



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil

Convergência para NZEB de um edifício classificado

André Fernando Medeiros Jorge
Licenciado

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de
Edificações

Orientadores:

Doutor, Pedro Miguel Matos Soares
Licenciado, João António Antunes Hormigo

Júri:

Presidente: Doutor, João Alfredo Ferreira Santos

Vogais:

Doutora, Maria Dulce e Silva Franco Henriques
Doutor, Pedro Miguel Matos Soares
Licenciado, João António Antunes Hormigo

Dezembro de 2013

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus pais e a toda a minha família, por todo o apoio incondicional que me deram ao longo da vida, sem o qual nunca teria sido possível frequentar e concluir um curso superior.

Agradeço ao Prof. João António Antunes Hormigo e ao Prof. Pedro Matos Soares, pela transmissão de conhecimentos, pelas sugestões prestadas ao longo da elaboração da dissertação e pela revisão da mesma.

Gostaria também de agradecer ao Doutor Giovanni Borsoi e à Engenheira Sofia Malanho por toda a disponibilidade oferecida durante a pesquisa de informação para o trabalho, aos Engenheiros Ricardo Rato, Nuno Mateus e António Matos Soares, e ao Arquitecto Gonçalo Machado pela disponibilidade no esclarecimento de dúvidas sobre o *software* de modelação e simulação energética.

Não poderia deixar de agradecer também a todos os meus amigos com quem convivi durante todos estes anos em Lisboa. Sem o seu apoio e amizade o meu percurso durante estes anos de estudo superior teria sido certamente mais difícil.

RESUMO

Os edifícios e a melhoria da eficiência energética são uma componente chave no caminho da União Europeia (UE) para um novo paradigma energético visto representarem cerca de 40% do consumo de energia final da UE, resultando assim em elevados custos e emissões de dióxido carbono (CO₂) para a atmosfera, e consequentemente contribuindo para os problemas dos efeitos de estufa e das mudanças climáticas.

Com vista à redução do consumo de energia no parque edificado europeu, a UE publicou a 19 de Maio de 2010 a directiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios e que reformula a directiva 2002/91/CE. A nova directiva de 2010 exige que a partir de 31 de Dezembro de 2020 todos os novos edifícios da UE sejam edifícios NZEB (*Nearly Zero Energy Building*) ou seja, com balanço energético anual nulo.

Os NZEB são portanto edifícios com elevado nível de eficiência energética, não só devido ao reduzido consumo de energia em relação a edifícios convencionais, mas também devido à existência de sistemas de produção de energia local que compensam as necessidades energéticas, possibilitando assim um balanço de consumo de energia anual quase zero, no edifício.

Deste modo pretende-se com a presente dissertação caracterizar as técnicas e tecnologias existentes que permitem a poupança e a produção de energia, de modo a que os edifícios novos correspondam a NZEB, ou edifícios antigos possam convergir para NZEB, constituindo assim um contributo para o conhecimento destas tecnologias e encorajando a sua aplicação.

Na presente dissertação abordou-se também um caso de estudo de modo a verificar o impacto de algumas das estratégias para redução do consumo de energia, num edifício histórico, concluindo-se que é possível reduzir as necessidades energéticas de um edifício histórico até cerca de 50%, através da implementação de medidas de eficiência energética. Este estudo foi efectuado através de simulação do desempenho energético de um ciclo anual do referido edifício recorrendo aos *softwares* de modelação e simulação energética (*Design Builder* e *Energy Plus*).

Palavras-chave: NZEB, Directiva 2010/31/EU, Eficiência Energética, *Design Builder*.

ABSTRACT

Buildings and building efficiency are a key component in the path of the European Union (EU) towards the new energy efficiency paradigm because they represent about 40 % of the final energy consumption in the EU, thus resulting in high costs and emissions of carbon dioxide (CO₂) into the atmosphere and therefore contributing to the greenhouse gases problems and climate changes.

In order to reduce energy consumption in the European building stock, the EU published in May 19, 2010 the Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings, thus recasting Directive 2002/91/CE. The new Directive requires that after December 31, 2020, all new EU buildings will be zero energy balance buildings (NZEB).

The NZEB are high energy efficiency buildings, not only due to the reduced power consumption compared to conventional buildings, but also because of the existence of local energy production systems, thus achieving to reach the almost zero annual energy balance.

Therefore the main goal of this thesis is to characterize the existing techniques and technologies that allow energy saving and energy production in buildings so that new buildings meet the NZEB condition, or old buildings converge to NZEB.

The case study focused allowed to verify the impact of some of the described strategies for reducing energy consumption in an historical building, and to understand the feasibility of the implementation of these technologies in the referred building, providing an opportunity for learning the modeling and energy simulation software (Design Builder and Energy Plus) which was used to simulate an annual energy cycle.

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

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AVAC – Aquecimento, ventilação e ar condicionado

CA – Corrente alterna

CC – Corrente contínua

CO₂ – Dióxido de Carbono

COP – Coeficiente de desempenho

DALI – Digital Addressable Lighting Interface

EAHE – Earth to air heat exchanger

EER – Índice de eficiência de energética

EIA – U.S. Energy Information Administration

ELENA – Assistência Europeia à Energia Local

EPS – Poliestireno expandido moldado

ERSE – Entidade Reguladora do Sector Energético

ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems

FEDER – Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

GEE – Gases com efeito de estufa

ICB – Aglomerado de cortiça expandida

IEE – Programa Energia Inteligente Europa

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Changing

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

LED – Díodo emissor de luz

MIT - Massachusetts Institute of Technology

MW – Lã mineral

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

PCM – Materiais mudança de fase

PME – Pequenas e médias empresas

PVC – Policloreto de vinilo

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RIMA – Associação de Fabricantes de Isolamento Reflector

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

UE – União Europeia

UV – Ultra violetas

XPS – Poliestireno expandido extrudido

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Motivação e objectivos	1
1.2 Estrutura da dissertação.....	1
2. NZEB'S E O CLIMA MEDITERRÂNICO.....	3
2.1 Enquadramento legal	3
2.1.1 Legislação Europeia.....	3
2.1.2 Legislação nacional.....	12
2.2 Instrumentos financeiros.....	14
2.3 Enquadramento ambiental e energético	15
2.4 Caracterização do clima mediterrânico.....	21
2.4.1 Caracterização do clima em Évora.....	23
3. CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA DAS ESTRATÉGIAS e TECNOLOGIAS PARA MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO.....	27
3.1 Forma e orientação do edifício	27
3.2 Envolvente do edifício	28
3.2.1 Isolamento e inércia térmica.....	28
3.2.2 Paredes exteriores	30
3.2.3 Coberturas	34
3.2.4 Pavimentos	38
3.2.5 Vãos Envidraçados.....	38
3.2.6 Sombreamento.....	40
3.3 Paredes interiores	42
3.3.1 Materiais mudança de fase.....	42
3.4 Iluminação natural	43
3.5 Iluminação artificial	45
3.6 Sistema de iluminação DALI (Digital Addressable Lighting Interface).....	46
3.7 Sistemas passivos de aquecimento.....	47
3.7.1 Ganho directo.....	47
3.7.2 Ganho indirecto. Parede de Trombe.....	48
3.7.3 Ganho isolado	51
3.8 Sistemas passivos de arrefecimento	52
3.8.1 Ventilação natural.....	52
3.8.2 Arrefecimento pelo solo.....	56

3.8.3	Arrefecimento evaporativo.....	57
3.8.4	Arrefecimento radiativo.....	58
4.	CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA DAS TECNOLOGIAS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA	59
4.1	Energia solar	59
4.1.1	Painel Fotovoltaico	59
4.1.2	Colector solar Térmico	61
4.2	Energia eólica.....	63
5.	CASO DE ESTUDO.....	65
5.1	Caracterização do edifício	66
5.1.1	Construção do modelo	67
5.1.2	Aberturas verticais.....	68
5.1.3	Ocupação.....	68
5.1.4	Iluminação.....	69
5.1.5	Sistemas de climatização (AVAC)	70
5.1.6	Outros equipamentos	71
5.1.7	Dados sobre o consumo energético	72
5.2	Simulação térmica dinâmica - Design Builder e Energy Plus.....	72
5.2.1	Calibração do modelo.....	72
5.2.2	Resultados e análises	73
5.3	Propostas de melhoria do desempenho energético	77
5.3.1	Medida 1 - Isolamento térmico no pavimento.	78
5.3.2	Medida 2 - Isolamento térmico na cobertura.....	80
5.3.3	Medida 3 - Isolamento térmico reflector na cobertura.	82
5.3.4	Medida 4 – Pintura com tintas reflectoras no telhado.	84
5.3.5	Medida 5 – Vidros duplos	85
5.3.6	Medida 6 – Isolamento térmico de paredes exteriores pelo interior	87
5.3.7	Medida 7 – Isolamento térmico no pavimento e paredes exteriores (pelo interior), envidraçado duplo, e isolamento térmico reflector na cobertura	88
5.3.8	Medida 8 – Ventilação natural	89
5.3.9	Medida 9 – Substituição dos computadores fixos por portáteis.	93
5.3.10	Iluminação por sensores de presença.	94
5.3.11	Medida 11 – Sistema fotovoltaico	95
5.3.12	Medida 12	97
6.	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	101
6.1	Conclusões.....	101
6.2	Desenvolvimentos futuros	103
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
	ANEXO I – Sumário das medidas de melhoria propostas.....	115
	ANEXO II – Facturas de Electricidade	117
	ANEXO III – Planta Piso 0.....	119

ANEXO IV – Planta Piso 1.....	121
ANEXO V – Planta Piso 2.....	123
ANEXO VI – Certificado Energético.....	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolução do preço do petróleo (1970-2011)	16
Figura 2: Dependência energética da União Europeia (1990-2011).....	16
Figura 3: Dependência energética dos Estados Membros (2011).....	17
Figura 4: Consumo bruto interno de energia, face à produção de energia em 2011	17
Figura 5: Evolução da produção de energia primária na UE (2000-2011).....	18
Figura 6: Metas a atingir pelos Estados Membros para 2020.....	18
Figura 7: Consumo final de energia por sectores na UE	19
Figura 8: Evolução das emissões de GEE globais.....	20
Figura 9: Crescimento anual das emissões de CO ₂ relacionadas com energia.....	20
Figura 10: Emissão total de gases com efeito estufa em relação a 1990 na UE	21
Figura 11: Emissão de GEE na UE em 2008	21
Figura 12: Médias anuais da temperatura e precipitação para várias cidades de clima Mediterrânico	22
Figura 13 - Normais climatológicas da temperatura do ar	23
Figura 14: Precipitação média	24
Figura 15: Humidade relativa às 9h. Média das médias (1958-1988).....	24
Figura 16: Insolação	25
Figura 17: Radiação solar diária no Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita).....	27
Figura 18 - Constituição de um sistema ETICS.....	31
Figura 19 - Constituição de uma fachada ventilada	32
Figura 20 - Prevenção da fachada ventilada às condensações e sobreaquecimento	33
Figura 21- Fachadas verdes: Sistema de trepadeira e sistema modular	34
Figura 22 - Representação das trocas de calor num telhado e num forro	34
Figura 23 - Isolamento reflectivo sobre vigas.....	36
Figura 24 - Isolamento reflectivo sob vigas	36
Figura 25 - Constituição geral de uma cobertura verde.....	37
Figura 26 - Constituição de pavimento térreo e pavimento de divisão com exterior ou espaços não aquecidos	38
Figura 27 - Radiação solar sobre a fachada	40
Figura 28 - Sombreamento fixo horizontal, lateral e frontal	41
Figura 29 - Curvas de temperatura nos ensaios de argamassa de cal com PCM	43
Figura 30 - Sistemas guia de luz.....	44
Figura 31 - Sistema de transporte de luz	45
Figura 32 - Sistema de ganho directo	48
Figura 33 - Parede de Trombe com ventilação e sem ventilação no Inverno	49

Figura 34- Parede de Trombe durante o dia e durante a noite no Verão.....	50
Figura 35 - Estufa	51
Figura 36 - Funcionamento de colectores de ar para Inverno e Verão	52
Figura 37 - Representação de uma chaminé solar.....	54
Figura 38 - Windcatchers circular e quadrado.....	54
Figura 39 - Sistema windcatcher com ventoínha alimentada por painel fotovoltaico	55
Figura 40 - Sistema simultâneo de ventilação e iluminação natural	55
Figura 41 - Representação esquemática de um sistema integrado de arrefecimento pelo solo (EAHE) e chaminé solar	56
Figura 42 - Arrefecimento evaporativo	57
Figura 43 - Arrefecimento evaporativo por “roof-spraying” e por torre de arrefecimento ..	58
Figura 44 - Constituição de um sistema solar fotovoltaico	60
Figura 45 - Constituição dos sistemas solar térmicos Plano e CPC	62
Figura 46 - Sistema termosifão, sistema circulação forçada.....	62
Figura 47 - Energia eólica: Sistemas de eixo horizontal e vertical.....	64
Figura 48 - Zonas térmicas do Piso 0	66
Figura 49 - Zonas térmicas do Piso 1	66
Figura 50 - Zonas térmicas Piso 2	67
Figura 51 - Densidade de ocupação real vs ocupação nominal, de acordo com o RSECE	69
Figura 52 - Carga de ocupação diária.....	69
Figura 53 - Carga horária da iluminação.....	70
Figura 54 - Carga horária dos equipamentos	71
Figura 55 - Ciclo anual de consumo previsto mensal vs consumo facturado mensal	74
Figura 56 - Balanço de calor pelas paredes exteriores	75
Figura 57 - Balanço de calor dos elementos construtivos da envolvente	75
Figura 58 - Balanço de calor dos elementos construtivos por piso.....	76
Figura 59 - Ganhos internos por piso.....	76
Figura 60 - Sombreamento da envolvente sobre o edifício. 1 de Agosto e 1 de Fevereiro às 10h:00.....	77
Figura 61 - Influência da Medida 1 no balanço de calor anua no piso 0. Após medida (verde), antes da medida (azul)	79
Figura 62 - Influência da Medida 1 no balanço de calor anual no piso 1. Após medida (verde), antes da medida (azul)	80
Figura 63 - Influência da Medida 2 no balanço de calor anual no sótão. Após medida (verde), antes da medida (azul)	81

Figura 64 - Influência da Medida 2 no balanço de calor anual no piso 2. Após medida (verde), antes da medida (azul)	81
Figura 65 - Influência da Medida 3 no balanço de calor anual no sótão. Após medida (verde), antes da medida (azul)	83
Figura 66 - Influência da Medida 3 no balanço de calor anual no piso 2. Após medida (verde), antes da melhoria (azul)	83
Figura 67 - Influência da Medida 4 no balanço de calor anual no sótão. Após medida (verde), antes da medida (azul)	85
Figura 68 - Influência da Medida 4 no balanço de calor anual no piso 2. Após melhoria (verde), antes da melhoria (azul)	85
Figura 69 - Influência da Medida 5 no balanço de calor anual pelos envidraçados. Após medida (verde), antes da medida (azul)	86
Figura 71 - Influência da Medida 6 no balanço de calor anual do piso 0 e 1. Após medida (verde), antes da medida (azul). 1- Envidraçado; 2- Parede exterior; 3- Tectos interiores; 4- Pavimentos interiores; 5- Pavimento térreo; 6- Cobertura	88
Figura 72 - Influência da Medida 6 no balanço de calor anual do piso 2 e sótão. Após medida (verde), antes da medida (azul). 1- Envidraçado; 2- Parede exterior; 3- Tectos interiores; 4- Pavimentos interiores; 5- Pavimento térreo; 6- Cobertura.....	88
Figura 75 - Obtenção da classe de exposição do edifício ao vento.....	90
Figura 76 - Determinação da permeabilidade do edifício ao ar	91
Figura 77 - Influência da ventilação natural na temperatura interior	92
Figura 78 - Influência da ventilação natural no consumo de energia para aquecimento...	93
Figura 79 - Planta de localização dos painéis fotovoltaicos	96

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Uso final de energia num edifício de escritórios	19
Tabela 2: Isolantes térmicos sintéticos	29
Tabela 3: Isolantes térmicos vegetais	29
Tabela 4: Isolantes térmicos minerais.....	29
Tabela 5: Isolantes térmicos não tradicionais	30
Tabela 6: Zonamento climático	67
Tabela 7: Elementos construtivos da envolvente interior e exterior.....	68
Tabela 8: Densidades de iluminação	70
Tabela 9: Inventário de equipamentos de escritório.....	71
Tabela 10: Consumo de energia previsto no edifício.....	74
Tabela 11: Consumo de energia anual resultante da Medida 1	79
Tabela 12: Cálculo do período de retorno da Medida 1.....	80
Tabela 13: Consumo de energia anual resultante da Medida 2	81
Tabela 14: Cálculo do período de retorno da Medida 2.....	82
Tabela 15: Consumo de energia anual resultante da Medida 3	82
Tabela 16: Cálculo do período de retorno da Medida 3.....	83
Tabela 17: Consumo de energia anual resultante da Medida 4	84
Tabela 18: Consumo de energia anual resultante da Medida 5	86
Tabela 19: Cálculo do período de retorno para a Medida 5.....	86
Tabela 20: Consumo de energia anual resultante da Medida 6	87
Tabela 21: Cálculo do período de retorno para a Medida 6.....	88
Tabela 22: Consumo de energia anual resultante da Medida 7	89
Tabela 23: Cálculo do período de retorno para a Medida 7.....	89
Tabela 24: Cálculo do período de retorno para Medida 7 (sem melhoria no envidraçado)	89
Tabela 25: Cálculo do Rph mínimo para o edifício.....	90
Tabela 26: Consumo de energia anual resultante da Medida 8	91
Tabela 27: Cálculo do período de retorno para a Medida 8.....	93
Tabela 28: Consumo de energia anual resultante da Medida 9	94
Tabela 29: Cálculo do período de retorno da Medida 9.....	94
Tabela 30: Consumo de energia anual resultante da Medida 10	95
Tabela 31: Cálculo do período de retorno para a Medida 10.....	95
Tabela 32: Produção anual da unidade de microprodução	96
Tabela 33: Período de retorno do sistema fotovoltaico	97
Tabela 34: Consumo de energia anual resultante da Medida 12	97

Tabela 35: Cálculo da redução da dependência energética da Medida 12	98
Tabela 36: Cálculo do período de retorno da Medida 12.....	98
Tabela 37: Cálculo da redução da dependência energética da Medida 12 (sem envidraçados duplos, isolamento térmico no pavimento nem ventilação natural).....	99
Tabela 38: Cálculo do período de retorno da Medida 12 (sem envidraçados duplos, isolamento térmico no pavimento nem ventilação natural).....	99

1. INTRODUÇÃO

1.1 Motivação e objectivos

A dependência energética na União Europeia (UE) tem vindo a aumentar ao longo dos últimos anos, não só fruto do seu elevado nível de vida mas também da escassez em petróleo sendo este o combustível mais utilizado no conjunto dos países da União Europeia. Por outro lado, também são conhecidos os problemas ambientais causados pelo aumento da emissão de gases com efeito estufa resultantes do aumento do consumo de energia proveniente dos combustíveis fósseis.

O parque edificado da UE foi identificado como sendo responsável por cerca de 40% do consumo de energia total, pelo que a UE tem vindo a elaborar directivas com o objectivo de aumentar a eficiência energética dos edifícios, através da redução do consumo de energia e da promoção da utilização de energias renováveis, por forma a fazer convergir o edificado para NZEBs (Nearly Zero Energy Buildings), tanto quanto possível. Deste modo poder-se-á diminuir a dependência energética da UE (sem que isso implique uma diminuição do nível de vida), e baixar as emissões de gases com efeito de estufa.

Assim sendo, a presente dissertação, desenvolvida no âmbito do Mestrado em Engenharia Civil, tem como objectivo caracterizar as técnicas e tecnologias existentes que permitem a poupança e a produção de energia nos edifícios, de modo a que os edifícios novos correspondam a NZEB, ou edifícios antigos possam convergir para NZEB, constituindo assim um contributo para o conhecimento destas tecnologias e encorajando a sua aplicação.

1.2 Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos da seguinte forma:

- No capítulo 2 é realizado um enquadramento legal e ambiental em relação à eficiência energética dos edifícios na UE. É também feita uma caracterização geral do clima Mediterrânico e da cidade de Évora.
- No capítulo 3 sintetiza-se a revisão bibliográfica efectuada, abordando os aspectos técnicos gerais das diversas técnicas e tecnologias para redução do consumo de energia nos edifícios;
- No capítulo 4 sintetiza-se a revisão bibliográfica efectuada, abordando os aspectos técnicos gerais das tecnologias para produção de energia nos edifícios;

- No capítulo 5 é realizado um case study, onde se pretende avaliar o potencial de algumas das medidas de eficiência energética, em termos técnicos e económicos, num edifício existente;
- No capítulo 6 resumem-se as principais conclusões obtidas, confrontando-se os resultados alcançados.

2. NZEB'S E O CLIMA MEDITERRÂNICO

2.1 Enquadramento legal

2.1.1 Legislação Europeia

O tema da sustentabilidade e eficiência energética tem ganho nos últimos anos uma proeminência crescente na Europa e em outros continentes, embora com menor expressão, impulsionando o desenvolvimento de sectores de mercado em distintos ramos da engenharia, incluindo o da engenharia civil. Esse desenvolvimento deve-se a um conjunto de factores cumulativos de extrema importância, entre os quais dever-se-á destacar a crise actual, a necessidade de redução de custos de energia, e uma preocupação crescente com as alterações climáticas.

Ao longo das últimas décadas a União Europeia (UE), tem apostado em políticas que visam impulsionar o aumento da eficiência energética no seu parque edificado, com o objectivo de reduzir a dependência energética da UE e de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa.

A 13 de Setembro de 1993 foi lançada a Directiva 93/76/CEE (SAVE) relativa à limitação das emissões de dióxido carbono (CO₂). Segundo esta directiva os Estados-Membros deveriam limitar as emissões de CO₂ através do aumento da eficiência energética, nomeadamente com base nos seguintes programas [1]:

- Certificação energética de edifícios;
- Facturação das despesas de aquecimento, ar condicionado e água quente sanitária com base no consumo real;
- Financiamento por terceiros dos investimentos em eficiência energética no sector público;
- Isolamento térmico dos edifícios novos;
- Inspeção periódica das caldeiras;
- Auditorias energéticas nas empresas com elevado consumo de energia.

A 26 de Abril de 2000 foi criado um plano de acção para melhorar a eficiência energética na Comunidade Europeia que surge com a necessidade de renovar o empenhamento a nível da Comunidade Europeia e Estados Membros na promoção mais activa da eficiência energética. Na comunicação deste plano pode ler-se que existia um potencial económico de melhoria da eficiência energética de mais de 18% do consumo no ano

2000, sendo este potencial resultante dos entraves comerciais que impediam uma divulgação satisfatória de tecnologias mais eficientes em termos energéticos e uma utilização eficiente de energia [2]. Os entraves identificados no plano são os preços da energia, a falta de informação ou a sua insuficiência, os entraves institucionais e legais, os entraves financeiros e técnicos tais como a falta de componentes harmonizados e normalizados, e a falta de infra-estruturas de transmissão adequadas [2].

O plano de acção de 2000 para melhorar a eficiência energética, teve como objectivo aumentar a eficiência energética na Comunidade Europeia através da implementação de políticas e de medidas para eliminação dos entraves identificados e a realização dos ganhos potenciais. No que concerne aos edifícios, as medidas incluem propostas de alterações da Directiva 93/76/CEE, com o objectivo de melhorar os programas criados neste âmbito. Com estas alterações pretendeu-se que a directiva passasse a abranger domínios como o isolamento térmico em edifícios existentes, os equipamentos instalados, a certificação alargada e a concessão de licenças, a utilização em pequena escala de energias renováveis em edifícios, a cogeração, as auditorias energéticas, a gestão energética e os mecanismos de garantia de resultados [2].

A 16 de Dezembro de 2002 surge a Directiva 2002/91/CE que tem como objectivo a melhoria do desempenho energético na Comunidade Europeia, tendo em conta as condições climáticas externas bem como as condições locais, as exigências para o conforto interior e a rentabilidade económica [3]. Pode-se ler nesta directiva que existiam à data alguns benefícios importantes no desempenho energético, resultantes da criação e implementação de programas por parte dos Estados Membros através da Directiva 93/76/CEE, mas que seria necessário um instrumento jurídico complementar para instituir acções mais concretas, com vista a materializar o grande potencial não consumado de economia de energia e reduzir as grandes diferenças entre os Estado-Membros [3]. A directiva estabelece requisitos mínimos para a metodologia de cálculo do desempenho energético de edifícios novos e de edifícios existentes sujeitos a grandes renovações, a certificação energética, e a inspecção e avaliação de caldeiras e instalações de ar condicionado. Os requisitos devem ser adaptados às condições climáticas locais, revistos e se necessário actualizados regularmente com intervalos não superiores a 5 anos. Estes requisitos deverão ser diferenciados para edifícios novos e edifícios existentes [3]. A metodologia de cálculo poderá ser diferenciada a nível regional ou nacional e deverá integrar pelo menos os seguintes aspectos [3]

- Características térmicas do edifício que poderão incluir também a estanquidade do ar;

- Instalação de aquecimento e fornecimento de água quente, incluindo as respectivas características de isolamento térmico;
- Instalação de ar condicionado;
- Ventilação;
- Instalação fixa de iluminação (em especial do sector não residencial);
- Posição e orientação dos edifícios, incluindo condições climáticas exteriores;
- Sistemas solares passivos e protecção solar;
- Ventilação natural;
- Condições climáticas interiores, incluindo as de projecto.

A influência positiva da aplicação de fontes de energia renováveis, sistemas de cogeração, sistemas urbanos ou colectivos de aquecimento e arrefecimento e ainda a iluminação natural deverão ser tidos em conta na metodologia de cálculo [3]. Nesta directiva é também focada a preocupação com o grande aumento de aparelhos de ar condicionado nos países do sul da Europa, e o conseqüente aumento de consumo de electricidade nas horas de ponta, com impacto directo no aumento do preço da energia eléctrica, e a deterioração do equilíbrio energético. Para resolver este problema, a directiva estabelece como prioritárias as estratégias de desempenho energético para a estação de Verão, nomeadamente um maior desenvolvimento nas técnicas de arrefecimento passivo que contribuem para melhorar a qualidade do ar no interior do edifício e também o microclima em torno dos edifícios [3].

Na reunião do Conselho Europeu em Março de 2007 foi estabelecido o objectivo de reduzir em 20% o consumo de energia até 2020, através do aumento da eficiência energética com a aplicação do “Plano de Acção para a Eficiência Energética: Concretizar o Potencial” [4]. Este novo plano de acção criado em 2006 identifica um potencial de redução do consumo de energia em mais de 20% até 2020 [5], e delinea políticas e medidas para concretização desse potencial. Destas políticas e medidas constam 10 acções prioritárias que passam por [5]:

- Estabelecer requisitos dinâmicos de desempenho energético para produtos, serviços e edifícios;
- Melhorar a eficiência do sector transformador da energia e dos transportes,
- Aperfeiçoar os instrumentos de financiamento e incentivos económicos, e promover e aumentar a sensibilização para a eficiência energética.

Entre outras medidas, o plano promove ainda a aplicação e alteração da Directiva 2002/91/CE para o desempenho energético dos edifícios, propondo [5]:

- Uma maior intervenção do sector público na demonstração de novos métodos e tecnologias (2009);
- Abaixamento significativo do limiar dos requisitos mínimos de desempenho em grandes obras de renovação (2009);
- Requisitos mínimos de desempenho (kWh/m²) em edifícios novos e restaurados e em alguns componentes, tendo como meta aproximar o nível dos novos edifícios do dos edifícios com climatização passiva (não mecânica) a partir de 2015 (2009);
- Requisitos vinculativos para a instalação de tecnologias de aquecimento e refrigeração, passivos (até ao final de 2008);
- Medidas para o financiamento, por parte dos Estados-Membros, de investimentos de alta rentabilidade económica.

Na Resolução do Parlamento Europeu, de 31 de Janeiro de 2008, o “Plano de Acção para a Eficiência Energética”, de 2006 foi acolhido favoravelmente, tendo sido considerado que o objectivo de melhorar a eficiência energética até 2020 é inteiramente realizável do ponto de vista técnico e económico, sendo no entanto sublinhada alguma preocupação com o atraso na aplicação da legislação sobre eficiência energética por parte dos Estados-Membros [6].

Na Resolução do Parlamento Europeu, de 3 de Fevereiro de 2009, sobre a Segunda Análise Estratégica da Política Energética, são confirmados os objectivos de reduzir em 20% as emissões de gases com efeito de estufa, reduzir em pelo menos 20% o consumo de energia e aumentar em 20% a produção de energia com origem em fontes renováveis, até 2020. Para além destes objectivos propõem-se ainda alguns objectivos para 2050, nomeadamente: redução de 80% das emissões de gases com efeito de estufa, aumento de 35% da eficiência energética e uma quota-parte de 60% de energias renováveis [7].

A 23 de Abril de 2009, na Decisão N°406/2009/CE, foram fixados objectivos vinculativos de redução das emissões de CO₂, para os quais a eficiência energética no sector dos edifícios é essencial. Estes objectivos estão estabelecidos no Anexo II da Decisão N°406/2009/CE [4].

No mesmo dia foi lançada a Directiva 2009/28/CE relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que fixa objectivos nacionais obrigatórios para a quota global de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia para 2020 [8]. Estes objectivos estão estabelecidos na parte A do Anexo I da Directiva 2009/28/CE. Segundo o artigo 3º desta directiva, cabe aos Estados-Membros

introduzir medidas que assegurem o cumprimento destes objectivos. Para tal, poderão aplicar as seguintes medidas [8]:

- Regimes de apoio;
- Medidas de cooperação entre vários Estados-Membros e com países terceiros para alcançarem os seus objectivos nacionais globais.

A 19 de Maio de 2010 foi publicada a Directiva 2010/31/UE, sendo esta a directiva em vigor actualmente para o desempenho energético dos edifícios. Nesta, o âmbito dos requisitos mínimos de desempenho energético é alargado para fracções autónomas, elementos construtivos e sistemas técnicos de edifícios. Também são estabelecidos requisitos mínimos, nos planos nacionais, de forma a aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia, a incrementar a certificação energética de edifícios e fracções autónomas, a promover e a aumentar a inspecção regular das instalações de aquecimento e ar condicionado, a promover a instalação de sistemas de controlo, independentes dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspecção [4]. Os Estados-Membros devem garantir que os requisitos mínimos de desempenho energético são estabelecidos, para que se atinja o nível óptimo de rentabilidade [4], sendo este o desempenho energético que leva ao custo mais baixo durante o ciclo de vida económico [4].

Para cálculo dos requisitos mínimos, foi publicado a 16 de Janeiro de 2012 um regulamento complementar à Directiva 2010/31/UE (Regulamento Delegado (UE) Nº244/2012 da Comissão). Este regulamento estabelece o quadro metodológico comparativo a utilizar pelos Estados-Membros para o cálculo dos níveis óptimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios novos e existentes, bem como dos componentes de edifícios, de acordo com o artigo 5º, o anexo I e o anexo III da Directiva 2010/31/UE [9]. Este quadro de metodologia especifica as regras para a comparação de medidas de eficiência energética, de medidas que recorrem a fontes de energia renováveis e de conjuntos e variantes dessas medidas, com base no desempenho energético primário e no custo atribuído à sua implementação. Estabelece também a forma de aplicação dessas regras aos edifícios de referência seleccionados, com o objectivo de definir níveis óptimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético [9]. De acordo com o artigo 2º do regulamento complementar, no quadro metodológico pode-se optar por uma perspectiva macroeconómica e financeira cabendo aos Estados-Membros determinar qual destas serve como referência nacional [9]. Para a realização do cálculo, os Estados Membros devem [9]:

- Tomar como ano de início do cálculo o ano em que este é efetuado;
- Utilizar o período de cálculo, que de acordo com o anexo I é de 30 anos para edifícios residenciais e públicos, e 20 anos para edifícios comerciais e não comerciais;
- Utilizar as categorias de custos previstas no Anexo I que poderão ser, custos iniciais de investimento, custos de utilização, custos de energia, custos de eliminação e para o cálculo a nível macroeconómico deve-se incluir também os das emissões de gases com efeito de estufa;
- Utilizar como valores mínimos vinculativos para a determinação dos custos do carbono os preços previstos do carbono no RCLE que constam do anexo II.

De acordo com o regulamento, os Estados Membros devem ainda complementar o quadro metodológico comparativo através do estabelecimento dos seguintes parâmetros, para efeitos de cálculo [9]:

- Ciclo de vida económico estimado de um edifício e/ou componente de edifício;
- Taxa de desconto;
- Custos relativos aos vetores de energia, aos produtos, aos sistemas, à manutenção, aos custos de exploração e aos custos de mão-de-obra;
- Factores de energia primária;
- Evolução do preço prevista para todos os vetores de energia, tendo em conta as informações do anexo II.

Em relação à metodologia de cálculo do desempenho energético na Directiva 2010/31/UE, esta é semelhante à da directiva anterior. No entanto, com esta nova directiva são integrados aspectos adicionais que não constam da metodologia de cálculo da Directiva 2002/91/CE, nomeadamente: capacidade térmica, pontes térmicas, aquecimento e arrefecimento passivo, ventilação mecânica e cargas internas. Também passa a ser tida em conta a influência positiva das condições locais de exposição solar, para além das outras já especificadas na directiva 2002/91/CE [4].

A Directiva 2010/31/EU incentiva os Estados-Membros a elaborar uma lista de medidas, instrumentos e programas nacionais ou regionais de apoio financeiro, que promovam os objectivos relativos ao desempenho energético dos edifícios [4].

No Conselho Europeu de 4 de Fevereiro de 2011 chegou-se à conclusão que a UE não está em vias de concretizar os objectivos até 2020, e que será necessário implementar

medidas que sirvam para o aumento da renovação do parque imobiliário da União, visto ser este o sector com maior potencial de economia de energia [10]. Surge então um novo plano de acção denominado Plano de Eficiência Energética de 2011, a 8 de Março, com vista a concretizar todo o potencial de economia de energia no sector dos edifícios, transportes, produtos e processos [11]. Crê-se que a aplicação do novo plano de acção tem potencial para gerar poupanças na ordem dos mil euros (1000 €) anuais por família, criar até 2 milhões de postos de trabalho e reduzir as emissões anuais de gases com efeito de estufa em cerca de 740 milhões de toneladas [11]. Em relação aos edifícios, com este Plano pretende-se um aumento da renovação dos edifícios públicos e privados, e uma melhoria do desempenho energético dos seus componentes e equipamentos utilizados [11]. No documento de avaliação de impactos do Plano de Eficiência Energética de 2011 são analisadas seis políticas alternativas para a eficiência energética nos diversos sectores de intervenção, sendo que, na presente dissertação, será apenas tratado o sector dos edifícios.

A primeira política alternativa resulta da aplicação dos instrumentos já existentes que são as Directivas 2002/91/CE e 2010/31/UE para o desempenho energético dos edifícios, as Directivas 2005/35/CE e 2009/125/CE relativas à criação de um quadro para definir os requisitos de concepção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia, as Directivas 92/75/CEE e 2010/125/CE relativas à indicação do consumo de energia dos aparelhos domésticos por meio de rotulagem e outras indicações uniformes relativas aos produtos, alguns programas de financiamento, e medidas fiscais também a nível europeu. A aplicação destes instrumentos contribuiu para a diminuição dos desafios existentes, não sendo no entanto suficiente face ao aumento do consumo final de energia que se espera para 2020 [12].

A segunda política alternativa analisada foi o “compromisso voluntário com entidades comerciais”, e resulta de acordos voluntários combinados entre autoridades públicas e entidades comerciais ou organizações de uma actividade económica específica por forma a estimular o aumento da taxa de renovação nos edifícios existentes. O impacto social desta medida traduz-se por melhores condições de vida e bem-estar para os ocupantes, sendo estimado nesta análise que para cada 1€ investido na eficiência energética são poupados 0,42€ em despesas de saúde [12].

A terceira opção analisada no documento de avaliação de impactos é a “implementação de instrumentos reguladores”. Consiste na implementação de rigorosas medidas obrigatórias adicionais que permitam assegurar que a renovação dos edifícios é realizada

e que o potencial de eficiência energética é alcançado. Na avaliação dos impactos destas medidas, este documento refere, por exemplo, que se for exigido que os edifícios classificados nas duas classes energéticas de pior desempenho (F e G) não possam ser arrendados até que o seu desempenho seja melhorado, o adicional de poupança de energia primária para 2020 poderia ser de cerca de 33 Mtoe com redução de 65 Mt na emissão de CO₂. Esta medida, pela reabilitação que gera, tem também o potencial para gerar 375 000 postos de trabalho [12]. No entanto, em muitos casos, famílias com menores rendimentos vivem em edifícios com piores desempenhos energéticos, logo as exigências na renovação dos seus edifícios será um fardo adicional no seu orçamento [12].

A quarta opção do documento de avaliação de impactos, está relacionada com os instrumentos financeiros sendo abordadas duas políticas. A primeira diz respeito à “facilidade na partilha de riscos e assistência técnica” em que o suporte da UE em forma de subsídios não deve ser prioritário (excepto através de fundos estruturais). O suporte da UE deve ser direccionado para tornar os projectos financiáveis através de um mecanismo de partilha de riscos, que aborda a liquidez limitada para criar alavancagem e atrair investimentos. A criação de alavancagem, mas também de parcerias público-privadas aliviaria o défice público nacional e local em tempos de crise [12]. A implementação desta medida tem potencial de criação de trabalho directo e induzido entre 60 000 e 300 000 postos altamente qualificados [12], e se bem orientada, tem potencial para retirar famílias da pobreza energética [12].

A outra política abordada em relação aos instrumentos de financiamento diz respeito à “condicionalidade da eficiência energética na despesa dos fundos públicos”, através dos certificados de desempenho energético e auditorias, quando os fundos públicos são gastos em projectos de renovação [12]. Esta abordagem levaria à compra de aparelhos e edifícios mais eficientes, sendo que o aumento das encomendas poderia levar à criação de um mercado de produtos, edifícios e serviços de eficiência energética conduzindo assim a novas economias de energia e à criação de emprego [12].

Outra política abordada no documento de avaliação de impactos do novo plano de acção, é a “sensibilização”. Segundo esta abordagem, os programas de sensibilização de emprego devem ser desenvolvidos a nível local, regional e nacional e poderão ter como alvo, proprietários/arrendatários, profissionais da construção e autoridades públicas.

No documento de avaliação de impactos podemos ler que nos Estados Unidos da América a energia consumida pelas famílias sofreu uma redução de 22% através da mudança de comportamentos. Estima-se que na Europa a mudança de comportamento tenha potencial para gerar poupanças no consumo de energia de cerca de 20% [12].

A última política analisada é a de “formação”. Através desta política, pretende-se diminuir a falta de mão-de-obra qualificada na construção, visto que esta é uma das principais barreiras não tecnológicas e não financeiras à melhoria da eficiência energética nos edifícios. Segundo o documento de avaliação de impactos, existe uma estimativa conservadora que aponta para 10% o potencial de poupança de energia, dependente da qualificação de trabalhadores [12].

A 25 de Outubro de 2012, foi lançada a Directiva 2012/27/UE para a eficiência energética. Nas suas considerações pode-se ler que o objectivo de alcançar 20% de eficiência energética em 2020 não está em vias de ser alcançado [10], sendo portanto necessário implementar um aumento da promoção da eficiência energética. Para tal esta directiva estabelece um quadro comum de medidas de promoção da eficiência energética e também regras destinadas a eliminar os obstáculos do mercado [10]. Segundo a directiva cabe aos Estados Membros elaborar estratégias para o aumento da eficiência energética. Estes deverão fixar os objectivos indicativos nacionais de eficiência energética e comunicar à Comissão explicando como chegaram a esse valor [10]. Esta directiva volta a reforçar a importância de aumentar a taxa de renovação dos edifícios existentes com vista à melhoria da eficiência energética na UE. Com este objectivo em mente, a directiva impõe aos Estados Membros o estabelecimento de uma estratégia a longo prazo para mobilizar investimento na renovação do parque nacional de edifícios residenciais e comerciais, tanto públicos como privados. De acordo com o artigo 4º, essa estratégia compreende [10]:

- Uma panorâmica do parque imobiliário nacional baseada, se adequado, numa amostra estatística;
- Uma identificação das abordagens rentáveis das renovações relevantes para o tipo de edifício e para a zona climática;
- Políticas e medidas destinadas a incentivar renovações profundas de edifícios rentáveis;
- Uma perspectiva de futuro destinada a orientar a tomada de decisões em matéria de investimento, por particulares, pela indústria da construção e pelas instituições financeiras;

- Uma estimativa com base em dados factuais, das economias de energia esperadas e de outros benefícios possíveis.

No sentido de eliminar os entraves de mercado, os Estados Membros devem assegurar a divulgação e a transparência da informação a todos os agentes do mercado, sobre os mecanismos de melhoria da eficiência energética e sobre o quadro jurídico e financeiro. Devem ainda incentivar a prestação de informação aos bancos e a outras instituições financeiras quanto às possibilidades de participarem no financiamento de medidas para melhorar a eficiência energética [10].

2.1.2 Legislação nacional

Em Portugal o primeiro instrumento legal que impôs requisitos ao projecto de novos edifícios e grandes remodelações foi o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado a 6 de Fevereiro de 1990 pelo Decreto-lei nº40/90. O RCCTE tinha como objectivo a satisfação das condições de conforto térmico nos edifícios sem necessidades excessivas de energia, quer no Verão quer no Inverno, e ao mesmo tempo visava garantir a minimização de patologias resultantes de condensações superficiais e no interior dos elementos da envolvente [13]. Em 1998 foi aprovado pelo Decreto-Lei nº118/98 de 7 de Maio, o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). Este regulamento procurava evitar o sobredimensionamento dos edifícios a nível da potência dos sistemas neles instalados, melhorando assim a eficiência energética dos edifícios [14].

A 4 de Abril de 2006 é aprovada uma reformulação do RCCTE pelo Decreto-Lei nº80/2006 e também uma reformulação do RSECE pelo Decreto-Lei nº79/2006. O novo RCCTE alarga as suas exigências em relação ao anterior, ao definir objectivos de provisão de taxas de renovação do ar adequadas que devem ser obrigatoriamente satisfeitas [13]. Tem também em conta a Directiva 2002/91/CE, impondo-se assim que o regulamento seja actualizado de forma a satisfazer as exigências adequadas aos novos contextos social, económico e energético, promovendo um novo acréscimo de qualidade térmica nos edifícios; para tal o regulamento actualiza os valores dos requisitos específicos [13].

A revisão do RSECE enquadra-se na Directiva 2002/91/CE, e no Decreto-Lei nº79/2006, com os seguintes objectivos da revisão [14]:

- Definir as condições de conforto térmico e de higiene que devem ser requeridas nos diferentes espaços dos edifícios, em consonância com as respectivas funções;
- Melhorar a eficiência energética global dos edifícios, não só nos consumos para climatização mas em todos os tipos de consumos de energia que neles têm lugar, promovendo a sua limitação efectiva para padrões aceitáveis, quer nos edifícios existentes, quer nos edifícios a construir ou nas grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes;
- Impor regras de eficiência aos sistemas de climatização que permitam melhorar o seu desempenho energético efectivo e garantir os meios para a manutenção de uma boa qualidade do ar interior, quer a nível do projecto, quer a nível da sua instalação, quer durante o seu funcionamento, através de uma manutenção adequada;
- Monitorizar com regularidade as práticas da manutenção dos sistemas de climatização como condição da eficiência energética e da qualidade do ar interior dos edifícios.

A 4 de Abril de 2006 é também aprovado pelo Decreto-Lei nº78/2006 o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), que transpõe parcialmente para a ordem jurídica nacional a Directiva 2002/91/CE. De acordo com o Decreto-Lei nº78/2006, o SCE tem como finalidade [15]:

- 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 no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE);
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.

A 20 de Agosto de 2013 foi publicado o novo Decreto-lei nº 118/2013 que transpõe a Directiva 2010/31/UE e que faz uma revisão da legislação nacional, passando a incluir 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). Sendo assim o Decreto-Lei nº 118/2013 revoga o Decreto-Lei nº 78/2006, o Decreto-Lei nº 79/2006 e o Decreto-Lei nº 80/2006, no entanto para a presente dissertação foi tida em conta a legislação anterior a 20 de Agosto de 2013 para o desempenho energético dos edifícios (SCE, RSECE, RCCTE).

2.2 Instrumentos financeiros

Para apoiar e impulsionar a eficiência energética, existem actualmente vários instrumentos financeiros a nível da União Europeia e Estados Membros, incluindo os seguintes:

- URBACT é um programa co-financiado pela União Europeia e pelos Estados Membros e promove a aprendizagem e intercâmbio de soluções entre cidades que praticam o desenvolvimento sustentável [16].
- Programa Energia Inteligente Europa (IEE) oferece ajuda a organizações que querem melhorar a sua sustentabilidade energética em várias áreas como as energias renováveis, eficiência energética dos edifícios, indústria, produtos e transportes. Este programa conta com 730 milhões de euros até 2013, para financiar os projectos de melhoria da sustentabilidade energética [17].
- ELENA (Assistência Europeia à Energia Local) é um mecanismo financiado pelo IEE, e atribui subsídios para assistência técnica. O objectivo deste mecanismo é ajudar, por meio de assistência técnica, cidades e regiões a estruturar e a colocar em marcha projectos de melhoria da sustentabilidade energética de modo mais eficaz [18].
- SMART CITIES é uma iniciativa que apoia cidades e regiões que adoptam medidas ambiciosas e pioneiras no âmbito da sustentabilidade energética, sendo que as medidas em edifícios e redes locais de energia e transporte são as principais componentes desta iniciativa [19].
- Fundos Estruturais e Fundos de Coesão são instrumentos de política que têm por objectivo reduzir as diferenças de desenvolvimento entre as regiões e os Estados Membros. No período 2007-2013, foram atribuídos 278 milhões de euros para os Fundos Estruturais e 70 milhões de euros para os Fundos de Coesão. Inserido nos Fundos Estruturais estão o Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) e o Fundo Social Europeu. O FEDER apoia a realização de infra-estruturas e investimentos produtivos geradores de emprego, enquanto o FSE apoia a inserção profissional dos desempregados e da população desfavorecida,

através do financiamento de formações. O Fundo de Coesão destina-se aos países cujo PIB médio por habitante é inferior a 90% da média comunitária. Este fundo concede financiamento para projectos de infra-estruturas nos domínios do ambiente e transportes [20].

- JESSICA é um programa que promove o desenvolvimento urbano sustentável, através do apoio a projectos nas áreas de: infra-estruturas urbanas, locais com carácter patrimonial ou cultural relevante, requalificação de locais industriais abandonados, edifícios universitários, criação de novas superfícies comerciais para PME, sectores das TIC (Tecnologias para a Informação e Comunicação) e/ou I&D (Investigação e Desenvolvimento), e para melhoria da eficiência energética [21].

2.3 Enquadramento ambiental e energético

O uso da energia começou bem cedo na história da humanidade, com a descoberta do fogo através do qual o homem usava a sua energia para poder cozinhar, para aquecimento ou para iluminar. Mais tarde descobriu-se como aproveitar outros tipos de energia primária como a energia do vento que foi muito importante na história da navegação marítima ou a energia da água, utilizada por exemplo em moinhos de água. Com o passar dos tempos descobriram-se novas fontes de energia e novas formas de transformar essa energia, como a descoberta da energia a vapor que introduziu a Revolução Industrial no séc. XVIII, e permitiu grande avanço na tecnologia, e um aumento exponencial do consumo de energia.

Com o grande desenvolvimento surgiu uma grande dependência das fontes de energia, em especial do petróleo que se acreditava poder manter-se inesgotável e a baixo custo. No entanto em 1972, através do relatório elaborado pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology) para o Clube de Roma, intitulado “The Limits to Growth”, começou a verificar-se uma tomada de consciência para a limitação dos recursos naturais [22], visto que no relatório do MIT, conclui-se que o planeta não suportaria o crescimento populacional devido à pressão sobre os recursos naturais e energéticos. A tomada de consciência da importância do petróleo e da dependência energética dos países do primeiro mundo, face aos países produtores, conduziu à designada primeira crise do petróleo com o aumento brusco do preço do petróleo e consequente queda do crescimento económico dos países importadores deste combustível [22].

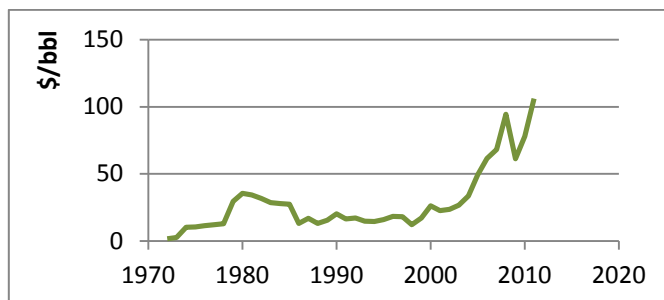


Figura 1: Evolução do preço do petróleo (1970-2011). Fonte: BP

Devido à elevada dependência do petróleo que existia nos países mais industrializados e à tomada de consciência de que se tratava de um recurso esgotável, surgiu uma preocupação com a conservação de energia nesses países, levando ao estabelecimento de políticas energéticas que favorecem o aumento da eficiência energética global na UE e desenvolvimento de tecnologias para produção de energia renovável permitindo assim a diminuição da dependência energética, que como se pode verificar na Figura 2, é superior a 50% e tem vindo a aumentar.

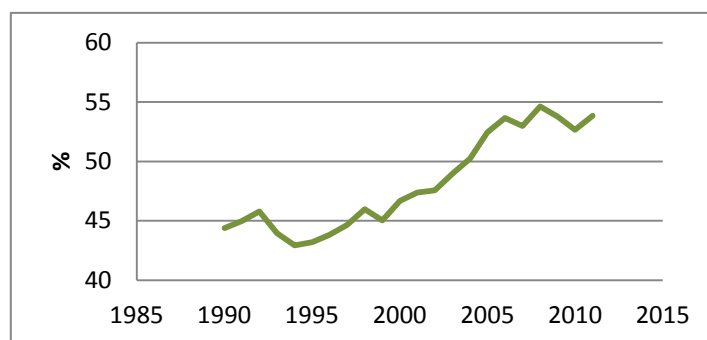


Figura 2: Dependência energética da União Europeia (1990-2011). Fonte: Eurostat.

De acordo com dados do Eurostat para o ano de 2011 (Figura 3), os países da UE com maior dependência energética eram Malta e Luxemburgo, com respectivamente 100,58%, 97,37% de dependência energética. Por outro lado, a Dinamarca é o único país da UE que exporta mais energia do que importa.

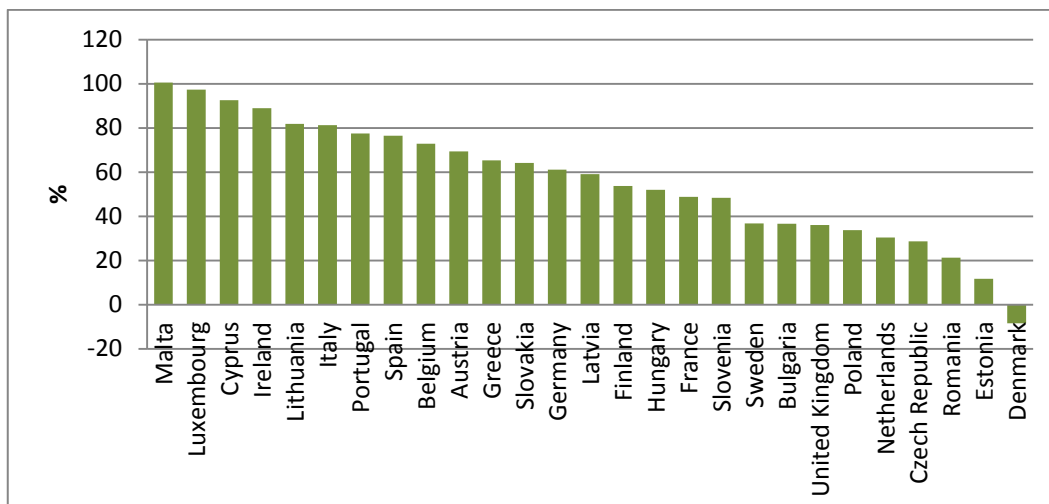


Figura 3: Dependência energética dos Estados Membros (2011). Fonte: Eurostat.

A contribuir para a elevada dependência energética na UE está o elevado consumo em petróleo e gás natural face à fraca produção deste tipo de combustíveis como se pode observar na Figura 4.

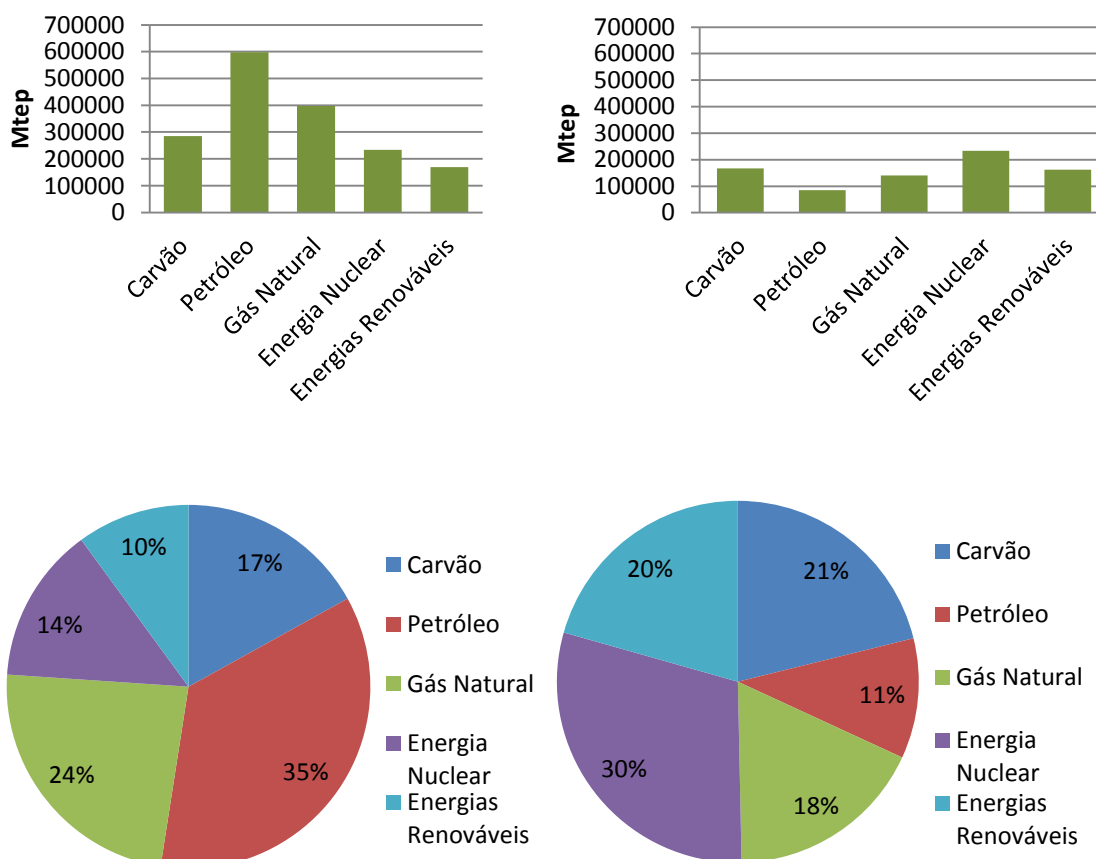


Figura 4: Consumo bruto interno de energia (à esquerda), face à produção de energia (à direita) em 2011. Fonte: Eurostat.

Como se pode constatar na Figura 5, de entre todas as formas de energia primária, a energia renovável é a que tem sofrido um maior crescimento ao longo da última década, ao contrário de todas as outras formas de energia cuja produção está em declínio.

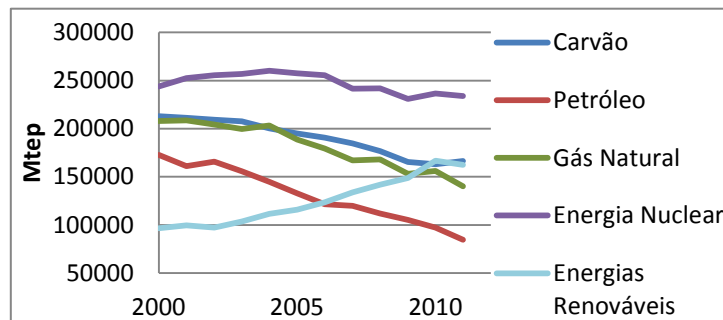


Figura 5: Evolução da produção de energia primária na UE (2000-2011). Fonte: Eurostat.

No entanto, será ainda necessário um maior esforço por parte dos Estados Membros no sentido de cumprir a meta para 2020, de aumentar em 20% a produção de energia renovável, como se pode observar na Figura 6.

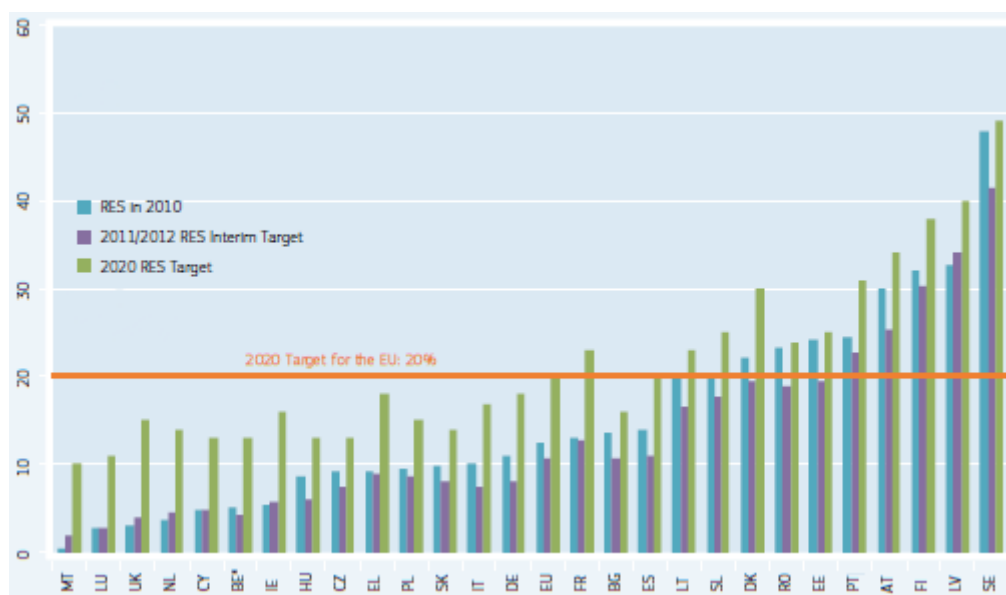


Figura 6: Metas a atingir pelos Estados Membros para 2020. Fonte: Market Observatory.

Em relação ao consumo de energia dentro da UE, o sector com o maior consumo energético é o de edifícios residenciais e de serviços, que em conjunto soma cerca de 40% da energia final na UE, como se pode observar na Figura 7.

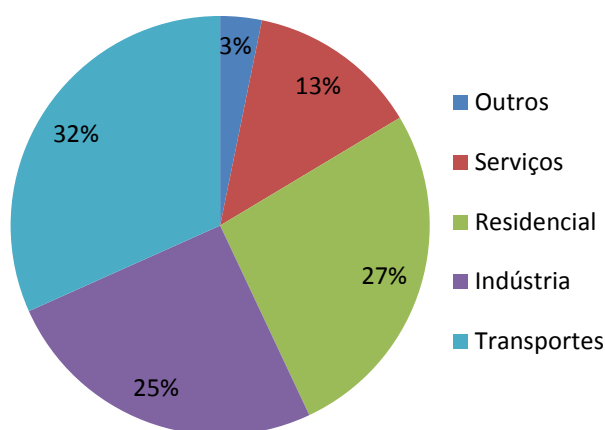


Figura 7: Consumo final de energia por sectores na UE. Fonte: Agência Europeia do Ambiente.

De acordo com a tabela 1, podemos perceber, por exemplo para os países focados, que os maiores consumos de energia em relação a um edifício de escritórios estão associados aos sistemas de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) e à iluminação.

Tabela 1: Uso final de energia num edifício de escritórios. Fonte: adaptado de [23]

Uso final de energia	EUA (%)	Reino Unido (%)	Espanha (%)
AVAC	48	55	52
Iluminação	22	17	33
Equipamentos	13	5	10
Aquecimento de água	4	10	-
Preparação de comida	1	5	-
Refrigeração	3	5	-
Outros	10	4	5

Para além do aumento da eficiência energética e da produção da energia renovável, é também objectivo da UE a redução das emissões de gases com efeito estufa (GEE), como forma de minimizar os efeitos das alterações climáticas globais. De acordo com o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Changing) no seu segundo relatório, conclui-se que o aumento de GEE desde a revolução industrial contribuiu para as alterações no clima, sendo mesmo os responsáveis pelo aumento das temperaturas que se têm

verificado desde então [24]. De acordo com a Figura 8 retirada do 2º relatório do IPCC, conclui-se que a queima dos combustíveis fósseis tem sido o principal responsável pelas emissões de GEE em todo o mundo.

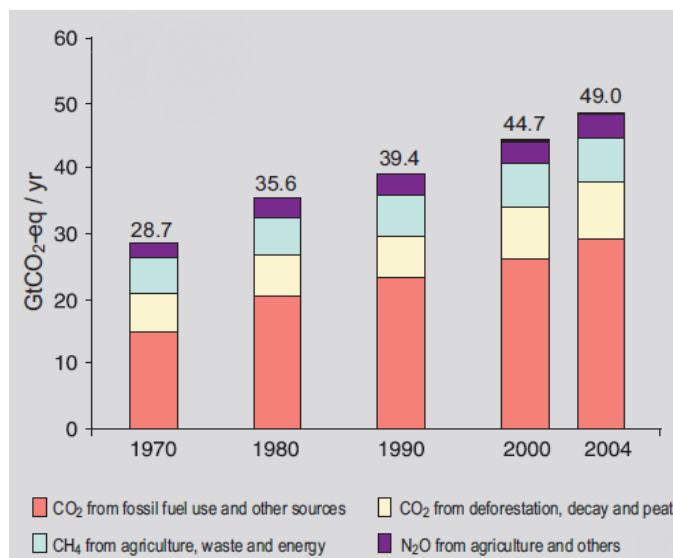


Figura 8: Evolução das emissões de GEE globais. Fonte: IPCC

Segundo o International Energy Outlook de 2010 da EIA (U.S. Energy Information Administration), as emissões mundiais de CO₂ relacionadas com a energia registrarão um crescimento médio de 1,3% por ano desde 2007 até 2035 [25]. Através da Figura 9 é possível verificar que os países em vias de desenvolvimento são os que mais contribuem para o aumento das emissões, também associado ao facto de possuírem grandes reservas de combustíveis fósseis que ajudam o grande desenvolvimento verificado nestes países. Por outro lado nos países mais desenvolvidos o crescimento das emissões é mais reduzido, sendo a Europa da OCDE (países da UE excluindo a Bulgária, Chipre, Letónia, Lituânia, Malta, Roménia e incluindo a Islândia, Noruega, Suíça e Turquia) e o Japão as únicas regiões com declínio nas emissões de GEE.

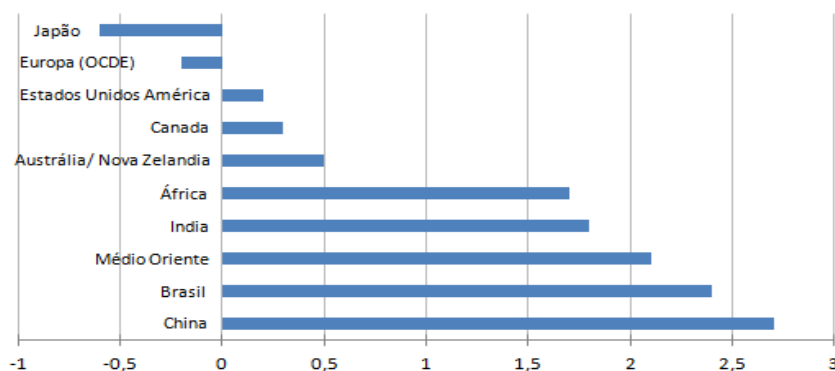


Figura 9: Crescimento anual (%) das emissões de CO₂ relacionadas com energia. Fonte: EIA

Apesar de haver um declínio nas emissões de GEE, a UE ainda não atingiu o objectivo proposto de redução em 20% das emissões de GEE até 2020, em relação aos níveis de 1990, como se pode observar na Figura 10.

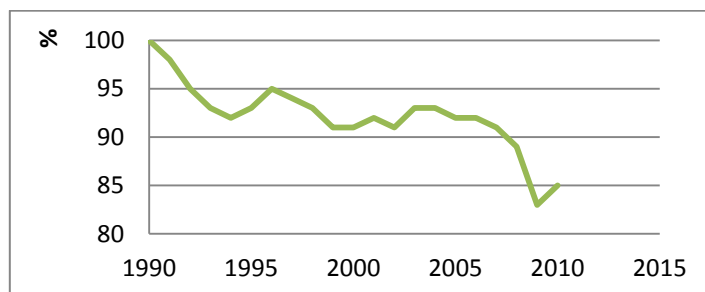


Figura 10: Emissão total de gases com efeito estufa em relação a 1990 na UE. Fonte: Eurostat.

De acordo com o último relatório anual do Market Observatory (2010), para o ano de 2008, os sectores de edifícios residenciais e de serviços em conjunto são responsáveis por 12,9% das emissões na UE, sendo o sector da indústria de energia o que provoca maiores emissões de GEE, como se pode observar na Figura 11.

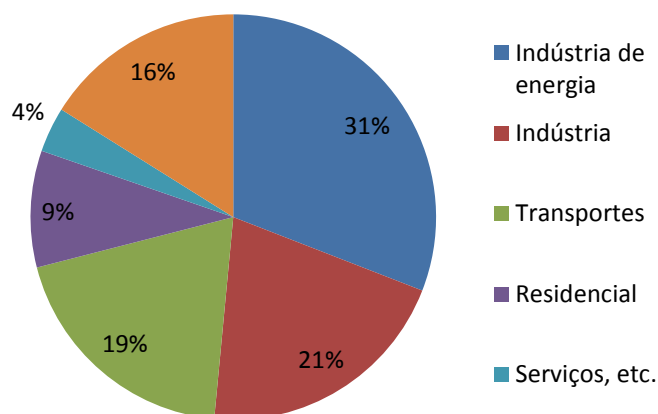


Figura 11: Emissão de GEE na UE em 2008. Fonte: Market Observatory.

2.4 Caracterização do clima mediterrânico

O desempenho energético de um edifício está associado ao clima, que apresenta uma grande variabilidade espacial, sendo que as variáveis climáticas com mais influência no desempenho energético de um edifício são: a temperatura, a humidade, a velocidade do vento, a pressão e a insolação.

Com vista à obtenção das condições de conforto no interior dos edifícios desenvolvem-se estratégias que variam de acordo com o clima, por exemplo: para promover a perda de calor numa região com clima quente e seco recorre-se à ventilação nocturna e aumento dos níveis de humidade. Numa região com temperatura moderada e húmida recorre-se à

ventilação diurna e diminuição de humidade. Deste modo, é de extrema importância o estudo aprofundado do clima onde se inserem os edifícios para uma correcta tomada de decisões em relação às tecnologias e estratégias de eficiência energética a adoptar, de modo a proporcionar as condições de conforto interior desejadas, com o mínimo de consumo de energia possível [26].

No âmbito desta dissertação, que pretende apresentar soluções de NZEB para o clima Mediterrânico é importante caracterizar ainda que sumariamente, o clima Mediterrânico, característico dos países do sul da Europa e do norte de África que rodeiam o mar Mediterrâneo. É possível observar algumas condições meteorológicas predominantes que caracterizam em geral este tipo de clima tais como, Invernos moderados e chuvosos, e Verões muito quentes e secos [27].

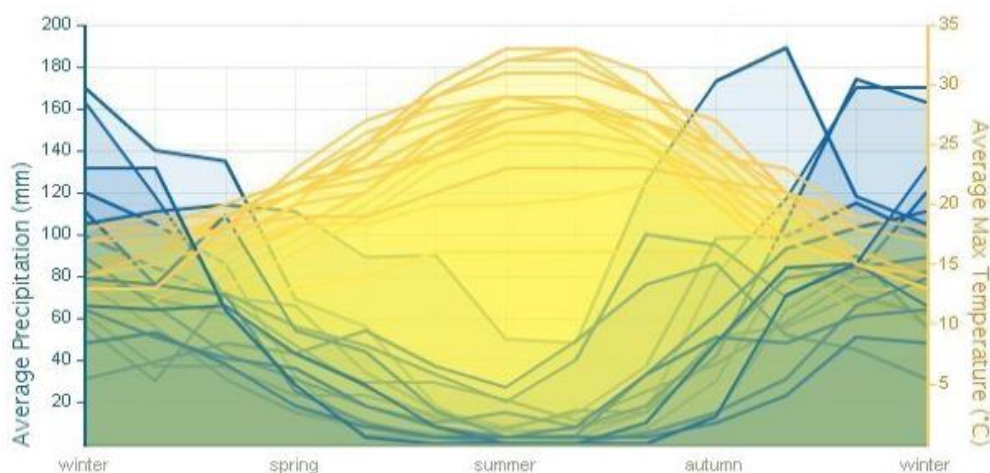


Figura 12: Médias anuais da temperatura (amarelo) e precipitação (azul) para várias cidades do clima Mediterrânico. Fonte: [28]

No Verão a atmosfera não apresenta frequentemente perturbações sinópticas criando condições de céu limpo, sem nuvens, proporcionando muitos dias de sol durante o Verão, o que provoca ganhos de calor significativos durante o dia e perdas de calor durante a noite, contribuindo assim para uma amplitude térmica diária significativa. O Inverno é caracterizado por perturbações ciclónicas e centros de baixas pressões que provocam a formação de nuvens e precipitação [29] [30].

Na região climática do Mediterrâneo existe uma grande dependência do clima da geomorfologia do território, associada à presença de orografia complexa do contraste terra/mar que provoca circulações induzidas termicamente, de que são exemplo a brisa marítima. De facto, a proximidade com o oceano Atlântico proporciona à zona Oeste temperaturas moderadas durante quase todo o ano, enquanto na zona Este a influência do clima da Europa central e África proporcionam temperaturas mais quentes no Verão e

mais frias no Inverno em comparação com a zona Oeste. A proximidade do oceano Atlântico também provoca maior precipitação na zona Oeste, sendo a zona Este mais seca, no entanto, a região mais quente e seca no clima Mediterrânico encontra-se na costa Sul do mar Mediterrâneo [31].

2.4.1 Caracterização do clima em Évora

Na cidade de Évora o clima predominante é caracterizado por Verões quentes e secos e Invernos frescos com baixa pluviosidade [32]. Segundo os valores das normais climatológicas do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) em relação à temperatura do ar no período 1981-2010, é possível calcular a temperatura média anual em Évora em cerca de 16,5°C, tendo como valor mais baixo de média da temperatura no mês de Janeiro 9,6°C, e mais alta no mês de Agosto com 24,1°C. A média da temperatura máxima anual é de cerca de 21,5°C, sendo a média da temperatura mínima anual de cerca de 11,4°C. Os meses onde se registaram os valores mais extremos de temperatura para o período 1981-2010, foram os meses de Janeiro e Agosto com respectivamente -2,9°C de temperatura mínima e 46°C de temperatura máxima.

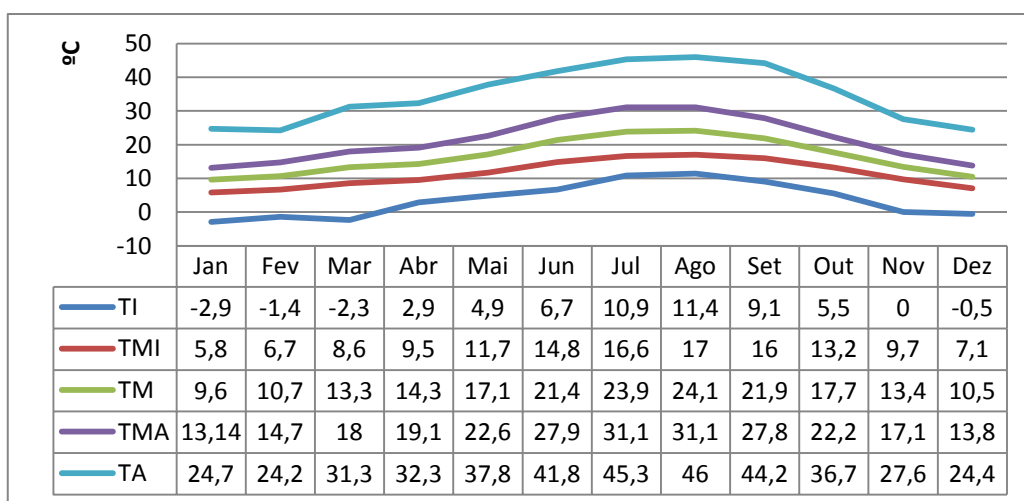


Figura 13 - Normais climatológicas da temperatura do ar. Fonte: IPMA.

TI: Menor valor da temperatura mínima.

TMI: Média da temperatura mínima.

TM: Temperatura média.

TMA: Média da temperatura máxima.

TA: Maior valor da temperatura máxima.

Em relação à precipitação, de acordo com os dados do IPMA para o período 1981-2010 (Figura 14), verifica-se que os maiores valores de precipitação média dão-se entre

Outubro e Dezembro e os menores entre Junho e Agosto. O mês com menor precipitação média em Évora é Julho com 4,1mm, e por outro lado o mês de Dezembro apresenta a maior precipitação média com 95,1mm.

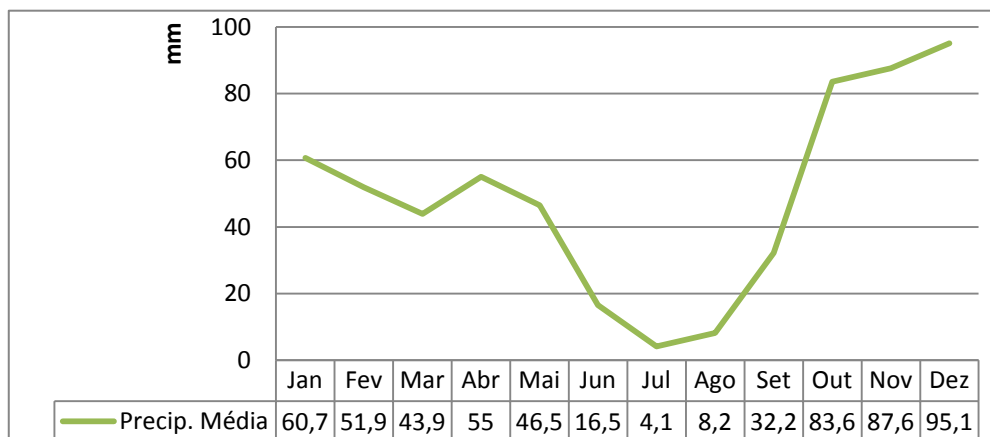


Figura 14: Precipitação média. Fonte: IPMA

No plano municipal de defesa da floresta contra incêndios do município de Évora, podemos observar os valores da humidade relativa no município de Évora para o período de 1958-1988, concluindo-se que os seus valores variam entre 87,3% em Janeiro e 72,2% em Agosto, coincidindo com os meses mais frio e quente respectivamente.

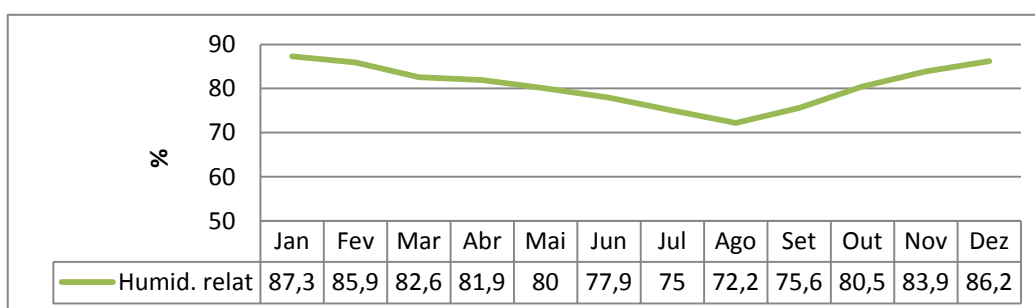


Figura 15: Humidade relativa às 9h.Média das médias (1958-1988). Fonte: [32]

Outra variável climática importante para a caracterização do clima é a insolação, que corresponde ao número de horas em que a luz do sol chega até à superfície da Terra sem que haja interferência das nuvens, ou seja em que a radiação solar é directa. Através de dados da estação meteorológica de Évora/Mitra para o período 1951-1980, constata-se que os meses de Verão são os que apresentam maior insolação, sendo o mês de Julho o que apresenta maior insolação com 379,6 horas [33].

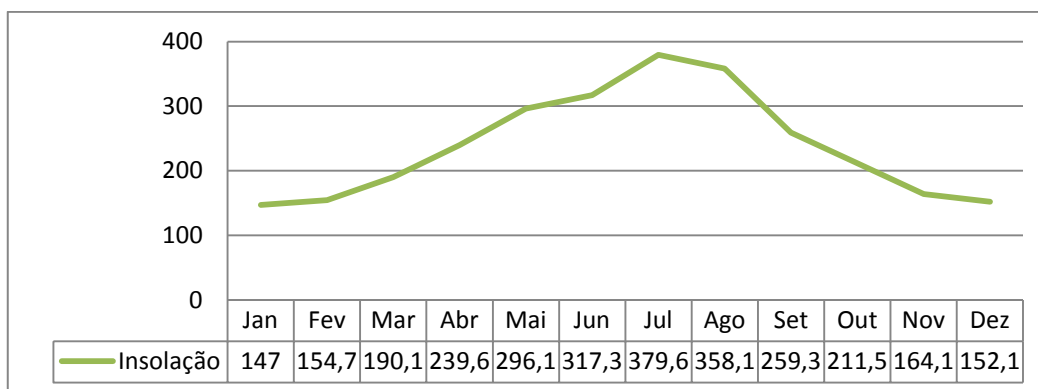


Figura 16: Insolação. Fonte: [33]

Em relação ao vento, de acordo com o plano municipal de defesa da floresta contra incêndios do município de Évora, tem rumo preferencial o Norte durante os meses de Outubro a Abril, e Noroeste nos restantes meses do ano. As suas velocidades variam entre os 1,8 km/h em Novembro e 9,7 km/h em Julho, sendo que as maiores velocidades registam-se da direcção Noroeste [32].

3. CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA DAS ESTRATÉGIAS E TECNOLOGIAS PARA MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO.

Neste capítulo pretende-se fazer uma caracterização geral das técnicas passivas existentes para redução do consumo energético em edifícios, tendo em conta o bom desempenho térmico dos espaços interiores. As técnicas abordadas contemplam sobretudo o controlo dos fluxos de energia térmica pela envolvente do edifício e seus elementos construtivos, por forma a reduzir o consumo de energia para arrefecimento e aquecimento durante o ano.

3.1 Forma e orientação do edifício

A forma e orientação são fundamentais tendo em vista a optimização do desempenho energético de um edifício. Para uma correcta orientação é necessário conhecer a trajectória do sol ao longo do dia e das estações, de acordo com a localização geográfica onde se insere. Como se pode observar na Figura 17 a orientação mais favorável na região Mediterrânica para ganhos solares é a Sul, segundo a qual o edifício deverá ser orientado para obtenção de maiores ganhos de energia no Inverno, sendo que no Verão deverá ser dotado de sistemas de sombreamento pelo exterior que previnem a entrada de energia em excesso, sistemas esses que poderão ter uma implementação mais difícil nas fachadas Este e Oeste devido ao menor ângulo de incidência da radiação solar no início e ao final do dia que poderão levar ao sobreaquecimento no Verão. Por outro lado, a fachada Norte não recebe radiação solar directa.

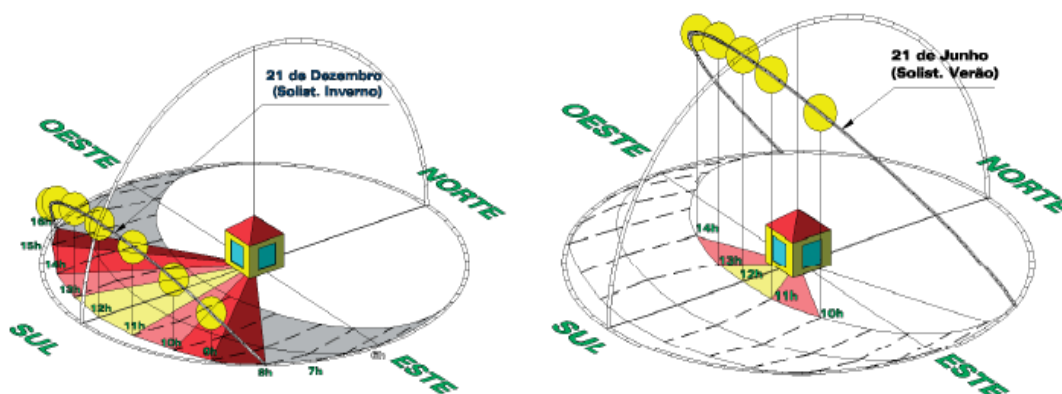


Figura 17: Radiação solar diária no Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita). Fonte: [34]

A correcta orientação do edifício também deverá ter em conta as condições existentes no local de implantação, tais como a topografia, vegetação e edifícios próximos bem como a possibilidade de construção de novos edifícios adjacentes, que poderão constituir obstáculos aos ganhos de energia solar durante o Inverno, ou provocar sombreamento durante o Verão. Por outro lado as condições locais, também têm influência na ventilação

natural do edifício, pelo que a orientação também deverá ter em conta as características dos ventos dominantes de forma a otimizar a ventilação natural [35].

A forma geométrica do edifício tem influência nas transferências de energia entre o exterior e interior do edifício de acordo com o factor de forma, isto é, a relação das áreas da envolvente do edifício com o volume interior. Quanto mais compacto for o edifício, menor será o seu factor de forma e menor será a sua permeabilidade, correspondendo a um melhor desempenho energético no Verão, uma vez que se pretende limitar as transferências de energia entre o exterior e interior do edifício. No entanto, no Inverno um valor baixo do factor de forma poderá não ser tão benéfico, pois nesta estação pretende-se aproveitar a energia solar para aquecimento do ambiente interior [36].

Ainda em relação à forma é importante ter em conta a área passiva no interior do edifício, que corresponde às áreas que usufruem de iluminação e ventilação natural e são consideradas como tendo a profundidade de duas vezes o pé direito do edifício. No sentido de evitar áreas activas excessivas pode-se recorrer à incorporação de saguões ou átrios com vista ao aumento da iluminação e ventilação natural [37].

3.2 Envolvente do edifício

3.2.1 Isolamento e inércia térmica

A envolvente constitui uma superfície do edifício por onde se pretende controlar as transferências de calor por condução, de forma a preservar o conforto térmico no interior do edifício através da limitação de ganhos de calor durante o Verão, e da perda de calor durante o Inverno. No clima Mediterrânico o controlo dos fluxos de calor pela parede é obtido através da combinação dos materiais de isolamento térmico e dos materiais com resistência térmica (inércia térmica).

A inércia térmica deverá ser obtida através de materiais pesados (inércia térmica pesada) como betão armado e paredes de tijolo ou de blocos de betão de alta densidade, com elevada capacidade de retenção da energia que entra para o interior do edifício por condução, radiação ou convecção, permitindo assim um aquecimento mais lento dos espaços interiores durante o dia. Durante o período nocturno a energia acumulada nestes materiais sob a forma de calor, é restituída aos espaços interiores permitindo assim também um arrefecimento mais lento e uma maior uniformização da temperatura diária no interior. A inércia térmica leve é mais adequada para espaços de utilização pontual nos quais se pretende obter um aquecimento rápido do ar interior [38].

Tendo em vista o efeito da inércia térmica, torna-se bastante benéfica a utilização de isolamento térmico pelo exterior da parede, já que os materiais de isolamento térmico têm a capacidade de constituir uma barreira à passagem do calor anulando assim o efeito da inércia térmica caso o isolamento fosse executado pelo interior. Por outro lado, a colocação de isolamento pelo exterior, permite que a massa térmica absorva o excesso de energia que entra no interior do edifício através dos vãos envidraçados, ao mesmo tempo que minimiza as perdas de calor para o exterior através das paredes quando as temperaturas baixam, permitindo assim que esta energia acumulada na massa térmica seja repostada ao ambiente interior quando a sua temperatura começa a diminuir. As características mecânicas deverão ser tidas em conta na escolha do isolamento térmico, de acordo com o elemento construtivo da envolvente onde se insere e a utilização para a qual é prevista esse espaço, no entanto no âmbito desta dissertação serão apenas tratadas as características térmicas. Nas tabelas 2, 3, 4 e 5 estão apresentados diversos tipos de isolamento térmico com as suas propriedades de peso volúmico e condutibilidade térmica.

Tabela 2: Isolantes térmicos sintéticos. Fontes: [39]; [40]

Isolantes Sintéticos	Peso Volúmico (Kg/m ³)	Condutibilidade térmica [W/(m.°C)]
Poliestireno expandido (EPS)	> 20	0,037
Poliestireno extrudido (XPS)	25 - 40	0,037
Espumas rígidas de poli-isocianurato(PIR)	35	0,023
Espuma de ureia-formaldeído (UF)	9 - 12	-
Espuma rígida fenólica (PF)	-	-

(-) não foi encontrada a informação.

Tabela 3: Isolantes térmicos vegetais. Fonte: ITE 50

Isolantes Vegetais	Peso Volúmico (Kg/m ³)	Condutibilidade térmica [W/(m.°C)]
Aglomerado de cortiça expandida (ICB)	100-120	0,04
Fibras celulósicas	28-35	0,04

Tabela 4: Isolantes térmicos minerais. Fonte: ITE 50

Isolantes Minerais	Peso Volúmico (Kg/m ³)	Condutibilidade térmica [W/(m.°C)]
Lã de vidro (MW)	65-160	0,017
Lã de rocha (MW)	70	0,04

Tabela 5: Isolantes térmicos não tradicionais. Fontes: *icynene.pt; plastimar.pt*

Isolantes térmicos não tradicionais	Peso Volúmico (Kg/m ³)	Condutibilidade térmica [W/(m.°C)]
Espuma icynene	8	0,038
Espuma rígida icynene MDR-210	40	0,028
EPS grafite 100	-	0,031

(-) não foi encontrada a informação.

Para além destes isolantes térmicos, ainda existem outros tais como: fibras de coco, fibras e partículas de madeira, grânulos de argila expandida, vermiculite expandida e perlite expandida.

3.2.2 Paredes exteriores

As paredes exteriores constituem umas das maiores superfícies da envolvente pelas quais se dão transferências de calor entre o ambiente interior e exterior, sendo fundamental o controlo destes fluxos com vista ao bom conforto térmico no interior. Para as paredes exteriores serão aqui tratados os sistemas ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems), as fachadas ventiladas e as fachadas verdes.

3.2.2.1 ETICS

A implementação do RCCTE e do RSECE gerou um grande crescimento em Portugal na utilização dos ETICS para melhoria do comportamento térmico dos edifícios. Estes sistemas poderão ser aplicados em paredes de alvenaria de tijolo, bloco ou pedra, ou em paredes de betão, no entanto não deverão ser aplicados em paredes antigas, espessas e porosas com elevados teores de água no seu interior que poderão prejudicar o funcionamento do sistema [41]. Neste sistema as placas de isolante térmico podem ser fixadas ao suporte por via mecânica (através de ancoragens ou através de perfis de PVC ou metálicos ancorados no suporte), por colagem ou por ambas [42]. Sobre o isolante térmico é aplicada uma camada de base geralmente constituída por várias subcamadas sendo que cada camada poderá ter incorporada uma única rede normal ou reforçada. Sobre a camada de base é aplicado o revestimento final, existindo uma grande diversidade de revestimentos para este tipo de sistemas [43]. Na Figura 18 está representada a constituição geral deste tipo de sistemas.

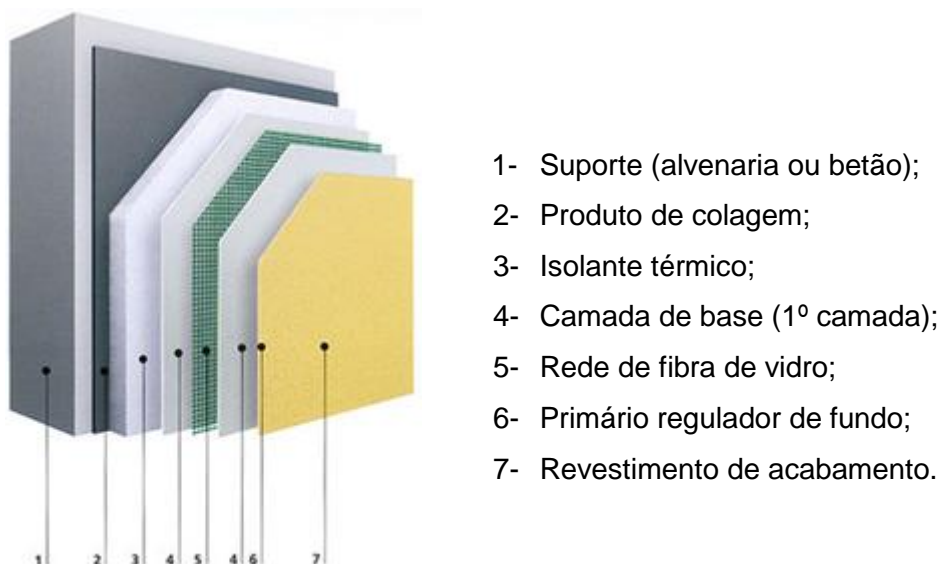


Figura 18 - Constituição de um sistema ETICS. Fonte: www.destaca.pt

Os isolantes mais correntemente utilizados são o aglomerado de cortiça expandida (ICB), poliestireno expandido moldado (EPS), poliestireno expandido extrudido (XPS) e lã mineral (MW) [41]. De acordo com ITE 50 o XPS é o isolante térmico com menor condutibilidade em relação aos citados sendo a cortiça o que tem maior condutibilidade, no entanto a cortiça sendo um produto natural e renovável é uma solução mais sustentável a nível ambiental, tendo em conta que a energia incorporada para produção dos isolantes sintéticos é bem maior do que nos isolantes naturais [44]. As soluções de ETICS apresentam várias vantagens tais como [41] [36]:

- Facilidade de rapidez e aplicação;
- Aplicação contínua com redução ou eliminação de pontes térmicas;
- Diminuição do risco de condensações no interior, visto que a temperatura à superfície da parede se mantém mais elevada que a temperatura de orvalho (é a temperatura a partir da qual o vapor de água presente no ar passa ao estado líquido);
- Potencia a inércia térmica;
- Possibilita a dispensa de paredes duplas e conseqüente diminuição da espessura das paredes exteriores;
- Aplicação em obra nova ou reabilitação;
- Interferência mínima com o interior dos edifícios em obras de reabilitação;
- Não reduz a área interior.

Como desvantagens de referir que os ETICS não são passíveis de ser utilizados na reabilitação de muitos edifícios com valor patrimonial, pois descaracterizam as fachadas,

e também é necessário mão-de-obra especializada para garantir a boa execução dos pormenores construtivos [41]. A utilização de cores escuras para o revestimento final poderá provocar um grande *stress* térmico nas várias camadas do sistema, levando à fissuração devido à forte incidência da radiação solar nas fachadas Este e Oeste durante o Verão.

3.2.2.2 Fachadas ventiladas

As fachadas ventiladas são cada vez mais utilizadas na construção moderna sendo assumido actualmente que constituem uma solução eficiente no isolamento térmico de um edifício. A fachada ventilada consiste num revestimento exterior de protecção do edifício afastado da parede, criando assim um canal de ar que deverá ter no mínimo 20mm para garantir circulação de ar entre revestimento exterior e a parede, sendo que o ar frio entra pela parte inferior e sai a uma temperatura superior pela parte superior. Os revestimentos exteriores podem ser de vários tipos, nomeadamente resina fenólica (ou madeira), naturocimento, betão polímero, compósito de alumínio, cimento e madeira, cerâmica, pedra ou vidro [45] [46]. Na Figura 19 podemos observar a constituição geral de uma fachada ventilada.

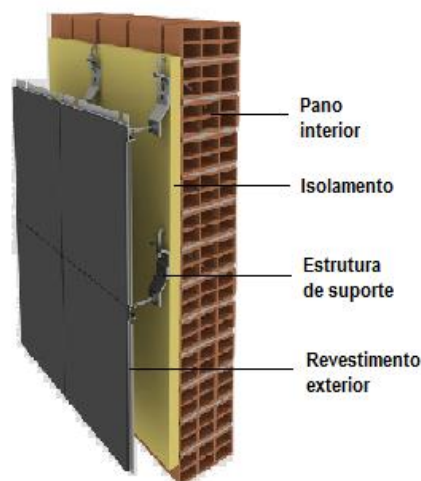


Figura 19 - Constituição de uma fachada ventilada. Fonte: adaptado [47]

O revestimento exterior protege a parede da radiação solar ao mesmo tempo que a ventilação no canal de ar serve como sistema de refrigeração evitando assim o sobreaquecimento da parede (Figura 20). O isolamento contínuo pelo exterior limita as transferências de calor na parede e reduz ou elimina as pontes térmicas. Este isolamento deverá ser permeável ao vapor de água para assim beneficiar da vantagem que este

sistema oferece através da ventilação que canaliza o vapor de água para fora, evitando o aparecimento de condensações no interior.

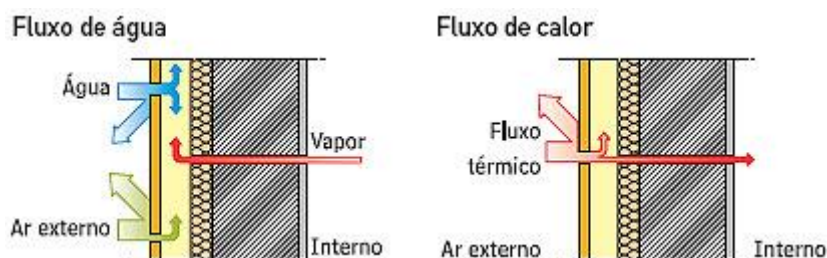


Figura 20 - Prevenção da fachada ventilada às condensações (esquerda) e sobreaquecimento (direita). Fonte: [48]

3.2.2.3 Fachadas verdes

As fachadas verdes surgem como solução para prevenção dos ganhos térmicos no Verão, devido à folhagem que reflecte a radiação solar e também ao efeito da evapotranspiração das plantas que diminui a temperatura do ar, resultando num menor gradiente térmico entre o interior e exterior, e conseqüentemente num menor fluxo de calor pela parede. De acordo com um estudo realizado em [49] o maior arrefecimento associado a uma fachada verde é sentido precisamente nos meses mais quentes, entre as 15h e as 21h, quando a radiação incide sobre a fachada Oeste resultando numa diminuição média da temperatura interior de 4°C. De acordo com o mesmo estudo conclui-se também que a temperatura exterior da parede diminui em média 12°C [49].

Os três principais tipos de sistemas para fachadas verdes são [50]:

- Sistemas de suporte, que permitem às plantas treparem no edifício através de suportes que poderão ser por exemplo telas metálicas ou cabos;
- Sistema modular, que consiste na pré-fabricação de módulos onde são já colocadas as plantas. Estes módulos são facilmente montados em estruturas metálicas fixadas na parede (Figura 21);
- Sistemas de plantação, que consistem na montagem de caixas de plantação sobre uma estrutura fixada na parede, em intervalos regulares em que as plantas são posteriormente plantadas nestas caixas.



Figura 21- Fachadas verdes: Sistema de trepadeira (à esquerda) e sistema modular (à direita).
Fonte: [51]

3.2.3 Coberturas

Sendo o elemento construtivo com maior exposição à radiação solar, as coberturas (inclinadas ou em terraço) apresentam um papel muito importante no que diz respeito ao desempenho energético de um edifício, sendo de extrema importância o controlo dos fluxos ascendentes (perda de calor) e descendentes (ganho de calor). Na Figura 22 estão representados os diversos processos de transferência de calor numa cobertura.

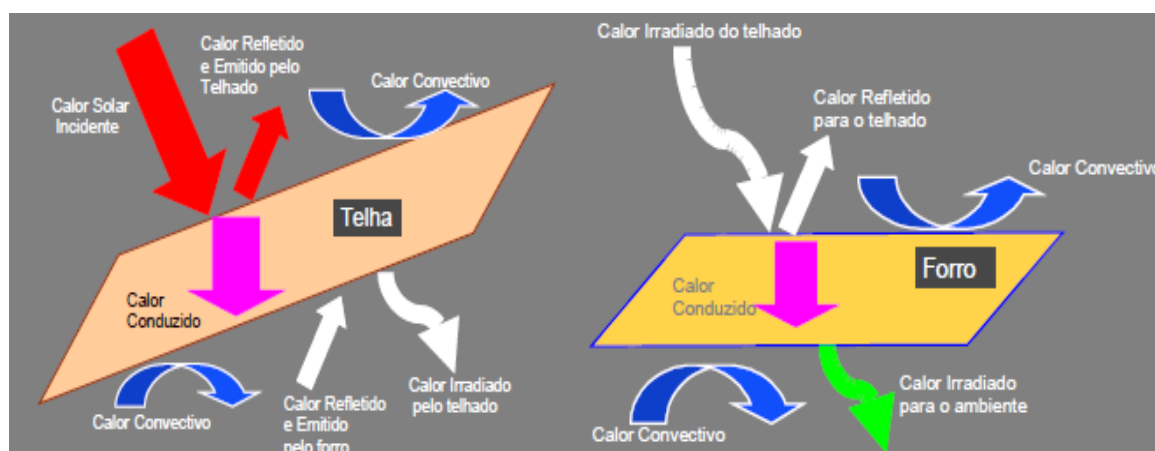


Figura 22 - Representação das trocas de calor num telhado e num forro. Fonte: F. Vitorino, N.M.N. Sato, M. Akutsu, 2003.

O bom isolamento da cobertura permite a limitação de fluxos ascendentes e descendentes de calor no edifício, contribuindo assim para um melhor conforto térmico no Inverno através da redução da perda de calor, e no Verão através da redução de entrada de calor devido à elevada temperatura e exposição à radiação solar. No entanto o isolamento térmico da cobertura poderá resultar num aumento excessivo da temperatura do edifício, caso não exista uma boa ventilação natural e não sejam adoptadas medidas que limitem a entrada de calor pela envolvente vertical, visto que o calor que entra no edifício tem tendência a subir ficando retido na cobertura caso esteja bem isolada, sendo

fundamental a integração de uma boa ventilação no edifício assim como o isolamento térmico de toda a envolvente para uma boa eficiência da cobertura [52].

Os materiais de isolamento térmico para coberturas, são em regra do mesmo tipo dos que se aplicam nas paredes exteriores [53] no entanto outras alternativas ao isolamento convencional estão já disponíveis no mercado, caso do isolamento reflector e das barreiras radiantes. Para além do isolamento da cobertura existem outras soluções que visam a melhoria do conforto térmico do edifício pela cobertura, tais como as tintas de controlo de radiação e as coberturas verdes.

3.2.3.1 Isolamento térmico reflector e barreira radiante

De acordo com a Associação de Fabricantes de Isolamento Reflector (RIMA) o maior modo de transferência de calor na envolvente de um edifício dá-se por radiação, para a qual alguns dos isolamentos térmicos convencionais não são eficazes visto que estes limitam o calor que se propaga principalmente por condução na envolvente do edifício. Os isolantes reflectores por outro lado, têm a capacidade de reduzir principalmente o calor que se propaga por radiação devido à sua elevada capacidade de reflectividade e baixa emissividade, proporcionando uma redução dos ganhos térmicos no Verão e de perdas de calor no Inverno.

O isolamento reflector utiliza camadas de alumínio, papel e/ou plástico para armazenar ar no interior, permitindo assim alguma resistência térmica. O alumínio por outro lado é muito eficaz na redução da transferência de calor por radiação, sendo capaz de reduzir até 97% da transferência por radiação. Estes materiais diferem do isolamento convencional nos seguintes aspectos [54]:

- Possuem uma baixa emissividade (geralmente cerca de 0,03) em relação ao isolamento convencional (geralmente de cerca de 0,9);
- Não possuem massa suficiente para absorver e reter calor;
- Possuem uma maior impermeabilidade à humidade e vapor de água.

O isolamento térmico reflector é principalmente instalado nos tectos dos edifícios sendo que para um bom desempenho deverá ter um intervalo de ar em ambos os lados de no mínimo 25 mm. Na Figura 23 e Figura 24 é possível observar duas formas de instalar o isolamento reflector. Na primeira o isolamento reflectivo é colocado por baixo das ripas e sobre as vigas, permitindo assim o intervalo de ar entre o isolamento e o revestimento exterior. Na Figura 24 o isolamento reflectivo é colocado sob as vigas.

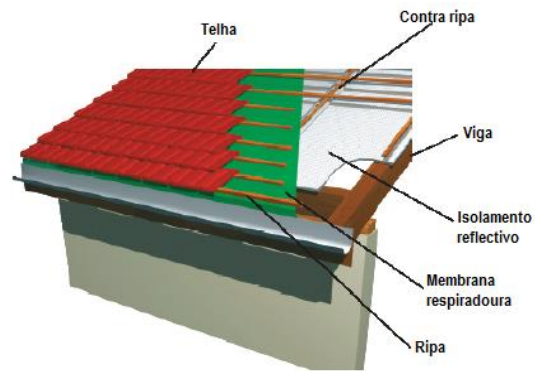


Figura 23 - Isolamento reflectivo sobre vigas. Fonte: adaptado de Eoghan Frawley, 2009.

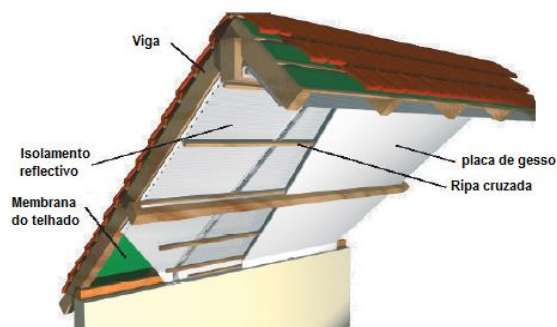


Figura 24 - Isolamento reflectivo sob vigas. Fonte: adaptado de Eoghan Frawley, 2009.

As barreiras radiantes consistem num material de baixa emissividade voltado para um espaço aberto como o sótão, e que intercepta o fluxo de energia vindo de um elemento construtivo, no entanto não possui qualquer resistência térmica. A barreira radiante poderá ser instalada sobre um isolamento térmico originando um sistema dotado de resistência térmica e ao mesmo tempo de elevada reflectividade e baixa emissividade [54].

3.2.3.2 Tintas reflectoras

As tintas reflectoras são aplicadas em coberturas com o objectivo de melhorar o conforto térmico e diminuir a utilização do ar condicionado nos edifícios. Para tal, estas tintas conferem elevada reflectividade e emissividade ao telhado limitando assim o aquecimento da cobertura devido à radiação solar e aumentando o seu tempo de vida. Um estudo realizado em 2010 pela CIN em parceria com a FEUP permitiu concluir que a aplicação destas tintas em telhados ajuda a diminuir a temperatura do ar interior até 6 °C [55]. Existem no mercado tintas reflectoras para aplicação em coberturas inclinadas com telha ou em coberturas em terraço.

3.2.3.3 Coberturas verdes

As coberturas verdes surgem como uma solução muito interessante para coberturas em terraço, não só devido aos benefícios ambientais em meio urbano (por exemplo redução da poluição do ar e sonora, promoção da biodiversidade animal na cidade, redução da pegada de carbono), mas também na eficiência energética dos edifícios. O sombreamento, a reflectividade e evapotranspiração proporcionada pela vegetação, assim como a resistência térmica do solo, influenciam o fluxo de calor na cobertura, resultando numa redução dos ganhos e perdas de calor durante o Verão e Inverno respectivamente, reduzindo assim a necessidade de consumo de energia no edifício. De acordo com o estudo realizado por, Issa Jaffal, Salah-Eddine Ouldboukhitine e Rafik Belarbi, em 2011 [56], conclui-se mesmo que a cobertura verde providencia um efeito de arrefecimento passivo durante o Verão, absorvendo calor do interior do edifício. A maior longevidade das membranas é também assegurada neste tipo de coberturas, devido à menor amplitude de temperaturas que se verifica no exterior da laje, resultando numa limitação de *stress* térmico nas membranas da cobertura, e aumentando assim a longevidade destas [56]. Na Figura 25 é apresentada uma constituição geral de uma cobertura verde.

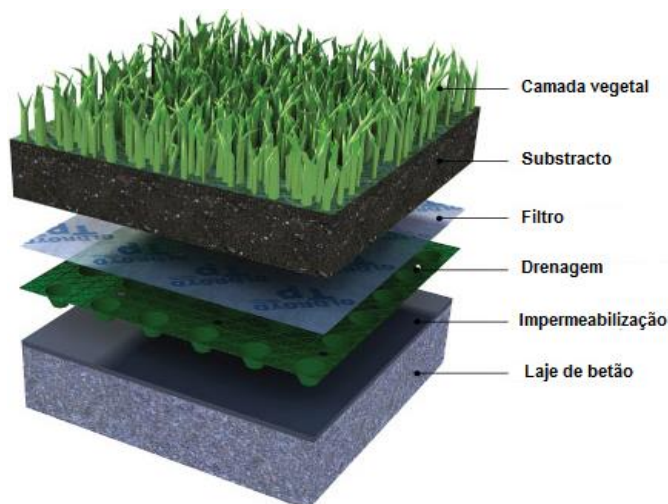


Figura 25 - Constituição geral de uma cobertura verde. Fonte: cultivarbiodiversidade.blogspot.pt

Os tipos de coberturas verdes podem ser classificados geralmente em: coberturas intensivas e coberturas extensivas. As coberturas intensivas apresentam substrato com mais de 15-20cm de espessura e assemelham-se a jardins convencionais. As coberturas extensivas apresentam substratos com espessuras inferiores a 10-15cm [56].

3.2.4 Pavimentos

Os pavimentos em contacto directo com o exterior ou com espaços interiores não aquecidos constituem superfícies da envolvente sujeitas a fluxos de energia correspondentes a perdas de calor no edifício. Tal como acontece para as paredes exteriores, estes pavimentos deverão ser isolados termicamente com o fim de minimizar os fluxos de calor pelo pavimento. O isolamento deverá ser adequado ao tipo de solicitações a que o pavimento estará sujeito.

No caso de o pavimento fazer a divisão com um espaço interior não habitado ou com o ambiente exterior, o isolamento deverá ser posicionado sob o suporte do pavimento de forma a não prejudicar o efeito da inércia térmica. Em pavimento térreo o isolamento deverá ser colocado sobre o terreno. Na Figura 26 estão representadas as constituições destes pavimentos.

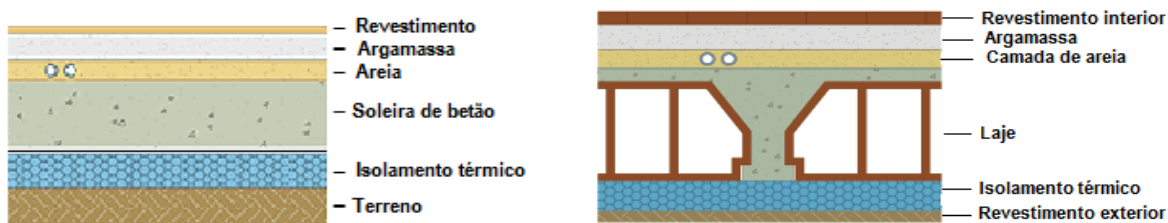


Figura 26 - Constituição de pavimento térreo (esquerda) e pavimento de divisão com exterior ou espaços não aquecidos (direita). Fonte: adaptado de building.dow.com.

O coeficiente térmico destes pavimentos vai depender da sua espessura, da condutibilidade térmica do isolamento térmico aplicado, do tipo de suporte e do tipo de revestimento.

3.2.5 Vãos Envidraçados

Os vãos envidraçados são superfícies da envolvente que apresentam grande condutibilidade conduzindo assim a grandes perdas de calor no Inverno e ganhos no Verão. As propriedades do vidro que interessam do ponto de vista da eficiência energética nos edifícios são a emissividade (capacidade de transmissão de energia por radiação) e o coeficiente de transmissão térmica. A emissividade corresponde à capacidade do material em emitir calor por radiação, sendo do interesse obter um envidraçado com valores baixo de emissividade. Os valores típicos de emissividade do vidro são de cerca de 0,89 no entanto é possível encontrar vidros melhorados com capas de baixa emissividade, reduzindo para valores de emissividade inferiores a 0,04. Em relação aos coeficientes de transmissão térmica de um envidraçado, pretende-se também

que estes valores sejam baixos de forma a limitar as transferências de calor entre interior e exterior de um edifício. As janelas com vidros duplos comuns apresentam coeficientes de transmissão térmica de cerca de $3,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$, sendo que as melhores soluções comerciais chegam a valores a rondar $1,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$ [57] [58].

De acordo com [59], para melhoria de vãos envidraçados existem as seguintes tecnologias:

- Vidros tingidos, que são absorvedores de calor e reduzem a transmissão de luz;
- Vidros reflectores, que reduzem o ganho de calor e de passagem de luz;
- Camadas de baixa emissividade e espectralmente selectiva, que permitem a reflexão da radiação de comprimentos das ondas longas conduzindo a menores perdas térmicas no Inverno e menores ganhos térmicos no Verão, e reduzem a ocorrência de condensações.
- Gás de baixa conductividade, quando introduzido em caixas-de-ar do envidraçado reduz significativamente as transferências de calor neste. Os gases poderão ser argón, krypton, hexafluoreto de enxofre e dióxido de carbono;
- Espaçadores termicamente melhorados, que permitem a redução de perdas de calor por condução mantendo a superfície do vidro mais quente e evitando as condensações;
- Novos materiais de caixilharia e vedação tais como, alumínio com corte térmico, alumínio com madeira, madeira com PVC, PVC, fibra de vidro, que oferecem melhor desempenho térmico e uma maior durabilidade;

Hoje em dia prossegue o desenvolvimento de novos envidraçados no sentido de melhorar a eficiência energética dos edifícios. De acordo com Marinowski podemos destacar as seguintes tecnologias em desenvolvimento [59]:

- Cool Windows que consiste em janelas que admitem a passagem da luz visível enquanto rejeitam grande parte do calor solar da porção infravermelha do espectro;
- Aerogel é um material na forma de espuma que reduz significativamente o coeficiente de transmissão térmica do envidraçado;
- Smartwindows que são janelas constituídas por camadas microscopicamente finas e com capacidade de mudar as suas propriedades com o objectivo de controlar os fluxos de calor e luz.

3.2.6 Sombreamento

Com o objectivo de proteger a envolvente exterior de ganhos térmicos excessivos da radiação solar recorre-se a sombreamentos que deverão ser adequadamente dimensionados de forma a otimizar a relação entre a necessidade de proteger a envolvente da radiação solar no Verão, e a necessidade de receber radiação solar no Inverno, diminuindo assim a necessidade de aquecimento e arrefecimento mecânico do edifício. Para tal, os sombreamentos deverão ser concebidos de acordo com a orientação das fachadas, a dimensão dos envidraçados, e as condições específicas da latitude nomeadamente no angulo de incidência da radiação solar, sendo que no Verão este angulo é mais elevado que no Inverno, como se pode observar na Figura 27.

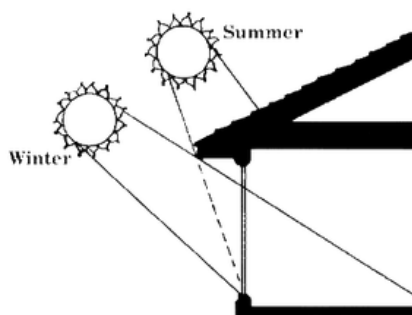


Figura 27 - Radiação solar sobre a fachada. Fonte: [35]

No entanto, os sombreamentos não deverão ser concebidos apenas para controlo dos fluxos de energia térmica pela envolvente. Outro factor importante no dimensionamento de sombreamentos é a iluminação natural, sendo que deve-se ter em conta que quando se evita a incidência de radiação solar num vão envidraçado, ao mesmo tempo reduz-se a iluminação natural do espaço interior o que poderá resultar no gasto de energia para iluminação deste espaço, sendo assim importante um equilíbrio entre os factores de protecção solar e de iluminação natural [60].

Os sombreamentos podem subdividir-se em sombreamento exterior e interior, e sombreamentos fixos ou móveis. Os sombreamentos pelo interior são menos eficazes visto que não impedem a entrada do calor no espaço interior, mas por outro lado são sistemas eficientes no controlo de luminosidade. Já o sombreamento exterior é mais eficaz em termos térmicos pois intercepta os raios solares antes destes chegarem aos envidraçados ajudando assim na redução de ganhos de calor que pode ir até aos 80% [60].

Os sombreamentos fixos são dispositivos que depois de integrados no edifício, não podem ser movidos ou controlados de acordo com a radiação solar. Por este motivo este tipo de sombreamento poderá apresentar alguma dificuldade na concepção pois, se por exemplo, forem concebidos para sombrear completamente um vão envidraçado em Agosto, tal poderá ter como consequência um sombreamento parcial do envidraçado em meses nos quais se requer a entrada de radiação para aquecimento passivo, sendo então dispositivos cuja eficiência pode variar de estação para estação [61]. Os sombreamentos fixos poderão ser palas na horizontal colocadas sobre os vãos envidraçados, palas na vertical colocadas lateralmente ao vão envidraçado ou então poderão ser lamelas na vertical ou horizontal ou malhas metálicas colocadas em frente ao envidraçado [60] [62]. Os sombreamentos horizontais fixos são mais vantajosos na protecção de envidraçados da fachada sul devido ao elevado ângulo de incidência da radiação solar. Já os sombreamentos laterais fixos oferecem maior vantagem quando instalados nas fachadas Este e Oeste pois a posição do sol é mais baixa [60]. Na Figura 28 apresentam-se exemplos de sombreamento fixo.



Figura 28 - Sombreamento fixo horizontal (à esquerda), lateral e frontal (à direita). Fonte: [63] [64]

Os dispositivos de sombreamento móveis poderão apresentar uma boa eficácia durante todo o ano. São dispositivos que poderão ser controlados manualmente ou automaticamente no sentido de evitar a incidência directa da radiação solar no envidraçado e ao mesmo tempo de controlar a luminosidade. Os dispositivos de sombreamento manual permitem um controlo personalizado de acordo com a preferência de cada indivíduo em relação à temperatura e luminosidade ideal para trabalhar no interior do edifício. O sombreamento automático é obtido através de dispositivos mecânicos que analisam e ajustam o sombreamento de acordo com o tempo, a temperatura interior ou outras necessidades programadas [62].

Como exemplo de dispositivos móveis de sombreamento existem as portadas, os toldos retrácteis, os estores de lâminas ajustáveis, as cortinas ou as venezianas entre outros [60].

Para além destes dispositivos de sombreamento, existem ainda envidraçados com propriedades que permitem controlar a entrada da radiação solar e a iluminação natural. Este tipo de envidraçado é normalmente constituído por dois vidros de baixa emissividade e uma caixa-de-ar isolante no interior, com elementos que propiciam um equilíbrio na interacção luz e sombra [60].

3.3 Paredes interiores

As paredes interiores surgem como elementos construtivos que de acordo com a sua massa térmica, apresentam maior ou menor potencial para absorver parte de energia térmica que entra no edifício, libertando esta em períodos nocturnos e contribuindo assim para um maior conforto térmico dos espaços interiores ao longo de todo o dia. No âmbito das paredes interiores serão abordados os materiais mudança de fase (PCM).

3.3.1 Materiais mudança de fase.

Os materiais “mudança de fase” começam a ser muito apreciados devido à sua capacidade de armazenar e transmitir a energia solar térmica conferindo um efeito termo regulador aos espaços interiores, e também à sua capacidade de incorporação em diversos produtos [65].

Os PCMs (phase change materials) podem ser incorporados em materiais convencionais tais como gesso cartonado resultando assim no aumento da inércia térmica de materiais leves. De acordo com [66], a elevada capacidade térmica deste material permite comparar a resistência térmica entre uma placa de gesso cartonado de 15mm e uma peça de betão de 90mm, dependendo das propriedades e do conteúdo em PCM utilizado. O princípio de funcionamento deste material consiste na mudança de fase do estado sólido para o estado líquido absorvendo a energia da radiação solar, que depois é libertado quando a temperatura diminui, correspondendo à mudança de fase do estado líquido para o estado sólido [65].

Ensaio realizados sobre uma argamassa de cal aérea com PCM mostram que uma composição desta argamassa com 20% e 30% de PCM apresenta um comportamento térmico melhorado (Figura 29), no qual é possível verificar a redução na amplitude

térmica e um atraso relativamente à curva da argamassa sem PCM, ou seja, na argamassa com PCM demora mais tempo a atingir o ponto máximo e mínimo durante o aquecimento e arrefecimento respectivamente, sendo que a temperatura máxima atingida é inferior e a temperatura mínima é superior [67].

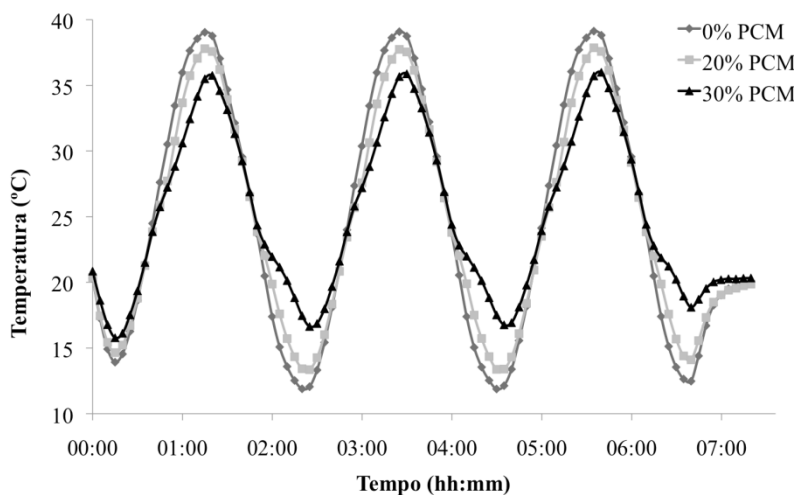


Figura 29 - Curvas de temperatura nos ensaios de argamassa de cal com PCM. Fonte: [67]

É possível verificar também que quando a temperatura se situa na zona de conforto, as argamassas estão todas à mesma temperatura, uma vez que o PCM não actua para estas temperaturas. Só quando a temperatura se afasta da zona de conforto térmico é que se observa o efeito de armazenamento de calor (aquecimento), e a libertação de calor (arrefecimento) [67].

3.4 Iluminação natural

A iluminação natural é fundamental para a redução do consumo de energia relacionada com a iluminação artificial de espaços interiores durante o dia, sem pôr em causa as condições de luminosidade essenciais para os ocupantes do edifício. Esta redução de energia poderá chegar a um terço do custo total de energia no edifício [68]. A luz natural pode ser mais eficiente, pois providencia mais luz para menos calor que a luz artificial; como consequência a iluminação natural reduz a necessidade de arrefecimento no edifício [69].

Para uma boa iluminação natural no edifício é importante a conjugação de várias técnicas na fase de projecto do edifício, tais como [68]:

- A forma e orientação do edifício, sendo que a fachada Sul é a que proporciona mais iluminação para o edifício;

- Incorporação de clarabóias, que permitem a obtenção de luz natural a partir da cobertura sem que implique ganhos excessivos de calor;
- As propriedades dos envidraçados, dando preferência aos envidraçados de alto desempenho que favorecem a entrada de luz natural ao mesmo tempo que constituem uma barreira eficaz ao fluxo de calor;
- As dimensões dos envidraçados, sabendo que a profundidade de penetração da luz natural é de cerca de duas vezes e meia a distância entre a parte superior da janela e o peitoril;
- O sombreamento que, como já foi visto, é muito importante na minimização da quantidade de radiação que entra directamente no espaço interior, servindo também para redireccionar a luz natural e reduzir a intensidade do brilho.

No entanto existem sistemas inovadores de iluminação natural que são capazes de iluminar zonas no interior de grandes edifícios, o que não seria possível através das estratégias mais simples atrás referidas. Estes sistemas de iluminação são: o sistema de guia de luz e o sistema de transporte de luz [69].

Os sistemas de guia de luz enviam a luz natural directa ou difusa sem provocar brilho intenso ou sobreaquecimento. A Figura 30 representa as diferentes formas de sistemas de guia de luz.

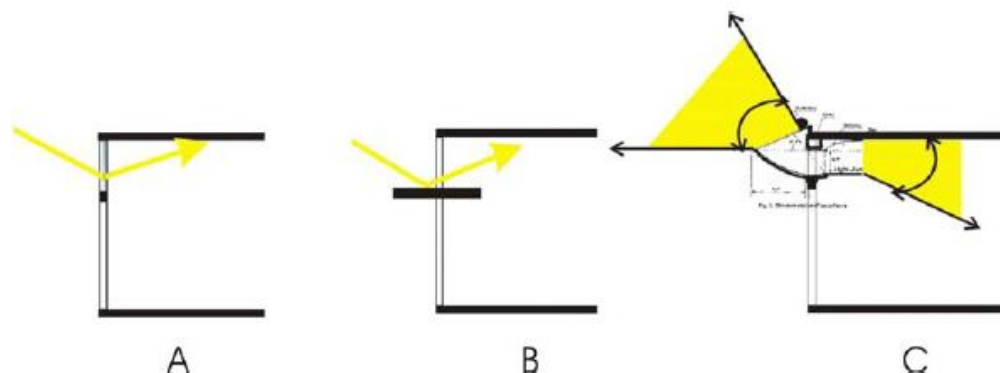


Figura 30 - Sistemas guia de luz. A) Elemento vertical. B) Elemento horizontal. C) Colector parabólico. Fonte: [69]

Os elementos verticais consistem em elementos acrílicos ou películas poliméricas entre dois vidros que redireccionam a luz para o interior do espaço por meio de reflexão e refração, podendo a iluminação alcançar uma profundidade de 10 m. Os elementos horizontais poderão ser os elementos usados no sombreamento de um envidraçado inferior tendo como principal função a protecção contra o brilho intenso. No entanto estes também redireccionam a luz do sol através de um envidraçado superior, para o interior do

edifício sendo que o seu melhor desempenho corresponde a distâncias de cerca de 3 m a 5 m e varia de acordo com as estações devido ao seu carácter estático e à variação da inclinação dos raios solares durante o ano. O colector parabólico é revestido no interior por material reflector que ajuda a redireccionar a luz natural de uma série específica de ângulos, para o interior do edifício podendo alcançar profundidades até 6 m [69].

Os sistemas de transporte de luz têm capacidade de direccionar a luz solar até profundidades superiores a 10 m no interior do edifício, onde não seria possível a sua iluminação através das técnicas referidas atrás [69]. A luz do sol e a luz do dia normal são conduzidas por um tubo de alumínio com revestimento interior espelhado de prata. O sistema possui uma cúpula no topo da cobertura que veda o tubo de luz contra a entrada de poeiras e maximiza a entrada de luz natural para o tubo, filtrando os raios ultra violetas (UV) [70].

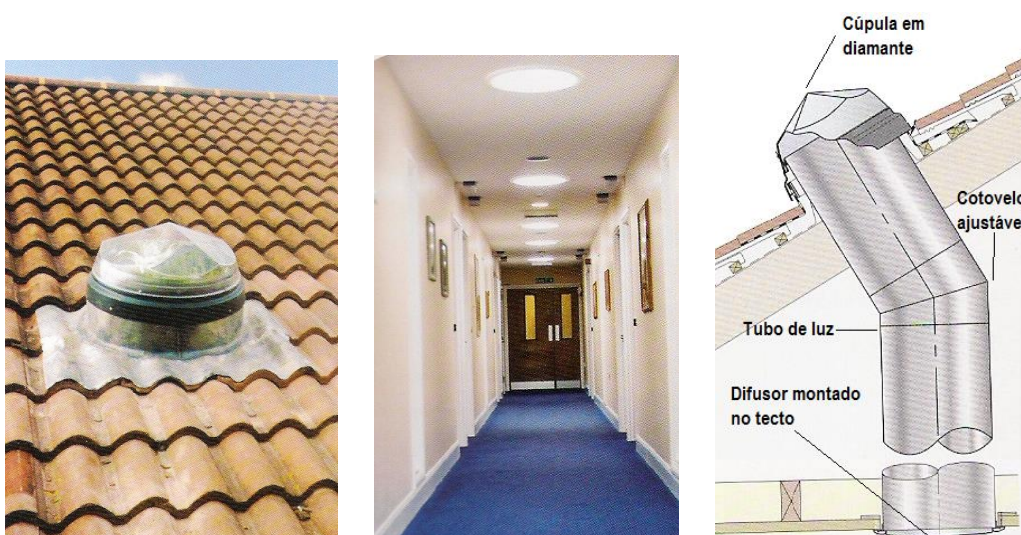


Figura 31 - Sistema de transporte de luz: Cúpula instalada num telhado (à direita). Efeito da iluminação natural (ao centro). Esquema geral do sistema de transporte de luz. Fonte: [70].

3.5 Iluminação artificial

Para além de representar uma grande percentagem do consumo de electricidade de um edifício de serviços (33%), a iluminação artificial também implica um maior gasto em energia para arrefecimento devido às cargas térmicas que fornece ao edifício, sendo então evidente que a melhoria de eficiência energética num edifício passa obrigatoriamente por uma iluminação eficiente.

No mercado é possível encontrar lâmpadas eficientes tais como lâmpadas fluorescentes de alto rendimento com balastro electrónico (T5HE) e os LED's (díodo emissor de luz). As lâmpadas fluorescentes T5HE apresentam um diâmetro reduzido (16 mm) em relação a

outras lâmpadas fluorescentes, permitindo assim redução do tamanho de armaduras, um melhor controlo do feixe luminoso e um aumento do rendimento luminoso que pode ultrapassar os 100 Lm/W. As lâmpadas fluorescentes T5HE proporcionam uma economia significativa de consumo de electricidade em relação às lâmpadas T8 e T10/T12 de cerca de 20% e 40% respectivamente [71].

No entanto a tecnologia LED é actualmente a mais eficiente para iluminação em edifícios. As lâmpadas com esta tecnologia têm a grande vantagem de serem mais económicas do ponto de vista do consumo de electricidade podendo representar uma poupança de 80% relativamente às lâmpadas incandescentes. O tempo de vida útil de uma boa lâmpada LED pode situar-se entre 8 a 10 anos. Algumas empresas anunciam a comercialização de lâmpadas LED que podem ter uma duração média de 20 anos. Outro aspecto importante destas lâmpadas, como contributo para a eficiência energética é o facto de não haver praticamente libertação de calor visto que quase toda a energia fornecida às lâmpadas é gasta na iluminação [72]. O custo das lâmpadas LED continua a ser elevado face às outras opções apresentadas.

3.6 Sistema de iluminação DALI (Digital Addressable Lighting Interface)

O sistema de iluminação DALI é um sistema que conjuga a luz natural e artificial de forma a manter o nível de iluminação desejado e a poupar energia. Para tal, este sistema recorre a sensores de luz que enviam informação para a unidade central do sistema, sendo depois enviadas mensagens individuais aos balastos acerca de quanto necessitam de reduzir ou aumentar a intensidade de luz por forma a manter o nível de iluminação pré definido para determinado espaço. Assim, se a quantidade de luz natural que entra no espaço for suficiente, de acordo com a pré definição estabelecida, o sensor remete a informação para a unidade central e esta ordena aos balastos para reduzirem a intensidade luminosa até ao mínimo [73].

Também existem sensores que enviam informação sobre a ocupação dos espaços. A unidade central recebe esta informação e envia mensagens individuais para os balastos com ordem para desligar os aparelhos de iluminação caso os respectivos sensores não detectem ocupação nos espaços [73].

Diversas opções adicionais existem para estes sistemas com o objectivo de melhorar ainda mais o seu desempenho, como por exemplo a utilização de sombreamentos móveis no envidraçado que são automaticamente controláveis pelo sistema com a ajuda dos sensores de luz. Assim para os períodos do dia em que a posição do sol proporciona

um brilho intenso, o sombreamento pode ser programado para minimizar a incidência dos raios solares sobre o envidraçado. O sistema DALI apresenta um potencial de redução do consumo de energia em 30-60% [73].

3.7 Sistemas passivos de aquecimento

Os sistemas de aquecimento passivo são parte integrante da estrutura construtiva de um edifício, tendo como objectivo a maximização dos ganhos solares de forma a compensar as perdas de calor no Inverno sem recorrer a meios mecânicos de climatização, minimizando assim o consumo de energia para aquecimento, nos edifícios.

Nos sistemas de aquecimento passivo existem dois parâmetros essenciais que são: a eficiência (quantidade de energia de incidência que é retida), e o atraso (tempo que demora a ocorrer a libertação de energia após o seu armazenamento) [74].

De seguida serão apresentados os diferentes sistemas de aquecimento passivo, que podem ser classificados como sistemas de ganho directo, sistemas de ganho indirecto e sistemas de ganho isolado.

3.7.1 Ganho directo

Este tipo de sistema consiste na entrada directa da radiação solar no edifício através dos envidraçados que deverão ser bem orientados por forma a possibilitar a incidência dos raios solares nos espaços e nos elementos construtivos com inércia térmica. A radiação absorvida pelos elementos com inércia térmica (paredes interiores e pavimentos) é transformada em energia térmica e posteriormente transferida para o espaço interior por radiação e convecção. Desta forma os elementos com massa térmica funcionam como reguladores da temperatura interior, absorvendo o calor durante o dia e devolvendo-o durante a noite quando a temperatura desce, atenuando as amplitudes térmicas [34]. Para uma boa eficácia deste sistema é necessário a conjugação de vários factores já anteriormente referidos, tais como a orientação do edifício, o isolamento térmico, os vãos envidraçados e o sombreamento.

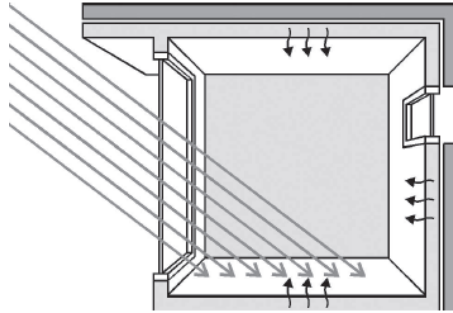


Figura 32 - Sistema de ganho directo. Fonte: [34]

Estes tipos de sistemas apresentam algumas vantagens tais como [74] [75]:

- A eficiência máxima na retenção de calor;
- Baixo custo construtivo em relação a outros sistemas;
- Uma boa iluminação natural através dos grandes vãos envidraçados.

No entanto também apresenta algumas desvantagens tais como:

- A possível degradação e descoloração dos materiais interiores devido à radiação directa;
- Atraso mínimo na transferência de calor podendo provocar maiores amplitudes térmicas e assimetrias no interior do edifício [74] [75].

3.7.2 Ganho indirecto. Parede de Trombe

Os ganhos indirectos dão-se por intermédio de um elemento construtivo com elevada inércia térmica que é colocado entre a superfície de incidência da radiação solar e o espaço a aquecer. A radiação absorvida por estes elementos é transformada em energia térmica que é transferida para o interior do edifício imediatamente ou desfasadamente, de acordo com a estratégia desejada [34].

Este sistema possui diversas vantagens tais como [75]:

- Proporcionam calor durante o dia por convecção de ar quente, e durante a noite por radiação da energia armazenada nos elementos de massa térmica;
- Permitem um melhor controlo sobre a quantidade de calor cedida ao ambiente interior, evitando assim sobreaquecimentos;
- Para além de aquecer no Inverno, poderão arrefecer no Verão;

- Evitam o problema da degradação dos materiais interiores devido à incidência directa da radiação solar.

No entanto também apresentam algumas desvantagens tais como [75]:

- Elevadas perdas térmicas durante a noite;
- Dificil instalação e manutenção do isolamento térmico em alguns casos;
- Retiram espaço na envolvente que poderia ser utilizada para aproveitamento de iluminação natural.

A parede de Trombe clássica é constituída por um vão envidraçado orientado a Sul com uma parede maciça no interior de espessura variável entre os 10 cm e os 30 cm. Entre estes dois elementos existe um espaço de ar onde se acumulam temperaturas elevadas (30-60°C) devido ao efeito estufa provocado pelo vidro, sendo que o calor poderá ser transferido por condução pela parede ou por convecção através de aberturas na parede. Caso a estratégia de transferência de calor desejada seja a de transferência imediata, são executadas aberturas na zona inferior e superior da parede que permitem que o calor retido entre o vidro e a parede seja imediatamente transferido por ventilação através dos furos superiores (Figura 33). Para o período nocturno é aconselhada a possibilidade de bloquear as aberturas através de dispositivos de isolamento, por forma a evitar perdas de calor [34]. Assim dá-se apenas a transferência por condução do calor armazenado na parede durante o dia. No caso de não se pretender transferência imediata de calor, evita-se a realização de aberturas, e o calor retido no espaço entre o vidro e a parede será gradualmente absorvido pela parede, e por condução será transmitido ao ambiente interior. Esta técnica permite o armazenamento de calor que será transmitido no período nocturno resultando assim na diminuição da amplitude térmica diária no interior [34].



Figura 33 - Parede de Trombe com ventilação (à esquerda) e sem ventilação (à direita) no Inverno.
Fonte: adaptado de [34]

Outras adaptações poderão ser executadas na parede de Trombe com vista a melhorar o desempenho desta, para as diversas estações do ano. Por exemplo, para o Verão a abertura na parte superior do envidraçado e na parte inferior da parede (Figura 34)

associado a aberturas na fachada norte, permite a ventilação natural e a extracção de ar quente para o exterior pela parede de Trombe. Já no período nocturno devem-se manter as aberturas da parede fechadas, e as aberturas do envidraçado abertas, permitindo assim a ventilação da caixa-de-ar e eliminando o calor absorvido durante o dia na parede de armazenamento [34].



Figura 34- Parede de Trombe durante o dia (esquerda) e durante a noite (direita) no Verão. Fonte: adaptado de [34]

Com o objectivo de melhorar o desempenho da parede de Trombe clássica, foram integrados novos materiais neste sistema, formando assim novos tipos de paredes de Trombe com melhor desempenho térmico, nomeadamente:

- Parede de Trombe-Michel composta, onde é aplicado uma parede de isolamento térmico com revestimento pelo interior da parede maciça e com um espaçamento entre estes dois elementos, sendo este espaço ventilado através de aberturas na zona superior e inferior da parede de isolamento térmico e revestimento interior [76];
- Parede de Trombe com PCM, com funcionamento semelhante à parede clássica no entanto a parede de armazenamento em vez de ser uma parede densa de grande inércia térmica, é uma parede de menor espessura constituída por material mais leve e com incorporação de PCM, conferindo assim desempenho térmico modelado ao sistema [77];
- Parede de Trombe com isolamento transparente, também idêntica à parede clássica no entanto a diferença reside na superfície exterior que neste caso será um material de isolamento transparente protegido por vidro ou plástico resistente, sendo dispensada a caixa-de-ar [75];
- Parede de Trombe em malha, em que a parede de armazenamento é constituída por blocos de betão com aberturas uniformemente distribuídas por toda a parede contribuindo para um fluxo de calor irregular [78];
- Parede de Trombe fotovoltaica, que apresenta um painel de vidro com células fotovoltaicas, parede maciça com superfície pintada de negro e quatro aberturas

para circulação de ar, semelhantes às descritas na parede clássica. Este sistema tem como grande vantagem a produção de electricidade através do painel fotovoltaico enquanto ao mesmo tempo permite o aquecimento passivo [79].

3.7.3 Ganho isolado

Nos sistemas de ganho isolado a captação dos ganhos solares é efectuada num compartimento anexo, onde o calor é armazenado e depois transferido para o interior do edifício através de uma parede de separação. As estufas e os colectores de ar são exemplos deste tipo de sistemas.

3.7.3.1 Estufa

Consiste num espaço exterior ao edifício com superfícies envidraçadas orientadas a Sul que recebem directamente a radiação solar provocando um efeito de estufa no interior deste espaço, sendo que o calor retido é transferido por condução para o espaço a aquecer, através de uma parede de armazenamento que divide a estufa e o edifício. Poderão ser realizadas aberturas na parede permitindo que o calor seja transferido também por convecção [34].

Durante o Inverno os envidraçados da estufa deverão ser isolados com um estore que proporcione um bom isolamento térmico de forma a minimizar as perdas de calor. Por forma a evitar o sobreaquecimento no Verão, as orientações a Este e Oeste deverão ser minimizadas devido à grande incidência de radiação solar que sofrem nesta estação, enquanto no Inverno não proporcionam ganhos significativos [75].

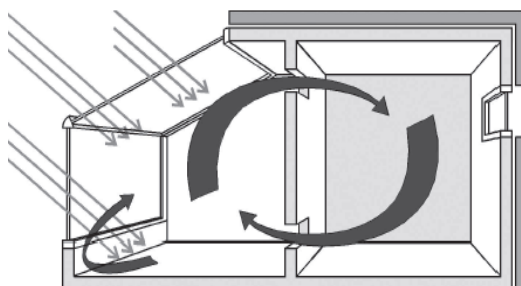


Figura 35 - Estufa. Fonte: [34]

3.7.3.2 Colectores de ar

É um sistema semelhante à parede de Trombe com o envidraçado devidamente orientado a sul, o canal de ar e as aberturas para ventilação, no entanto a parede não possui qualquer capacidade de armazenamento térmico resultando assim em

transferências de calor unicamente por convecção. Este sistema permite a ventilação dos espaços interiores durante todo o ano proporcionando a entrada de ar quente no Inverno e extracção de ar quente para o exterior no Verão, como se pode observar na Figura 36.

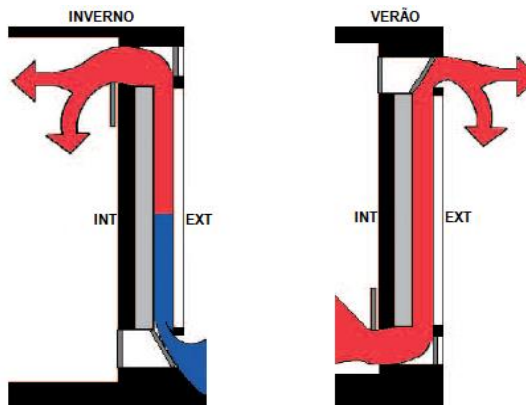


Figura 36 - Funcionamento de colectores de ar para Inverno e Verão. [34]

3.8 Sistemas passivos de arrefecimento

Os sistemas passivos consistem na utilização de fontes frias de forma a diminuir a temperatura no interior do edifício. Estas fontes frias poderão ser, por exemplo, o próprio solo que apresenta temperaturas inferiores às temperaturas do ar exterior no Verão, e o ar exterior que durante a noite e a manhã apresenta temperaturas inferiores à temperatura interior do edifício [34].

Neste tipo de sistemas são adoptadas estratégias de dissipação do calor. No entanto também são fundamentais as estratégias de prevenção dos ganhos de calor sendo para tal importante os factores já anteriormente abordados tais como, os envidraçados, o sombreamento, o isolamento térmico e/ou reflectivo, a massa térmica e mesmo a iluminação natural e artificial, que contribuem todos para a diminuição da carga térmica de arrefecimento. As estratégias de dissipação de calor dependem da existência das fontes frias já anteriormente referidas e das diferenças de temperaturas que permitam dar origem a processos de transferência significativas [34].

As estratégias de dissipação de energia são a ventilação natural, arrefecimento pelo solo e arrefecimento evaporativo.

3.8.1 Ventilação natural

A ventilação natural faz uso da acção do vento e das diferenças de temperatura ou de humidade no interior e exterior do edifício, por forma a criar uma troca de ar entre o

interior e o exterior possibilitando assim a renovação de ar do edifício e o seu arrefecimento natural, que pode levar a poupanças de entre 10 a 30% do consumo total de energia no edifício.

No entanto, para uma boa ventilação natural é necessário uma boa concepção do edifício, tendo em conta a direcção dos ventos dominantes para um correcto posicionamento e dimensionamento das aberturas. A ventilação pela acção do vento ocorre devido a uma pressão positiva sobre o lado barlavento e uma pressão negativa sobre o lado sotavento provocando assim a entrada de ar fresco pelo lado barlavento e saída de ar quente pelo lado sotavento por forma a equilibrar as pressões. Deste modo a concepção do edifício deverá ser efectuada para que [34] [80]:

- A cumeeira esteja na perpendicular aos ventos dominantes de forma a maximizar a ventilação por acção do vento no edifício;
- Se evitem obstruções entre a entrada e saída de ar, sendo que a ventilação entre estas duas aberturas não deve ser directa por forma a permitir uma maior ventilação pelos espaços interiores;
- No caso de um espaço em que a ventilação só poderá ser efectuada em um alçado colocar as aberturas afastadas;
- Os edifícios não deverão ser muito largos, já que se estima que a ventilação natural poderá ser garantida até uma largura de cerca de 14 metros;
- As portas possam estar abertas para permitir a ventilação de todo o edifício. Caso a privacidade seja necessária, as portas deverão ter grelhas na parte superior que permitem a passagem de ar.

No que diz respeito à ventilação provocada pela diferença de temperaturas (flutuação de temperatura), esta resulta do facto de o ar quente ser mais leve que o ar frio provocando assim a subida do ar quente que escapa por aberturas superiores do edifício enquanto o ar fresco entra por aberturas em zonas inferiores do edifício. No entanto, o ar quente só consegue sair do edifício caso as temperaturas no exterior sejam inferiores à temperatura do interior. Por este motivo no clima Mediterrânico a ventilação é feita preferencialmente durante o período nocturno e início da manhã quando a temperatura exterior é inferior à temperatura interior. Uma solução que permitiria a ventilação diurna poderia ser através da colocação de envidraçados na zona superior de uma chaminé (chaminé solar) permitindo o aquecimento do ar devido à incidência da radiação solar, resultando assim na subida e saída de ar quente do edifício e a entrada de ar fresco pelas aberturas inferiores, como se pode observar na Figura 37 [80].

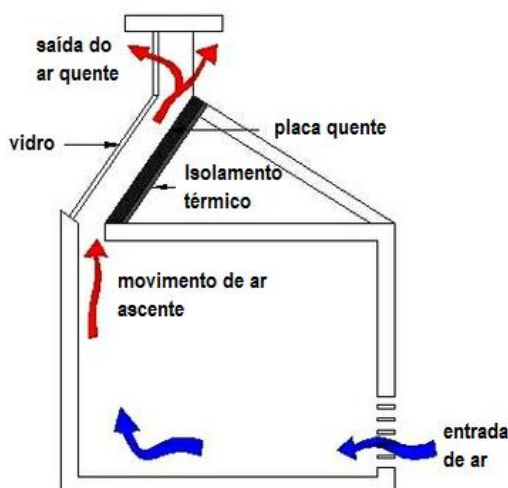


Figura 37 - Representação de uma chaminé solar. Fonte: cienciahoje.uol.com.br

Outra possibilidade de melhorar a ventilação natural do edifício é através dos *windcatchers* (cata-vento), que são dispositivos instalados na cobertura (Figura 38) que têm a capacidade de receber vento de qualquer direcção canalizando-o para o interior do edifício e ao mesmo tempo retirando o ar quente em virtude de uma pressão baixa criada a jusante do cata-vento. Para além de funcionarem através da velocidade e direcção do vento, estes dispositivos também funcionam com o efeito de flutuação da temperatura. No entanto, esta só apresenta influência significativa para baixas velocidades do fluxo de vento. Os cata-ventos podem possuir diversos tipos de secções e formas de forma a adaptarem-se a diversos tipos de arquitectura, no entanto vários estudos experimentais demonstram que a secção quadrada supera o desempenho de todos os outros tipos de secções [81].



Figura 38 - Windcatchers circular e quadrado. Fonte: [70]

Existem diversas inovações para este tipo de sistemas tais como a da Figura 39 que consiste na incorporação de uma ventoinha no interior, alimentada por painéis fotovoltaicos na parte superior do dispositivo cata-vento, que aumenta 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) [70].

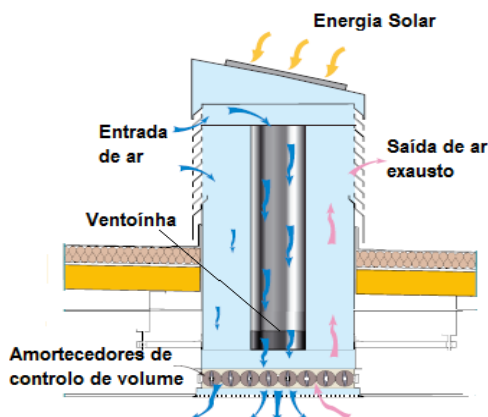


Figura 39 - Sistema windcatcher com ventoinha alimentada por painel fotovoltaico. Fonte: adaptado de [70]

Existem também sistemas que incorporam grelhas móveis no interior do dispositivo permitindo controlar a abertura da ventilação e providenciando assim caudais máximos de ventilação quando necessário [70].

Outra das possibilidades é a incorporação de sistemas de transporte de luz possibilitando assim ao mesmo tempo o efeito de ventilação e a iluminação natural.

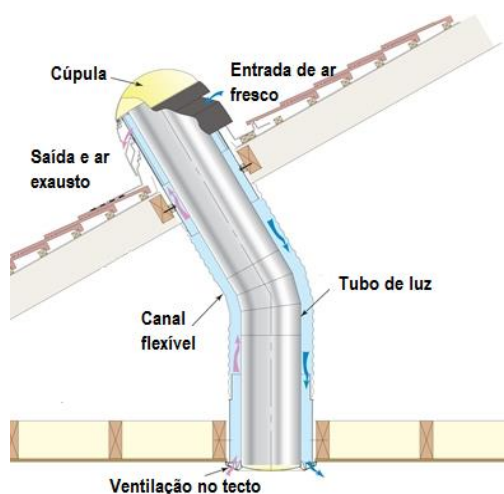


Figura 40 - Sistema simultâneo de ventilação e iluminação natural. Fonte: adaptado de [70]

Não deverá, no entanto, ser esquecido que, para que a ventilação natural seja viável, é fundamental a integração das medidas de protecção dos ganhos solares por forma a evitar uma elevada carga térmica no interior que provocará a necessidade de recorrer a meios mecânicos para a dissipação do calor em excesso

3.8.2 Arrefecimento pelo solo

Como já foi referido no sub capítulo 3.8, o solo constitui uma fonte fria visto apresentar temperaturas inferiores à do ar exterior durante o Verão, pelo que poderá ser aproveitado directa ou indirectamente para a dissipação do calor do edifício.

A dissipação directa resulta do facto de o solo fazer parte da envolvente do edifício, pela qual se realizam transferências de calor com o exterior por condução. Visto que o solo é uma fonte fria este vai ter tendência absorver o calor do interior do edifício e a transferi-lo para o exterior [34].

A dissipação indirecta pelo solo está associada à existência de condutas enterradas no solo com uma entrada à superfície do terreno e uma saída no interior do edifício, que permitem a ventilação de ar fresco para o interior do edifício devido às temperaturas mais baixas, no solo. A eficácia deste sistema depende da largura das condutas, da profundidade a que estão enterradas, da velocidade e temperatura do ar que circula nas condutas e das propriedades térmicas das condutas e do próprio solo [34]. A utilização combinada deste sistema com a chaminé solar permite uma maior rentabilidade do sistema de arrefecimento pelo solo durante os dias de Verão, pelo motivo já verificado no sub capítulo da ventilação natural, aumentando a ventilação do edifício sem recorrer a meios mecânicos. Na Figura 41 podemos ver o funcionamento esquemático destes dois sistemas em conjunto.

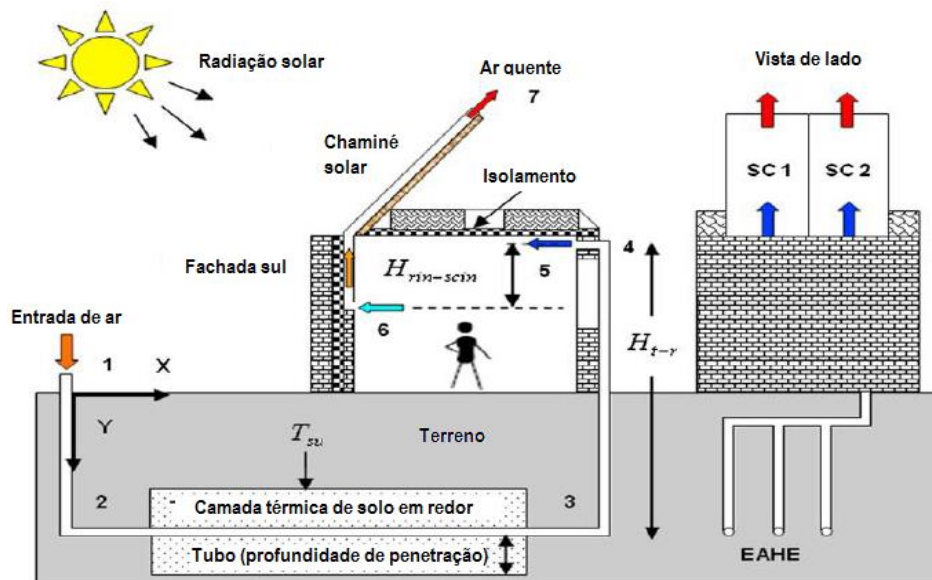


Figura 41 - Representação esquemática de um sistema integrado de arrefecimento pelo solo (EAHE) e chaminé solar. Fonte: adaptado de Maerefat e Haghighi, 2010.

3.8.3 Arrefecimento evaporativo

O arrefecimento evaporativo dá-se graças à passagem da água do estado líquido ao estado gasoso. Esta mudança de fase requer energia que é retirada ao ar, resultando no seu arrefecimento. Este tipo de arrefecimento pode ser directo quando se dá através de um aumento da percentagem de humidade no ar, antes de entrar para o edifício, ou indirecto quando o arrefecimento do ar não implica o aumento de humidade no ar [34].

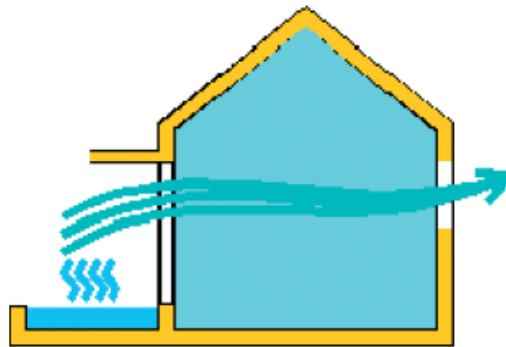


Figura 42 - Arrefecimento evaporativo. Fonte: [34]

Este tipo de arrefecimento está associado a construções com pátios que incluem pequenos lagos, fontes e piscinas que proporcionam o arrefecimento com a evaporação da água, existindo no entanto, outros métodos de arrefecimento evaporativo tal como o “roof-spraying” que consiste na projecção de água sobre um telhado inclinado, provocando uma cortina de ar fria na fachada do edifício que contribui para o arrefecimento. Outra estratégia de arrefecimento evaporativo são as torres de arrefecimento que poderão conter almofadas de água no topo, que arrefecem o ar. Visto que o ar frio é mais denso, este vai descer pela torre e entrar para o espaço a arrefecer, obrigando o ar quente a sair para o exterior por saídas devidamente localizadas para o efeito. Outra solução para as torres de arrefecimento pode ser a instalação de *sprays* na zona superior da torre que projectam a água que contribui para o arrefecimento [75] [82].

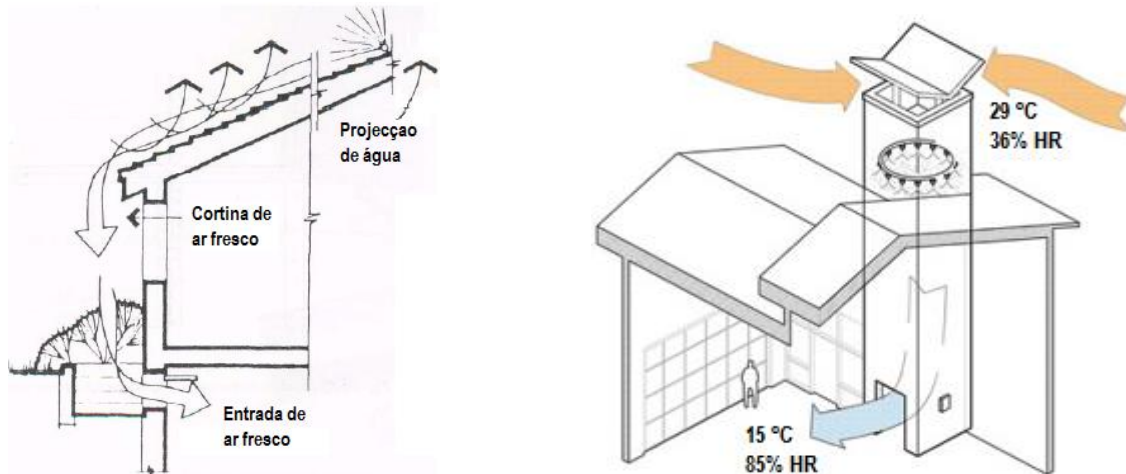


Figura 43 - Arrefecimento evaporativo por "roof-spraying" (esquerda) e por torre de arrefecimento (direita). Fonte: [83] [84]

3.8.4 Arrefecimento radiativo

O arrefecimento radiativo consiste na saída de calor por radiação para o exterior do edifício quando a temperatura no interior do edifício é superior à temperatura no exterior, sendo assim um processo com maior eficiência nos períodos nocturnos. Este tipo de sistema utiliza geralmente a cobertura como o elemento radiativo devido à grande exposição solar, que favorece as trocas radiativas. Um sistema baseado no arrefecimento radiativo consiste na instalação de um isolamento móvel na cobertura que só é activado durante o dia minimizando os ganhos de calor provenientes da radiação solar. Durante a noite o isolamento móvel é retirado possibilitando assim as perdas de calor para o exterior e conseqüente arrefecimento do espaço interior [34].

4. CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA DAS TECNOLOGIAS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA

As tecnologias para produção de energia nos edifícios, são sistemas activos fundamentais para a obtenção do balanço energético quase zero. A escolha do tipo de tecnologia a utilizar no edifício deve ser adequada ao consumo de energia mensal e anual previsto no edifício e à fonte de energia (solar, eólica, ou ambas) que oferece maior potencial de geração. Em Portugal existem ferramentas publicadas pelo Laboratório Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (LNETI), que permitem identificar os recursos potenciais em Portugal. Estas ferramentas são o SolTerm (energia solar), Eolos e o Atlas (energia eólica).

Estas tecnologias poderão ser aplicadas para a produção de electricidade, que poderá ser vendida na totalidade ou parcialmente à rede, ou na produção de calor para aquecimento de águas sanitárias e para aquecimento do ambiente interior.

4.1 Energia solar

As tecnologias para aproveitamento de energia do sol apresentam grande potencial pelo facto de o Sol constituir a maior fonte de energia no nosso planeta, e com menores impactos para o meio ambiente.

Na presente dissertação a energia solar tem sido vista até aqui como elemento fundamental na melhoria do conforto térmico e da iluminação natural do edifício, no entanto poderá também ser aproveitada para produção de energia eléctrica com painéis fotovoltaicos, e térmica, com os colectores solares.

4.1.1 Painel Fotovoltaico

Um painel fotovoltaico é um dispositivo capaz de transformar a energia solar directamente em electricidade. O painel fotovoltaico é composto por diversas células ligadas entre si, sendo cada célula composta por uma camada carregada positivamente e uma camada carregada negativamente, criando assim um campo eléctrico. Os fotões que compõem a radiação solar, ao incidirem no painel fotovoltaico provocam a libertação de electrões pelos átomos das células fotovoltaicas, electrões que produzem uma corrente eléctrica que poderá ser aproveitada [85].

De acordo com a Figura 44, os sistemas fotovoltaicos são geralmente compostos pelo painel solar, a bateria, o controlador de carga, o conversor CC/CA, o gerador e os

aparelhos eléctricos. O funcionamento deste sistema consiste na produção de energia eléctrica pelo painel solar, que é armazenada pela bateria, sendo a sua carga controlada pelo controlador de carga. O conversor encarrega-se de transformar a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) possibilitando o consumo da energia pelos aparelhos eléctricos. Estes sistemas são ligados directamente à corrente eléctrica onde injectam parte ou a totalidade da energia eléctrica produzida [85].

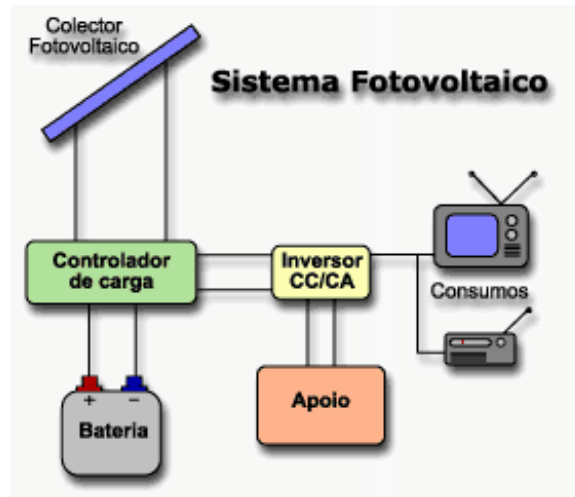


Figura 44 - Constituição de um sistema solar fotovoltaico. Fonte: www.energiasrenovaveis.com

Segundo Isolani estes sistemas apresentam um grande número de vantagens [86]:

- Permitem montagens simples e adaptáveis a várias necessidades energéticas;
- Possibilitam o armazenamento da energia gerada durante o dia em baterias, para aproveitamento no período nocturno;
- A manutenção é pouco expressiva;
- A tecnologia é não poluente, é silenciosa e não perturba o ambiente.

Por outro lado, Isolani também enumera algumas desvantagens [86]:

- Custo de investimento elevado devido à necessidade de tecnologia muito sofisticada na produção dos módulos fotovoltaicos;
- O rendimento real de conversão de um módulo é reduzido face ao custo do investimento;
- Os geradores fotovoltaicos raramente são competitivos do ponto de vista económico em relação a outros geradores como o gerador a gás, à excepção de casos com necessidades reduzidas de energia em locais isolados ou de grande preocupação ambiental;

- O armazenamento de energia em baterias torna o investimento mais elevado.

Para que uma entidade particular seja microprodutora, o seu sistema de produção deverá estar ligado à rede e deverá possuir um contrato de compra e venda de energia. A potência máxima de ligação destes sistemas à rede tem como limite 3,68 kW, e não deve ultrapassar metade da potência contratada. A energia produzida pode ser vendida à rede de acordo com regimes remuneratórios que podem ser [87]:

- Regime geral, em que a energia produzida é remunerada de acordo com as condições de mercado existentes, sendo que o preço de venda de energia à rede pública é igual ao preço de compra. O preço da energia por kWh é definido pela Entidade Reguladora do Sector Energético (ERSE);
- Regime bonificado, em que a energia produzida é remunerada de acordo com as condições de referência do mercado à data e emissão do certificado de exploração.

Para que um produtor consiga beneficiar do regime bonificado terá que cumprir com os requisitos e potência instalada já referidos anteriormente e deverá possuir 2 m² de colectores solares térmicos ou caldeira de biomassa com produção anual de energia térmica equivalente. Os contratos com a empresa produtora e distribuidora EDP em 2013 são celebrados por 15 anos, em que nos primeiros 8 anos a tarifa é de 0,272 €/kWh e nos restantes 7 anos a tarifa é de 0,15 €/kWh. Após os 15 anos a tarifa aplicada passa a ser a mesma do regime geral [87].

4.1.2 Colector solar Térmico

Um colector solar térmico, é um painel que converte a energia solar em energia térmica que será depois aproveitada para aquecimento de águas sanitárias e climatização do ambiente interior. Os principais tipos de colectores solares térmicos são o colector plano e o colector CPC (compound parabolic collector), ambos constituídos por uma caixa com um vidro, um absorvedor com propriedades selectivas que permite absorver muita energia e emitir pouca, e um isolamento térmico. O funcionamento do colector plano consiste na transformação da radiação solar em energia térmica quando a radiação incide no absorvedor, resultando num efeito de estufa dentro do colector. O princípio do colector CPC é o mesmo, no entanto apresenta algumas variações na sua constituição, nomeadamente no absorvedor que apresenta uma área menor, um formato diferente, e é revestido duplamente com uma superfície selectiva. Possui também um espelho em forma parabólica que reflecte os raios concentrando-os todos no absorvedor. Estas

características conduzem o colector CPC a um melhor rendimento que o colector plano [85]. Na Figura 45 estão representados os dois sistemas solar térmicos.

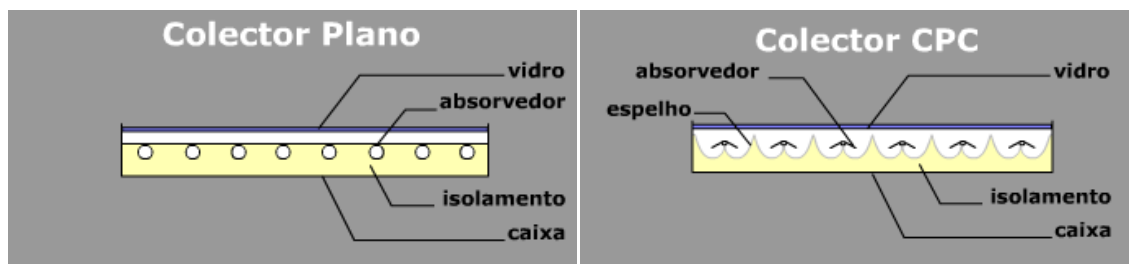


Figura 45 - Constituição dos sistemas solar térmicos Plano e CPC. Fonte: www.energiasrenovaveis.com.

Nos tubos dos colectores, circula um fluido térmico que retira o calor absorvido no colector e o transporta até um depósito onde se dá o aquecimento da água. Como se pode ver na Figura 46, este depósito poderá estar integrado no topo do painel no caso de sistemas termossifão ou então poderá estar isolado do painel, normalmente dentro do edifício no caso de sistemas de circulação forçada.

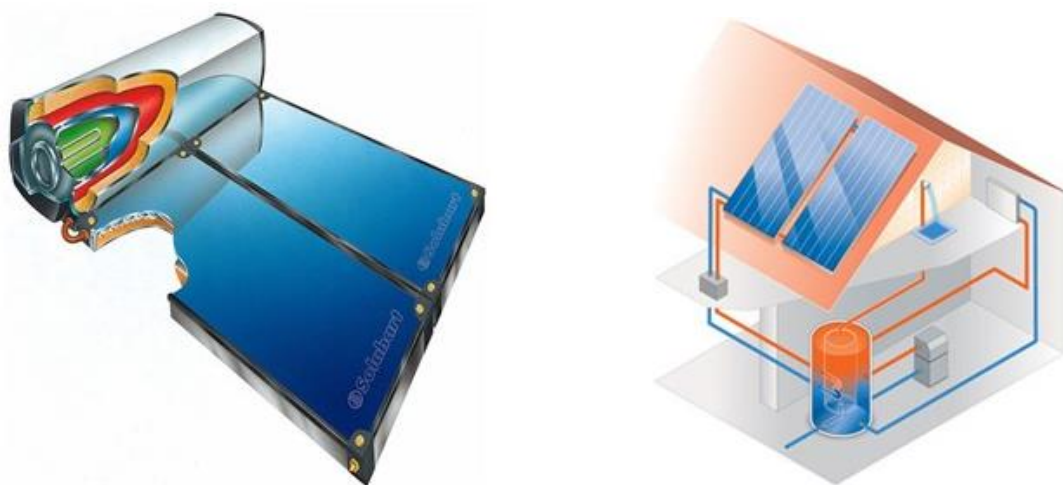


Figura 46 - Sistema termossifão (à esquerda), sistema circulação forçada (à direita). Fonte: www.enat.pt

Nos sistemas de termossifão, a circulação de água baseia-se na diferença de densidade entre a água fria e água aquecida, pelo que os painéis deverão ter uma inclinação mínima e o depósito deverá ser colocado no topo. Nos sistemas de circulação forçada o depósito é instalado no interior do edifício ou noutro local protegido e recorre a uma bomba de circulação para que o fluido solar circule entre o painel e a serpentina do depósito permitindo assim o aquecimento da água. Ambos os sistemas são dotados de um apoio energético localizado junto ao depósito que consiste usualmente numa

resistência eléctrica. No caso do sistema de circulação forçada o apoio energético poderá ser ainda um recuperador de calor, uma caldeira ou esquentador [88].

Para se tirar o máximo partido destes sistemas, deve-se ter em conta o seguinte [86]:

- Orientar os colectores a Sul ou, se isto não for possível serem rodados a 45 graus, no máximo para Este ou Oeste;
- O ângulo dos colectores relativamente à linha horizontal deve ser o correspondente à latitude do local: também são aceitáveis ângulos mais baixos para objectivos arquitecturais específicos e para colectores usados apenas no Verão. Em caso de maior utilização durante o Inverno – nomeadamente para fins de aquecimento - recomenda-se um ângulo mais elevado;
- As tubagens devem ser isoladas de forma adequada para evitar perdas de calor desde o colector até ao ponto de utilização;
- Os colectores deverão ser facilmente acessíveis por forma a possibilitar a limpeza destes.

4.2 Energia eólica

A energia eólica resulta do aproveitamento da energia cinética do vento que é transformada em energia eléctrica através de uma turbina. O princípio de funcionamento deste sistema consiste na incidência do vento sobre as pás de uma turbina provocando a rotação das pás da turbina e consequentemente a rotação de um eixo gerando assim energia mecânica. A rotação do eixo põe em funcionamento o gerador que transforma a energia mecânica em energia eléctrica.

Estes tipos de sistemas dividem-se em turbinas de eixo horizontal e de eixo vertical (Figura 47). Os sistemas de eixo horizontal apresentam como grandes vantagens a sua maior eficiência (entre 20 e 40%) quando instalados num local com boas condições de vento, e o facto de as torres serem escaláveis. Porém, apresenta algumas desvantagens em relação aos eixos verticais, tais como o elevado ruído, maiores vibrações e pior desempenho em meio urbano. Por outro lado as tecnologias de sistema vertical são menos ruidosas que as horizontais e recebem o vento de qualquer direcção, sendo no entanto menos eficientes (entre 10 e 20%) [89].



Figura 47 - Energia eólica: Sistemas de eixo horizontal (à esquerda) e vertical (à direita). Fonte: [89]

A aplicação destes sistemas em edifícios dá-se através de pequenas turbinas com menos de 5kW. No entanto estes sistemas são aconselhados unicamente para regiões que possuem vento com velocidade mínima média anual de 13 km/h.

5. CASO DE ESTUDO

Neste capítulo foi efectuado o estudo de um edifício construído, de modo a aferir quais as soluções tecnológicas adequadas para o transformar num NZEB, isto dentro dos seus constrangimentos construtivos e de utilização. Para isso simularam-se ciclos anuais de desempenho energético do edifício actual e com a implementação de algumas das medidas descritas nos capítulos 3 e 4 para redução do consumo de energia no edifício. O edifício escolhido para o caso de estudo foi um edifício histórico classificado património pelo IGESPAR (actual Direção Geral do Património) e situado no Largo Alexandro Herculano em Évora. Inicialmente este era um edifício de habitação, tendo hospedado figuras ilustres tais como Joaquim Filipe Soure (magistrado e político português do século XIX), ou o escritor e historiador Alexandre Herculano. O edifício foi alvo de reabilitação em 1986, sofrendo algumas intervenções incluindo a substituição dos pavimentos de madeira por lajes de betão armado. Actualmente o edifício em estudo é considerado um grande edifício de serviços com sistemas de climatização, pelo que o seu estudo deverá ser realizado de acordo com o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE), excepto referência expressa em contrário, nomeadamente a referência ao Regulamento das Características e Comportamento Térmico do Edifícios (RCCTE) no nº3 do art.º 6º do RSECE que determina que a avaliação das propriedades térmicas da envolvente seguem o disposto no RCCTE quanto aos requisitos a verificar.

Na realização do presente estudo foram consideradas as soluções arquitectónicas e construtivas existentes de acordo com os elementos fornecidos, nomeadamente:

- Peças desenhadas de arquitectura do edifício;
- Certificado energético realizado ao edifício em 2011, e relatório de auditoria no qual existe diversa informação sobre o edifício, nomeadamente sobre os seus elementos construtivos e facturação energética.

Para além destes elementos foi realizado uma visita ao edifício, com o objectivo de:

- Observar “*in situ*” os elementos dos vários tipos de envolvente, tais como paredes exteriores, paredes interiores, pavimentos, coberturas envidraçadas e protecções solares;
- Recolha de dados sobre a ocupação do edifício;
- Observação das características de funcionamento do sistema AVAC.

5.1 Caracterização do edifício

O edifício possui uma área bruta de aproximadamente 1845 m², distribuída por 3 pisos compostos por gabinetes, instalações sanitárias, circulação, arrumos, loja e “*datacenter*”, sendo que para este estudo os dois últimos não foram incluídos. A área total útil do edifício considerada na simulação energética é de 1140,45 m².

As figuras 48, 49 e 50 representam o zonamento térmico determinado para o edifício, que consiste na distinção entre duas zonas, as climatizadas e as não climatizadas. As zonas climatizadas correspondem aos gabinetes enquanto as zonas não climatizadas incluem arrumos e circulação.



Figura 48 - Zonas térmicas do Piso 0

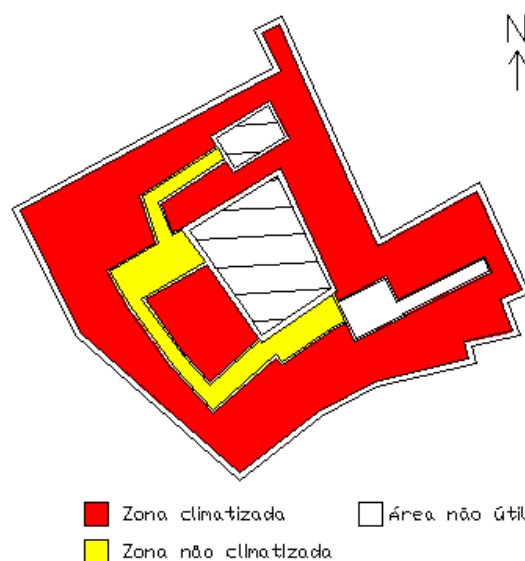


Figura 49 - Zonas térmicas do Piso 1

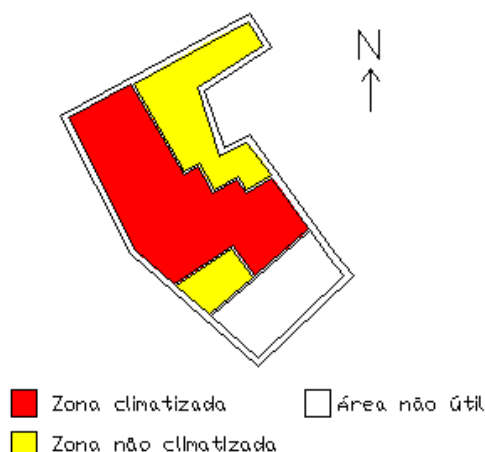


Figura 50 - Zonas térmicas Piso 2

O edifício está situado no concelho de Évora correspondente à zona climática I1-V3-Sul, a uma altitude de 299 m e a uma distância de 80 km da costa e em zona urbana (Rugosidade I).

O edifício possui fachadas orientadas a Oeste (Rua de Burgos e a Praça Sertório), e Sudoeste (Largo Alexandre Herculano).

Na tabela 6 são apresentadas as características de zonamento climático em conformidade com o RCCTE.

Tabela 6: Zonamento climático

Concelho	Altitude (m)	Zona Climática Inverno	Gsul (kWh/m ² . mês)	GD (°C.dia)	Duração Estação Aquec. (meses)	Zona Climática Verão	Norte ou Sul	Temp. Média do ar exterior (θ _{atm})
Évora	299	I1	108	1390	5,7	V3	Sul	23

5.1.1 Construção do modelo

Na construção do modelo foram adoptadas algumas simplificações para os elementos de construção da envolvente exterior e interior, tendo havido o cuidado de escolher os materiais mais representativos com as suas espessuras, para todo o edifício. Os coeficientes de condutibilidade (U) e a massa volúmica atribuídos aos diferentes materiais dos elementos da envolvente correspondem aos valores de U atribuídos no ITE 50, sendo que os coeficientes de transmissão térmica dos elementos são calculados automaticamente recorrendo ao programa *Design Builder* que será abordado no sub capítulo 5.2.

Ao resultado do consumo de energia relativa ao aquecimento, efectuou-se uma majoração de 5% como forma de simplificação das pontes térmicas lineares.

Na tabela 7 estão caracterizados os diferentes elementos construtivos adoptados no modelo do edifício.

Tabela 7: Elementos construtivos da envolvente interior e exterior

Designação	Descrição	U [W/(m ² .k)]
Parede exterior 60 cm	Constituída por alvenaria de pedra de calcário, com reboco de cal e areia pelo exterior e interior.	1,60
Parede interior 30 cm	Constituída por alvenaria de rocha de calcário, reboco de cal e areia.	1,90
Cobertura	Cobertura tradicional inclinada a 30º, constituída por telha de canudo.	5,59
Cobertura plana	Constituída por uma laje de betão com 20 cm, com reboco cimentício e acabamento em estuque	3,25
Laje Interior (circulação)	Constituída por 25 cm de betão, soalho de madeira na zona superior e acabamento em estuque na zona inferior.	1,74
Laje Interior Piso (gabinetes e arrumos)	Constituída por 25 cm de betão, vinílico na zona superior e acabamento em estuque na zona inferior.	1,80
Laje térrea (arrumos)	Constituído por 25 cm de betão, e com pavimento cerâmico.	2,25
Laje térrea (gabinetes)	Constituído por 25 cm de betão, e com pavimento vinílico.	2,71

De acordo com o RSECE para os edifícios existentes não existem limitações em relação à condutibilidade térmica dos elementos construtivos.

5.1.2 Aberturas verticais

As aberturas verticais correspondem às janelas e portas da envolvente exterior e apresentam vidro simples de 4 mm, com caixilharia de madeira, de cor branca. No interior existem dispositivos de sombreamento do tipo cortinas de enrolar, operadas manualmente.

5.1.3 Ocupação

O edifício apresenta uma ocupação de 40 pessoas distribuídas pelas zonas de gabinetes, sendo excluídas as zonas de arrumos e de circulação. De acordo com o RSECE o valor de referência de ocupação para escritórios é de 15 m²/pessoa o que equivale a 0,067

pessoas/m². Na Figura 51 é possível observar a diferença entre o nível de ocupação real nos gabinetes e o nível de ocupação de referência do RSECE, onde observa-se que a ocupação do edifício é inferior à ocupação de referência do RSECE para os pisos 0 e 1, no entanto a ocupação do piso 2 é semelhante à ocupação de referência.

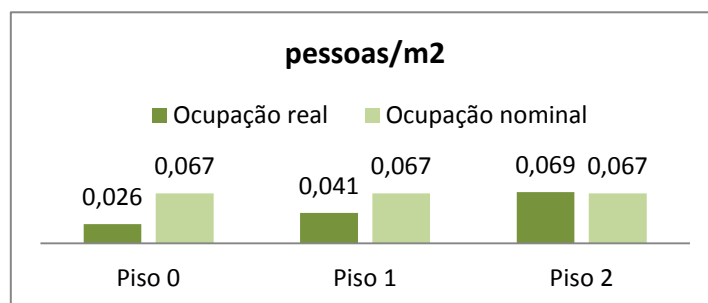


Figura 51 - Densidade de ocupação real vs ocupação nominal, de acordo com o RSECE

O edifício em estudo possui um horário de ocupação diária das 08h00 até às 20h00 de segunda-feira a sexta-feira. A carga horária de ocupação está representada na Figura 52.

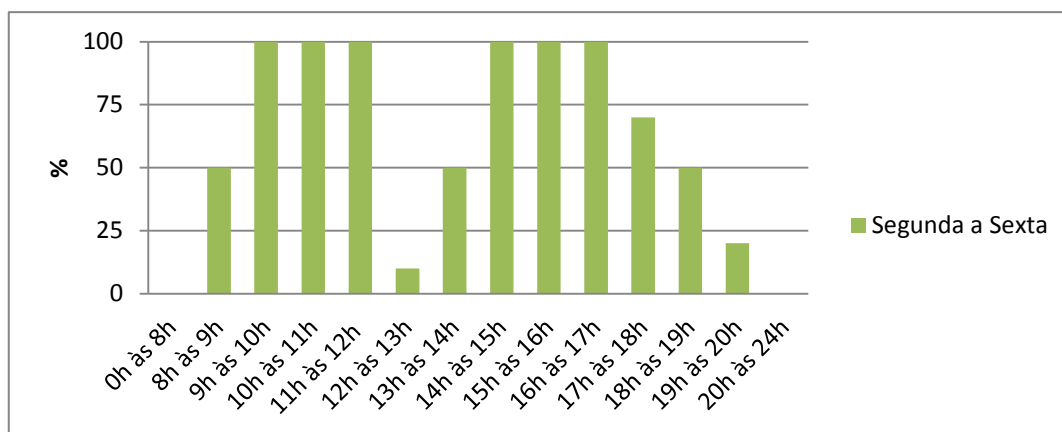


Figura 52 - Carga de ocupação diária

5.1.4 Iluminação

A recolha de informação sobre a iluminação foi realizada através do certificado energético no qual foram contabilizadas as densidades (W/m²) para cada zona, em cada piso. Os tipos de iluminação que se podem encontrar no edifício são: luminárias equipadas com lâmpadas fluorescentes compactas integradas e compactas não integradas, luminárias equipadas com lâmpadas TL-5 e balastro electrónico, e luminárias equipadas com lâmpadas TL-D e balastro ferromagnético. A tabela 8 mostra as densidades de iluminação verificadas no edifício.

Tabela 8: Densidades de iluminação

		(W/m ²)
Piso 0	Arrumos	5
	Gabinetes	2
Piso 1	Circulação	5
	Gabinetes	2
Piso 2	Arrumos	5
	Gabinetes	2

No que diz respeito à iluminação, o RSECE não impõe limitações, no entanto é de salientar a influência que a iluminação tem no consumo de energia directa e indirectamente (sistema AVAC).

Para carga horária da iluminação considerou-se que esta está sempre ligada durante a ocupação do edifício, sendo que nos períodos restantes a iluminação funciona a 5%, como se pode observar na Figura 53.

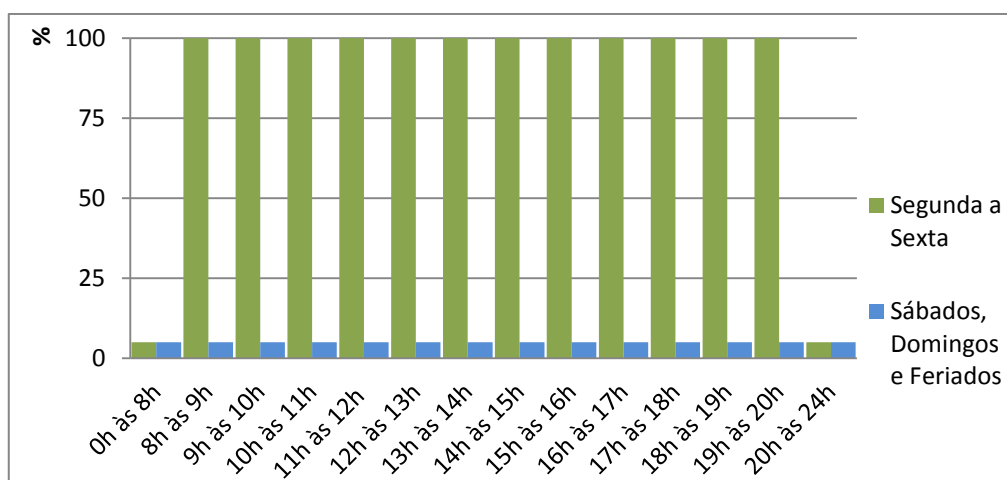


Figura 53 - Carga horária da iluminação

5.1.5 Sistemas de climatização (AVAC)

A produção de energia térmica no edifício em estudo é assegurada por um sistema de expansão directa do tipo não centralizado, constituído por equipamentos do tipo *split*. Estes equipamentos são compostos por duas unidades separadas fisicamente, sendo uma instalada no interior do espaço a climatizar e a outra unidade no exterior. As unidades interiores são do tipo mural responsáveis pela difusão da energia térmica. A potência frigorífica total instalada é de 90,94 kW com um índice de eficiência energética ponderado (EER) de 2,82. A potência total calorífica instalada é de 95,69 com um coeficiente de desempenho ponderado (COP) de 3,19.

As temperaturas de funcionamento do sistema de AVAC são de 20 °C e 25 °C no Inverno e no Verão, respectivamente.

No que diz respeito aos horários dos sistemas de AVAC considerou-se que este funciona continuamente durante os períodos de ocupação do edifício.

5.1.6 Outros equipamentos

Para além dos equipamentos já descritos, ainda existem diversos equipamentos responsáveis por parte do consumo de energia, estando estes equipamentos descritos na tabela 9. A carga horária de funcionamento dos computadores é a mesma que foi utilizada para a ocupação do edifício. Para os restantes equipamentos foi utilizada uma carga horária inferior durante o período de ocupação do edifício como se pode observar na Figura 54.

Tabela 9: Inventário de equipamentos de escritório. Fonte: Relatório da auditoria de 2011

Equipamentos de Escritório	Quantidade	Pot./Equipamento (W)
Computadores	23	120
Computadores portáteis	8	30
Monitores LCD	25	35
Monitor CRT	1	80
Impressoras a Laser	16	400
Impressoras a jacto de tinta	1	40
Fotocopiadoras	2	1150
Faxes	3	30
Equipamentos audiovisuais	1	300

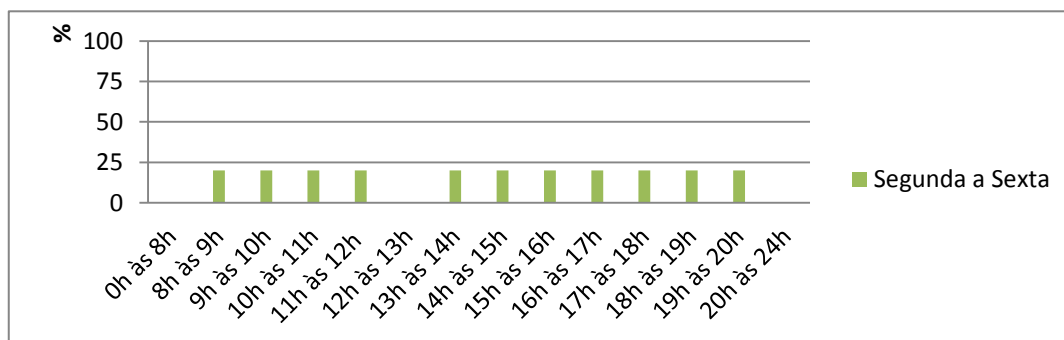


Figura 54 - Carga horária dos equipamentos

5.1.7 Dados sobre o consumo energético

No Anexo II estão os valores mensais das facturas do consumo de energia do edifício para os anos de 2008, 2009 e 2010, através dos quais se conclui que o valor médio de consumo anual durante este período foi de 40954,67 kWh.

5.2 Simulação térmica dinâmica - Design Builder e Energy Plus

Com o RSECE tornou-se obrigatório o recurso à simulação dinâmica detalhada para grandes edifícios de serviços, devendo ser utilizado um dos programas acreditados pela norma ASHRAE 140-2004, sendo o *Energy Plus* um dos programas mais sofisticados e acreditados por esta norma.

O *Energy Plus* [90] é um programa de análise energética e de simulação de cargas térmicas, que calcula as cargas de aquecimento e arrefecimento para manter o edifício numa gama determinada de temperaturas de conforto, assim como a energia consumida por todos os equipamentos que fazem parte do edifício. No entanto, este programa não possui uma interface gráfica simples pelo que se torna bastante complexa a tarefa de modelação do edifício.

Para construção do modelo do edifício utilizou-se o *Design Builder* [91], que é uma ferramenta que serve de interface gráfica ao programa de simulação dinâmica *Energy Plus*, simplificando as tarefas de construção do modelo do edifício em 3D, sua caracterização, possibilitando testar estratégias de optimização energética e visualização gráfica dos resultados obtidos da simulação.

Na construção do modelo do edifício em estudo, foram inseridos no *Design Builder* todos os dados relativos ao zonamento térmico, elementos construtivos, aberturas verticais, ocupação, equipamentos, iluminação e sistemas de AVAC já descritos no sub capítulo 5.1. Para a simulação, foi utilizado um ficheiro climático representativo de um ano climatológico da cidade de Évora (IWEC).

No sub capítulo 5.2.2 são apresentados os resultados obtidos pela simulação dinâmica com *Energy Plus*, para o modelo do edifício construído em *Design Builder*.

5.2.1 Calibração do modelo

A calibração do modelo de simulação resulta de um processo iterativo de ajustamentos, cujo objectivo é o de obter os resultados previstos semelhantes aos parâmetros medidos,

sendo neste caso o objecto de comparação, o consumo anual previsto pela simulação e a facturação do consumo de energia.

De acordo com [92], segundo o RSECE 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 facturas de energia, numa base anual.

5.2.2 Resultados e análises

Com o resultado da simulação dinâmica anual, obteve-se um consumo de energia global previsto de 39.086,9 kWh, o que representa uma diferença de 4,5% em relação ao consumo médio anual obtido pelas facturas de electricidade, pelo que se considera o modelo válido.

Através da observação do ciclo anual previsto e da média dos ciclos anuais das facturas de energia (Figura 55), percebe-se que existem diferenças significativas de consumo em alguns meses. Isto poderá ser explicado pelo facto de as facturas serem estimativas do consumo para alguns meses, mas também pelo facto de o ficheiro climático usado na simulação corresponder a um ano meteorológico típico, baseado numa série de 30 anos, logo quando comparamos estes resultados com a média das facturas correspondentes a 3 anos é possível que ocorram algumas diferenças de consumo, que serão maiores quando se faz a comparação para períodos mais curtos de tempo, como é o caso da escala mensal.

Em relação à diferença nas curvas entre os meses de Dezembro e Março, esta poderá também ser explicada por acumulação de facturas em Março correspondentes aos consumos de meses anteriores.

As diferenças entre o consumo previsto mensal e o consumo médio de facturação mensal vão desde os 1,52% (em Fevereiro) até aos 46,20% (em Dezembro).

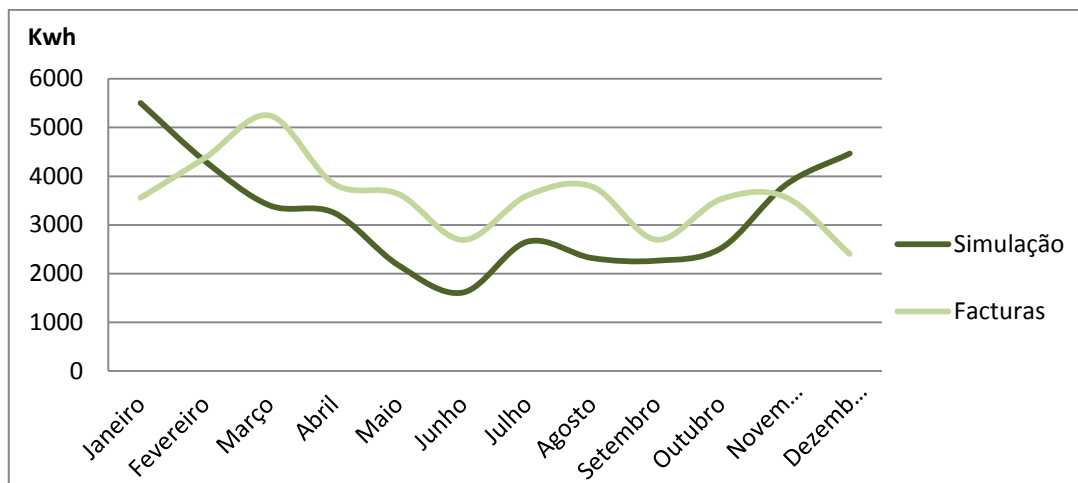


Figura 55 - Ciclo anual de consumo previsto mensal vs consumo facturado mensal

Os resultados da simulação dinâmica estão sumarizados na tabela 10.

Tabela 10: Consumo de energia previsto no edifício

	KWh	Parciais do total (%)
Equipamentos	11284,54	28,87
Iluminação	9896,71	25,32
Aquecimento	16140,45	41,29
Arrefecimento	1765,09	4,52

Da análise da tabela 10 podemos verificar que a maior parcela do consumo de energia pertence ao aquecimento e a menor ao arrefecimento. A contribuir para este efeito está a elevada inércia térmica do edifício provocada por paredes de alvenaria de pedra com elevadas espessuras. No Verão, as paredes exteriores com elevada massa, absorvem uma grande quantidade da energia proveniente da radiação solar, já as paredes interiores absorvem parte do calor que entra directamente pelo envidraçado prevenindo assim o sobreaquecimento do espaço interior durante o dia e consequentemente diminuindo a carga térmica de arrefecimento. Por outro lado, no Inverno a elevada massa térmica aliado à falta de isolamento térmico provoca uma grande carga de aquecimento, pelo facto de que quando o sistema de aquecimento está a produzir calor para aquecer o espaço interior, este calor será em primeiro lugar absorvido pelas paredes de grande massa térmica que ao mesmo tempo estarão a perder parte desta energia para o ambiente exterior (que se encontra a temperaturas inferiores) só depois de aquecer as paredes é que haverá o aquecimento do ar interior.

Na Figura 56 é possível constatar que a perda de calor pelas paredes exteriores nos meses de Inverno é bem mais elevada que os ganhos de calor nos meses de Verão, contribuindo assim para uma carga de aquecimento bem mais elevada.

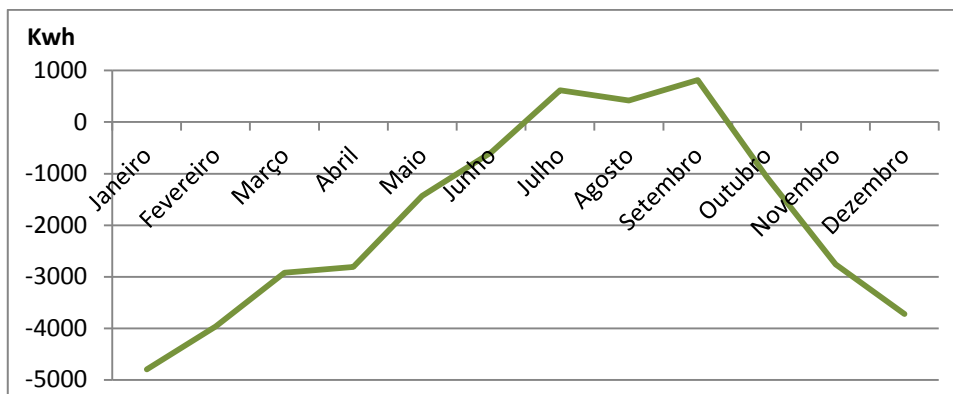


Figura 56 - Balanço de calor pelas paredes exteriores

As paredes exteriores são mesmo o elemento da envolvente por onde se perde mais calor, seguido do pavimento térreo como se pode verificar na Figura 57. A elevada quantidade de calor perdido pela envolvente exterior deve-se à falta de isolamento térmico.

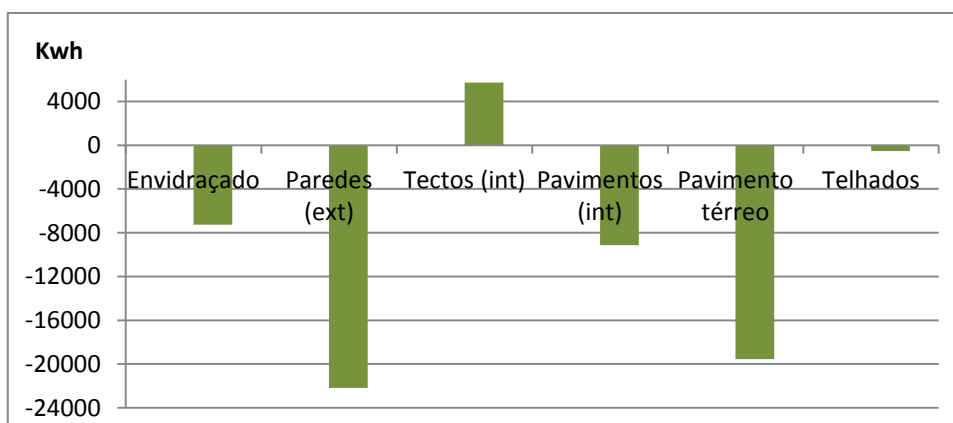


Figura 57 - Balanço de calor dos elementos construtivos da envolvente

Observando mais detalhadamente o resultado das transferências de calor pelos elementos da envolvente (Figura 58), concluímos que o piso 0 e o piso 1 são os principais responsáveis pelas perdas de calor no edifício devido à elevada área de pavimento térreo (piso 0) e de parede exterior (piso 1), por onde se dão as trocas de calor com o ambiente exterior. No piso 0 observam-se ganhos de calor significativos pelo tecto, que resultam da elevada perda de calor pelo pavimento térreo provocando um fluxo de calor descendente, pelo que se observa a transferência de calor do piso 1 para o piso 0 através da laje, o que pode ser verificado na Figura 58.

Em relação aos sótãos (não acessíveis) estes apresentam um balanço anual positivo nas trocas de calor pela cobertura exterior (telha cerâmica), e pela placa de gesso cartonado que constitui o pavimento/tecto que separa o piso 2 do sótão.

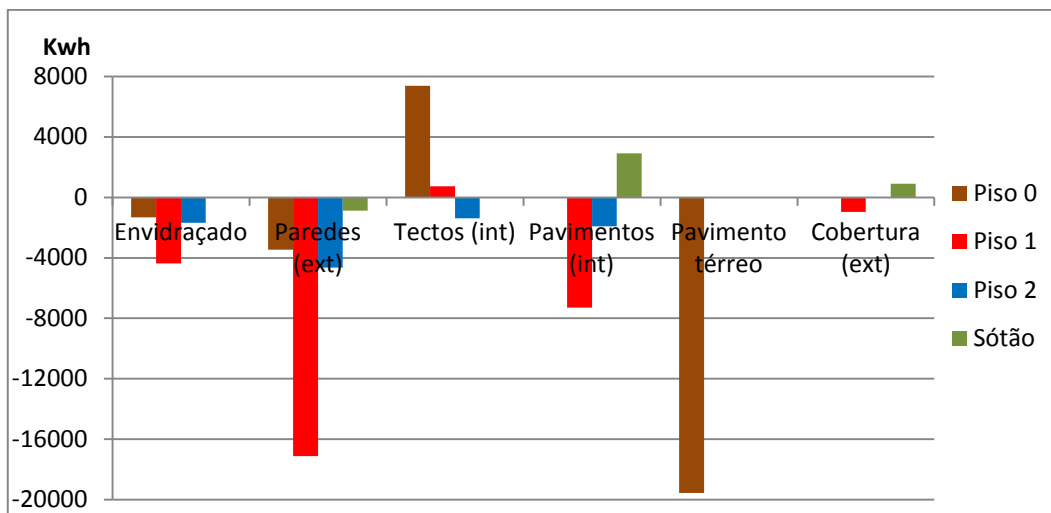


Figura 58 - Balanço de calor dos elementos construtivos por piso.

Da tabela 10 é também de realçar a elevada parcela correspondente aos equipamentos com 28,87% do consumo de energia anual do edifício. Este consumo deve-se ao elevado número de computadores de secretária com um consumo muito superior ao de computadores portáteis (tabela 9).

Por outro lado, como se pode observar na Figura 59, os equipamentos representam uma das maiores fontes de ganhos internos de energia, influenciando na redução da carga de aquecimento e consequentemente na redução do consumo de energia de aquecimento.

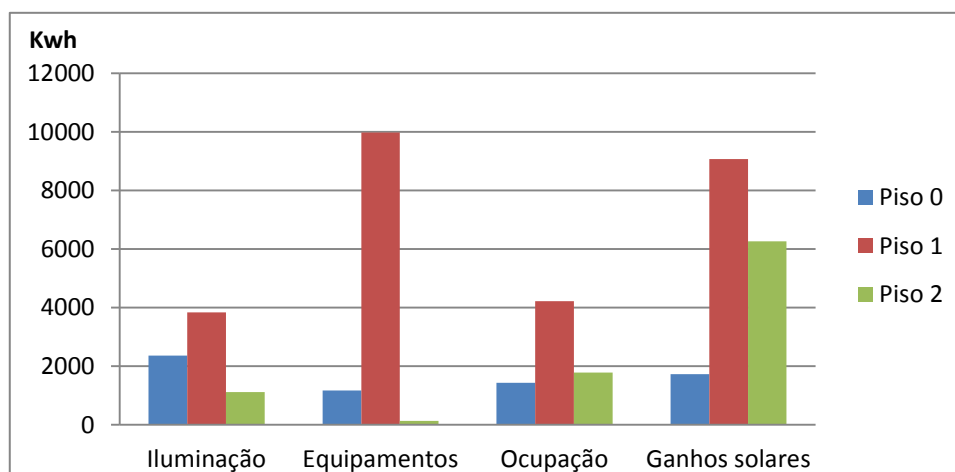


Figura 59 - Ganhos internos por piso

Porém, a maior fonte de ganhos internos são os ganhos solares, que só não são mais elevados devido aos edifícios da envolvente, que proporcionam algum sombreamento sobre as fachadas do edifício em estudo, como se pode ver na Figura 60.

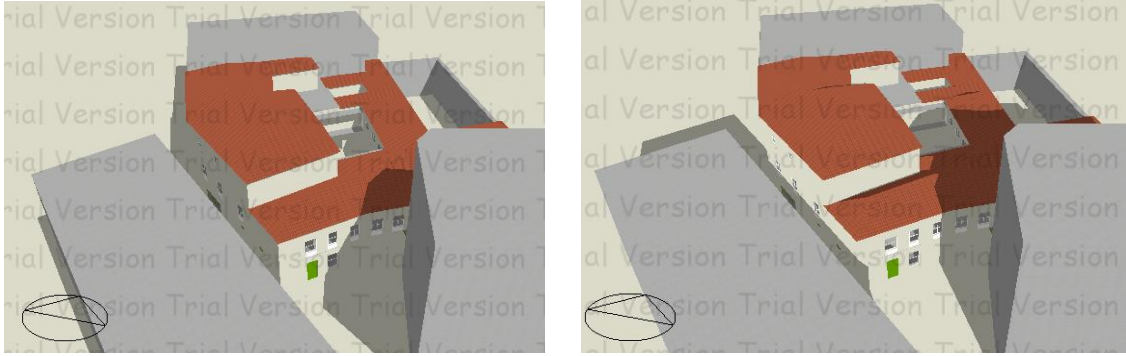


Figura 60 - Sombreamento da envolvente sobre o edifício. 1 de Agosto (à esquerda) e 1 de Fevereiro (à direita) às 10h:00

A maior quantidade de ganhos internos situa-se no piso 1, pois é o piso com maior quantidade de equipamentos e iluminação.

De salientar também o facto de os ganhos de iluminação no piso 0 serem superiores aos ganhos da radiação solar. Isto acontece pelo facto de as divisórias a oeste serem adjacentes à zona da loja que não é considerada para o estudo e que recebe a iluminação desta orientação.

5.3 Propostas de melhoria do desempenho energético

Através da análise dos resultados da simulação é possível propor um conjunto de melhorias a implementar no edifício de modo a reduzir o consumo de energia. De acordo com o RSECE no nº1 do artigo 32º [93], que diz respeito ao critério de viabilidade económica das medidas de eficiência energética em edifícios, são de implementação obrigatória 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:

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

Em que:

PRS – Corresponde ao período de retorno simples;

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

P_1 – Corresponde à poupança anual resultante da aplicação da medida de eficiência energética.

Com vista a estimar o período de retorno simples foi realizado um estudo económico para todas as propostas de melhoria de forma a estimar o custo do investimento nestas medidas. Todos os custos estimados contemplam o custo de mão-de-obra, materiais e equipamentos. De modo a quantificar a poupança em euros (€) correspondente a cada medida, foi considerado que a energia consumida no edifício tem um custo de 0,12€/kWh.

De salientar a impossibilidade de realizar melhorias que impliquem alterações nas fachadas do edifício, visto que se trata de um edifício classificado pelo IGESPAR.

As propostas de melhoria aqui analisadas são:

- Isolamento térmico no pavimento térreo;
- Isolamento térmico na cobertura;
- Isolamento térmico reflector na cobertura;
- Pintura do telhado com tintas reflectoras;
- Vidros duplos;
- Isolamento térmico de paredes exteriores pelo interior;
- Ventilação natural;
- Substituição dos computadores fixos por computadores portáteis;
- Iluminação por sensores de presença;
- Instalação de sistema fotovoltaico.

5.3.1 Medida 1 - Isolamento térmico no pavimento.

Da análise efectuada no sub capítulo 5.2, verificou-se que um dos elementos por onde se prevêem maiores perdas de calor é o pavimento térreo, pelo que será benéfico a colocação de isolamento térmico de forma a minimizar as perdas de calor por este elemento.

O isolamento térmico escolhido foi o EPS com 40 mm de espessura, que deverá ser colocado entre a laje térrea e o pavimento de cerâmica (zona de arrumos) ou vinílico (zona de gabinetes), melhorando assim os coeficientes de transmissão térmica que serão $U=0,66$ [W/(m².°C)] e $U=0,63$ [W/(m².°C)], respectivamente.

Na tabela 11 são apresentados os resultados desta medida, verificando-se que existe uma diminuição no consumo de energia para aquecimento e ao mesmo tempo um

aumento no consumo de energia para arrefecimento, resultando assim numa ligeira poupança de energia de cerca de 0,74%.

Tabela 11: Consumo de energia anual resultante da Medida 1

Consumo de energia (kWh)		Consumo Original (kWh)	Consumo após medida (kWh)	Variação		
				kWh	(kWh/m ²)	(%)
	Equipamentos	11284,54	11284,54	0,00	0,00	0,00
	Iluminação	9896,71	9896,71	0,00	0,00	0,00
	Aquecimento	16140,45	15472,88	-667,57	-0,59	-4,14
	Arrefecimento	1765,093	2143,982	378,89	0,33	21,47
	Total	39086,8	38798,12	-288,68	-0,25	-0,74

A influência da medida 1 nas trocas de calor é observada principalmente nos pisos 0 e 1, onde a redução do consumo de energia de aquecimento está justificado na significativa diminuição das perdas de calor pelo pavimento térreo, provocando assim igualmente uma significativa diminuição da perda de calor do piso 1 para o piso 0. No entanto, a diminuição da perda de calor nestes dois pisos provocou um significativo aumento da transferência de calor pelas paredes exteriores do piso 0, aumentando também ligeiramente no piso 1. A perda de calor pelos envidraçados também subiu ligeiramente como se pode ver nas Figura 61 e 62.

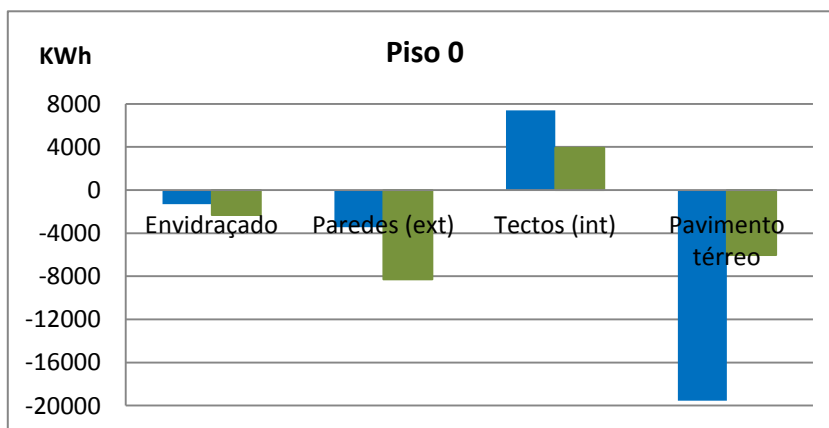


Figura 61 - Influência da Medida 1 no balanço de calor anua no piso 0. Após medida (verde), antes da medida (azul).

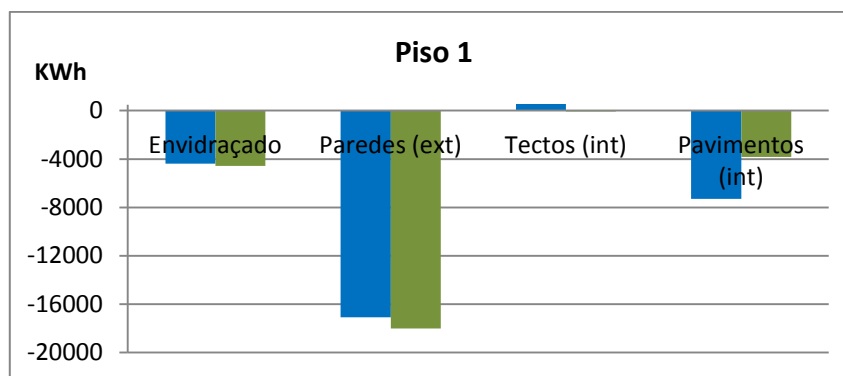


Figura 62 - Influência da Medida 1 no balanço de calor anual no piso 1. Após medida (verde), antes da medida (azul)

De acordo com o estudo económico efectuado para esta medida conclui-se que esta medida aplicada isoladamente não satisfaz o critério de viabilidade económica visto que estimou-se um período de retorno simples superior aos 16 anos (tabela 12).

Tabela 12: Cálculo do período de retorno da Medida 1

Medida	Custo Unitário (€/m ²)	Quantidade	Custo Estimado (€)	Redução (kWh)	PRT (anos)
1	40,79 *	221,26	9025,83	288,68	>16

* [94]

5.3.2 Medida 2 - Isolamento térmico na cobertura.

A medida corresponde à configuração mais actual da cobertura exterior do edifício, resultante de uma reabilitação realizada no telhado em 2011. Esta configuração do telhado não foi considerada no modelo do edifício visto que os dados fornecidos para a facturação não incluem o ano de 2011.

A estrutura da cobertura exterior melhorada é composta por, telha cerâmica, membrana de ondulino (placa fibro-betuminosa ondulada para impermeabilização do telhado), placa de isolamento EPS com 40 mm e placa de madeira OSB com 20 mm. Para criação desta estrutura foi necessário criar a membrana de ondulino que não existia na base de dados do *Design Builder* atribuindo-lhe o coeficiente de condutibilidade térmica de $\lambda=0,084$ [W/(m.°C)], todos os outros elementos encontravam-se na base de dados e com os valores de condutibilidade de acordo com o ITE 50.

Na tabela 13 podemos constatar que se prevê uma diminuição no consumo de energia para aquecimento e arrefecimento de cerca de 3% e 15,5%, respectivamente, sendo que o consumo total de energia será reduzido em cerca de 2% ao ano.

Tabela 13: Consumo de energia anual resultante da Medida 2

Consumo de energia (kWh)		Consumo Original (kWh)	Consumo após medida (kWh)	Variação		
				kWh	(kWh/m ²)	(%)
	Equipamentos	11284,54	11284,54	0,00	0,00	0,00
	Iluminação	9896,71	9896,71	0,00	0,00	0,00
	Aquecimento	16140,45	15666,64	-473,81	-0,42	-2,94
	Arrefecimento	1765,093	1491,52	-273,57	-0,24	-15,50
	Total	39086,8	38339,41	-747,39	-0,66	-1,91

Analisando os balanços de calor anuais pela envolvente (figuras 63 e 64), verificamos que a cobertura exterior e o pavimento interior do sótão são os elementos mais influenciados pela implementação da medida. As transferências de calor pela cobertura reduziram-se significativamente, enquanto no pavimento do sótão houve um aumento de ganhos de calor. Nos restantes elementos construtivos as transferências de calor reduziram-se ligeiramente à excepção do tecto do piso 2 por onde se dá um ligeiro aumento das perdas de calor (para o sótão).

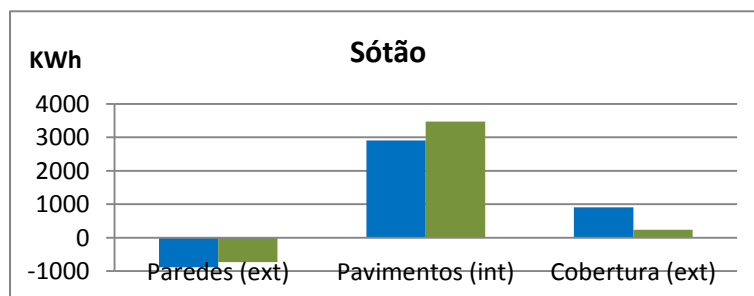


Figura 63 - Influência da Medida 2 no balanço de calor anual no sótão. Após medida (verde), antes da medida (azul)

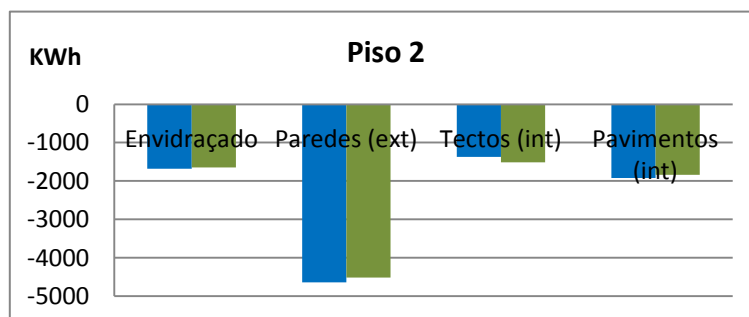


Figura 64 - Influência da Medida 2 no balanço de calor anual no piso 2. Após medida (verde), antes da medida (azul)

O estudo económico realizado para esta medida estima que isoladamente esta medida não é apelativa do ponto vista económico, pois prevê-se que o seu período de retorno simples será superior a 16 anos, como se pode observar na tabela 14.

Tabela 14: Cálculo do período de retorno da Medida 2

Medida	Custo Unitário (€/m ²)	Quantidade	Custo Estimado (€)	Redução (kWh)	PRT (anos)
2	28*	647,97	18.143,16	747,39	>16

*Proposta do proprietário.

5.3.3 Medida 3 - Isolamento térmico reflector na cobertura.

A introdução do isolamento térmico reflector na cobertura tem como objectivo reduzir as trocas de calor por radiação na cobertura. Este isolamento é colocado (tal como indicado no capítulo 3.2.3.1) sobre as vigas e sob as ripas permitindo assim um espaçamento maior ou igual a 25 mm entre o isolamento térmico reflector e a cobertura de telha cerâmica.

Este tipo de isolamento não existe na base de dados do software *Design Builder* pelo que foi necessário criar o material, atribuindo-lhe uma condutividade térmica de $\lambda=0,028$ [W/(m.°C)] e uma emissividade $e = 0,2$ [95].

Com a implementação deste isolamento prevê-se uma redução no consumo de aquecimento e arrefecimento em cerca de 3% e 23% respectivamente, originando assim uma redução de consumo total anual em cerca dos 2%. Os resultados estão sumarizados na tabela 15.

Tabela 15: Consumo de energia anual resultante da Medida 3

		Consumo Original (kWh)	Consumo após medida (kWh)	Variação		
				kWh	(kWh/m ²)	(%)
Consumo de energia (kWh)	Equipamentos	11284,54	11284,54	0,00	0,00	0,00
	Iluminação	9896,71	9896,71	0,00	0,00	0,00
	Aquecimento	16140,45	15722,68	-417,77	-0,37	-2,59
	Arrefecimento	1765,093	1356,238	-408,86	-0,36	-23,16
	Total	39086,8	38260,17	-826,63	-0,73	-2,11

Em relação às trocas de calor pela envolvente (figuras 65 e 66), como seria de esperar os elementos mais afectados são a cobertura do edifício e o seu pavimento interior, com

redução significativa de ganhos de calor pela cobertura e aumento de ganhos de calor pelo pavimento interior, sendo que pela cobertura passou-se a ter mais perdas de calor do que ganhos no balanço anual. Tal como na medida 2, as transferências de calor nos restantes elementos da envolvente reduziram-se ligeiramente, com excepção das perdas de calor pelos tectos interiores dos pisos 1 e 2 que aumentaram significativamente.

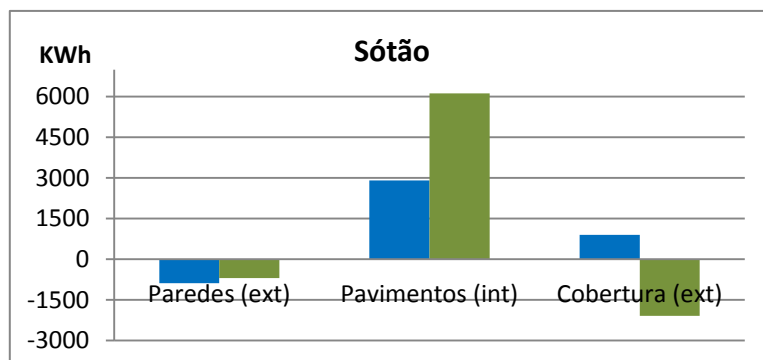


Figura 65 - Influência da Medida 3 no balanço de calor anual no sótão. Após medida (verde), antes da medida (azul)

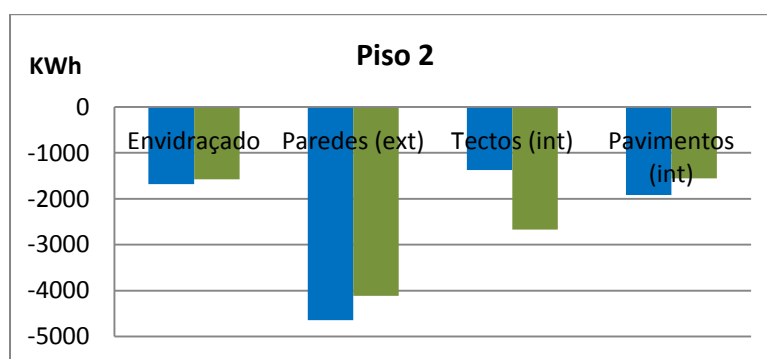


Figura 66 - Influência da Medida 3 no balanço de calor anual no piso 2. Após medida (verde), antes da melhoria (azul)

Tal como nas medidas anteriores, prevê-se que a implementação desta medida isoladamente não satisfaça o requisito viabilidade económica pois como se pode observar na tabela 16 prevê-se um período de retorno simples superior a 16 anos.

Tabela 16: Cálculo do período de retorno da Medida 3

Medida	Custo Unitário (€/m ²)	Quantidade	Custo Estimado (€)	Redução (kWh)	PRT (anos)
3	4,45 *	647,97	2886,55	826,63	>16

* [94] [95]

5.3.4 Medida 4 – Pintura com tintas reflectoras no telhado.

Tal como já foi referido no capítulo 3.2.3.2, a pintura de telhados com tintas reflectoras permite dotar os telhados com alta reflectividade diminuindo assim, a absorção de radiação solar e consequentemente limitando a entrada de calor dessa radiação.

De forma a prever o consumo de energia do edifício resultante da implementação desta medida, foram consideradas alterações nas propriedades de emissividade e no coeficiente de absorção solar das telhas. De acordo com o fabricante, após aplicação da tinta de cor telha, os valores de emissividade e do coeficiente de absorção solar passam de 90 e 60 para 92 e 48 respectivamente. Na tabela 17 estão sumarizadas as previsões do consumo de energia após a implementação desta medida, na qual se verifica uma ligeira redução do consumo na estação de arrefecimento. No entanto, na estação de aquecimento o consumo de energia aumenta provocando assim um aumento do consumo anual de energia no edifício em cerca de 0,04%.

Tabela 17: Consumo de energia anual resultante da Medida 4

		Consumo Original (kWh)	Consumo após medida (kWh)	Variação		
				kWh	(kWh/m ²)	(%)
Consumo de energia (kWh)	Equipamentos	11284,54	11284,54	0,00	0,00	0,00
	Iluminação	9896,71	9896,71	0,00	0,00	0,00
	Aquecimento	16140,45	16194,97	54,52	0,05	0,34
	Arrefecimento	1765,093	1726,17	-38,92	-0,03	-2,21
	Total	39086,8	39102,39	15,59	0,01	0,04

O aumento do consumo de energia na estação de aquecimento deverá dever-se ao facto de esta medida não constituir uma barreira às trocas de energia entre o interior e o exterior da cobertura, permitindo assim que o calor do interior seja transferido pela cobertura para o exterior do edifício onde as temperaturas serão inferiores. Por outro lado o coeficiente de absorção solar inferior no telhado diminui a entrada de calor da radiação solar diminuindo assim os ganhos pela cobertura e consequentemente aumentando a carga de aquecimento do edifício. Nas figuras 67 e 68, estão representadas a influência desta medida nas transferências de calor pelos elementos construtivos.

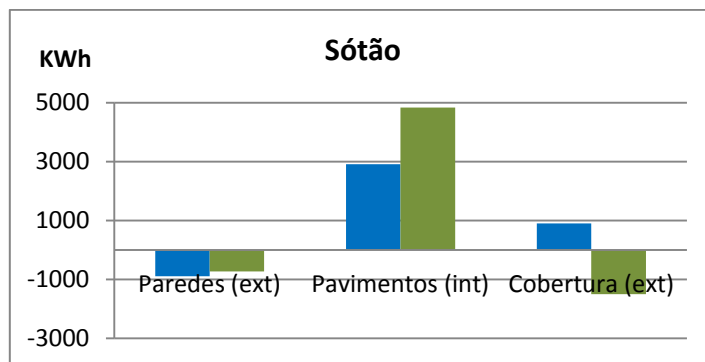


Figura 67 - Influência da Medida 4 no balanço de calor anual no sótão. Após medida (verde), antes da medida (azul)

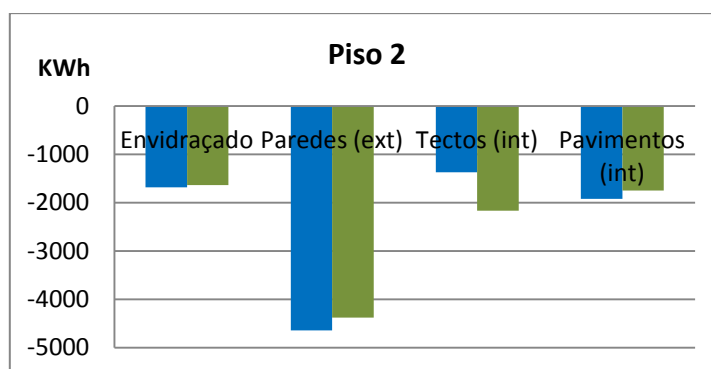


Figura 68 - Influência da Medida 4 no balanço de calor anual no piso 2. Após melhoria (verde), antes da melhoria (azul)

A aplicação de tintas reflectoras no telhado não apresenta qualquer poupança de energia anual pelo que não existe período de retorno.

5.3.5 Medida 5 – Vidros duplos

Esta medida consiste em trocar os vidros simples de todas as janelas e portas por vidros duplos mantendo a caixilharia de madeira para que o aspecto estético da envolvente exterior não seja modificado.

O envidraçado será então composto por 2 vidros simples de 6 mm de espessura e com uma caixa-de-ar de 13 mm.

Na tabela 18 podemos constatar que se prevê uma redução total do consumo de energia anual em cerca de 0,54% sendo a estação de arrefecimento a mais beneficiada com esta medida.

Tabela 18: Consumo de energia anual resultante da Medida 5

		Consumo Original (kWh)	Consumo após medida (kWh)	Variação		
				kWh	(kWh/m ²)	(%)
Consumo de energia (kWh)	Equipamentos	11284,54	11284,54	0,00	0,00	0,00
	Iluminação	9896,71	9896,71	0,00	0,00	0,00
	Aquecimento	16140,45	15970,12	-170,33	-0,15	-1,06
	Arrefecimento	1765,093	1726,23	-38,86	-0,03	-2,20
	Total	39086,8	38877,6	-209,19	-0,18	-0,54

Observando a Figura 69, verifica-se a redução das trocas de calor anuais pelo envidraçado, que acontece devido ao menor coeficiente de transmissão térmica do vidro duplo, explicando assim a redução da necessidade do consumo de energia para aquecimento e arrefecimento.

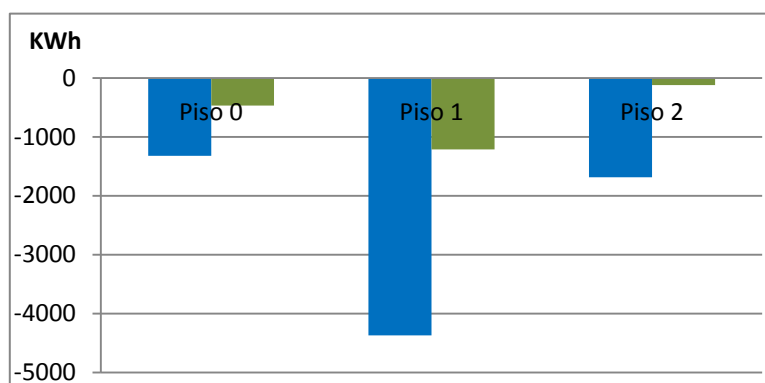


Figura 69 - Influência da Medida 5 no balanço de calor anual pelos envidraçados. Após medida (verde), antes da medida (azul)

Estima-se que a aplicação desta medida isoladamente não venha a ser uma medida viavelmente económica devido ao seu alto custo e baixa poupança, traduzindo-se num período de retorno muito elevado como se pode observar na tabela 19.

Tabela 19: Cálculo do período de retorno para a Medida 5

Medida	Custo Unitário (€/m ²)	Quantidade	Custo Estimado (€)	Redução (kWh)	Retorno (anos)
5	241*	62,5	15062,5	209,19	>16

* [96]

5.3.6 Medida 6 – Isolamento térmico de paredes exteriores pelo interior

Face à proibição de proceder a alterações na envolvente exterior do edifício torna-se impossível a colocação de isolamento térmico pelo exterior das paredes do edifício, pelo que só se poderão controlar os fluxos de calor nas paredes, pelo interior do edifício com a colocação de isolamento térmico. O isolamento térmico escolhido para simulação no edifício foi o EPS com 40 mm de espessura.

Na tabela 20 estão sumarizados os consumos de energia previstos com a implementação desta medida, na qual podemos verificar uma redução no consumo para aquecimento em cerca de 11% e um aumento do consumo de energia para arrefecimento em cerca de 9%, resultando assim em poupanças anuais de energia aproximadamente de 4%.

Tabela 20: Consumo de energia anual resultante da Medida 6

		Consumo Original (kWh)	Consumo após medida (kWh)	Variação		
				kWh	(kWh/m ²)	(%)
Consumo de energia (kWh)	Equipamentos	11284,54	11284,54	0,00	0,00	0,00
	Iluminação	9896,71	9896,71	0,00	0,00	0,00
	Aquecimento	16140,45	14418,46	-1721,99	-1,51	-10,67
	Arrefecimento	1765,093	1916,839	151,75	0,13	8,60
	Total	39086,8	37516,55	-1570,24	-1,38	-4,02

A elevada redução do consumo de energia para aquecimento é justificada pelo facto de a parede exterior ser o elemento construtivo por onde se perde mais calor do edifício para o exterior. Já o aumento do consumo em arrefecimento resulta da menor capacidade do edifício em libertar o excesso de energia pelas paredes durante a estação de arrefecimento (Verão). Para além da redução das perdas de calor pelas paredes exteriores, é possível observar um ligeiro aumento das transferências de calor pelas lajes entre pisos do edifício sendo que pela cobertura exterior passou a haver perdas de calor em vez de ganhos no balanço anual, como se pode observar nas figuras 70 e 71.

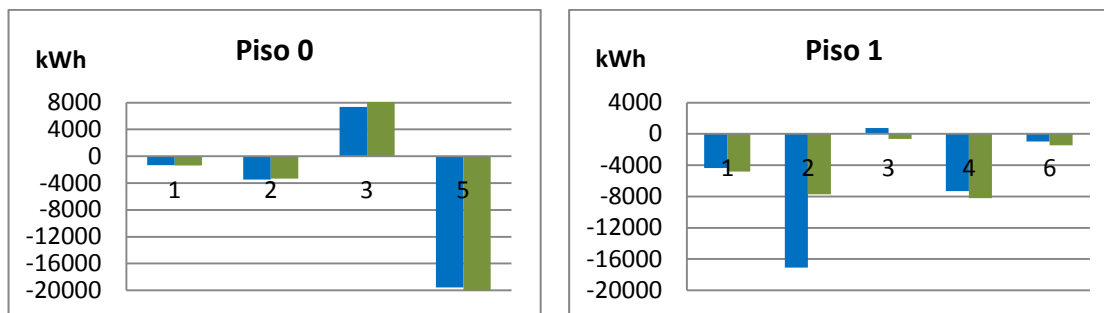


Figura 70 - Influência da Medida 6 no balanço de calor anual do piso 0 e 1. Após medida (verde), antes da medida (azul). 1- Envidraçado; 2- Parede exterior; 3- Tectos interiores; 4- Pavimentos interiores; 5- Pavimento térreo; 6- Cobertura

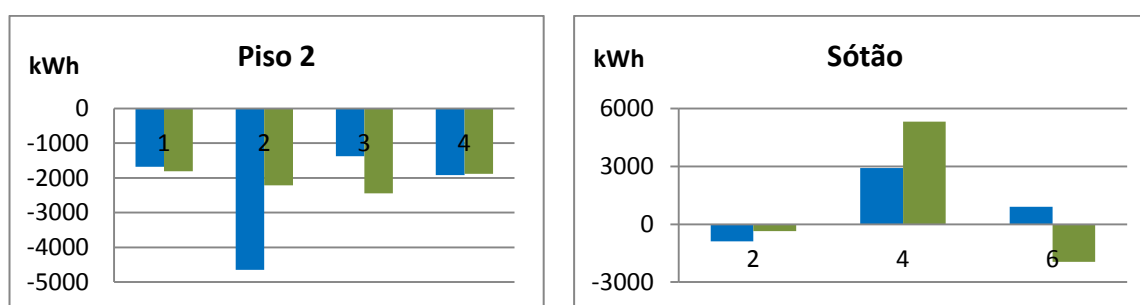


Figura 71 - Influência da Medida 6 no balanço de calor anual do piso 2 e sótão. Após medida (verde), antes da medida (azul). 1- Envidraçado; 2- Parede exterior; 3- Tectos interiores; 4- Pavimentos interiores; 5- Pavimento térreo; 6- Cobertura

De acordo com o estudo económico realizado para esta medida chegou-se à conclusão que o seu período de retorno simples é superior a 16 anos, como se pode observar na tabela 21, o que torna o investimento desinteressante.

Tabela 21: Cálculo do período de retorno para a Medida 6

Medida	Custo Unitário (€/m ²)	Quantidade	Custo Estimado (€)	Redução (kWh)	Retorno (anos)
6	6,69 *	944,7893	6323,82	1570,24	>16

* [94]

5.3.7 Medida 7 – Isolamento térmico no pavimento e paredes exteriores (pelo interior), envidraçado duplo, e isolamento térmico reflector na cobertura

Esta medida conjunta consiste em reabilitar em simultâneo, todas as zonas por onde se prevê maior de transferência de calor com as soluções já anteriormente estudadas.

Para isolamento da cobertura teve-se em conta a solução que isoladamente conferia a maior redução de consumo de energia no balanço anual.

Na tabela 22 estão sumarizados os resultados obtidos através da simulação. Nestes podemos constatar que a aplicação simultânea das medidas de melhoria nos elementos construtivos representa uma redução de cerca de 11% do total da energia consumida, sendo que a maior parcela desta redução corresponde ao aquecimento.

Tabela 22: Consumo de energia anual resultante da Medida 7

		Consumo Original (kWh)	Consumo após medida (kWh)	Variação		
				kWh	(kWh/m ²)	(%)
Consumo de energia (kWh)	Equipamentos	11284,54	11284,54	0,00	0,00	0,00
	Iluminação	9896,71	9896,71	0,00	0,00	0,00
	Aquecimento	16140,45	12087,58	-4052,87	-3,56	-25,11
	Arrefecimento	1765,093	1516,41	-248,68	-0,22	-14,09
	Total	39086,8	34785,24	-4301,56	-3,77	-11,01

Por forma a estimar o período de retorno simples para esta medida foi efectuado o somatório do custo do investimento de todas as medidas que esta engloba, concluindo-se que este será superior a 16 anos, como se pode observar na tabela 23. Este valor elevado deve-se sobretudo ao custo elevado dos vidros duplos e ao seu reduzido contributo para a redução de energia neste edifício, já verificado no capítulo 5.3.5.

Tabela 23: Cálculo do período de retorno para a Medida 7

Medida	Custo Estimado (€)	Redução (kWh)	Retorno (anos)
7	33298,70	4301,56	>16

Se retirarmos o envidraçado a esta medida, chegamos à conclusão que o período de retorno se reduz significativamente, no entanto a medida continua a não ser apelativa do ponto de vista económico.

Tabela 24: Cálculo do período de retorno para Medida 7 (sem melhoria no envidraçado)

Medida	Custo Estimado (€)	Redução (kWh)	Retorno (anos)
7	18236,20	3828,23	>16

5.3.8 Medida 8 – Ventilação natural

De acordo com o nº 1 do artigo 12º do RSECE [97], todos os edifícios deverão ser dotados de meios naturais, mecânicos ou híbridos que garantam as taxas de renovação

do ar por forma a proporcionar a boa qualidade do ar. De acordo com o Anexo IV do RSECE o valor do caudal de ar mínimo de ar novo para gabinetes de edifícios de serviços é de 35 m³/(h.ocupante), pelo que foi calculado o valor mínimo de Rph (renovações por hora) correspondente a este caudal mínimo para o edifício, através da seguinte expressão:

$$Rph = \frac{35 \times ocupantes}{volume}$$

Na tabela 25 estão apresentados os resultados de Rph para o edifício, concluindo-se que o edifício necessita de um Rph mínimo de cerca 0,5 para satisfazer o caudal de 35 m³/(h.ocupante).

Tabela 25: Cálculo do Rph mínimo para o edifício

Piso	Volume	Ocupantes	Rph
0	765,1553	6	0,27
1	2204,267	24	0,38
2	695,5389	10	0,50
Total	3664,961	40	0,52

Ainda de acordo com o Anexo IV do RCCTE [98] é possível estimar o valor da permeabilidade ao ar do edifício em Rph. Para chegar a este valor é necessário em primeiro lugar, classificar a classe de exposição do edifício ao vento, através do quadro IV.2 do Anexo IV como mostra a Figura 72, chegando à classe de exposição 1.

QUADRO IV.2

Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da fracção autónoma

Altura acima do solo	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
Menor que 10 m	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
De 10 m a 18 m	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
De 18 m a 28 m	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
Superior a 28 m	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4

Notas

- Região A — todo o território nacional, excepto os locais pertencentes à região B.
- Região B — Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e ou de altitude superior a 600 m.
- Rugosidade I — edifícios situados no interior de uma zona urbana.
- Rugosidade II — edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural.
- Rugosidade III — edifícios situados em zonas muito expostas (sem obstáculos que atenuem o vento).

Figura 72 - Obtenção da classe de exposição do edifício ao vento. Fonte: RCCTE

Considerando o quadro IV.1 do mesmo anexo obtém-se o valor da permeabilidade ao ar tendo em conta a classe de exposição obtida anteriormente. Não havendo elementos

referentes a ensaios das, caixilharias (logo não há classificação), e sabendo que não existem dispositivos de admissão de ar na fachada nem caixas de estore, chega-se ao valor de 0,9 Rph como se pode ver na Figura 73, concluindo-se assim que a permeabilidade ao ar do edifício possui capacidade suficiente para garantir a qualidade do ar no seu interior.

QUADRO IV.1

Valores convencionais de R_{ph} (em h^{-1}) para edifícios de habitação

Classe de exposição	Dispositivos de admissão na fachada	Permeabilidade ao ar das caixilharias (de acordo com a norma EN 12207)								Edifícios conformes com a NP 1037-1
		Sem classificação		Classe 1		Classe 2		Classe 3		
		Caixa de estore		Caixa de estore		Caixa de estore		Caixa de estore		
		Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	
1	Sim	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70	0,75	0,65	0,60
	Não	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	
2	Sim	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70	
	Não	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	
3	Sim	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	
	Não	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	
4	Sim	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	
	Não	1,15	1,05	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90	

Figura 73 - Determinação da permeabilidade do edifício ao ar. Fonte: RCCTE

Visto que a qualidade do ar no edifício está garantida, a ventilação natural será usada também como estratégia para arrefecimento do edifício na estação de aquecimento. De forma a proceder à modelação da ventilação natural definiu-se o valor de temperatura de conforto em 22 °C, sendo que só haverá ventilação natural quando a temperatura interior no edifício ultrapassar este valor. Definiu-se também o valor de delta T igual a zero, o que significa que só haverá ventilação natural enquanto a temperatura exterior for inferior à temperatura interior. Finalmente foi definido o valor de 8 Rph para o qual será feita a ventilação natural [99]. Na tabela 26 estão sumarizados os resultados da simulação à ventilação natural, através da qual podemos observar que esta medida tem a capacidade para reduzir em cerca de 1% o consumo de energia no edifício.

Tabela 26: Consumo de energia anual resultante da Medida 8

		Consumo Original (kWh)	Consumo após medida (kWh)	Variação		
				kWh	(kWh/m ²)	(%)
Consumo de energia (kWh)	Equipamentos	11284,54	11284,54	0,00	0,00	0,00
	Iluminação	9896,71	9896,71	0,00	0,00	0,00
	Aquecimento	16140,45	16140,45	0,00	0,00	0,00
	Arrefecimento	1765,093	1345,395	-419,70	-0,37	-23,78
	Total	39086,8	38667,1	-419,70	-0,37	-1,07

Nas figuras 74 e 75 estão representados um ciclo diurno para o dia 1 de Julho, no qual podemos verificar a influência que esta medida apresenta na descida da temperatura e na redução consumo de energia para arrefecimento, sendo que deixa de ser necessário arrefecer o edifício das 8h até às 11h. É possível também observar que taxa de ventilação natural reduz significativamente entre as 3h e as 7h da manhã pelo facto de esta medida ter provocado a descida para valores a rondar os 22 °C, sendo que com o aumento da temperatura exterior a partir das 7h, houve um aumento da temperatura interior e conseqüentemente um aumento da ventilação natural no sentido de baixar a temperatura novamente para os 22 °C. No entanto, entre as 10h e as 11h a temperatura exterior ultrapassou a temperatura interior fazendo com que a ventilação natural deixasse de operar, ficando apenas a infiltração de ar (permeabilidade ao ar) a renovar o ar do interior do edifício.

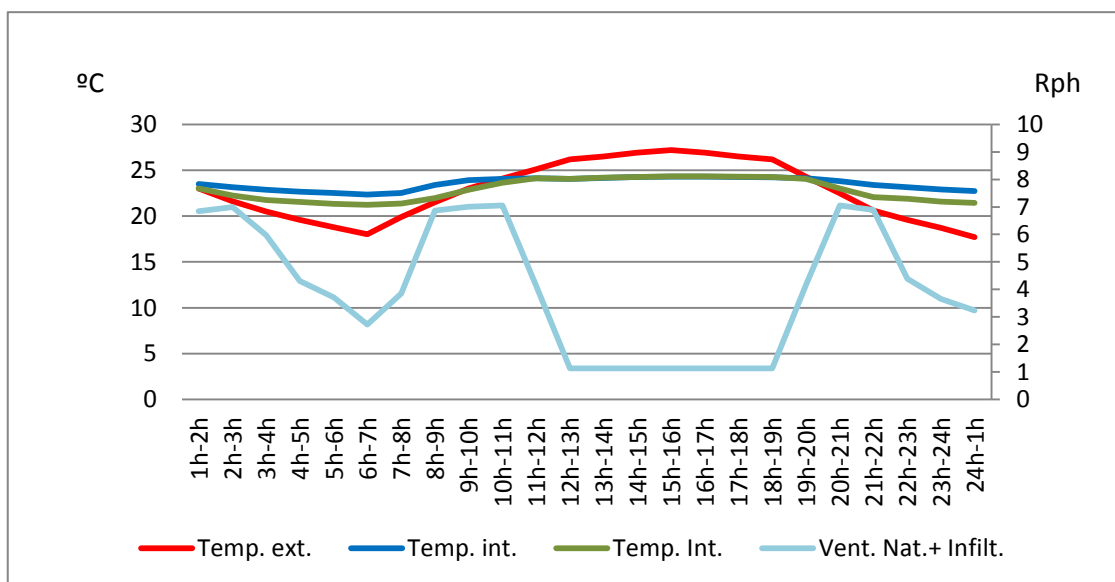


Figura 74 - Influência da ventilação natural na temperatura interior para o dia 1 de Julho

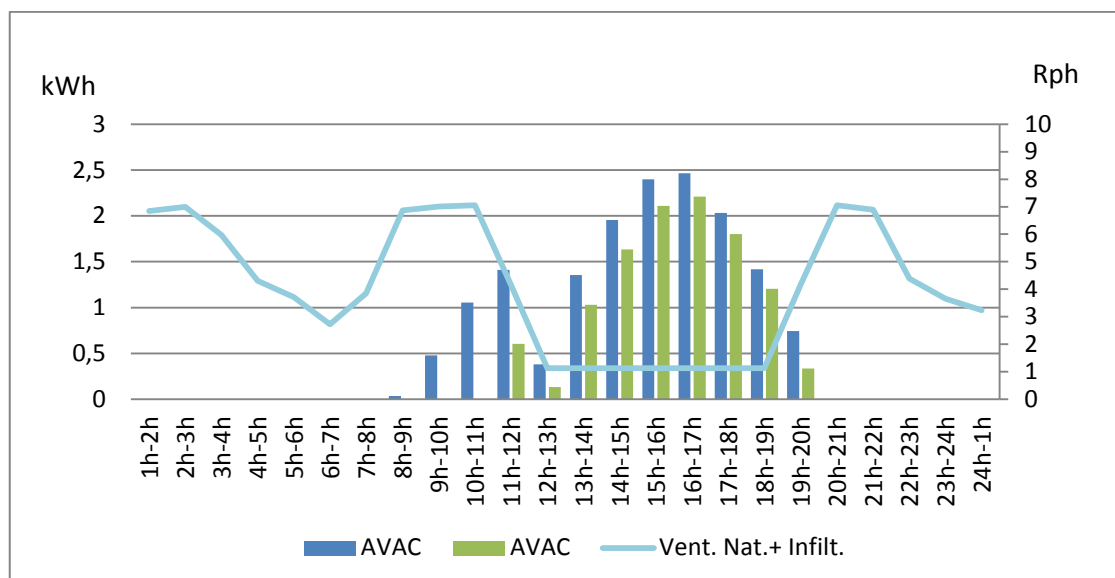


Figura 75 - Influência da ventilação natural no consumo de energia para aquecimento para o dia 1 de Julho

Para implementação desta medida é necessário a aplicação de *software* adequado, com servidor em “*cloud computing*” que permite monitorizar a temperatura do edifício através de sensores de temperatura, e que comanda a abertura ou fecho das janelas de acordo com a necessidade de ventilação. O *software* tem um custo de cerca de 2500 €/quadro eléctrico, existindo um quadro por piso, e as sondas de temperatura custam cerca de 30€, sendo que se estima serem necessárias 11 sondas no edifício (cerca de 100 m²/sonda) para uma correcta monitorização da temperatura, chegando-se assim a um custo total de 7830 € de investimento nesta tecnologia e um retorno estimado superior a 16 anos como se pode observar na tabela 27.

Tabela 27: Cálculo do período de retorno para a Medida 8

Medida	Custo Estimado (€)	Redução (kWh)	Retorno (anos)
8	7830	419,7	>16

5.3.9 Medida 9 – Substituição dos computadores fixos por portáteis.

Tal como mostra na tabela 9, os computadores portáteis são mais eficientes que os computadores fixos requerendo menos energia para o seu funcionamento, pelo que se torna uma medida importante para baixar o consumo de electricidade no edifício. De acordo com os resultados da simulação a troca dos 23 computadores fixos por portáteis permite uma redução anual de cerca 36% no que diz respeito ao consumo total destes equipamentos. No entanto a troca para computadores mais eficientes também tem influência na carga de aquecimento e arrefecimento, visto que os computadores

constituem uma fonte de ganhos internos, sendo que os computadores mais eficientes emitem menos calor, assim, é previsto pela simulação uma redução no consumo de energia para arrefecimento e um aumento no consumo de energia para aquecimento como se pode observar na tabela 28.

Tabela 28: Consumo de energia anual resultante da Medida 9

		Consumo Original (kWh)	Consumo após medida (kWh)	Variação		
				kWh	(kWh/m ²)	(%)
Consumo de energia (kWh)	Equipamentos	11284,54	7162,372	-4122,17	-3,62	-36,53
	Iluminação	9896,71	9896,71	0,00	0,00	0,00
	Aquecimento	16140,45	16765,14	624,69	0,55	3,87
	Arrefecimento	1765,093	1540,033	-225,06	-0,20	-12,75
	Total	39086,8	35364,26	-3722,54	-3,27	-9,52

Estimando-se que os portáteis a adquirir poderão custar em média de 500€ cada, originando assim um período de retorno estimado superior a 16 anos.

Tabela 29: Cálculo do período de retorno da Medida 9

Medida	Custo Unitário (€/unid.)	Quantidade	Custo Estimado (€)	Redução (kWh)	Retorno (anos)
9	500,00	23	11500,00	3722,54	>16

5.3.10 Iluminação por sensores de presença.

Esta medida tem como objectivo reduzir o consumo de energia relacionado com a iluminação, através da introdução de sensores de presença que permitem assim reduzir o tempo de funcionamento da iluminação. De forma a prever o consumo de energia resultante desta medida foi criado um horário para a iluminação equivalente ao horário da ocupação representado na Figura 52. Na tabela 30 estão sumarizados os resultados do consumo de energia anual, onde podemos constatar que a redução na iluminação reduz o consumo de energia para arrefecimento e aumenta no consumo de energia para aquecimento.

Tabela 30: Consumo de energia anual resultante da Medida 10

		Consumo Original (kWh)	Consumo após medida (kWh)	Variação		
				kWh	(kWh/m ²)	(%)
Consumo de energia (kWh)	Equipamentos	11284,54	11284,54	0,00	0,00	0,00
	Iluminação	9896,71	5920,804	-3975,91	-3,49	-40,17
	Aquecimento	16140,45	16308,2	167,75	0,15	1,04
	Arrefecimento	1765,093	1728,194	-36,90	-0,03	-2,09
	Total	39086,8	35241,74	-3845,06	-3,37	-9,84

O custo associado a esta medida é o custo dos sensores de presença que estima-se em cerca de 15 € cada. Visto que para o edifício estima-se que sejam necessários 63 sensores, será então necessário um investimento total de 945 € obtendo-se um período de retorno de aproximadamente 2 anos, como se pode ver na tabela 31.

Tabela 31: Cálculo do período de retorno para a Medida 10

Medida	Custo Estimado (€)	Redução (kWh)	Retorno (anos)
10	945	3845,06	2

5.3.11 Medida 11 – Sistema fotovoltaico

A introdução de sistema fotovoltaico no edifício é uma medida essencial para redução da dependência energética e para a convergência do edifício para NZEB. Esta medida torna-se possível devido à existência de um pátio onde poderão ser instalados os painéis sem causar qualquer impacto na envolvente exterior do edifício.

A solução aqui abordada foi recentemente implementada no edifício e corresponde a um sistema composto por 18 módulos fotovoltaicos com uma inclinação de 15° e uma área de 28.92 m² (6m x 4,82m), uma potência instalada de 4,32 kWp e uma potência de ligação de 3,68 kWn.

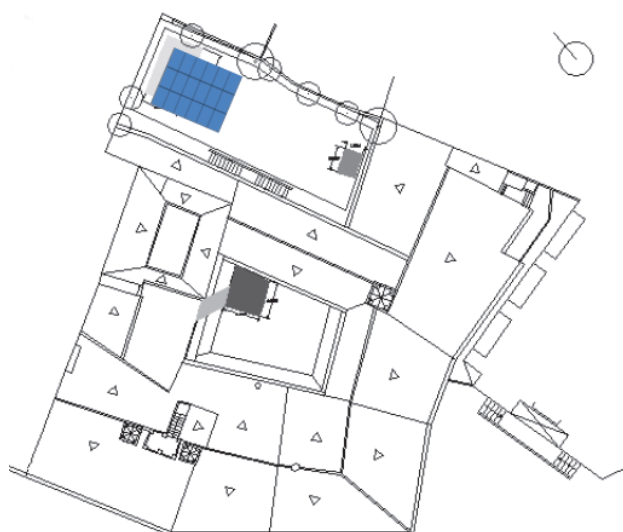


Figura 76 - Planta de localização dos painéis fotovoltaicos. Fonte: Proprietário

Na tabela 32 podemos verificar as estimativas de produção anual retiradas da proposta do solar fotovoltaico instalado, da qual podemos verificar que o sistema apresenta capacidade para diminuir a dependência do consumo de energia no edifício, entre cerca de 16% e 14% durante os primeiros 25 anos. Para perceber qual o período de retorno do sistema fotovoltaico foi considerado que o produtor de energia recebe 0,23€/KWh entregue à rede. Na tabela 33 podemos verificar que durante o 10º ano de funcionamento o investimento teve retorno em relação ao investimento do sistema (13000€).

Tabela 32: Produção anual da unidade de microprodução. Fonte: Proposta da EDP

Ano		Produção (kWh)	Redução (%)
2012	1	6345	16,23
2013	2	6302	16,12
2014	3	6259	16,01
2015	4	6216	15,90
2016	5	6174	15,80
2017	6	6132	15,69
2018	7	6090	15,58
2019	8	6049	15,48
2020	9	6008	15,37
2021	10	5967	15,27
2022	11	5926	15,16
2023	12	5886	15,06
2024	13	5846	14,96

Ano		Produção (kWh)	Redução (%)
2025	14	5806	14,85
2026	15	5767	14,75
2027	16	5728	14,65
2028	17	5689	14,55
2029	18	5650	14,46
2030	19	5611	14,36
2031	20	5573	14,26
2032	21	5535	14,16
2033	22	5498	14,07
2034	23	5460	13,97
2035	24	5423	13,87
2036	25	5386	13,78

Tabela 33: Período de retorno do sistema fotovoltaico

Ano		Venda de energia (€)
2012	1	1459,35
2013	2	1449,46
2014	3	1439,57
2015	4	1429,68
2016	5	1420,02
2017	6	1410,36
2018	7	1400,7
2019	8	1391,27
2020	9	1381,84
2021	10	1372,41
Acumulado		14154,66

5.3.12 Medida 12

Esta medida consiste em aliar as medidas de renovação da envolvente exterior (medida 7), ventilação natural, substituição de computadores, iluminação por sensores de presença e implementação do sistema solar fotovoltaico, de modo a obter a maior redução possível de consumo de energia no edifício.

Na tabela 34 podemos constatar que o potencial máximo de redução do consumo de energia equivale a cerca de 33% do consumo total.

Tabela 34: Consumo de energia anual resultante da Medida 12

		Consumo Original (kWh)	Consumo após medida (kWh)	Variação		
				kWh	(kWh/m ²)	(%)
Consumo de energia (kWh)	Equipamentos	11284,54	7162,372	-4122,17	-3,62	-36,53
	Iluminação	9896,71	5920,804	-3975,91	-3,49	-40,17
	Aquecimento	16140,45	12342,92	-3797,54	-3,33	-23,53
	Arrefecimento	1765,093	768,5	-996,59	-0,87	-56,46
	Total	39086,8	26194,59	-12892,20	-11,31	-32,98

Ao adicionar o contributo do sistema fotovoltaico podemos observar na tabela 35, que a redução do consumo de energia, aliado à produção e venda da energia à rede, reduz a dependência energética do edifício para valores entre 49% e 47% nos primeiros 25 anos de serviço.

Tabela 35: Cálculo da redução da dependência energética da Medida 12

Ano		Produção (kWh)	Consumo (kWh)	Redução (%)
2012	1	6345	19849,59	49,22
2013	2	6302	19892,59	49,11
2014	3	6259	19935,59	49,00
2015	4	6216	19978,59	48,89
2016	5	6174	20020,59	48,78
2017	6	6132	20062,59	48,67
2018	7	6090	20104,59	48,56
2019	8	6049	20145,59	48,46
2020	9	6008	20186,59	48,35
2021	10	5967	20227,59	48,25
2022	11	5926	20268,59	48,14
2023	12	5886	20308,59	48,04
2024	13	5846	20348,59	47,94

Ano		Produção (kWh)	Consumo (kWh)	Redução (%)
2025	14	5806	20388,59	47,84
2026	15	5767	20427,59	47,74
2027	16	5728	20466,59	47,64
2028	17	5689	20505,59	47,54
2029	18	5650	20544,59	47,44
2030	19	5611	20583,59	47,34
2031	20	5573	20621,59	47,24
2032	21	5535	20659,59	47,14
2033	22	5498	20696,59	47,05
2034	23	5460	20734,59	46,95
2035	24	5423	20771,59	46,86
2036	25	5386	20808,59	46,76

Relativamente ao estudo económico desta medida concluímos que o máximo de redução do consumo de energia origina poupanças anuais de 1547,06€. Somando este valor aos valores de venda da energia produzida é possível alcançar poupanças anuais desde cerca de 2800 € até cerca de 3000 €, originando assim um período de retorno de cerca de 23 anos (tabela 36) para o investimento total de 66573,70 € correspondente ao somatório do investimento de todas as medidas incluídas na Medida 12.

Tabela 36: Cálculo do período de retorno da Medida 12

Ano		Produção (kWh)	Venda da energia (€)	Poupança (€)
2012	1	6345	1459,35	3006,41
2013	2	6302	1449,46	2996,52
2014	3	6259	1439,57	2986,63
2015	4	6216	1429,68	2976,74
2016	5	6174	1420,02	2967,08
2017	6	6132	1410,36	2957,42
2018	7	6090	1400,7	2947,76
2019	8	6049	1391,27	2938,33
2020	9	6008	1381,84	2928,90
2021	10	5967	1372,41	2919,47
2022	11	5926	1362,98	2910,04
2023	12	5886	1353,78	2900,84

Ano		Produção (kWh)	Venda da energia (€)	Poupança (€)
2024	13	5846	1344,58	2891,64
2025	14	5806	1335,38	2882,44
2026	15	5767	1326,41	2873,47
2027	16	5728	1317,44	2864,50
2028	17	5689	1308,47	2855,53
2029	18	5650	1299,5	2846,56
2030	19	5611	1290,53	2837,59
2031	20	5573	1281,79	2828,85
2032	21	5535	1273,05	2820,11
2033	22	5498	1264,54	2811,60
2034	23	5460	1255,8	2802,86
Acumulado			31168,91	66751,39

No entanto como poderemos observar nas tabelas 37 e 38 é possível reduzir o período de retorno ao eliminar a introdução dos envidraçados duplos, o isolamento térmico no pavimento e a ventilação natural, baixando assim o potencial de redução de consumo para -11798,35 kWh o que corresponde a uma poupança anual de 1415,80 €. O investimento também terá um custo inferior, equivalente a 34655,37 €, originando assim um período de retorno entre os 12 e os 13 anos. De salientar ainda que o potencial de redução da dependência energética desce apenas em cerca de 3%.

Tabela 37: Cálculo da redução da dependência energética da Medida 12 (sem envidraçados duplos, ventilação natural nem isolamento térmico no pavimento)

Ano		Produção (kWh)	Consumo (kWh)	Redução (%)
2012	1	6345	20943,45	46,42
2013	2	6302	20986,45	46,31
2014	3	6259	21029,45	46,20
2015	4	6216	21072,45	46,09
2016	5	6174	21114,45	45,98
2017	6	6132	21156,45	45,87
2018	7	6090	21198,45	45,77
2019	8	6049	21239,45	45,66
2020	9	6008	21280,45	45,56
2021	10	5967	21321,45	45,45
2022	11	5926	21362,45	45,35
2023	12	5886	21402,45	45,24
2024	13	5846	21442,45	45,14

Ano		Produção (kWh)	Consumo (kWh)	Redução (%)
2025	14	5806	21482,45	45,04
2026	15	5767	21521,45	44,94
2027	16	5728	21560,45	44,84
2028	17	5689	21599,45	44,74
2029	18	5650	21638,45	44,64
2030	19	5611	21677,45	44,54
2031	20	5573	21715,45	44,44
2032	21	5535	21753,45	44,35
2033	22	5498	21790,45	44,25
2034	23	5460	21828,45	44,15
2035	24	5423	21865,45	44,06
2036	25	5386	21902,45	43,96

Tabela 38: Cálculo do período de retorno da Medida 12 (sem envidraçados duplos, isolamento de pavimento térreo nem ventilação natural)

Ano		Produção (KWh)	Venda da energia (€)	Poupança (€)
2012	1	6345	1459,35	2875,15
2013	2	6302	1449,46	2865,26
2014	3	6259	1439,57	2855,37
2015	4	6216	1429,68	2845,48
2016	5	6174	1420,02	2835,82
2017	6	6132	1410,36	2826,16
2018	7	6090	1400,7	2816,50

Ano		Produção (KWh)	Venda da energia (€)	Poupança (€)
2019	8	6049	1391,27	2807,07
2020	9	6008	1381,84	2797,64
2021	10	5967	1372,41	2788,21
2022	11	5926	1362,98	2778,78
2023	12	5886	1353,78	2769,58
2024	13	5846	1344,58	2760,38
Acumulado				36621,43

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1 Conclusões

A realização desta tese permitiu primeiramente apreender as diferentes estratégias e tecnologias de melhoria de eficiência energética de edifícios, com vista à obtenção do balanço energético anual quase zero em edifícios novos ou antigos.

De modo a compreender o potencial de redução de energia de algumas das medidas, foi estudado exhaustivamente um edifício de serviços, de construção histórica, podendo concluir-se que a implementação destas medidas em conjunto, apresenta um elevado impacto no balanço energético do edifício. Por outro lado, foi também possível compreender o potencial económico da aplicação das medidas, chegando-se à conclusão que a aplicação das medidas no edifício histórico apresenta um benefício ainda pouco aliciente em termos de período de retorno dos investimentos necessários.

O edifício escolhido no âmbito desta dissertação foi um edifício de serviços em Évora. Este edifício foi seleccionado por se inserir no clima Mediterrânico e por constituir um desafio em termos da sua renovação com vista à redução do consumo energético. De facto, sendo o edifício património classificado pelo IGESPAR (actual Direção Geral do Património), não é possível implementar quaisquer medidas que impliquem alterações estéticas na fachada e na cobertura, constituindo assim um obstáculo à obtenção do balanço energético anual quase zero.

Procedeu-se a um estudo exhaustivo de caracterização do edifício em termos da sua envolvente, sistemas de climatização, ocupação, equipamentos utilizados, iluminação, horários de funcionamento e facturação, por forma a construir um modelo o mais aproximado possível do edifício real e assim ponderar de uma forma mais sustentada a implementação das medidas mais adequadas para a redução do consumo de energia.

A construção do modelo e sua simulação energética foi realizada através do *software Design Builder* e *Energy Plus*. Com estes modelos foi realizado um ciclo anual de desempenho energético do edifício que permite uma análise muito completa de todos os processos envolvidos no seu comportamento energético. Com a referida simulação do modelo foi possível aferir o desempenho energético do edifício, chegando-se à conclusão que a maior percentagem de energia consumida está relacionada com o aquecimento dos espaços (41,29 %), sendo que por outro lado o arrefecimento (4,52 %) representa a menor parcela de consumo de energia no balanço anual. Também foi possível constatar

o balanço anual das transferências de calor através da envolvente do edifício, podendo-se concluir que o pavimento térreo e as paredes exteriores são os elementos que proporcionam níveis mais elevados de transferência no sentido de perda de calor para o exterior do edifício, justificando assim a elevada necessidade no consumo de energia para aquecimento dos espaços interiores.

Através da análise dos resultados do consumo de energia do edifício e das transferências de calor pela envolvente, foi possível identificar quais as potenciais medidas mais eficazes na melhoria da eficiência energética do edifício, tendo sempre em conta o carácter patrimonial do edifício e as restrições a ele associadas. Assim, as medidas escolhidas foram: o isolamento térmico do pavimento, das paredes exteriores (pelo interior) e da cobertura, pintura do telhado com tintas reflectoras, substituição dos envidraçados simples por envidraçados duplos, ventilação natural, substituição dos computadores fixos por portáteis, iluminação por sensores de presença, e instalação de sistema fotovoltaico.

A comparação dos resultados para as diferentes medidas referidas, permitem concluir que de todas as medidas efectuadas em relação à envolvente, o isolamento térmico da parede exterior (pelo interior) foi a que proporcionou a maior redução no consumo de energia global (-4 %), sendo que a pintura do telhado com tintas reflectoras acabou por não demonstrar melhoria no desempenho energético do edifício, provocando mesmo um ligeiro aumento do consumo de energia anual (+ 0,04 %). Em geral, de todas as medidas com vista à redução do consumo de energia, a substituição de computadores e a utilização de sensores de presença para a iluminação, foram as soluções que proporcionaram a maior redução no consumo de energia do edifício, ambas com reduções entre os 9% e os 10% do consumo global. No entanto, do ponto de vista económico a solução associada à iluminação foi a única com um período de retorno apelativo (cerca de 2 anos), sendo que todas as outras medidas implementadas isoladamente com vista à redução do consumo de energia mostraram períodos de retorno superiores a 16 anos. O estudo de várias das medidas implementadas simultaneamente e incluindo o sistema fotovoltaico permitiu concluir que é possível alcançar uma redução do nível de dependência energética do edifício no máximo de cerca de 49 % do total da energia consumida, com um período de retorno de 13 anos, que ainda assim não cumpre os critérios de viabilidade estabelecidos no RSECE.

Pela análise efectuada podemos concluir finalmente que será muito difícil alcançar o estatuto de NZEB para o edifício em estudo, sem que se proceda a um aumento do

investimento no sistema fotovoltaico, de modo a cobrir as necessidades energéticas anuais resultantes da implementação das medidas de eficiência energética (26600,88 kWh). No entanto, devido às restrições impostas no edifício pelo estatuto de classificado pelo IGESPAR (actual Direção Geral do Património), não é possível a instalação de painéis na cobertura pelo que não existem mais áreas disponíveis para expansão do sistema fotovoltaico no edifício. Porém, importa salientar a significativa redução em quase 50% da dependência energética, que face às restrições impostas ao edifício associadas à impossibilidade em proceder a alterações nas fachadas, se trata de um bom resultado.

Finalmente, importa referir que com a realização da dissertação, ganhei:

- Conhecimentos na modelação de um edifício para simulação energética, à custa da aplicação de software adequado;
- Sensibilidade para a escolha de soluções adequadas de eficiência energética para fachadas, paredes interiores e coberturas;
- Conhecimento sobre sistemas geradores de energia renovável em edifícios;
- Conhecimento sobre as estratégias e tecnologias de redução do consumo de energia nos edifícios.

6.2 Desenvolvimentos futuros

Para futuros estudos em relação à temática da renovação energética de edifícios, considero que se deverão realizar estudos de edifícios existentes nas seguintes situações:

- Desenvolvimento do estudo de renovação energética de edifícios situados em zonas climáticas distintas da zona de Évora. Por exemplo, as zonas climáticas de Guarda ou dos Açores possuem especificidades diferentes do clima em Évora que poderão potencializar diferentes tipos de estratégias ou tecnologias para a melhoria do desempenho energético dos edifícios;

Apesar de cada edifício existente dever ser tratado casuisticamente, pela heterogeneidade arquitectónica, orientação solar, características da envolvente, considera-se que seria interessante estudar a renovação energética de edifícios construídos em outras zonas climáticas, para se tentar avaliar qual a estratégia a seguir. Seria interessante avaliar a possibilidade de estabelecer uma matriz de

medidas a adoptar em função da tipologia do edifício e da zona climática em que se insere.

- Desenvolvimento do estudo de renovação de um edifício sem restrições ao nível da envolvente exterior, o que permite uma maior liberdade de escolha das estratégias e tecnologias a adoptar para o edifício, facilitando o processo de convergência do edifício para NZEB.

Em complemento com o atrás mencionado, parece ser de explorar o tema da climatização passiva, mesmo em edifícios de serviços, à custa do estudo de adaptação de vãos envidraçados, contemplando janelas inteligentes a cotas distintas, em fachadas opostas, com recurso aos *softwares* de modelação e simulação energética (*Design Builder* e *Energy Plus*), utilizados nos modelos de simulação da presente dissertação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Directiva 93/76/CEE do Conselho de 13 de Setembro de 1993 relativo à limitação das emissões de dióxido de carbono através do aumento da eficiência energética”.
- [2] Plano de Acção para Melhorar a Eficiência Energética na Comunidade Europeia, COM(2000) 247 final. Bruxelas, 26-04-2000.
- [3] “Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios”.
- [4] “Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios”.
- [5] Plano de Acção para a Eficiência Energética: concretizar o Potencial, COM (2006) 545 final, Bruxelas.
- [6] Parlamento Europeu, “Eficiência Energética,” [Online]. Available: www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=TA&reference=P6-TA-2008-0033&language=PT. [Acedido em 05 04 2013].
- [7] Parlamento Europeu, “Segunda Análise Estratégica da Política Energética,” [Online]. Available: www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P6-TA-2009-0038+0+DOC+XML+V0//PT. [Acedido em 05 04 2013].
- [8] “Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009 relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis”.
- [9] Regulamento Delegado (UE) N°244/2012 da Comissão, de 16 de Janeiro de 2012.
- [10] “Directiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Outubro de

2012 relativa à eficiência energética”.

- [11] Plano de eficiência energética de 2011, COM(2011) 109 final. Bruxelas. 8-3-2011.
- [12] Energy Efficiency Plan 2011, SEC(2011)277 final. Brussels. 8-3-2011.
- [13] Regulamento das Características de Comportamento Térmico em Edifícios. Decreto-Lei nº80/2006 de 4 de Abril.
- [14] Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. Decreto-Lei nº79/2006 de 4 de Abril.
- [15] Decreto-Lei nº78/2006 de 4 de Abril.
- [16] “URBACT,” [Online]. Available: <http://urbact.eu/en/about-urbact/urbact-at-a-glance/urbact-in-words/>. [Acedido em 17 04 2013].
- [17] “European Commission,” [Online]. Available: http://ec.europa.eu/energy/intelligent/about/iee-programme/index_en.htm. [Acedido em 17 04 2013].
- [18] “Pela Natureza,” [Online]. Available: <http://pelanatureza.pt/energia/noticias/novo-mecanismo-europeu-de-assistencia-local-ao-sector-da-energia>. [Acedido em 17 04 2013].
- [19] “European Commission,” [Online]. Available: <http://setis.ec.europa.eu/implementation/technology-roadmap/european-initiative-on-smart-cities>. [Acedido em 17 04 2013].
- [20] “Europa.eu,” [Online]. Available: http://europa.eu/legislation_summaries/glossary/structural_cohesion_fund_pt.htm. [Acedido em 17 04 2013].
- [21] “Comissão Europeia,” [Online]. Available: http://ec.europa.eu/regional_policy/thefunds/instruments/jessica_pt.cfm. [Acedido

em 17 04 2013].

- [22] Instituto de Soldadura e Qualidade, *Térmica dos edifícios*, Oeiras: ISQ, 1996.
- [23] I. Lombard, J. Ortiz e P. C., “A review on buildings energy consumption information,” *Energy and Buildings*, 2007.
- [24] S. Dessai e R. Trigo, “Ciência das Alterações Climáticas,” 1999.
- [25] U.S. Energy Information and Administration, “International Energy Outlook 2010,” [Online]. Available: www.eia.gov/forecasts/archive/ieo10/emissions.html. [Acedido em 30 04 2013].
- [26] “Climate and buildings , Implications of climate on building design,” [Online]. Available:
www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=climate%20and%20buildings&source=web&cd=8&cad=rja&ved=0CHUQFjAH&url=http%3A%2F%2Fmnre.gov.in%2Fsolar-energy%2Fch2.pdf&ei=NFeSUaL2CtPH7Ab6s4GAAQ&usg=AFQjCNFf1e0QYJNuT_SrQDXBLKc-vWdN_Q&bvm=bv.46471029,d.ZGU. [Acedido em 14 04 2013].
- [27] P. Lionello, P. Rizzoli e R. Boscolo, “Mediterranean climate variability,” *Elsevier*, 2006.
- [28] “O'Hara, S,” [Online]. Available: <http://gimcw.org/climate/data-precip-temp.cfm>. [Acedido em 14 04 2013].
- [29] M. Ritter, “The Physical Environment, an Introduction to Physical Geography,” [Online]. Available:
http://www4.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/climate_systems/mediterranean.htm. [Acedido em 14 04 2013].
- [30] L. Politano, “Extreme temperature events in the Mediterranean,” *Tese de Mestrado, University of Bern*, 2008.
- [31] J. Woodward, *The Physical Geography of the Mediterranean*, New York: Oxford

University Press, 2009.

- [32] Serviço Municipal de Protecção Civil, “Plano municipal de defesa da floresta contra incêndios do município de Évora,” Évora, 2010.
- [33] “Normais Climatológicas na estação Évora / Mitra (1951-1980),” [Online]. Available: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cm-montemornovo.pt%2FNR%2Frdonlyres%2F00004765%2Fhttpmomkgrvrtankiqgpoqassjqirhaue%2FAnexos.pdf&ei=spJVUua-EYqqhQedy4HABA&usg=AFQjCNEBcZksX1nhRUVkclGDdPstql6>. [Acedido em 17 04 2013].
- [34] H. Gonçalves e J. Graça, “Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal,” *INETI*, 2004.
- [35] “Bastow, J,” 23-05-2013. [Online]. Available: <http://www.examiner.com/article/the-basics-of-solar-site-orientation>. [Acedido em 23 05 2013].
- [36] R. Horta, “Construção sustentável de edifícios de balanço energético quase zero,” *Dissertação de mestrado, Universidade Nova de Lisboa*, 2012.
- [37] A. Mestre, “Estratégias de projecto bioclimático em centros comerciais,” 2012.
- [38] J. Mourão e J. Pedro, *Princípios de edificação sustentável (ITA 11)*, Lisboa: LNEC, 2012.
- [39] ITE 50.
- [40] P. Mendes, “Isolamento Térmico em Edifícios e seu Contributo para a Eficiência Energética,” *Recomendações de Projecto, Universidade Fernando Pessoa*, 2012.
- [41] Adene, “Reabilitação Energética de Edifícios: contribuição dos ETICS e das Argamassas Térmicas,” [Online]. Available: www.adene.pt/pt-pt/Eventos/Documents/ConfRequest4_CD.pdf. [Acedido em 25 05 2013].

- [42] Núcleo de Revestimentos e Isolamentos do LNEC, 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.
- [43] S. Malanho, “Avaliação do desempenho de ETICS com acabamento de ladrilhos cerâmicos,” *Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro*, 2012.
- [44] Ecocasa, “Materiais de construção – Isolamento térmico,” [Online]. Available: www.ecocasa.pt. [Acedido em 27 05 2013].
- [45] “Dossier técnico económico, Fachada Ventilada,” [Online]. Available: www.engenhariacivilfiles.wordpress.com/2008/01/dossiereconomico.pdf. [Acedido em 26 05 2013].
- [46] Sotecnisol, “Fachadas Ventiladas,” [Online]. Available: www.construlink.com/Homepage/2003_GuiaoTecnico/Ficheiros/ft_562_sotecnisol_03_2009_05_12.pdf. [Acedido em 26 05 2013].
- [47] “Matimex,” [Online]. Available: http://www.matimex-ceramic.com/images/_zona_tecnica/fachada_ventilada/big/04.jpg. [Acedido em 26 05 2013].
- [48] Téchne, “Fachadas respirantes,” [Online]. Available: www.revistatechne.com.br. [Acedido em 26 05 2013].
- [49] D. Tilley, J. Price, S. Matt e B. Marrow, “Final Report to Green Roofs for Healthy Cities – Green Walls Group; Vegetated Walls: Thermal and Growth Properties of Structured Green Facades,” *University of Maryland*, 2012.
- [50] “Skyrise Greenery,” [Online]. Available: http://www.skyrisegreenery.com/index.php/home/skyrise/vertical_greenery_8211_the_vertical_dimension/. [Acedido em 15 06 2013].

- [51] P. Vasconcelos, “Fachadas verdes técnicas de aplicação no contexto dos espaços urbanos,” *Dissertação de Mestrado, Universidade Trás-os-Montes e Alto Douro*, 2012.
- [52] L. Tirone, “Coberturas eficientes – Guia para a reabilitação energético-ambiental do edificado,” *Adene*, 2011.
- [53] J. Lopes, *Revestimentos de impermeabilização de coberturas em terraço*, Lisboa: LNEC, 2010.
- [54] R. I. M. A. (RIMA), “ Understanding and Using Reflective Insulation, Radiant Barriers and Radiation control Coating,” 2002.
- [55] D. Dias, “Radiation Control Coatings,” *Tese de Mestrado, FEUP*, 2008.
- [56] I. Jaffal, S. Ouldboukhitine e R. Belarbi, “A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance,” *Elsevier*, 2011.
- [57] F. Torgal, “Contributos da nanotecnologia para os Nearly Zero Energy Buildings (NZEB),” *Engenharia*, 2012.
- [58] pt.saint-gobain-glass.com, (01-06-2013).
- [59] D. Marinoski, “Eficiência energética em janelas,” 2012.
- [60] M. Palhinha, “Sistemas de sombreamento em arquitectura: proposta de um novo método de concepção e dimensionamento,” *Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico*, 2009.
- [61] “Prowler, D,” 2008. [Online]. Available: <http://www.wbdg.org/resources/suncontrol.php?r=psheating>. [Acedido em 03 06 2013].
- [62] B. Kapača, “Sun Light Control and Shading Devices,” *Dissertação, VIA University*

College, 2011.

- [63] “Make Window,” [Online]. Available: <http://makewindow.tumblr.com/tagged/shading>. [Acedido em 03 06 2013].
- [64] “Inhabitat,” [Online]. Available: <http://assets.inhabitat.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2013/05/2030-Palette-4.jpg>. [Acedido em 03 06 2013].
- [65] J. Silvan, “Passive Solar Design. Zonbak Inc,” [Online]. Available: <http://www.zonbak.com/knowledge/passive%20solar%20design/passivedesign.pdf>. [Acedido em 28 05 2013].
- [66] N. Silva, J. Aguiar, L. Bragança, A. Sousa, P. Santos e J. Monteiro, “Congresso de inovação na Construção Sustentável - A utilização de Materiais de Mudança de Fase na Regulação da Temperatura Interior,” 2008.
- [67] S. Lucas, A. Velosa, J. Aguiar e V. Ferreira, “4º Congresso Português de Argamassas e ETICS - Papel de nano-aditivos na funcionalização de argamassas,” 2012.
- [68] G. D. Ander, “Whole Building Design Guide. National Institute of Building Sciences – Daylighting,” 2012.
- [69] V. Hansen, “Innovative daylighting systems for deep-plan commercial buildings,” *Tese de doutoramento, Queensland University Of Technology*, 2006.
- [70] Monodraught, “Iluminação natural,” [Online]. Available: www.monodraught.com. [Acedido em 20 06 2013].
- [71] A. Teixeira, “As lâmpadas fluorescentes T5,” [Online]. Available: www.ploran.com/artigos/lampada_t8_t5.pdf. [Acedido em 05 06 2013].
- [72] S. Sá, “As vantagens e desvantagens das lâmpadas LED,” *Visão*, 2013.
- [73] L. Meyer, “An introduction to Digital Addressable Lighting Interface (DALI) systems

& study of a DALI daylighting application,” *Tese de Mestrado, Kansas State University, 2007.*

- [74] A. Lanham, P. Gama e R. Braz, “Seminários de Inovação, Arquitectura Bioclimática Perspectivas de inovação e futuro,” IST, Lisboa, 2004.
- [75] A. Martins, “Contribuição da parede de trombe na redução dos consumos energéticos dos edifícios,” *Dissertação de Mestrado, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2010.*
- [76] J. Shen, S. Lassue, L. Zalewski e D. Huang, “Numerical study on thermal behavior of classical or composite Trombe solar walls,” *Energy and Buildings, 2007.*
- [77] A. Markopoulos, “PCM performance optimisation in buildings using active cooling systems,” *Tese de Mestrado, University of Strathclyde, 2008.*
- [78] X. Fang e Y. Li, “Numerical simulation and sensitivity analysis of lattice passive solar heating walls,” *Elsevier, 2000.*
- [79] A. Chell, J. Nayak e G. Kaushik, “Energy conservation in honey storage building using Trombe wal,” *Energy and Buildings, 2008.*
- [80] A. Walker, “Whole Building Design Guide. National Institute of Building Sciences – Natural Ventilation,” 2010. [Online]. Available: <http://www.wbdg.org/resources/naturalventilation.php>. [Acedido em 10 06 2013].
- [81] B. M. Jones e R. Kirby, “Quantifying the performance of a top-down natural ventilation Windcatcher”. *Monodraught.*
- [82] T. Elliot, “Passive air conditioning,” [Online]. Available: www.i4at.org/lib2/aircool.htm. [Acedido em 11 06 2013].
- [83] D. Serghides, “Bioclimatic, design and energy conservation in buildings”.
- [84] Center for the Built Environment, “Cool tower,” [Online]. Available:

www.cbe.berkeley.edu/mixedmode/images/carnegie/Carnegie_cool_tower.html.

[Acedido em 11 06 2013].

[85] Portal das Energias Renováveis, [Online]. Available: www.energiasrenovaveis.com.

[Acedido em 16 06 2013].

[86] P. Isolani, Eficiência energética nos edifícios residenciais, Lisboa, 2008.

[87] Solar Waters, “Microgeração,” [Online]. Available:

www.solarwaters.pt/microgeracao-fotovoltaico. [Acedido em 27 06 2013].

[88] ENAT, “Produtos ENAT,” [Online]. Available: www.enat.pt. [Acedido em 17 06

2013].

[89] P. Ruão, “Apresentação EDP, Urban Wind”.

[90] U.S. Department of Energy, “Energy Plus,” [Online]. Available:

<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. [Acedido em 01 06 2013].

[91] Design Builder, [Online]. Available: <http://www.designbuilder.co.uk/>. [Acedido em 01

06 2013].

[92] P. Nunes, M. Lerer e G. Graça, “Energy certification of existing office buildings: Analysis of two case studies and qualitative reflection,” *Sustainable Cities and Society*, 2013.

[93] Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. Decreto Lei nº79/2006.

[94] Orçamento.eu, [Online]. Available: www.orcamentos.eu. [Acedido em 05 10 2013].

[95] Pina Ferreira, “Isolamento térmico reflector,” [Online]. Available:

www.pinaferreira.pt. [Acedido em 17 08 2013].

[96] M. Kapsalaki, V. Leal e M. Santamouris, “A methodology for economic efficient

design of Net Zero Energy Buildings,” *Energy and Buildings*, 2012.

- [97] Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. Decreto Lei nº 79/2006.
- [98] Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Decreto Lei nº 80/2006, Anexo IV.
- [99] Limiano Ventilação e Limpeza Geral, Lda, “Regulamento CE Nº 852/2004, Anexo II,” [Online]. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.lvgl.pt%2Ffiles%2Fcatalogo%2Fregulamentos_lis%2FNP1037.pdf&ei=96dVUqqUHoe47AbawoGYDQ&usg=AFQjCNGPWbl4j-cele79DRujrJSFZrullQ&bvm=bv.53760139,d.ZGU. [Acedido em 05 10 2013].
- [100] E. Moghaddama, S. Amindeldarb e A. Besharatizadehb, “New approach to natural ventilation in public buildings inspired by iranian’s traditional windcatcher,” *Procedia Engineering*, 2011.

ANEXO I – SUMÁRIO DAS MEDIDAS DE MELHORIA PROPOSTAS

ANEXO II – FACTURAS DE ELECTRICIDADE

ANEXO III – PLANTA PISO 0

ANEXO IV – PLANTA PISO 1

ANEXO V – PLANTA PISO 2

ANEXO VI – CERTIFICADO ENERGÉTICO