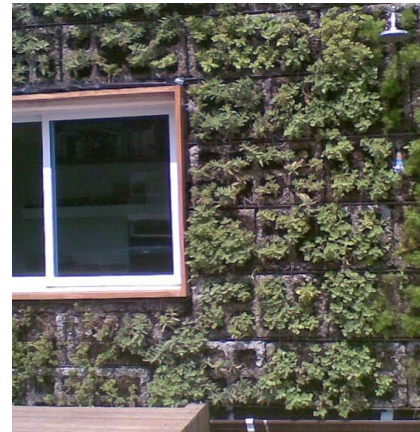


Figura 41 - Sistema modular [55].

- Sistemas de redes, vasos e suporte alternativos. São sistemas variados e abrangentes os quais carecem de uma tipologia própria, permitem assim abordagens inovadoras que podem ser executadas por pessoas sem formação específica.



Figura 42 - Reutilização de garrafas [56].

- Sistemas de mantas absorventes: são similares ao sistema modular apenas se diferenciam pelo suporte das plantas, que consiste em colocar um painel estrutural com uma membrana impermeabilizante (PVC), seguidamente colocam-se duas mantas, e fazem-se recortes na manta superior que servirá de bolsas para as plantas.



Figura 43 - Sistema de mantas [57].

A nível ambiental urbano as fachadas verdes produzem oxigénio e consomem dióxido de carbono, além de reterem as poeiras, o que purifica o ar respirável, potenciam a biodiversidade e diminuem o efeito de ilha de calor [57].

Pavimentos

Os pavimentos como parte constituinte da zona envolvente das habitações, vão ser sujeitos a fluxos de energia, por separarem zonas com diferenciais de temperatura. As perdas de calor através dos pavimentos poderão atingir 20% das perdas totais, o que justifica que sejam devidamente isolados termicamente, quando estão em contacto com o terreno e quando dividem zonas habitacionais úteis ou não. Os pavimentos em contacto com o solo requerem maior isolamento, pois dividem superfícies com maior diferencial de temperaturas, o que pode causar condensações e desconforto se não forem devidamente isolados [58].

O isolamento deverá ser dimensionado consoante o tipo de solicitação a que o terreno estará sujeito. Quando os pavimentos estiverem em contacto com terreno ou com zonas exteriores, o isolamento deverá ser aplicado sob a soleira ou sob a laje, por forma a contribuir para a maximização da inércia térmica e evitar o fenómeno de condensações [58].

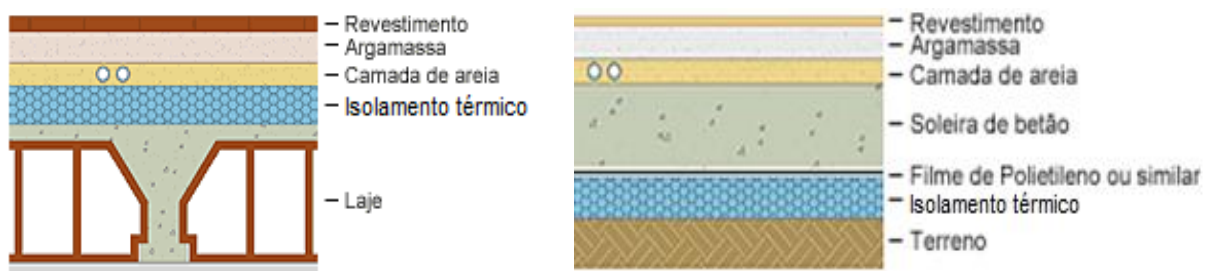


Figura 44 - Pormenor da composição de um pavimento interior (à esquerda) e exterior (à direita) [58].

A condutibilidade térmica da solução do pavimento irá depender do tipo de solução, do tipo do isolamento térmico e das espessuras das suas camadas.

4.1.7 Sistemas de arrefecimento

Os sistemas passivos de arrefecimento são dispositivos que fazem parte da estrutura, ou estratégias que visam o arrefecimento do edifício utilizando o vento e a circulação de ar com o intuito de arrefecer o ambiente interior do edifício, o que consequentemente permite a poupança de energia na inutilização de aparelhos mecânicos para climatização. A utilização do vento e da circulação do ar permite dissipar o calor nos elementos construtivos e aumentar o conforto térmico do edifício. Os sistemas de sombreamento enunciados no subcapítulo 4.1.2 são o caminho mais eficiente para o arrefecimento, porque evitam o aquecimento, o que consequentemente reduz a necessidade de arrefecimento.

Ventilação natural

A ventilação natural é o processo de introdução de uma quantidade de ar novo no interior do edifício retirando-se o ar existente no interior, possibilitando assim uma renovação de ar que permite a redução de humidade interior e a contaminação, e promovendo o arrefecimento natural do edifício, o que pode gerar poupanças energéticas na ordem dos 10% a 30% [59] [22].

Este processo ocorre devido aos diferenciais de pressão entre duas zonas, que podem ser causados pela temperatura e pelo vento. A ventilação natural depende essencialmente da intensidade do vento que atinge o edifício. A intensidade varia de forma imprevisível e vai causar pressões no edifício, porém a forma arquitetónica, orientação e o local de implantação do edifício também vão fazer variar as pressões no edifício. Assim a ventilação natural acontece devido a uma pressão positiva sobre o lado barlavento e uma pressão negativa sobre o lado sotavento provocando assim a admissão de ar fresco pelo barlavento e a expulsão de ar quente e contaminado pelo lado do sotavento, por forma a equilibrar as pressões [59].

De forma a maximizar a ventilação natural é necessário o conhecimento das direções dos ventos dominantes, para que se possam orientar e dimensionar corretamente as aberturas para o exterior: estas não deverão ser obstruídas e o caminho entre elas, em fachadas opostas, não deverá ser direto por forma a ventilar uma maior área interior [59].

A ventilação através do diferencial entre temperaturas, deve-se ao facto de o ar quente ser menos denso que o ar frio, o que origina um movimento ascendente do ar quente. Assim as aberturas para a exclusão do ar quente devem-se localizar a nível superior, e as aberturas para admissão de ar frio a nível inferior. No entanto, o ar quente só consegue fluir para o exterior do edifício caso a temperatura no exterior, seja menor que a temperatura no interior do edifício. Por este facto, em Portugal, a ventilação natural deverá ocorrer preferencialmente durante o período noturno e início da manhã, quando as temperaturas exteriores são menores que as temperaturas no interior dos edifícios [59] [60].

Chaminé solar ou câmara solar

Este sistema consiste numa câmara com um captador de cor escura e protegido por um vidro, preferencialmente orientado a sul, por forma a captar a radiação solar para aquecer o ar contido dentro da câmara. O aquecimento do ar irá diminuir a sua densidade e produzir um efeito de sucção nas aberturas inferiores que estão em contacto com o exterior, o que provoca a extração do ar interior [61].

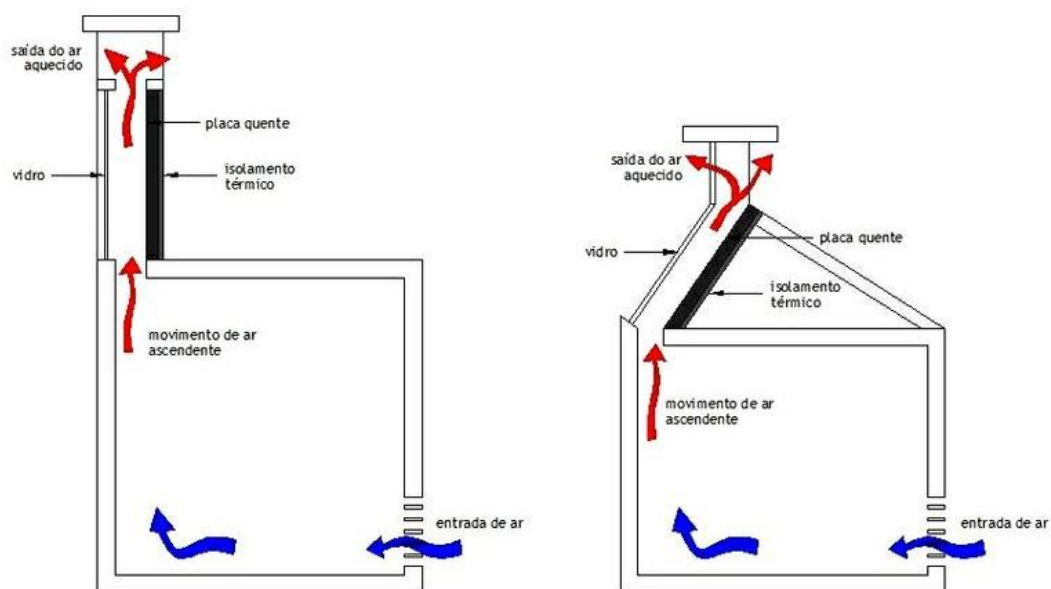


Figura 45 - Funcionamento do sistema de uma chaminé solar [61].

A grande vantagem deste sistema é o facto de se obter o máximo rendimento quando este é mais necessário, ou seja, a obtenção de maior ventilação quando a radiação solar é elevada.

Aspirador estático ou *Windcatcher*

Este tipo de sistema é instalado na cobertura e permite a admissão de ar, através do vento de qualquer direção, para o interior do edifício. O ar quente interior é retirado através de uma pressão baixa criada a jusante do aspirador estático. Para um bom funcionamento do sistema, este apenas deverá estar exposto a velocidades de fluxo do vento baixas e constantes. Este é um sistema bastante flexível, pois pode ter várias formas, secções e pode ser constituído por diversos materiais, podendo-se adaptar a qualquer tipo de cobertura [62]. Apesar disso, através de estudos experimentais chegou-se a conclusão que a secção mais eficiente é a quadrada [63].



Figura 46 - Aspirador estático de secção circular, quadrada e oval respetivamente [62].

Estão disponíveis aspiradores estáticos que incorporam outras tecnologias para tornar este sistema mais eficiente. A figura seguinte mostra um aspirador estático ao qual é incorporado uma ventoinha na parte inferior do sistema, que é alimentada por um painel fotovoltaico existente no topo do aspirador, a qual força a entrada de ar fresco, ou a saída de ar de exaustão quando necessário, através de um sistema de controlo auxiliado por sensores de temperatura e de dióxido de carbono (CO₂) [62].

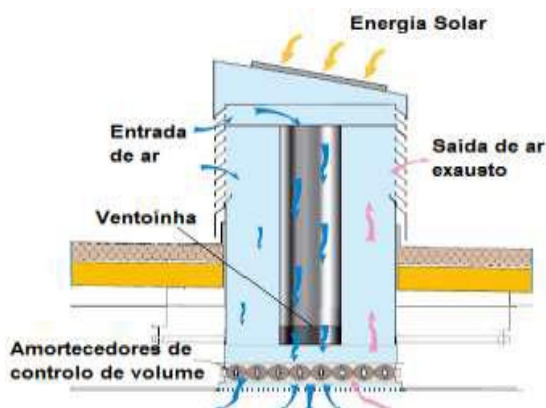


Figura 47 - Aspirador estático com ventoinha incorporada [62].

Também estão disponíveis aspiradores estáticos que incorporam grelhas móveis que possibilitam controlar os fluxos de ventilação [62].

4.1.8 Sistemas de aquecimento

Espaços interiores

Os sistemas passivos de aquecimento são dispositivos que fazem parte da concepção arquitetónica do próprio edifício, que visam contribuir para o aquecimento dos espaços interiores sem recurso de dispositivos mecânicos. Assim o objetivo destes dispositivos é maximizar a captação solar, através de vãos envidraçados bem orientados e dimensionados, aos quais se podem associar elementos massivos, que têm a capacidade de armazenar a energia solar e a sua utilização em horas posteriores. Estes dispositivos são classificados da seguinte forma [25]:

- Ganho direto – que consiste em aquecer o espaço através da incidência da radiação solar, através dos envidraçados bem orientados;
- Ganho indireto ou desfasado (Parede de Trombe, Parede Massiva, Colunas de água) – baseia-se na materialização de uma massa térmica entre a superfície exposta a radiação e o espaço a aquecer, em que a massa térmica absorve a energia solar e posteriormente transfere-a para o espaço de modo imediato ou desfasado, conforme a estratégia de circulação de ar adotada.
- Ganho isolado (Espaço Estufa ou Coletor de ar) – neste sistema a captação dos ganhos solares e o armazenamento de energia não se encontram nas áreas ocupadas dos edifícios, pelo que trabalham independentemente e combinam as características dos dois sistemas anteriores.

Água

- Zyphe é um dispositivo português concebido para se poder poupar até 33% de energia no aquecimento de água nos duches.

O utilizador para atingir a temperatura correta da água do duche regula a torneira misturadora, à qual se liga a tubagem de água quente e água fria, seguidamente a água do duche escoar-se para a rede de esgotos a uma temperatura elevada.

O Zyphe foi desenvolvido para absorver a quantidade de calor desperdiçado, pela água do duche. O sistema é instalado por baixo da base de duche ou banheira, ao qual será ligado a tubagem de água fria que só posteriormente é ligado à torneira misturadora. Isto permite que o calor residual da água que escoa aqueça previamente a água fria antes de chegar a misturadora, o que na prática se traduz em reduzir o aquecimento da água quente ao longo do duche [64]. Como desvantagem para instalar este sistema é necessário uma extensão maior do tubo que conduz a água fria. O sistema, muito simples, traduz-se numa troca térmica, dentro de um dispositivo, no qual a água fria e aquecida nunca se misturam.

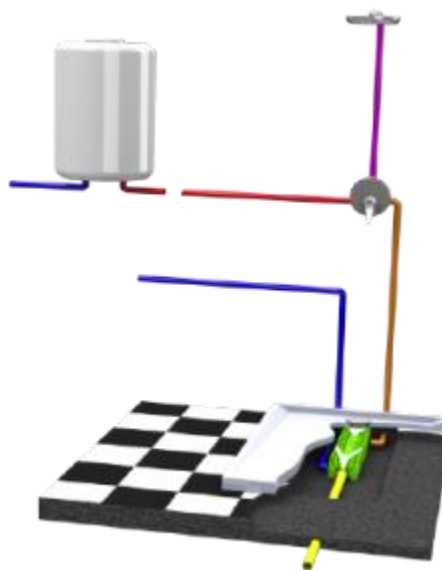


Figura 48 - Sistema de ligação do Zyphe [64].

Este sistema permite um retorno do investimento em cerca de 2 anos, através da poupança de energia. É um sistema devidamente certificado pela KIWA, CERTIF, ADENE e WRAS [64].

4.2 Soluções ativas

As soluções, ou mecanismos, que permitem ao edifício reduzir as suas necessidades energéticas, mas que no entanto têm um custo inerente na sua aquisição, manutenção ou utilização denominam-se soluções ativas. A aquisição deste tipo de soluções só será benéfico se o seu período de retorno for inferior a 8 anos, ou seja,

o custo da energia poupada com esta solução terá que ser superior ao seu preço de aquisição, num período de funcionamento de 8 anos.

4.2.1 Iluminação artificial

Como se verificou no subcapítulo 3.2 a iluminação é a terceira parcela que consome mais energia no sector residencial, logo é necessário observar as várias soluções que existem no mercado no âmbito da iluminação artificial.

Atualmente estão disponíveis no mercado três gamas de lâmpadas, halogéneo, fluorescentes e *led*, no entanto ainda existem instaladas em algumas habitações mais antigas as lâmpadas incandescentes, que já foram retiradas do mercado da UE no ano 2013.

A escolha do tipo de lâmpada, assim como a sua potência e tonalidade deve ser escolhida de acordo com o espaço que a própria vai iluminar, para que não exista desperdício de energia.

Tabela 6 - Os cinco principais tipos de lâmpadas.

Tipo de lâmpada	Tempo de vida útil
Lâmpadas incandescentes – fora do mercado na UE	1.000 horas
Lâmpadas de halogéneo	5.000 horas
Lâmpadas fluorescentes tubulares	6.000 – 15.000 horas
Lâmpadas fluorescentes compactas (LFC)	6.000 – 15.000 horas
Díodos emissores de luz (<i>LED</i>)	20.000 – 45.000 horas

Lâmpadas incandescentes

Este tipo de lâmpadas são as mais antigas no mercado, e por isso ainda estão presentes em muitas habitações, embora em desuso acelerado. Naturalmente são as que têm menos eficiência luminosa (15 lm/W) e as com menor tempo de vida útil. A sua baixa eficiência deve-se ao facto de estas converterem a maior parte da eletricidade (90 a 95%) em calor e apenas o restante em luz.

A sua ineficiência levou a que a UE aprovasse a Diretiva 2005/32/EC com o objetivo de retirar estas lâmpadas do mercado. Este processo foi gradual por potência (W), teve início a 1 de Setembro de 2009 e foi concluído três anos depois.



Figura 49 - Composição de lâmpada incandescente

Lâmpadas de halogéneo

As lâmpadas de halogéneo usam o mesmo princípio que as incandescentes. No entanto, não desperdiçam tanta eletricidade na produção de calor, e assim garantem a mesma luminosidade com menos eletricidade. Este tipo de lâmpada está disponível em vários formatos e tem a vantagem de nos possibilitar orientar a emissão de luz segundo vários ângulos.



Figura 50 - Lâmpadas de halogéneo

Lâmpadas Fluorescentes

Este tipo de lâmpadas funciona de forma diferente das anteriores. São classificadas segundo o seu formato.

As tubulares são mais apropriadas para zonas de atividade, com grande área, e para períodos de longa duração de funcionamento (ex: cozinhas, ginásios, pavilhões).



Figura 51 - Lâmpadas fluorescentes tubulares circulares e lineares.

As lâmpadas fluorescentes tubulares necessitam de um balastro para dar início à sua ligação e para mantê-la ligada, este balastro pode ser ferromagnético ou eletrónico. Nos aparelhos instalados nos últimos 5 anos, os balastros são eletrónicos, devido às perdas de energia nos balastros ferromagnéticos.

Os balastros eletrónicos só têm vantagens em relação aos ferromagnéticos [65]:

- Redução do consumo de energia até 30%;
- Aumento da vida útil da lâmpada cerca de 50%;
- Luz constante, sem interferências e sem efeito estroboscópico;
- Menor aquecimento da lâmpada.

As denominadas compactas têm as mesmas vantagens das tubulares, mas têm um sistema de instalação idêntico ao das lâmpadas incandescentes. Estas são aconselhadas para períodos de utilização superiores a uma hora.



Figura 52 - Lâmpadas fluorescentes compactas.

A desvantagem deste tipo de lâmpadas deve-se ao facto de utilizarem mercúrio, que é um elemento tóxico, perigoso para a saúde e difícil de tratar quando a lâmpada chega ao fim de vida.

Lâmpadas de *LED*

Os *LED* são a tecnologia mais recente no âmbito da iluminação. Este tipo de iluminação tem vários campos de aplicação, desde computadores, relógios digitais ou até mesmo nos comandos de televisão. O *LED* é o tipo de lâmpada mais eficiente, ou seja, a que menos energia perde em forma de calor, logo a que produz mais luminosidade com menos potência, o que faz estender o seu tempo de vida útil.

Tabela 7 - Relação Watt/fluxo luminoso das várias lâmpadas [66].

Potência da lâmpada incandescente (W)	Fluxo Luminoso da lâmpada (lm)		
	Halogéneo	Lâmpada fluorescente compacta	<i>LED</i>
15	119	125	136
25	217	229	249
40	410	432	470
60	702	741	806
75	920	970	1.055
100	1.326	1.398	1.521
150	2.137	2.253	2.452
200	3.009	3.172	3.452

A desvantagem deste tipo de lâmpada é o seu custo inicial, que é superior a qualquer outro tipo, no entanto, o seu tempo de vida útil é bastante superior aos outros tipos de lâmpada, o que faz compensar o seu investimento inicial.



Figura 53 - Lâmpadas *LED*

As lâmpadas *LED* assim como as fluorescentes compactas já se encontram disponíveis em várias temperaturas de cor.



Figura 54 - Temperatura de cor, medida em graus Kelvin [67].

A escolha da temperatura de cor deve ser associada ao tipo de atividade desenvolvida na zona a iluminar. A luz fria para espaços de muita atividade, e a luz quente para divisões de repouso.

4.2.2 Tecnologias para otimização da iluminação artificial

Atualmente existem várias tecnologias que permitem poupar energia nos sistemas de iluminação. A possibilidade de controlar a luminosidade/potência destes sistemas consoante as necessidades pretendidas, representa uma poupança de energia relevante. Sabe-se que, por esquecimento ou falta de atenção, o ser humano não desliga o interruptor da luz, o que origina um desperdício de energia. Pode-se minimizar este tipo de desperdícios de energia com várias tecnologias existentes no mercado, que enunciaremos de seguida.

Sensores de movimento

Esta tecnologia é ideal para minimizar o desperdício de energia nos sistemas de iluminação, e é cada vez mais utilizado pelo facto de ter um custo de aquisição atraente, o qual é recuperado em poucos anos.

Os sensores de movimento têm a funcionalidade de ligar automaticamente o sistema de iluminação pré-definido, caso detete movimento no seu raio de ação, posteriormente desliga automaticamente o sistema, através de um temporizador que pode ser regulado manualmente. A precisão do temporizador pode ser em segundos

ou em minutos. Adjacente a este sensor está um temporizador crepuscular que liga/desliga o sistema apenas se detetar ou não luminosidade, por sua vez, o temporizador também pode ser regulado. [68]

Atualmente existem no mercado detetores para várias aplicações (teto, parede, interior, exterior), com vários ângulos de ação e alcances diferentes.

Estes sensores são muito cómodos, pois dispensam os interruptores para ligar/desligar o sistema de iluminação e são ideais para zonas de passagem, ou zonas que não se preveja uma ocupação constante.

Temporizador crepuscular

Este sistema já mencionado anteriormente, também pode funcionar sozinho, e é ideal para a iluminação de terrenos, montras e reclames luminosos.

O seu funcionamento restringe-se a ligar/desligar a iluminação quando deteta luz exterior.

Dimmer

O *dimmer* é um controlador de luminosidade, ou seja, é um dispositivo que permite variar a intensidade luminosa através de um potenciómetro. Este dispositivo pode ser aplicado no interruptor, ou posteriormente entre a fonte de alimentação e a lâmpada. Traduz-se num regulador manual, em que o utilizador pode aumentar ou diminuir o fluxo da intensidade luminosa consoante as suas pretensões.

Tem como vantagens diminuir o consumo elétrico das lâmpadas e conseqüentemente aumentar o tempo de vida útil destas. Contudo este sistema não pode ser utilizado com lâmpadas fluorescentes.

4.2.3 Coletores solares térmicos

Os coletores solares térmicos têm a função de captar a energia solar e transferi-la para um fluido térmico que circula no seu interior. Este fluido posteriormente pode ser utilizado para o aquecimento de águas sanitárias, aquecimento de piscinas, aquecimento do ambiente, arrefecimento do ambiente em combinação com máquinas

de absorção ou sistemas híbridos e produção de água a elevadas temperaturas para uso industrial [69].

Existem vários tipos de coletores solares térmicos, a sua escolha deve ser adequado para a gama de temperaturas de funcionamento a qual se destina. Os tipos de coletores solares são [69] [70]:

- Coletores solares planos (produção até 60 °C);
- Coletores de tubo de vácuo (produção para mais que 70 °C);
- Coletores do tipo CPC ou Winstom, concentradores estacionários (produção para mais que 70 °C)
- Coletores parabólicos, seguidores do sol (para produção superior a 400 °C).

O rendimento de um coletor solar diminui com o aumento de temperatura de funcionamento ou com a redução da radiação incidente, assim para maior rentabilidade os coletores devem ser bem dimensionados e orientados.

Para os edifícios convencionais, residenciais e comerciais, apenas é necessário produzir águas quentes sanitárias até 60 °C pelo que normalmente se aplicam os coletores solares planos, os quais iremos abordar seguidamente.

O coletor solar plano é constituído por uma caixa com um vidro com propriedades seletivas, que permita elevada transmissividade e baixa refletividade, um absorvedor constituído por uma placa unida a tubos de cobre, e um isolamento térmico. A radiação incide sobre a placa absorvedora, através do vidro que forma uma barreira à saída do calor, esta transforma a radiação em calor e transmite-o para o fluido térmico que circula pelos tubos, seguidamente a circulação do fluido térmico retira o calor para o aproveitamento deste [69].

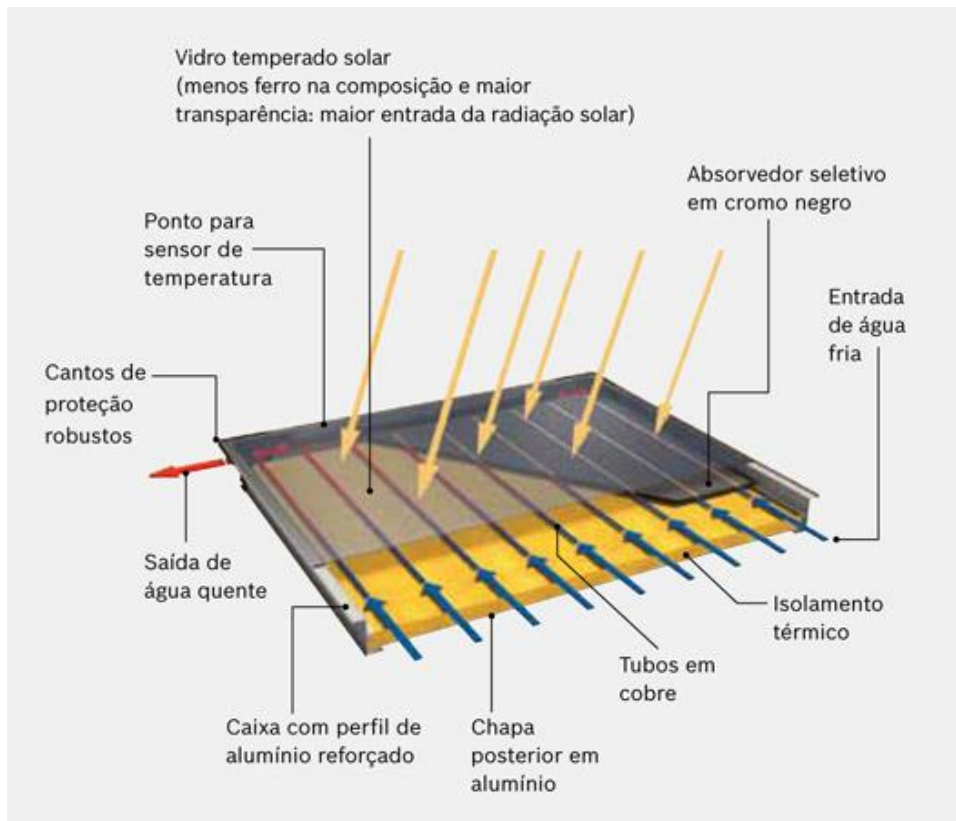


Figura 55 - Constituição de um coletor solar térmico [71].

Existem dois tipos de sistemas de energia solar térmica, o sistema de termossifão e o sistema de circulação forçada.

No sistema de termossifão, o depósito é colocado em cima do coletor, porque o fluido térmico sobe quando atinge grandes temperaturas, por ficar menos denso, e então gera-se um ciclo em que o fluido mais quente “empurra” o fluido mais frio para baixo [69].

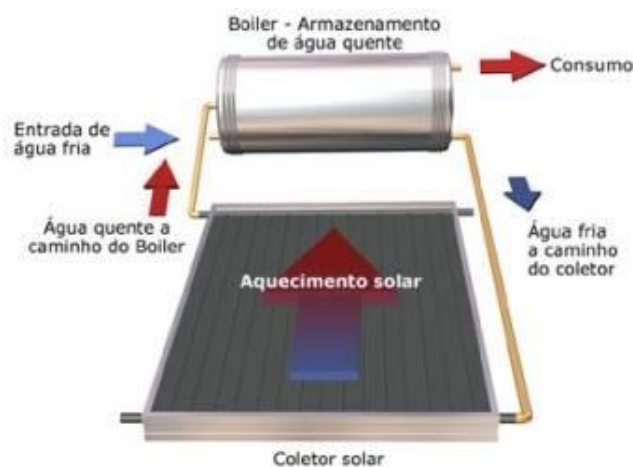


Figura 56 - Sistema de termossifão [72].

Estes sistemas são indicados para pequenos volumes de água, funcionam independentemente, a sua instalação é mais simples e possuem menos componentes que o sistema por circulação forçada, o que os torna menos dispendiosos.

No sistema de circulação forçada o depósito fica separado dos coletores solares, normalmente no interior do edifício, existindo um sistema que força a circulação do fluido térmico.

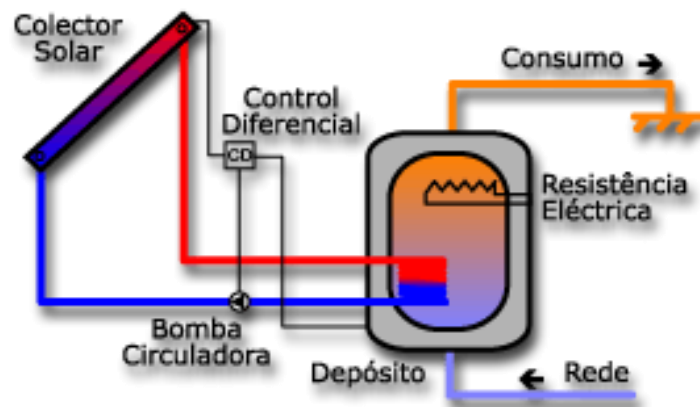


Figura 57 - Sistema de circulação forçada [69].

Neste sistema a ausência do depósito acima do coletor constitui uma vantagem estética, arquitetónica e térmica, pois o depósito ficará protegido do ar frio o que reduz as suas perdas caloríficas mas exige espaço interior. Este sistema possui uma bomba circuladora, que faz circular o fluido térmico em ciclo fechado, a velocidade desta bomba é regulada por um controlador solar dependendo das leituras das temperaturas da água no depósito e nos coletores. Assim este sistema tem maior rendimento, mas o seu custo é mais elevado, comparativamente ao sistema de termossifão [72].

Em ambos os sistemas é possível instalar uma resistência térmica, dentro do depósito, que atua sempre que for necessário, para garantir o aquecimento de água na falta de energia solar [72].

Para dimensionamento, é necessário 1m² de coletor solar e um depósito com cerca de 50 a 70 litros, por pessoa, por cada habitação [22].

Para se obter maior rentabilidade dos coletores solares, devem-se respeitar alguns requisitos, tais como [22]:

- Orientar os coletores a Sul, ou na impossibilidade rodá-los no máximo a 45 graus para Este ou Oeste;
- O ângulo dos coletores, relativamente à linha horizontal deve ser correspondente à latitude do local, também são permitidos ângulos mais baixos para objetivos arquitetónicos específicos e para coletores usados apenas no verão. Em caso de se privilegiar a utilização dos coletores para aquecimento, recomenda-se um ângulo mais elevado;
- As tubagens de todo o sistema devem ser devidamente isoladas de modo a reduzirem-se as perdas de calor;
- Os coletores deverão ser acessíveis para permitir limpeza e manutenção

4.2.4 Painéis fotovoltaicos

Um painel fotovoltaico é um sistema capaz de converter a energia solar diretamente em eletricidade. A célula é o elemento mais pequeno do sistema fotovoltaico que produz cerca de 1,5 Wp (Watt-pico é a unidade que mede a potência de pico, potência máxima nas condições de referência, isto é, radiação incidente a 1000 W/m² e temperatura da célula a 25 °C) correspondentes a uma tensão de 0,5 V e uma corrente de 3 A. Para a obtenção de potências maiores, as células são ligadas em série e/ou paralelo, formando módulos [73].

As células fotovoltaicas podem ser constituídas de três formas [73]:

- Silício monocristalino: apresenta um rendimento máximo atingido em laboratório que ronda os 24%, mas na utilização prática reduz-se para cerca de 15%. Tem uma produção dispendiosa;
- Silício policristalino: apresenta um rendimento em laboratório inferior a 18% e na prática vai até os 12%. Tem um processo de produção mais económico que o silício cristalino;
- Silício amorfo, não tem estrutura cristalina, logo não pode ser utilizado em células fotovoltaicas. Apenas é útil para equipamentos solares domésticos como calculadoras ou relógios.

A conversão direta da energia solar em energia elétrica acontece pelo facto de se dar a transferência dos fótons da radiação incidente para os eletrões da estrutura atómica do silício. Nos materiais semicondutores, sob o efeito de uma radiação luminosa, a energia dos fótons incidentes é diretamente transferida para o sistema eletrónico do material, podendo excitar os eletrões da banda de valência para a banda de condução e dando origem à criação de pares eletrão (absorção). Para obter uma corrente elétrica é criada uma estrutura de separação dos portadores de carga fotogerados, por ação do campo elétrico interno, antes de se recombinarem. Segue-se a extração das cargas em corrente contínua para utilização. A este acontecimento dá-se o nome de efeito fotovoltaico [69].



Figura 58 - Composição do sistema fotovoltaico de entrega à rede elétrica [74].

Este sistema pode operar em três formas:

- Ligados à rede de energia elétrica, à qual entregam toda a energia que produzem, como se pode observar em esquema na figura 58;
- Em sistema isolado, alimentando diretamente cargas: é o sistema ideal para zonas remotas, onde devem substituir as alternativas mais convencionais, o gerador a diesel ou rede elétrica, porque apresenta grandes vantagens a nível económico e ambiental. Neste sistema é adicionalmente necessário baterias para o armazenamento de energia, para colmatar os períodos em que o recurso é insuficiente ou não está disponível, e um regulador de carga para

efetuar a gestão da carga. Esta aquisição adicional representa custos avultados;

- Em sistema híbrido, alimentando diretamente cargas isoladas, em conjunto com outros conversores de energias renováveis, como a energia eólica.

Em Portugal, de acordo com o DL 118-A/2010, para uma entidade ser produtora de energia elétrica para venda ao distribuidor através de instalações de baixa tensão e pequena potência, terá de aderir ao sistema de microprodução, ou microgeração. Neste sistema existem dois regimes remuneratórios, que a entidade escolhe no momento do registo no *website* “Renováveis na hora”, que são o regime bonificado e o regime geral [75].

No regime bonificado as tarifas são:

- Nos primeiros 8 anos a tarifa é de 400 €/MWh;
- Nos 7 anos seguintes a tarifa é de 240 €/MWh.
- O valor de ambas as tarifas é reduzido, anualmente em 20 €/MWh.

Para usufruir deste regime terão que se reunir as seguintes condições:

- A potência de ligação da unidade de microgeração é limitada a 50% da potência contratada (máximo de 3,68kW), para condomínios (máximo 11,04kW).
- Deverá estar instalado um sistema solar térmico de AQS. Como alternativa poder-se-á optar por instalar uma caldeira de biomassa. Para condomínios é necessário realizar uma auditoria energética.

No regime geral a tarifa é a seguinte:

- O preço de venda é igual ao preço de custo do tarifário aplicável pelo comercializador.

Para usufruir do regime geral terá de reunir as seguintes condições:

- A potência de ligação da unidade de microgeração é limitada a 50% da potência contratada (máximo de 5,75 kW), para condomínios (máximo 11,04 kW);

- Ao contrário do regime bonificado, com o regime geral não se exige a instalação de qualquer sistema solar térmico de AQS. Para condomínios não é necessário realizar qualquer auditoria energética.

O período de retorno do sistema dependerá do número e eficiência dos painéis, da sua potência e da exposição solar.

Numa perspectiva ambiental e prática o sistema fotovoltaico apresenta um vasto leque de vantagens [22]:

- Alta fiabilidade, é um sistema compacto, o que o torna muito útil nas aplicações em locais remotos;
- Adaptabilidade dos módulos, montagens simples e adaptáveis às necessidades de potência que se pretende;
- Possibilidade de armazenar energia, em baterias, para uso em horas de inexistência de radiação;
- Tecnologia não poluente e silenciosa.

Numa perspetiva económica e de rendimento os sistemas ainda apresentam algumas desvantagens [22]:

- O fabrico dos módulos fotovoltaicos necessita de tecnologia muito sofisticada, o que torna o processo muito dispendioso;
- O rendimento real de conversão de um módulo é baixo, face ao seu custo de produção;
- As baterias para armazenamento de energia são demasiado dispendiosas, tornando a sua aquisição viável, apenas para utilização em locais remotos onde não existe ligação à rede elétrica.

Capítulo 5 - CASO DE ESTUDO

Por forma a aplicar o conhecimento adquirido exposto nos capítulos anteriores, ir-se-á elaborar o estudo de um edifício construído, no qual se pretendem executar alterações tecnológicas, que sejam economicamente viáveis, de modo a se convergir para um balanço energético anual quase nulo, isto é, aproximar o edifício construído num NZEB.

Para se perceber o impacto energético de cada solução, enunciada no capítulo 4, é necessário a utilização de um *modelo* que nos permita simular os ciclos anuais de desempenho energético do edifício construído presente, e posteriormente, o edifício com as soluções implementadas.

O edifício construído ao qual se irá aplicar esta análise está situado em Portimão com fachadas nas ruas Damião Lopes Faria e Castro nº 8 e 10, e Beco dos Caldeireiros nº 10 e 12. Este edifício contempla duas frações comerciais e seis residenciais, foi concluído em Março de 2011 e teve uma duração de construção aproximada de dois anos.

Para a elaboração deste estudo foram consultadas as soluções arquitetónicas e construtivas presentes no projeto do edifício. Como complemento, foram elaboradas visitas *in situ* para a recolha dos dados de ocupação, contabilização e determinação das características dos equipamentos consumidores de energia.

5.1 Caraterização do edifício

O edifício possui uma área útil de 641,72 m², que se distribui por 4 pisos que são compostos por acessos, garagem, arrumos, instalações sanitárias, espaços comerciais, cozinhas, halls de entradas, quartos e salas de estar. Em nenhuma das frações existem sistemas de AVAC.

O edifício possui fachadas orientadas a Sul (Rua Damião Lopes Faria e Castro) e a Norte (Beco dos Caldeireiros) com cotas de soleira de 2,45 m e 2,88 m, respetivamente.

Em conformidade com o Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013, o edifício localiza-se no Algarve (NUTS III) e para o cálculo do parâmetro climático, é utilizada a seguinte expressão:

$$X = X_{REF} + a (z - z_{REF}) , [\text{meses ou } ^\circ\text{C}]$$

Os valores dos parâmetros climáticos X associados a um determinado local, são obtidos a partir de valores de referência X_{REF} para cada NUTS III e ajustados com base na altitude desse local, z.

Tabela 8 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude, para a estação de aquecimento e arrefecimento.

	z		M		GD		$\theta_{ext, i}$		$\theta_{ext, v}$		G_{Sul} kWh/m ² por mês
	REF		REF	a	REF	a	REF	a	REF	a	
	km	meses	mês/km	°C	°C/km	°C	°C/km	°C	°C/km	por mês	
Algarve	0,145	4,8	0	987	1800	11,3	-6	23,1	0	155	
Zméd =	0,00267	M = 4,8		GD = 1243		$\theta_{ext, i} = 12,2$		$\theta_{ext, v} = 23,1$			

Assim de acordo com o exposto no subcapítulo 4.1.1, o edifício localiza-se na zona climática de inverno I1, e na zona climática de verão V3.

5.1.1 Definição do modelo

O *Design Builder* e o *Energy Plus* foram os programas informáticos que foram utilizados para a elaboração da simulação térmica dinâmica do edifício, e estão descritos no subcapítulo adiante 5.2.

Para a construção do modelo foram consultados os dados de projeto dos materiais, visto que o programa *Design Builder* contempla uma base de dados de materiais de construção, com as suas especificações inerentes (condutibilidade, densidade, calor específico e absorção solar), procurou-se utilizar a base de dados do programa para inserir os materiais, posteriormente o programa calcula automaticamente o coeficiente de transmissão térmica da solução. Apesar da vasta lista de materiais que o programa contém, foi necessário inserir materiais que constavam no projeto e não estavam disponíveis na base de dados, para este efeito foi consultado o ITE 50 e adotadas as características dos materiais que lá estavam dispostos.

Envolvente opaca

A envolvente opaca engloba, como indicado no subcapítulo 4.1.6, a cobertura, as paredes exteriores, e os pavimentos. De seguida apresenta-se a composição das soluções construtivas que constavam no projeto de execução do edifício, e os valores que foram inseridos no *Design Builder* para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U).

Tabela 9 - Descrição da solução construtiva da cobertura

Materiais	U (W/m ² .°C)	Camadas	Descrição	Esp. (m)	Condutividade (w/m-K)	Densidade (kg/m ³)
Cobertura inacessível	0,474	6	Mosaicos de cerâmica	0,020	1,300	2300,0
			Betonilha de regularização	0,010	0,720	1760,0
			Tela Polyester	0,010	0,190	1400,0
			Betonilha de regularização	0,010	0,720	1760,0
			Polituretano projetado	0,050	0,028	30,0
			Betão armado (1% aço)	0,200	2,300	2300,0
			Total =			0,300

Tabela 10 - Descrição das soluções construtivas das paredes.

Materiais	U (W/m ² .°C)	Camadas	Descrição	Esp. (m)	Condutividade (w/m-K)	Densidade (kg/m ³)
Parede Exterior	0,683	6	Reboco estanhado	0,010	0,720	1760,0
			Tijolo	0,110	0,720	1920,0
			Caixa-de-ar	0,020		
			Polituretano projetado	0,040	0,028	30,0
			Tijolo	0,110	0,720	1920,0
			Reboco estanhado	0,010	0,720	1760,0
			Total =			0,300
Parede Interior entre fogos e elevador	0,792	6	Reboco estanhado	0,010	0,720	1760,0
			Tijolo	0,110	0,720	1920,0
			Caixa-de-ar	0,030		
			Polituretano projetado	0,030	0,028	30,0
			Tijolo	0,110	0,720	1920,0
			Reboco estanhado	0,010	0,720	1760,0
			Total =			0,300

Tabela 11 - Descrição das soluções construtivas dos pavimentos.

Material	U (W/m ² .°C)	Camadas	Descrição	Esp. (m)	Condutividade (w/m-K)	Densidade (kg/m ³)
Pavimento entre fogos	1,495	5	Estuque projetado	0,015	0,350	950,0
			Betão armado (1% aço)	0,300	2,300	2300,0
			Espuma de polietileno extrudido	0,010	0,050	25,0
			Betonilha de regularização	0,010	0,720	1760,0
			Mosaicos de cerâmica	0,015	1,300	2300,0
			Total =	0,350		
Pavimento entre o piso 0 e o piso 1	0,677	6	Gesso cartonado	0,005	0,350	950,0
			Lã de rocha	0,040	0,047	92,0
			Betão armado (1% aço)	0,270	2,300	2300,0
			Espuma de polietileno extrudido	0,010	0,050	25,0
			Betonilha de regularização	0,010	0,720	1760,0
			Mosaicos de cerâmica	0,015	1,300	2300,0
			Total =	0,350		
Pavimento térreo	0,426	5	Enrocamento	0,500	0,360	1840,0
			Massame	0,080	0,720	1760,0
			Espuma de polietileno extrudido	0,030	0,050	25,0
			Betonilha de regularização	0,020	0,720	1760,0
			Mosaicos de cerâmica	0,015	1,300	2300,0
			Total =	0,645		

As soluções apresentadas nas tabelas estão dispostas, do exterior para o interior do edifício, de forma descendente.

Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados são compostos por uma caixilharia em alumínio lacado cinza com corte térmico, e por um envidraçado duplo composto por vidro incolor de 4 mm + lâmina de ar de 12 mm + vidro incolor de 4 mm. Esta solução garante uma condutibilidade térmica de 2,709 W/m².°K

Iluminação

A recolha da informação sobre a iluminação foi feita através de visitas às frações para a determinação e contabilização das lâmpadas existentes. A tipologia de lâmpadas

encontradas nas frações foram de halogéneo, fluorescentes compactas e fluorescentes com balastro eletrónico. Para inserir os dados sobre a iluminação no *Design Builder* é necessário obter uma relação Watt/m² para cada fração.

Tabela 12 - Tipologia e quantidade de lâmpadas nas frações.

	Descrição	Halogéneo		Fluorescente		F. Compacta		Total		W/m ²
		nº	Watts	nº	Watts	nº	Watts	nº	Watts	
Piso 0	Acessos					3	8	3	24	0,85
	Garagem			1	24			1	24	0,56
	Loja A e Loja B	8	50			12	23	20	676	4,88
Piso 1	1º A e 1º B	6	25			2	23	12	240	2,32
						4	11			
	Acessos					2	8	2	16	0,83
	1º C					2	23	5	79	1,38
					3	11				
Piso 2	2º A	5	50	2	24	1	23	22	733	6,72
		6	40			2	11			
		6	25							
	Acessos					2	8	2	16	1,04
	2º B	2	25			2	23	6	118	3,39
					2	11				
Piso 3	3º A	3	25	2	24	4	23	9	215	2,83
	Acessos e arrumos					2	8	2	16	0,95

Para as frações comerciais, foi admitida uma carga horária de funcionamento da iluminação a 100% nos dias úteis em que as lojas funcionam, e com um horário de funcionamento das 9h às 13h e das 15h às 19h, isto é, a iluminação funciona 8 horas por dia, durante 5 dias por semana.

Ocupação

Através de um inquérito aos residentes, determinou-se o número de pessoas que residia habitualmente em cada fração e definiu-se a sua densidade de ocupação em pessoas/m².

Tabela 13 - Densidade ocupacional, por fração.

	Descrição	nº de pessoas	m ²	Densidade (pax/m ²)
Piso 0	Acessos	0	28,34	0,0000
	Garagem	0	42,68	0,0000
	Loja A e Loja B	6	138,45	0,0433
Piso 1	1º A e 1º B	2	103,60	0,0193
	Acessos	0	19,36	0,0000
	1º C	1	57,19	0,0175
Piso 2	2º A	3	109,07	0,0275
	Acessos	0	15,34	0,0000
	2º B	2	34,81	0,0575
Piso 3	3º A	2	76,06	0,0263
	Acessos e arrumação	0	16,82	0,0000

Outros equipamentos

Existem vários equipamentos que são essenciais para o quotidiano das pessoas, aos quais estão inerentes consumos energéticos que têm significado na fatura energética dos edifícios. O consumo energético destes equipamentos varia consoante a utilização dos mesmos, logo é extremamente difícil prever os consumos dada a vasta lista de equipamentos elétricos e eletrónicos que as pessoas utilizam. Assim, neste estudo foram considerados, apenas os equipamentos essenciais que existem em todas as habitações.

De seguida enunciam-se os equipamentos considerados para os espaços habitacionais e comerciais.

Tabela 14 - Consumos dos equipamentos

	Watts	Classe	Descrição
Portáteis	30		Fonte: http://www.eu-energystar.org/pt/pt_022.shtml
Computador	120		
Monitor CRT	80		
Elevador	1764		Otis Gen2 Switch. 6pax
Portão garagem	350		
Tv	180	A+	TV LED 42", 44 W, stand-by 0,2 W
	44		
Maq. lv roupa	274	A	
Cozinha			
Placa vitrocerâmica	750		
Frigorífico	958	A+	Combinado, dimensão média (P = 1500W)
Micro-ondas	500		

No consumo da TV foi considerado para os espaços habitacionais uma utilização de 4 horas de funcionamento e as restantes horas em stand-by. Para os espaços comerciais foi considerado que não havia stand-by, e que a TV funcionava as 8 horas que o estabelecimento estava aberto ao público.

Para os consumos dos equipamentos de cozinha recorreu-se ao simulador de potência e consumo disponibilizado pela EDP online.

De seguida apresentam-se os mapas de consumo utilizados para este estudo.

Tabela 15 - Resumo dos consumos energéticos, relativos aos equipamentos de cozinha.

	Descrição	Cozinha						W/m ²
		Frigorífico		Placa vitrocerâmica		Micro-ondas		
		nº	W	nº	W	nº	W	
Piso 0	Acessos							
	Garagem							
	Loja A e Loja B							
Piso 1	1º A e 1º B	2	1917	2	1500	2	1000	42,63
	Acessos							
	1º C	1	958					16,76
Piso 2	2º A	1	958	1	750	1	500	20,25
	Acessos							
	2º B	1	958	1	750	1	500	63,44
Piso 3	3º A	1	958	1	750	1	500	29,03
	Acessos e arrumos							

Tabela 16 - Resumo dos consumos energéticos relativos aos restantes equipamentos.

	Descrição	Equipamentos						
		Tv		Outros	W/m ²	Computador		W/m ²
		nº	W			nº	W	
Piso 0	Acessos			441,00	15,56			
	Garagem			350,00	8,20			
	Loja A e Loja B	2	88		0,64	2	400	5,78
Piso 1	1º A e 1º B	2	360		8,77	2	60	1,16
	Acessos			441,00	22,78			
	1º C	1	180		3,15	1	30	0,52
Piso 2	2º A	2	360		5,82	1	200	1,83
	Acessos			441,00	28,75			
	2º B	1	180		13,05	1	30	0,86
Piso 3	3º A	1	180		5,97	1	30	0,39
	Acessos e arrumos			441,00	26,22			

Na secção dos computadores os 200 Watts são relativos ao conjunto de secretária que engloba o computador mais o monitor CRT, isto é, nas lojas e no 2º A foram admitidos computadores de secretária e nas restantes frações, computadores portáteis.

Consumo energético real

No Anexo 2 apresentam-se os consumos energéticos reais referentes aos anos 2012 e 2013, obtidos por consulta das faturas dos fornecedores de energia elétrica.

Por ser um edifício recente, foi necessário assumir algumas considerações que serão mencionadas, devido à não ocupação total do edifício.

Pelo facto de não existirem dados sobre os consumos da loja B, e esta se encontrar na mesma fachada da loja A e ter aproximadamente a mesma área, admitiu-se que a loja B teve o mesmo consumo que a loja A.

Na fração 1º B em 2012 não existem dados dos consumos para todo o ano, assim apenas se consideraram os consumos referentes ao ano 2013.

Na fração 1º C, verifica-se que os consumos são muito abaixo dos esperados, por comparação com as outras frações da mesma tipologia, logo assumiu-se que não houve utilização da placa vitrocerâmica e do micro-ondas, sendo apenas considerado o frigorífico na cozinha.

Nas restantes frações foi considerada a média de consumos entre 2012 e 2013.

Após estas considerações, chegou-se ao consumo médio anual de 12990 kWh.

5.2 Simulação térmica dinâmica – *DesignBuilder* e *EnergyPlus*

Os *softwares* de simulação de edifícios têm sido desenvolvidos desde os anos 70 do século XX. Estes são poderosas ferramentas que permitem a determinação das cargas térmicas dos edifícios, com grande aproximação da realidade. Assim, existem no mercado vários *softwares* que efetuam estes cálculos. Na generalidade, é necessário que o utilizador insira vários parâmetros para a concretização do modelo, tais como:

- a geometria;
- a orientação;
- os edifícios envolventes que causam sombreamentos;
- a localização geográfica;
- os materiais de construção;
- a iluminação natural e artificial;
- a ventilação natural e artificial;
- a utilização do espaço (tipo de atividade);
- o tipo de climatização;
- os níveis de ocupação.

A escolha do *software* DesignBuilder prende-se ao facto de este permitir uma modelação em 3D do edifício, conter uma base de dados sobre materiais de construção com as suas características, permitindo a criação de outros *templates*. Tem interfaces com ficheiros climáticos, precisando apenas o utilizador de inserir a região onde se localiza o edifício, possui também os regulamentos e certificações vigentes em Portugal, e por último, tem uma licença gratuita.

O *DesignBuilder* é uma excelente interface entre o utilizador e o *EnergyPlus*, que é o programa que efetua os cálculos, e o qual é acreditado pela norma ASHRAE 140-2004.

Após a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º118/2013, de 20 de Agosto o módulo IEE (módulo de Certificação português implementado no *DesignBuilder* para cálculo do IEE) estará desatualizado. Dado que a conceção deste modelo teve início antes da data da publicação do Decreto-lei nº 118/2013, prosseguiu-se o estudo na versão com base nos Decretos-Lei n.º 78,79 e 80 de 4 de abril de 2006.

5.2.1 Conceção e calibração do modelo

Conceção

De seguida enuncia-se as fases de conceção do modelo:

- Importação das plantas dos pisos, em Autocad, para o DesignBuilder;
- Levantamento e construção do modelo em 3D;
- Levantamento dos prédios envolventes que causam sombreamento no edifício;
- Inserção do *template* da localização geográfica do edifício (como não existem *templates* de todas as cidades, foi inserido o *template* de Faro, cidade mais próxima de Portimão);
- Definição dos materiais de construção do edifício;
- Tipo de atividade, por zona, em pessoas por m²;
- Consumos de energia, por zona, relativos à iluminação, explícitos em W/m²;
- Definição dos horários de funcionamento da iluminação, por zona;
- Consumos de energia, por zona, relativos aos equipamentos, explícitos em W/m²;
- Definição dos horários de funcionamento dos equipamentos, por zona.

Na construção do modelo é necessário fazer uma divisão, por zonas, nos pisos. A cada zona vão ser atribuídos os parâmetros que foram descritos no subcapítulo 5.1, posteriormente os resultados da simulação podem ser analisados por zona. Por forma a simplificar o modelo, as zonas foram definidas considerando a orientação da fachada em que está inserida, e interiormente foi considerado uma divisão mediante as paredes de espessura de trinta centímetros.

Tabela 17 - Descrição da divisão das zonas.

	Descrição	
Piso 0	Acessos	Zona 1
	Garagem	Zona 2
	Loja A e Loja B	Zona 3
Piso 1	1º A e 1º B	Zona 1
	Acessos	Zona 2
	1º C	Zona 3
Piso 2	2º A	Zona 1
	Acessos	Zona 2
	2º B	Zona 3
Piso 3	3º A	Zona 1
	Acessos e arrumação	Zona 2

Calibração

Para se dar início a um estudo que se baseia num modelo, é necessário saber se esse modelo está bem calibrado e se encontra ajustado à realidade para que posteriormente se possam tirar ilações reais comparativas.

Para calibração de um modelo de simulação são necessários vários ajustamentos, com o objetivo de obter resultados que sejam semelhantes aos parâmetros medidos. Neste estudo o parâmetro de comparação foi o dos consumos anuais de eletricidade pelo edifício, que foram obtidos através da consulta das faturas energéticas das frações pertencentes do edifício.

De acordo com o RCCTE e o RSECE, regulamentos já revogados, e pela norma ASHRAE 140-2004, um modelo é considerado calibrado se o consumo total de energia prevista na simulação, tiver uma diferença até cerca de 10% do consumo obtido nas faturas de energia, num ciclo anual.

5.2.2 Análises e resultados

Através da simulação térmica dinâmica elaborada pelo *DesignBuilder* e pelo *EnergyPlus* obteve-se um consumo previsto de energia do edifício de 13821 kWh, o que comparativamente ao consumo médio anual obtido pelas faturas de eletricidade, apresenta uma diferença de 6%, pelo que se considera que o modelo é válido.

De seguida enuncia-se a Tabela 18 onde se pode averiguar o erro resultante da simulação energética, por fracção.

Tabela 18 - Consumos energéticos das fracções, previstos e reais.

	Descrição	Total DesignBuilder [kWh]	Total faturas [kWh]	Erro [%]
Piso 0	Acessos			
	Garagem			
	Loja A e Loja B	2929	2861	-2
Piso 1	1º A e 1º B	2634	2281	-13
	Acessos			
	1º C	581	311	-46
Piso 2	2º A + Garagem	3785	3889	3
	Acessos			
	2º B	1315	1209	-8
Piso 3	3º A	1735	1575	-9
	Total acessos	843	864	3
		13821	12990	6

A simulação dinâmica realizada pelo *EnergyPlus* utiliza um ficheiro climático ao qual está associado um ano meteorológico típico, que se baseia numa série de 30 anos, logo é expectável que os erros entre fracções sejam variáveis, até porque o período comparativo de faturas é de apenas 2 anos e com algumas considerações, já enunciadas.

Através da Tabela 18 verifica-se que a fracção que apresenta maior erro é o 1º C. Pela análise das faturas dos consumos de eletricidade verifica-se que esta fracção tem pouca utilização, existindo meses em que não se registaram consumos. Na simulação desta fracção apenas foi contabilizado o consumo do frigorífico na cozinha, pelo facto de ser um aparelho indispensável, o que atenua o erro, que seria maior se fossem contabilizados mais aparelhos. A pouca utilização desta fracção explica o erro existente, pela simulação, que utiliza os padrões normais de utilização.

Seguidamente o maior erro foi de 13%, nas fracções 1º A e 1º B. Este erro contempla duas fracções distintas, ou seja, é um erro cumulativo, o que explica o seu valor.

No caso da Loja A e B apenas houve um erro de 2%. Este erro apesar de ser cumulativo é justificado pelo facto de na verdade ser apenas um erro duplicado da Loja A, porque pela inexistência de dados dos consumos energéticos nas faturas da Loja B foi considerado que a Loja B teria os mesmos consumos que a Loja A.

Tabela 19 - Consumos parciais simulados.

DesignBuilder							
	Descrição	Equipamentos		Cozinha		Iluminação	
		[kWh]	[%]	[kWh]	[%]	[kWh]	[%]
Piso 0	Acessos						
	Garagem						
	Loja A e Loja B	2024	69			905	31
Piso 1	1º A e 1º B	378	14	1588	60	668	26
	Acessos						
	1º C	83	14	313	54	184	32
Piso 2	2º A + Garagem	350	9	836	22	2599	69
	Acessos						
	2º B	178	14	800	60	337	26
Piso 3	3º A	167	10	833	48	736	42
	Total acessos	631	75			211	25
TOTAL			27%		32%		41%

Na Tabela 19 pode-se verificar a percentagem dos consumos associados aos vários dispositivos que consomem energia no edifício. A nível global, a iluminação é a que representa o maior consumo de eletricidade, seguindo-se os dispositivos de cozinha e os outros equipamentos em conjunto com os computadores.

Nos espaços comerciais a iluminação representou apenas 31% do consumo total, isto deve-se a estes espaços apresentarem uma fachada totalmente envidraçada, o que permite a entrada de iluminação natural, que em conjunto com os sensores de movimento com temporizador crepuscular incorporado instalados, permite que o sistema de iluminação seja ativado somente quando é necessário, permitindo assim uma grande poupança no consumo de energia na iluminação.

Nas frações residenciais, com exceção do 2º A, os equipamentos de cozinha foram os que consumiram mais energia, o que está de acordo com a figura 20 que foi apresentada no subcapítulo 3.2. De seguida foi a iluminação que obteve maior quota de consumo, e os equipamentos elétricos e eletrónicos. Os equipamentos apenas apresentaram uma quota de consumo na ordem dos 10% a 14%, o que se mostra ser um valor bastante abaixo do enunciado no Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico elaborado pelo INE em 2010. Nos equipamentos apenas foram contabilizados os computadores, as máquinas de lavar roupa e as TV's, por serem

os equipamentos indispensáveis no quotidiano dos utilizadores das frações, no entanto, sabe-se que num agregado familiar existem muitos outros equipamentos que consomem energia elétrica, como as boxes e routers da TV por cabo, sistemas de DVD, entre outros dispositivos, que por existir uma vasta lista de possibilidades não foram contabilizados neste estudo.

A fração 2º A é a que apresenta maior consumo de energia, e a maior percentagem refere-se à iluminação, cerca de 69%. Na tabela 12 exposta no subcapítulo 5.1.1 pode-se averiguar que nesta fração foi contabilizado a existência de vinte e duas lâmpadas, que em comparação com as outras frações apresenta um valor muito superior. Apesar desta fração ser a que tem mais área, o consumo de energia na cozinha foi contabilizado de igual forma comparativamente às outras frações, o que explica a elevada percentagem no consumo referente à iluminação

Neste caso de estudo não foram contabilizadas as parcelas de consumo referentes, ao aquecimento e arrefecimento do ambiente porque nenhuma fração possui um sistema AVAC, apesar disso, existe a possibilidade dos habitantes utilizarem pequenos dispositivos para aquecimento ou arrefecimento que não necessitem de instalação prévia (exemplos: ventoinhas, radiadores, ventiladores), que contribuem para o consumo energético da fração. A parcela de aquecimento de águas, também não foi contabilizada, porque todas as frações residenciais possuem coletores solares térmicos com sistemas de termossifão que garantem o aquecimento das águas sem dispêndio de energia.

Num edifício devem ser adotados materiais de construção e soluções construtivas que evitem as trocas térmicas pelos elementos da envolvente, o que além de aumentar o nível de conforto para os seus habitantes, possibilita poupança de energia na utilização de dispositivos para o aquecimento e arrefecimento do ambiente, assim quanto menos calor se perder pela envolvente do edifício, menor será a necessidade da utilização de dispositivos que consumam energia para manter uma temperatura interior de conforto.

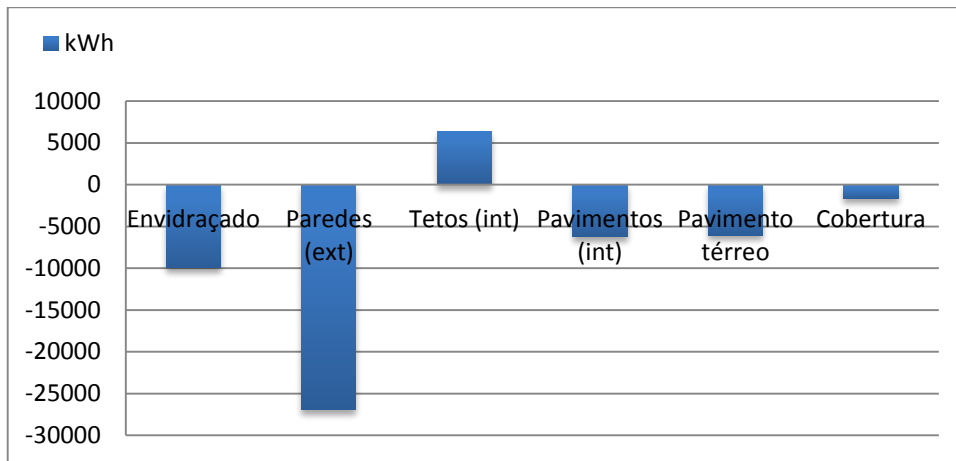


Figura 59 - Balanço de calor pelos elementos da envolvente do edifício

Através da figura 59 pode-se observar que é através das paredes exteriores que existem maiores trocas térmicas com o exterior. Para evitar estas trocas é necessário outra solução construtiva, ou outro isolante térmico que possua menor condutibilidade térmica para que se minimize as transferências de calor com o exterior.

Seguidamente é pelos envidraçados que existe maior transferência de calor. Dado que estes envidraçados já são duplos as soluções para minimizar as transferências de calor podem ser a inserção de gases de baixa condutividade entre as lâminas de vidro (árgon, krypton, hexafluoreto de enxofre ou dióxido de carbono) ou a aplicação de películas nos vidros.

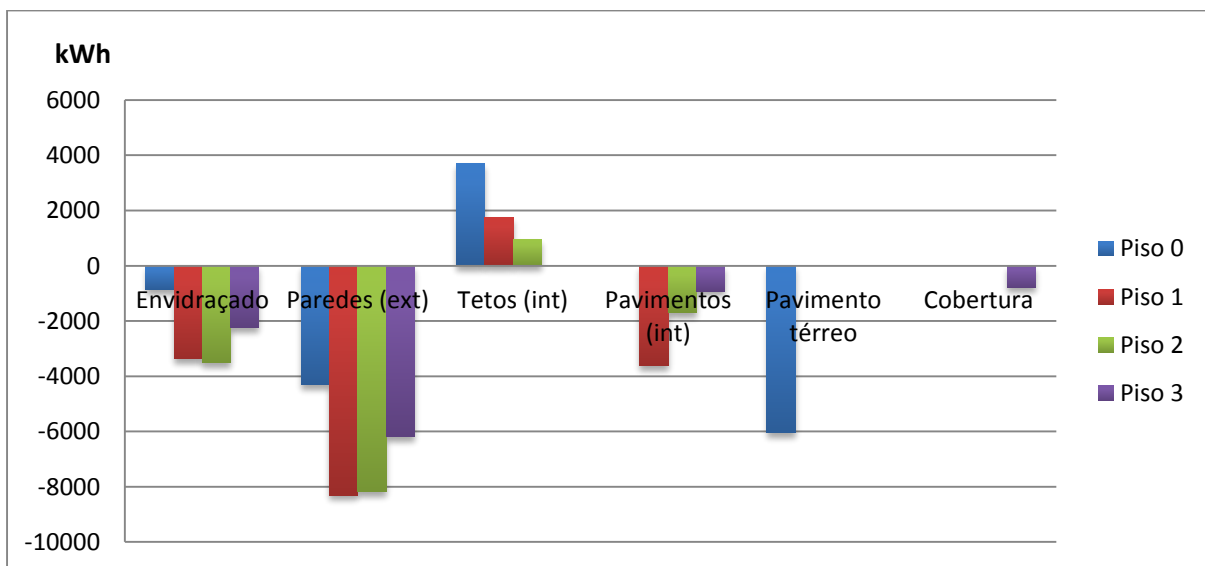


Figura 60 - Balanço de calor pelos elementos da envolvente, por piso.

Fazendo uma análise mais detalhada, percebe-se que é pelos pisos 0 e 1 que existem maiores transferências de calor para o exterior.

A grande perda de calor pelo pavimento térreo, dado que existe um grande diferencial de temperatura entre o terreno e o piso 0, vai provocar um fluxo de calor descendente. De notar que a solução construtiva para o teto do piso 0 apresenta menor condutibilidade térmica que a solução para os restantes pisos, o que ainda diminui os ganhos de calor pelo teto.

Nas paredes exteriores os grandes responsáveis pelas perdas de calor são os pisos 1 e 2. O piso 0 é o que apresenta naturalmente menor perda de calor, dado que é o piso que tem menor área de parede exterior.

É necessário contabilizar os ganhos de calor internos produzidos pela utilização dos vários dispositivos que emitem calor, o calor gerado pelas pessoas residentes e o calor gerado pelos ganhos solares através da radiação incidida sobre o edifício.

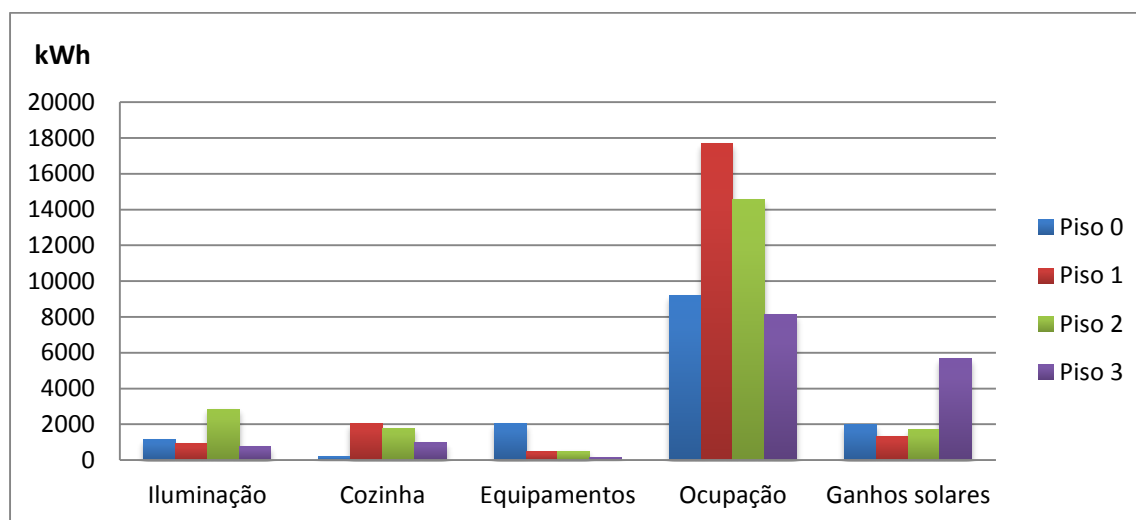


Figura 61 - Ganhos internos de calor, por piso.

A figura 61 permite constatar que os habitantes do edifício são a parcela que liberta mais calor para o seu interior.

O fator que mais contribui para o aquecimento interno do edifício são os ganhos solares, denotando-se que o piso 3 capta tanto calor como a totalidade dos pisos

restantes. Este fenómeno é explicado pela inexistência de um sistema de sombreamento neste piso, o qual é existente nos restantes pisos.



Figura 62 - Sombreamento sobre a envolvente do edifício. Solstício de verão (à esquerda) e solstício de inverno (à direita), ambos às 12 horas.

Através da figura 62 pode-se constatar que a maior fachada do piso 3, vai estar sempre exposta à radiação solar, donde advêm os ganhos solares. A solução para reduzir os ganhos solares neste piso seria muni-lo de um sistema de sombreamento exterior, bem dimensionado, por forma a cobrir a fachada nos meses de maior radiação solar.

Nos restantes pisos comprova-se que os sistemas de sombreamento adotados foram bem dimensionados, visto que, conseguem cobrir toda a fachada contra a radiação solar, quando esta atinge os maiores níveis de radiação (solstício de verão). No solstício de inverno existe alguma exposição à radiação solar, no entanto, os níveis de radiação são menores e estes contribuem para o aquecimento do interior das habitações, visto que é a estação de aquecimento.

De referir que a fachada mostrada na figura 62 é a que requer maior preocupação com a exposição solar, visto que está orientada a sul. A outra fachada do edifício, que está orientada a norte, não terá muitos ganhos solares devido às causas demonstradas no subcapítulo 4.1.1.

5.3 Propostas para melhoria da eficiência energética

Após a análise efetuada aos resultados da simulação térmica dinâmica pelo *DesignBuilder* e *EnergyPlus*, ao edifício de caso de estudo, iremos então propor um conjunto de soluções com o objetivo de reduzir o consumo de energia verificado.

Está exposto no RSECE, regulamento já revogado, no nº1 do artigo 32º, o critério de viabilidade económica nas medidas de eficiência energética em edifícios, em que o regulamento obriga a implementação de todas as medidas que tenham um período de retorno simples, de 8 anos ou menor, incluindo como custos elegíveis para o cálculo do período de retorno, os custos de um eventual financiamento bancário para a execução das medidas. O cálculo de retorno simples deverá ser calculado através da seguinte expressão [76]:

$$PRS = \frac{C_a}{P_1}$$

Em que:

PRS – Período de retorno simples;

C_a – Custo adicional do investimento calculado pela diferença entre o custo inicial da solução base e o custo da solução mais eficiente;

P_1 – Poupança anual resultante da aplicação da medida de eficiência energética.

Para o cálculo do período de retorno simples será realizado um estudo económico para todas as soluções que se propõe, com o objetivo de estimar o seu custo de investimento. O estudo económico contempla custos de mão-de-obra, materiais e equipamentos utilizados em cada solução. Para o cálculo do P_1 é considerado o custo de 0,12 €/kWh.

Assim propõem-se as seguintes soluções:

- Conforto térmico:
 - Aplicação de sistema de sombreamento no 3º piso;
 - Aplicação de envidraçados de baixa emissividade;
 - Aplicação de películas reflexivas nos envidraçados;
 - Isolamento térmico no pavimento térreo;

- Consumo energético:
 - Substituição das lâmpadas de halogéneo por *LED*;
 - Instalação do sistema fotovoltaico.

5.3.1 Medida 1 - Aplicação de sistema de sombreamento no 3º piso.

Na figura 61 constatou-se que é no piso 3 que existe maiores ganhos solares, dado a este piso carecer de uma pala protetora contra a exposição solar, o que permite maiores ganhos térmicos que consequentemente aumenta a temperatura interior do piso.

Uma medida fácil de implementar será a instalação de um sistema de sombreamento exterior fixo. Este sistema pode ser composto por painéis sandwich suportados por uma estrutura de barrotes de madeira.

A simulação térmica do edifício com a implementação desta medida permite observar uma diminuição importante dos ganhos solares no piso 3, como se pode constatar na figura 63.

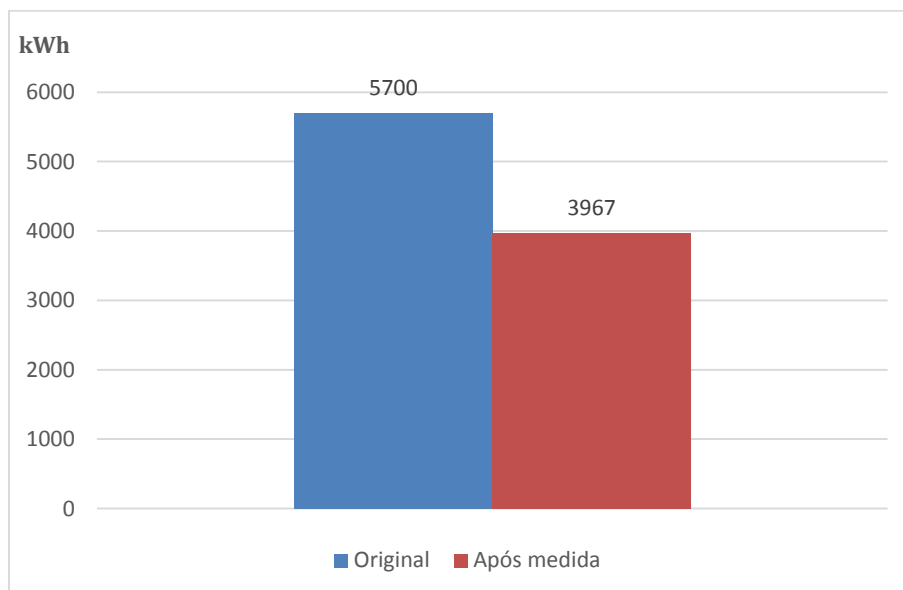


Figura 63 - Ganhos solares, no piso 3.

Esta medida também terá impacto no comportamento do edifício, numa análise global, assim será relevante observar onde se irá repercutir esta alteração.

Tabela 20 - Consumo de energia anual resultante da aplicação da medida 1.

	Consumo [kWh]		Variação	
	Original	Após medida	[kWh]	[%]
Envidraçado	-9957,69	-9872,74	-84,95	0,85
Paredes (ext)	-26970,41	-26483,18	-487,23	1,81
Tetos (int)	6387,09	5434,32	952,77	14,92
Pavimentos (int)	-6236,16	-5282,74	-953,42	15,29
Pavimento térreo	-6037,59	-6027,81	-9,78	0,16
Cobertura	-1639,76	-1525,48	-114,28	6,97
TOTAL	-44454,52	-43757,64	-696,89	1,57

Através da tabela 20 observa-se que esta medida teve impacto, sobretudo nas trocas de calor nos tetos interiores e consequentemente nos pavimentos interiores. A poupança de energia nos tetos e nos pavimentos interiores foi na ordem de 15%, a nível global houve uma poupança de 1,57%.

Sabendo que esta medida foi efetuada no piso 3 e originou uma poupança de cerca de 15% no edifício, nas trocas térmicas dos tetos e pavimentos interiores, iremos analisar de que forma se propagou esta poupança de energia pelos pisos independentemente.

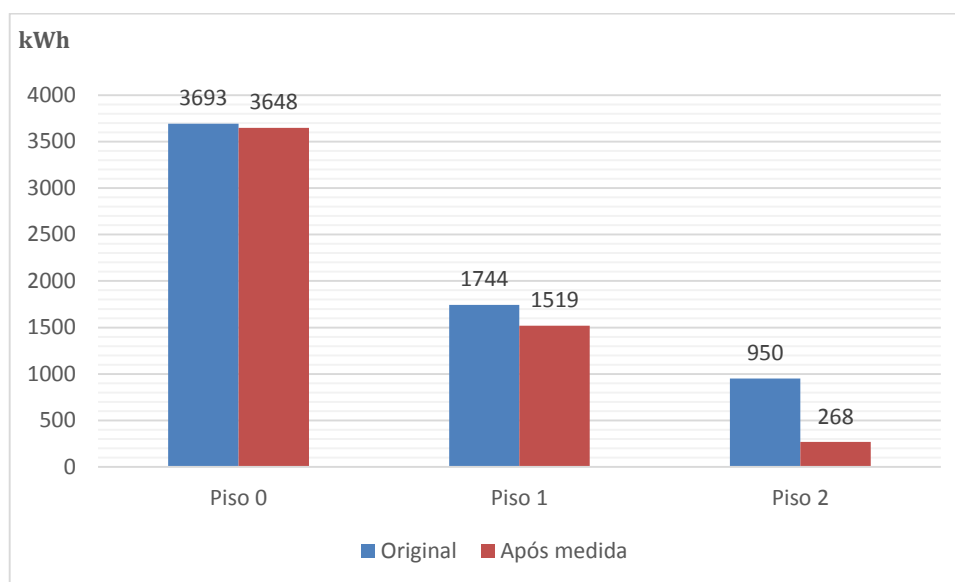


Figura 64 - Balanço de calor anual, nos tetos interiores.

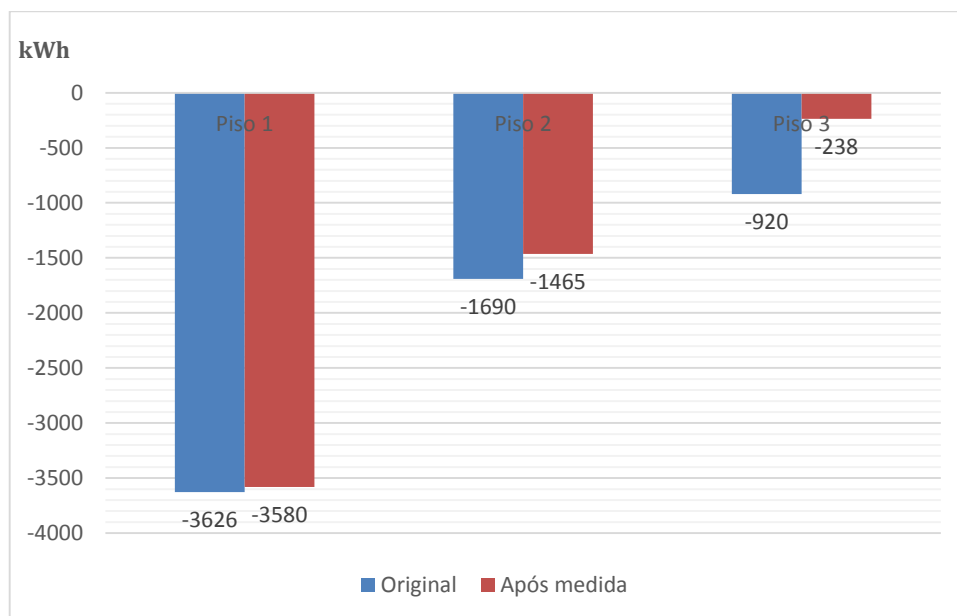


Figura 65 - Balanço de calor anual, nos pavimentos interiores.

Pela análise da figura 64 e 65 conclui-se que esta medida teve a sua maior influência no piso 3, onde foi materializada, repercutindo-se no piso 2 e 1 gradualmente, mas com pouca expressão. Assim reduzindo os ganhos solares no piso 3 pela fachada, obteve-se menores trocas de calor pelo pavimento do mesmo piso.

O custo para implementação desta medida, é composto por 20€/m² dos painéis sandwich, 7€/m² dos barotes de pinho mais ferragens, e 3€/m² de mão-de-obra. A pala a instalar tem as dimensões 1,20 metros de largura e 9,80 metros de comprimento, sendo de igual dimensão das palas dos pisos inferiores.

Fazendo o estudo económico, conclui-se que esta medida satisfaz o critério de viabilidade económica, o que o seu período de retorno do investimento é cerca de 4 anos e aproximadamente 3 meses.

Tabela 21 - Cálculo do período de retorno para a medida 1.

Medida	Custo unitário [€/m ²]	Quantidade [m ²]	Custo estimado [€]	Poupança [kWh]	PRS [anos]
1	30,00	11,76	352,80	696,89	4,22

5.3.2 Medida 2 – Aplicação de envidraçados de baixa emissividade.

Como podemos verificar na figura 59, o elemento construtivo por onde existe maior volume de trocas térmicas é pelos envidraçados. Os envidraçados instalados no edifício têm uma composição de 4 mm + lâmina de ar de 12 mm + vidro incolor de 4 mm o que garante uma condutibilidade térmica de 2,709 W/m².°K. Para reduzir o volume de trocas térmicas pelos envidraçados terá de se optar por uma composição de envidraçado que garanta uma condutibilidade térmica menor.

A solução que se propõe é a troca do envidraçado instalado por uma solução composta por um vidro exterior SGG Planilux 4mm + caixa-de-ar preenchida com 90% de argon + vidro interior SGG Planitherm Ultra N que contém uma condutibilidade térmica de 1,3 W/m².°K, como exposto no Anexo 3.

O edifício contém uma área de envidraçados de 66,22 m², logo instalando uma solução com menor condutibilidade térmica ir-se-á baixar os ganhos solares, como podemos verificar na figura 66.

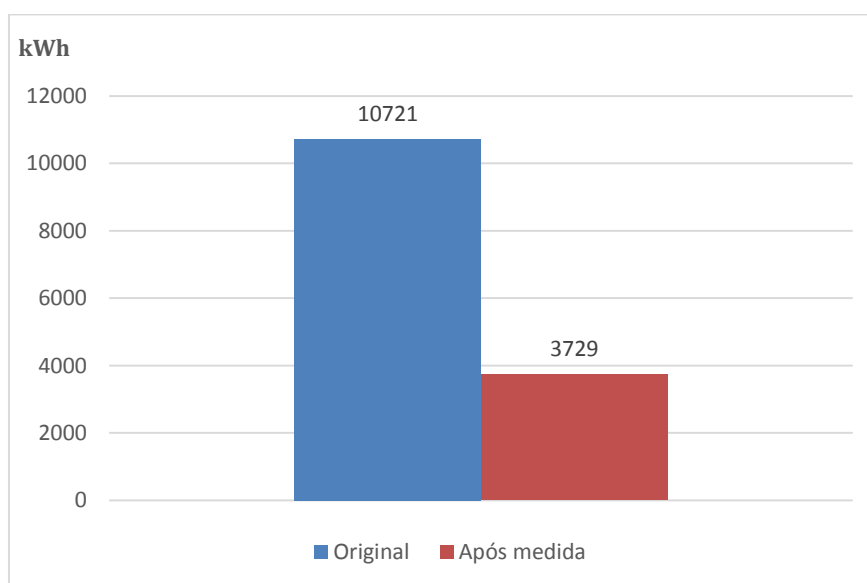


Figura 66 - Ganhos solares, no edifício.

Pela figura 66 verifica-se que é notória influência da substituição dos envidraçados, nos ganhos solares do edifício, que baixou 65%.

Tabela 22 - Consumo da energia anual resultante da medida 2.

	Consumo [kWh]		Variação	
	Original	Após medida	[kWh]	[%]
Envidraçado	-9957,69	-3439,15	-6518,55	65,46
Paredes (ext)	-26970,41	-26956,29	-14,12	0,05
Tetos (int)	6387,09	5719,10	668,00	10,46
Pavimentos (int)	-6236,16	-5577,86	-658,30	10,56
Pavimento térreo	-6037,59	-5982,15	-55,44	0,92
Cobertura	-1639,76	-1588,73	-51,04	3,11
TOTAL	-44454,52	-37825,08	-6629,45	14,91

Esta medida permitiu que houvesse uma redução de trocas térmicas na ordem dos 10% nos pavimentos e tetos interiores, que em conjunto com as restantes variantes possibilitou uma redução de 15% no balanço anual de energia do edifício.

A redução de 65% de trocas térmicas pela substituição dos envidraçados não está distribuída equitativamente por piso, pois os pisos não têm a mesma área de envidraçados, e esta variação é proporcional ao m² de envidraçado instalado em cada piso.

Na implementação desta medida, não foi contabilizado o preço de mão-de-obra na substituição dos envidraçados com o objetivo de se concluir se o investimento num envidraçado com melhores características, na fase de projeto, compensa o investimento.

Assim o estudo económico desta medida conclui que a sua implementação tem viabilidade económica, e tem um período de retorno de investimento de 2 anos e 6 meses, logo é vantajoso um investimento extra num envidraçado de baixa emissividade.

Tabela 23 - Cálculo do período de retorno para a medida 2.

Medida	Custo unitário [€/m ²]	Quantidade	Custo estimado	Poupança [kWh]	PRS [anos]
2	30,00	66,22	1986,60	6629,45	2,50

No Anexo 4 está exposto um orçamento com o custo deste vidro.

5.3.3 Medida 3 - Aplicação de películas reflexivas nos envidraçados.

Uma alternativa aos envidraçados de baixa emissividade será a aplicação de películas com proteção solar nos envidraçados existentes. Estas películas deverão ser aplicadas no pano exterior do envidraçado e as suas propriedades permitem bloquear até 99% dos raios ultra violeta a que os envidraçados estão expostos, reduzindo assim os ganhos de calor através da radiação solar [77].

Em contrapartida, a aplicação destas películas vão reduzir a entrada da luz natural, que em casos de encadeamento, podem resolver este problema.

Assim ir-se-á aplicar nos envidraçados existentes a película CHROME 285 de acordo com a ficha técnica que está no Anexo 5.

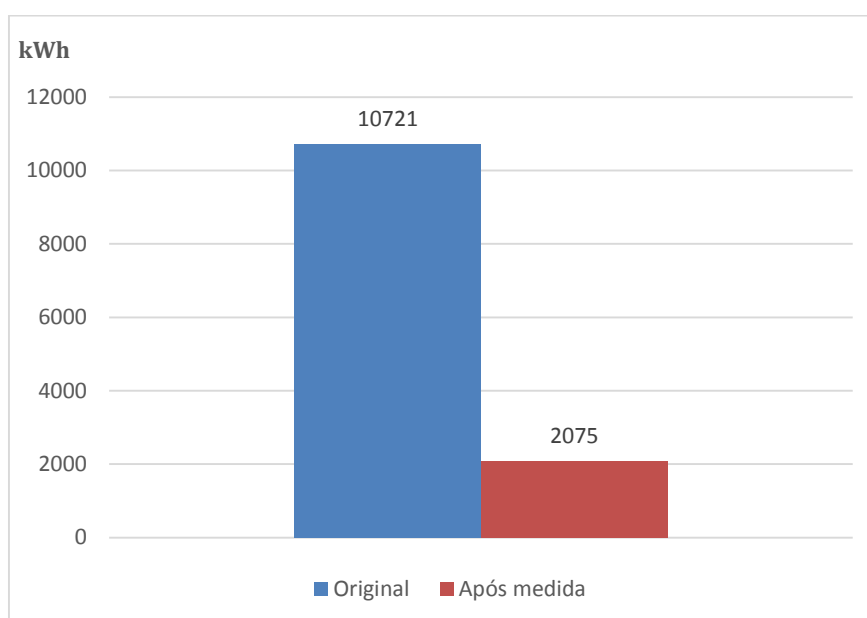


Figura 67 - Ganhos solares, no edifício.

Observando a figura 67 denota-se a grande influência que resultou da aplicação desta película nos envidraçados. Esta medida permitiu uma redução de 81% nos ganhos solares no edifício.

Tabela 24 - Consumo da energia anual resultante da medida 3.

	Consumo [kWh]		Variação	
	Original	Após medida	[kWh]	[%]
Envidraçado	-9957,69	-6254,31	-3703,38	37,19
Paredes (ext)	-26970,41	-25206,04	-1764,37	6,54
Tetos (int)	6387,09	4954,922	1432,17	22,42
Pavimentos (int)	-6236,16	-4792,341	-1443,82	23,15
Pavimento térreo	-6037,59	-5807,404	-230,18	3,81
Cobertura	-1639,76	-1325,245	-314,52	19,18
TOTAL	-44454,52	-38430,42	-6024,10	13,55

A aplicação desta medida teve impacto em todos os elementos construtivos analisados, destacando-se naturalmente a redução de 37% nas trocas térmicas dos envidraçados, seguindo-se a redução de 22% e 23% nos tetos e pavimentos interiores, respetivamente, e ainda destaca-se a redução de 19% na cobertura.

Este impacto geral deve-se sobretudo à grande capacidade das películas de bloquear a entrada da radiação solar para o interior do edifício, que faz baixar a temperatura interior do edifício que posteriormente origina menores trocas térmicas entre os elementos construtivos.

O preço para a instalação desta medida é composto pelo fornecimento e aplicação da mesma em todos os envidraçados, como enunciado no Anexo 6.

Através da tabela 25 averigua-se que esta medida tem viabilidade económica, e o seu período de retorno do investimento é aproximadamente de 4 anos e 7 meses.

Tabela 25 - Cálculo do período de retorno para a medida 3.

Medida	Custo unitário [€/m ²]	Quantidade [m ²]	Custo estimado [€]	Poupança [kWh]	PRS [anos]
3	50,00	66,22	3311,00	6024,10	4,58

5.3.4 Medida 4 - Isolamento térmico no pavimento térreo.

O solo por não estar exposto à radiação solar está a uma temperatura inferior à da superfície, a qual está exposta à radiação. Este facto permite que exista uma diferença de temperaturas entre o pavimento térreo e o solo, que origina trocas térmicas entre ambos.

O isolamento térmico que está instalado no pavimento térreo do edifício, é a espuma de polietileno extrudido com 3 cm de espessura, que garante uma condutividade térmica de 0,05 w/m.K. Para reduzirmos as trocas térmicas entre o solo e o pavimento térreo é necessário instalar um isolamento térmico com menor condutividade térmica. Assim iremos aplicar o EPS com 30 cm de espessura, que tem uma condutividade térmica de 0,037 w/m.K.

Tabela 26 - Consumo de energia anual resultante da medida 4.

	Consumo [kWh]		Variação	
	Original	Após medida	[kWh]	[%]
Envidraçado	-9957,69	-10015,49	57,80	-0,58
Paredes (ext)	-26970,41	-27152,2	181,79	-0,67
Tetos (int)	6387,09	6245,058	142,03	2,22
Pavimentos (int)	-6236,16	-6094,828	-141,33	2,27
Pavimento térreo	-6037,59	-5510,309	-527,28	8,73
Cobertura	-1639,76	-1650,045	10,28	-0,63
TOTAL	-44454,52	-44177,81	-276,71	0,62

Através da tabela 26 constata-se que a aplicação desta medida resultou na redução de 9% das trocas térmicas no pavimento térreo. No entanto, nos envidraçados, nas paredes exteriores e na cobertura houve um aumento de trocas térmicas. No global, a redução de trocas térmicas foi inferior a 1%.

Para a instalação do EPS no pavimento térreo são necessários vários trabalhos, assim o preço que compõe esta alteração é 30€/m² para demolição do pavimento existente, 4€/m² para custo do EPS e mão-de-obra, 11€/m² para betonilha e mão-de-obra, 18€/m² para pavimento cerâmico e mão-de-obra e 230€ para transporte do entulho proveniente da demolição.

O custo para a aplicação desta medida é elevado, comparativamente ao volume de trocas térmicas que dá origem. Assim através da análise da tabela 27 conclui-se que a aplicação desta medida não é economicamente viável, porque o período de retorno do investimento é superior a 8 anos.

Tabela 27 - Cálculo do período de retorno para a medida 4.

Medida	Custo unitário [€/m ²]	Quantidade [m ²]	Custo estimado [€]	Poupança [kWh]	PRS [anos]
4	64,14	209,00	13635,26	276,71	> 8

5.3.5 Medida 5 - Substituição das lâmpadas de halogéneo por LED.

De acordo com a tabela 7 exposta no subcapítulo 4.2.1 constatou-se que a tecnologia *LED* consome menos energia para produzir a mesma quantidade de luz que as lâmpadas de halogéneo e fluorescentes, ou seja, para a mesma potência os *LEDs* produzem mais 15% e 9% lúmen, respetivamente, do que as outras lâmpadas.

No edifício estão instaladas 36 lâmpadas de halogéneo que corresponde a uma potência instalada de 1315 watts, e 48 lâmpadas fluorescentes com uma potência instalada de 842 watts. Em valores médios, cada lâmpada de halogéneo instalada consome 37 watts, e cada lâmpada fluorescente consome 18 watts. Conclui-se então que as lâmpadas de halogéneo consomem aproximadamente o dobro da potência das lâmpadas fluorescentes.

Outro facto importante de referir, é que na generalidade, as lâmpadas de halogéneo estão instaladas em zonas de acessos, que em comparação com as divisões com atividades necessitam de menos luminosidade. Assim iremos manter as lâmpadas fluorescentes e substituir apenas as lâmpadas de halogéneo por lâmpadas *LED* de 3 watts que produzem 170 lúmen.

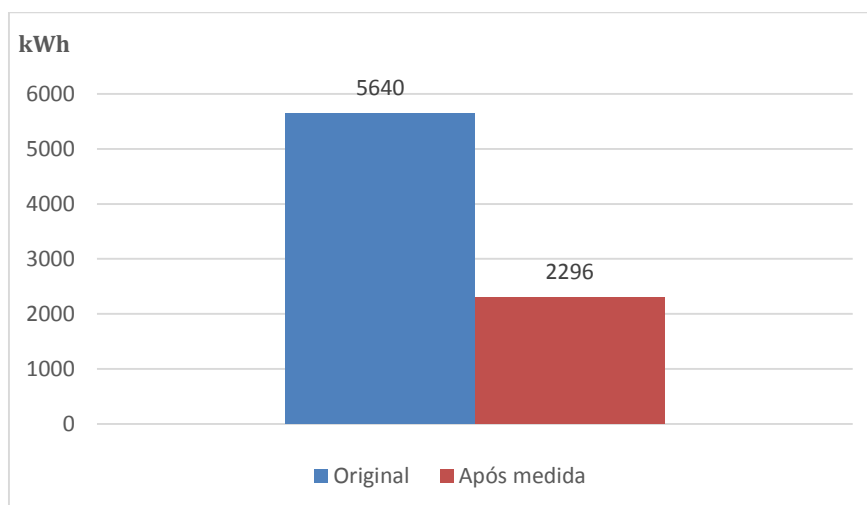


Figura 68 - Consumo da iluminação, no edifício.

Pela figura 68 observa-se que a aplicação desta medida resultou na poupança de 59% no consumo de eletricidade, associado à iluminação.

A iluminação é uma fonte de calor interna do edifício, ao reduzir a potência instalada na iluminação, conseqüentemente reduz-se esta fonte de calor.

Tabela 28 - Consumo da energia anual resultante da medida 5

	Consumo [kWh]		Variação	
	Original	Após medida	[kWh]	[%]
Envidraçado	-9957,69	-9557,755	-399,94	4,02
Paredes (ext)	-26970,41	-26039,5	-930,91	3,45
Tetos (int)	6387,09	6227,777	159,31	2,49
Pavimentos (int)	-6236,16	-6070,356	-165,81	2,66
Pavimento térreo	-6037,59	-5915,695	-121,89	2,02
Cobertura	-1639,76	-1534,201	-105,56	6,44
TOTAL	-44454,52	-42889,73	-1564,79	3,52

Analisando a tabela 28 verifica-se que esta medida teve impacto em todos os elementos construtivos de forma homogénea, resultando numa poupança total de 3,5% no consumo de energia anual. A redução da produção de calor interno permitiu que houvesse menores trocas térmicas entre os elementos construtivos.

Como exposto na tabela 19, no subcapítulo 5.2.2, a iluminação representava 41% da energia total consumida no edifício, com esta alteração a iluminação deixou de ser o elemento que mais energia consome e passou a ser o que menos consome, com uma cotação de 22%.

A implementação desta medida tem viabilidade económica e obtém-se períodos de retorno muito curtos, dado o seu baixo custo de investimento para uma grande poupança de energia. O período de retorno desta medida é cerca de 2 meses.

Tabela 29 - Cálculo de período de retorno para a medida 5.

Medida	Custo unitário [€/m ²]	Quantidade [un]	Custo estimado [€]	Poupança [kWh]	PRS [anos]
5	4,00	36,00	144,00	4908,85	0,24

O preço da lâmpada *LED* foi consultado na loja Maxmat, sendo a lâmpada desta marca.

5.3.6 Medida 6 - Instalação do sistema fotovoltaico.

Até agora, todas as medidas abordadas foram para reduzir o consumo de energia do edifício, no entanto, para haver um balanço anual de energia próximo de zero é necessário que o edifício produza energia para compensar os seus gastos energéticos de utilização.

Uma forma de produzir energia é instalar um sistema fotovoltaico na cobertura plana do edifício, que tem uma área disponível de 90 m².

Dado que já estão instalados painéis solares térmicos nas frações, só será necessário realizar uma auditoria energética para que se possa aderir ao regime bonificado de microgeração. Como foi abordado no subcapítulo 4.2.4, existe um limite de produção em função das potências contratadas.

Tabela 30 - Potências contratadas e admissíveis de produção, no edifício.

Potências contratadas (kVA)		Potências admissíveis
Loja A	6,9	3,45
Loja B	6,9	3,45
Zonas comuns	13,8	11,04
1º A	3,45	1,73
1º B	3,45	1,73
1º C	3,45	1,73
2º A	3,45	1,73
2º B	3,45	1,73
3º A	3,45	1,73

Dado que existe um limite de 90 m² para a instalação dos painéis fotovoltaicos, será necessário averiguar qual a máxima potência que se pode instalar.

Após uma pesquisa de mercado, optou-se por painéis de 250 Wp para um maior aproveitamento do espaço, dado que são os painéis mais potentes, para este tipo de instalação, disponíveis no mercado. O painel escolhido foi um Luxor de acordo com o anexo 7, que tem uma área de 1,63 m². Embora o painel seja instalado com inclinação, o que no plano representa menos área, iremos considerar a sua área, visto que a estrutura em que ele se apoia também exige mais área circundante.

Assim em 90 m² é possível instalar no máximo 55 painéis, o que corresponde a uma potência de instalação de 13,75 kW.

Visto que não se pode utilizar a totalidade do espaço da cobertura para a instalação dos painéis, porque é necessário espaço para a circulação de pessoas para posteriores manutenções, ir-se-á instalar apenas os 11,04 kW correspondente à potência admissível para os condomínios. Logo serão instalados 45 painéis que correspondem a uma potência de 11,50 kW e ocupam uma área de 74,25 m².

Para uma estimativa rápida da produção de energia através do sistema fotovoltaico recorre-se a esta expressão:

$$E_a = \eta_{inv} \times 8760 \times G_{med} \times \eta^r \times A \quad [78]$$

Em que:

E_a – Energia estimada;

η_{inv} – Eficiência do inversor;

G_{med} – Radiação incidente média anual, em kWh/m²;

η^r – Eficiência do painel fotovoltaico;

A – Área do painel em m².

O erro associado a esta expressão é de 17,8%, por excesso.

Através da consulta do projeto térmico (RCCTE) elaborado para os painéis solares térmicos, obteve-se a seguinte tabela de radiação.

Tabela 31 - Radiação solar no concelho de Portimão com as coordenadas nominais de 37,2°N e 8,6°W [79].

	Rad. horiz. [W/m ²]	Rad. inclin. [W/m ²]
Janeiro	65	107
Fevereiro	81	115
Março	116	137
Abril	163	170
Maio	203	186
Junho	215	185
Julho	224	198
Agosto	213	210
Setembro	152	174
Outubro	112	156
Novembro	76	121
Dezembro	65	111
Média	134	163
Média anual (Gmed)		148,5

Assim para o painel Luxor com uma eficiência de 15,37%, um inversor SMA, de acordo com o anexo 8, com 95% de eficiência, um Gmed de 148,50 W/m², uma área de painéis de 74,25 m² e considerando o erro da fórmula de 17,8%, temos:

$$E_a = (0,95 \times 8760 \times 148,5 \times 0,1537 \times 74,25) / 1000 * 0,822 = 11593,01 \text{ kW/ano}$$

Após consulta à empresa Ecopower para a instalação do sistema completo, que engloba os 45 painéis, inversor, estruturas de suporte para os painéis, cabos e fichas de instalação, deslocação, mão-de-obra e taxa de inscrição do registo no Sistema de Registo de Microprodução (SRM), o valor da instalação é de 21000€.

Visto que a tarifa do regime bonificado diminui anualmente, assume-se uma tarifa média anual de 0,23€/kW.

Tabela 32 - Cálculo do período de retorno para a medida 6.

Anos	Produção [€]		Retorno [€]
	Anual	Acumulado	Acumulado
0	-	-	-21000,00
1	2666,39	2666,39	-18333,61
2	2666,39	5332,79	-15667,21
3	2666,39	7999,18	-13000,82
4	2666,39	10665,57	-10334,43
5	2666,39	13331,96	-7668,04
6	2666,39	15998,36	-5001,64
7	2666,39	18664,75	-2335,25
8	2666,39	21331,14	331,14
9	2666,39	23997,54	2997,54
10	2666,39	26663,93	5663,93
11	2666,39	29330,32	8330,32
12	2666,39	31996,71	10996,71
13	2666,39	34663,11	13663,11
14	2666,39	37329,50	16329,50
15	2666,39	39995,89	18995,89

Através da tabela 32 verifica-se que no ano 8 o saldo já é positivo, pelo que o investimento pode ser recuperado.

Com uma produção anual de 11593,01 kW, ir-se-ia reduzir o balanço energético do edifício em 84%, o que tornaria o edifício quase auto-suficiente energeticamente.

5.3.7 Medida 7 – Combinação da medida 6 e 5

Através da aplicação da Medida 5 averiguou-se que com a iluminação foi possível uma poupança de 3344 kW/ano, e a aplicação da Medida 6 possibilita a produção de 11593 kW/ano. Assim visto que o consumo anual do edifício foi de 13821 kW/ano.

Com a aplicação destas duas medidas temos:

$$(3344 + 11593) - 13821 = 1116 \text{ kW/ano}$$

Chegamos então a um saldo positivo de energia, ou seja, com a aplicação destas duas medidas o edifício, além de colmatar a totalidade dos seus gastos energéticos, ainda consegue produzir mais 1116 kW/ano, tornando-se assim num NZEB.

5.3.8 Conclusão

A análise das medidas anteriormente mencionadas, permitiu-nos chegar a conclusão que para atingir o objetivo de tornar o edifício do caso de estudo num NZEB foi apenas necessário a aplicação da medida 7, que resulta num saldo positivo de energia num ciclo anual de consumo.

As medidas 1, 2, 3 mostraram ter viabilidade económica no conforto térmico do edifício, isto é, a aplicação destas medidas resultou na redução de ganhos térmicos pelos elementos construtivos do edifício.

A medida 4 não demonstrou ter viabilidade económica pelo seu elevado custo de aplicação.

Capítulo 6 - CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1 Conclusões

A presente dissertação permitiu tomar conhecimento da quantidade de técnicas e tecnologias que potenciam a eficiência energética de um edifício, com o objetivo de atingir um balanço energético anual quase nulo, e assim transformar um edifício num NZEB.

Foi essencial averiguar as leis, internacionais e nacionais, que vigoram no âmbito da eficiência energética dos edifícios para a perceção das imposições e incentivos na área da remodelação e construção de edifícios energeticamente eficientes, com o objetivo de perceber as limitações que cada projeto compreende.

Para um entendimento prático das tecnologias e técnicas passíveis de implementar nos edifícios foi elaborado um caso de estudo de um edifício existente. O edifício escolhido situa-se no centro de Portimão e comporta frações comerciais e residenciais. A escolha deste edifício deveu-se ao facto de haver fácil acesso a todo o projeto de construção, o que possibilita um estudo mais exaustivo de todas as suas componentes, e a corresponder a um edifício residencial típico na região. Este edifício foi concluído em 2011 e a sua construção já contempla algumas técnicas e tecnologias para o aumento de eficiência energética, tais como, os sensores de movimento para ativação do sistema de iluminação, e as palas de sombreamento nas fachadas do edifício e o sistema de aquecimento para as AQS.

Procedeu-se a um estudo exaustivo de caracterização do edifício, analisando a sua envolvente, a ocupação, os equipamentos utilizados, a iluminação, os horários de funcionamento e a faturação, com o objetivo de construir um modelo o mais aproximado possível do edifício real, para que fosse possível simular o seu desempenho energético com fiabilidade, e aferir qual o impacto das medidas de melhoria do desempenho energético do edifício.

A construção do modelo para a simulação energética foi realizada através do *software Design Builder e Energy Plus*. Esta simulação é feita para um ciclo anual de

desempenho energético do edifício. Através da simulação foi possível observar que o consumo de energia da iluminação constitui 41% do consumo total do edifício, sendo a parcela que mais energia consome. Também é possível analisar o balanço anual de transferências de calor dos elementos construtivos do edifício, onde se averiguou que é através das paredes exteriores e dos vãos envidraçados que existem maiores trocas de energia com o exterior, ou seja, é através das fachadas que o edifício perde mais energia em forma de calor, o que posteriormente aumenta a necessidade de aquecer os espaços interiores.

Pela análise dos resultados do consumo de energia do edifício e das transferências de calor pelos elementos construtivos, foi possível identificar as áreas onde se deveria atuar e aplicar medidas eficientes para que houvesse um resultado eficiente e económico sustentado. As medidas escolhidas para melhorar a eficiência energética do edifício foram: a materialização de um sistema de sombreamento exterior fixo no 3º piso, a substituição dos envidraçados existentes por envidraçados de baixa emissividade, a aplicação de películas reflexivas nos envidraçados, a substituição do isolamento térmico do pavimento térreo por um isolamento mais eficiente, a substituição das lâmpadas de halogéneo por *LED* e a instalação de um sistema fotovoltaico para produção de energia.

Foi elaborado um estudo económico para determinar o período de retorno do investimento de cada medida utilizada. Nas medidas aplicadas conclui-se que as alterações efetuadas na fachada do edifício, a instalação da pala de sombreamento, a substituição dos envidraçados e a aplicação das películas reflexivas, foram as que permitiram maiores reduções nas transferências de calor, aumentando o conforto térmico interior, evidenciando um investimento económico viável, com períodos de retorno do investimento entre os 2 e os 5 anos. A substituição do isolamento térmico no pavimento térreo necessita de um elevado investimento e possibilita apenas 1% na redução das trocas térmicas, pelo que não é viável economicamente. A substituição das lâmpadas de halogéneo por *LED* foi a medida com o período de retorno do investimento mais curto, apenas dois meses, que tem influência direta no consumo de energia elétrica do edifício, ainda promovendo uma redução de transferências de calor pelos elementos construtivos de 3,5%.

O sistema fotovoltaico é a única medida para a produção de energia, pelo que a sua instalação torna-se essencial para se atingir um balanço energético anual quase nulo. Verificou-se que a instalação do sistema fotovoltaico permite reduzir os consumos do edifício em 84% e que o seu período de retorno do investimento é de 8 anos.

Contudo, para o edifício atingir um balanço energético anual quase nulo e se tornar num NZEB, será necessário a substituição das lâmpadas de halogéneo por lâmpadas *LED* e a instalação do sistema fotovoltaico, que resulta num saldo positivo de energia de 1116 kW/ano.

6.2 Desenvolvimentos futuros

Para o desenvolvimento desta temática deverão ser efetuados estudos futuros que analisem mais soluções técnicas e tecnologias, que vão surgindo no mercado, com o objetivo de tornar os edifícios mais eficientes.

Para melhor compreensão do impacto das soluções técnicas e novas tecnologias sugiro que sejam analisados edifícios de diversos tipos, simulando-se através de programas informáticos adequados, o comportamento de cada um desses edifícios face à implementação de diversas medidas de eficiência energética.

Arquitetonicamente poderão ser analisados edifícios com diferentes formas, relações de envidraçados e envolventes opacas variadas, com as várias orientações solares possíveis.

É importante desenvolver mais estudos em torno das soluções passivas, em detrimento das soluções ativas, pois estas soluções mais económicas devem ser previstas em projeto e garantem bons resultados de eficiência energética, sendo a sua implementação na fase de exploração mais onerosa.

Para todos os estudos é essencial uma perspetiva económica, para que se possa prever a viabilidade do investimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] British Petroleum, “Statistical Review of World Energy”, consultado a 28 de Junho de 2012.
- [2] <http://www.apambiente.pt/>, consultado a 16 de Junho de 2013.
- [3] http://europa.eu/index_pt.htm, consultado a 16 de Junho de 2013.
- [4] <http://www.cumprirquioto.pt>, consultado a 14 de Agosto de 2013.
- [5] Decreto-Lei nº 78/2006.
- [6] Diretiva 2006/32/CE.
- [7] Diretiva 2010/31/CE.
- [8] Decreto-Lei n.º 118/2013.
- [9] <http://www.adene.pt/>, consultado a 15 de Setembro de 2013.
- [10] Resolução do Conselho de Ministros n.º 93/2010.
- [11] <http://www.apambiente.pt>, consultado a 28 de Outubro de 2013.
- [12] Resolução do Conselho de Ministros nº 20/2013.
- [13] <http://www.energiasrenovaveis.com>, consultado a 28 de Outubro de 2013.
- [14] <http://www.eea.europa.eu>, consultado a 19 de Setembro de 2013.
- [15] <http://www.dgeg.pt>, consultado a 19 de Setembro de 2013.
- [16] <http://ec.europa.eu/eurostat>, consultado a 19 de Setembro de 2013.

- [17] <http://www.ine.pt/>, consultado a 20 de Setembro de 2013.
- [18] Decreto-Lei n.º 363/2007.
- [19] P. Bertoldi e B. Atanasiu, Electricity Consumption and Efficiency Trends in European Union, JRC Scientific and Technical Reports, 2009.
- [20] R. Hiederer, EFSA Spatial Data Version 1.1 Data Properties and Processing, JRC technical reports, 2012.
- [21] Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010, INE/DGEG, 2011.
- [22] P. ISOLANI, Eficiência energética nos edifícios residenciais - Manual do consumidor, Lisboa, Maio 2008.
- [23] Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013.
- [24] Decreto-Lei n.º 80/2006.
- [25] H. Gonçalves e J. M. Graça, Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal, Lisboa, Novembro 2004.
- [26] M. Palhinha, "Sistemas de sombreamento em arquitectura: Proposta de um novo método de concepção e dimensionamento", Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2009.
- [27] <http://www.crup.pt/pt/crup/membros/iscte-instituto-universitario-de-lisboa>, consultado em 2 de Abril de 2014.
- [28] <http://www.extrusal.pt/index.php?id=61&pf=9>, consultado em 2 de Abril de 2014.
- [29] <http://www.finstral.com/web/pt/Protec%C3%A7%C3%A3o-visual-e-solar/Persianas/Portadas-exteriores-U1257492386615U.html>, consultado em 2 de Abril de 2014.

- [30] http://www.caixiave.pt/download/Catalogo_GUIA%20JANELAS%20EFICIENTES.pdf, consultado em 3 de Abril de 2014.
- [31] http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161_Apresentacao_janelas_0.pdf, consultado em 10 de Abril de 2014.
- [32] P. Bertoldi, B. Hirt e N. Labanca, Energy Efficiency Status Report 2012, JRC Scientific and Policy Reports, 2012.
- [33] S. D. P. Santos, Sistemas Avançados de Iluminação Natural: Estudo Comparativo de Vidros Prismáticos, Laser-Cut Panels e Channel Panels, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2009.
- [34] <http://lightlouver.com/lightlouver-description/>, consultado a 11 de Abril de 2014.
- [35] http://www.archiexpo.es/prod/parans/luminarias-cuadradas-fibra-optica-empotrables-techo-solares-56759-1261129.html#product-item_795084, consultado a 16 de Abril de 2014.
- [36] A. Mestre, Estratégias de projecto bioclimático em centros comerciais, 2012.
- [37] “ecocasa,” [Online]. Available: http://ecocasa.pt/construcao_content.php?id=24. [Acedido em Abril 2014].
- [38] <http://www.metlica.com.br/ecotelhado>, consultado a 16 de Abril de 2014.
- [39] L. Tirone, Coberturas eficientes - Guia para a reabilitação energético-ambiental do edificado, Adene, 2011.
- [40] C. Santos e L. Matias, Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios - ITE 50, Lisboa: LNEC, 2006.
- [41] <http://pominvest.blogspot.pt/2012/11/coberturas-ajardinadas-proporcionam.html#.U1Kzq1VdWrx>, consultado a 20 de Abril de 2014.

- [42] http://obviousmag.org/archives/2009/06/telhados_verdes.html, consultado a 22 de Abril de 2014.
- [43] J. Prates, Desempenho de coberturas verdes em zonas urbanas, Universidade de Aveiro, 2012.
- [44] D. Dias, Radiation Control Coatings, Tese de Mestrado, FEUP, 2008.
- [45] Núcleo de Revestimentos e Isolamentos, Regras para a concessão de uma aprovação técnica europeia (ETA) ou de um documento de homologação (DH) a sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS), Lisboa: LNEC, 2010.
- [46] Cappotto, Soluções de isolamento térmico pelo exterior, Viero.
- [47] <http://www.engenhariaeconstrucao.com/2011/07/vantagens-e-desvantagens-do-sistema.html>, consultado em 23 de Abril de 2014.
- [48] <http://www.sotecnisol.pt/revestimentos/fachadas-ventiladas/sistemas-de-fachadas-ventiladas/>, consultado em 23 de Abril de 2014.
- [49] <http://www.revigres.pt/>, consultado em 24 de Abril de 2014.
- [50] Dossier Técnico-Económico, Fachadas Ventiladas, Construlink.com, 2006.
- [51] <http://www.granitech.com/pareti-ventilate.php>, consultado em 24 de Abril de 2014.
- [52] D. Tilley, J. Price, S. Matt e B. Marrow, Vegetated Walss: Thermal and Growth Properties of Structured Green Facades, University of Maryland, College Park, 2012.
- [53] Considerations For Advanced Green Facade Design, greenscreen, 2012.
- [54] J. Ricardo, Coberturas e Fachadas Verdes, Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico, 2012.

- [55] <http://ecotelhado.blog.br/index.php/tag/parede-vegetal/>, consultado em 26 de Abril de 2014.
- [56] <http://agricultoresdesofa.blogspot.pt/2011/07/horta-engarrafada.html>, consultado em 26 de Abril de 2014.
- [57] <http://clarquiteturas.wordpress.com/jardim-vertical/>, consultado em 27 de Abril de 2014.
- [58] <http://building.dow.com/europe/pt/insulate/thermal/floors/iso.htm>, consultado em 27 de Abril de 2014.
- [59] <http://www.wbdg.org/resources/naturalventilation.php>, consultado em 28 de Abril de 2014.
- [60] <http://www.construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-||-Construcao-Sustentavel/Eficiencia-Energetica/Ventilacao-Natural>, consultado em 28 de Abril de 2014.
- [61] <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2012/11/chamine-que-refresca/?searchterm=Chamin%C3%A9%20que%20refresca>, consultado em 15 de Abril de 2014.
- [62] <http://www.monodraught.com/>, consultado em 29 de Abril de 2014.
- [63] http://discovery.ucl.ac.uk/1316634/1/1316634_Benjamin%20%20Jones%20-%20Kyoto%202008.pdf, consultado em 29 de Abril de 2014.
- [64] <http://zypho.eu/pt-pt/>, consultado em 29 de Abril de 2014.
- [65] <http://www.tecnitrace.pt/iblog/?p=626>, consultado em 23 de Novembro de 2013.
- [66] Regulamento (CE) N° 244/2009.
- [67] http://www.topten.pt/index.php?page=recomendacoes_-_lampadas, consultado em 24 de Novembro de 2013.

- [68] http://www.steinell.net/Lighting_Controls, consultado a 18 de Dezembro de 2013.
- [69] http://energiasrenovaveis.com/Area.asp?ID_area=8, consultado em 29 de Abril de 2014.
- [70] Utilização de Colectores Solares para a Produção de Calor de Processo Industrial, Lisboa: DGGE/IP - AQSpP, 2004.
- [71] www.bosch.com, consultado em 30 de Abril de 2014.
- [72] <http://energias-renovaveis.info/energia-solar/os-sistemas-solares-termicos/>, consultado em 30 de Abril de 2014.
- [73] R. M. Castro, Introdução à energia fotovoltaica, Instituto Superior Técnico, 2008.
- [74] www.frimague.pt, consultado em 30 de Abril de 2014.
- [75] www.ecopower.pt, consultado em 30 de Abril de 2014.
- [76] Decreto-Lei n.º 79/2006.
- [77] <http://w3.llumar.com/pt/ResidentialSolarControl.aspx>, consultado em 12 de Setembro de 2014.
- [78] R. M. G. Castro, “Energias Renováveis e Produção Descentralizada,” Instituto Superior Técnico, 2008.
- [79] INETI – versão 2004, SOLTERM.
- [80] <http://www.engenhariacivil.com/inercia-termica-edificios>, consultado em 25 de Abril de 2014.

ANEXO 1 – Tabela de isolantes térmicos

Isolantes Térmicos		
Material	Massa volúmica aparente seca, ρ [kg/m ³]	Condutibilidade térmica, valor de cálculo, λ [W/(m.°C)]
Lã mineral (MW)		
Lã de rocha (MW)	20 - 35	0,045
	35 - 100	0,040
	100 - 180	0,042
Lã de vidro (MW)	8 - 15	0,045
	15 - 100	0,040
Aglomerado de cortiça expandida (ICB)	90 - 140	0,045
Aglomerado de cortiça natural com ligantes betuminosos ou sintéticos	100 - 150	0,050
	150 - 250	0,055
Poliestireno expandido moldado (EPS)	< 11	0,055
	11 - 13	0,045
	13 - 15	0,042
	15 - 20	0,040
	> 20	0,037
Poliestireno expandido extrudido (XPS)	25 - 40	0,037
Espuma rígida de poliuretano (PUR) ou de poli-isocianurato (PIR)		
em placas	20 - 50	0,040
projetado ou injetado <i>in situ</i>	20 - 50	0,042
entre paramentos metálicos (painéis sanduiche)	35 - 50	0,037
Espuma de polietileno expandido extrudido (PEF)	20 - 50	0,050
Grânulos leves ou fibras soltas (sem ligante)		
Grânulos de argila, de vermiculite ou de perlite expandidas	< 400	0,160
outros tipos de grânulos ou de fibras soltas	20 - 100	0,060
Espuma elastomérica flexível (FEF)	60 - 80	0,050

Fonte: ITE 50

ANEXO 2 – Consumos energéticos do edifício do caso de estudo em 2012 e 2013

ANEXO 3 – Ficha Técnica Envidraçado SGG Planitherm

ANEXO 4 – Orçamento do Envidraçado Planitherm Ultra

ANEXO 5 – Ficha técnica Película Refletores CHROME 285

ANEXO 6 – Orçamento Película Refletora CHROME 285

ANEXO 7 – Ficha Técnica painel fotovoltaico Luxor

ANEXO 8 – Ficha Técnica inversor SMA
