

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil



Reabilitação Energética de um Edifício de Serviços

TIAGO FILIPE DE SOUSA GONÇALVES
(Licenciado em Engenharia Civil)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na
Área de Especialização de Edificações

Orientadores:

Doutor, Pedro Miguel Matos Soares (Eq. Prof. Adjunto do ISEL)
Especialista, João António Antunes Hormigo (Eq.Prof. Adjunto do ISEL)

Júri:

Presidente: Doutor, Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva (Eq. a Assistente 2.ºT do ISEL)
Vogais:

Doutora, Maria Dulce e Silva Franco Henriques (Prof. Adjunta do ISEL)
Especialista, João António Antunes Hormigo (Eq.Prof. Adjunto do ISEL)

Dezembro de 2014

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais, pela possibilidade que me deram de poder estudar ao longo destes anos. Sem o suporte deles nada disto teria sido possível.

Gostaria de agradecer ao Eng.^o João Hormigo e ao Doutor Pedro Matos Soares, pela ajuda e apoio, fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação, tanto com conhecimentos, como com conselhos e todo o tipo de documentação necessária.

Gostaria de agradecer à minha namorada Andreia, pelo apoio e ajuda prestados ao longo de todo o meu caminho universitário.

E por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer a todos os amigos e colegas que me acompanharam ao longo da minha formação académica e que de uma maneira ou outra me ajudaram a atingir os meus objetivos.

A todos os acima mencionados, o meu muito obrigado por tudo!

Resumo

Nos dias que correm, a temática da energia é um tema em destaque. O seu consumo aumenta todos os anos, a um ritmo elevado, principalmente nas economias emergentes, sendo os seus custos inerentes bastante significativos, tanto a nível monetário como também ambiental. Para além da procura de novas fontes de produção de energia e da aposta em energias renováveis, que permitam uma energia mais limpa e barata, existe uma maior aposta na eficiência energética.

Sabendo que na União Europeia os edifícios são os responsáveis pelo consumo final de 40% da energia, a melhoria da eficiência energética nos mesmos, permite obter grandes poupanças nos gastos finais com energia, para além de tornar o meio ambiente mais sustentável.

Nesta dissertação o foco vai para os edifícios de serviços, abordando-se um caso de estudo de um edifício deste tipo, localizado em Castelo Branco. É feita uma simulação energética do edifício em estudo, com recurso a *software* específico, de modelação e simulação (*Google SketchUp* e *EnergyPlus* respetivamente) e aplicadas alterações de modo a melhorar o desempenho energético do mesmo. O objetivo final é o de melhorar a classe energética do edifício, passando de B⁻ para A.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Edifício de Serviços, Classe Energética, *EnergyPlus*

Abstract

Nowadays, the issue of energy is a topic always highlighted. Its consumption is increasing every year, at a high rate, mainly in emerging economies, at a quite significant, monetary as well as environmental costs. Apart from looking for new sources of energy production and investment in renewable energies, allowing a cleaner and cheaper energy, there is a greater focus on energy efficiency, apart from research of new forms of energy generation and significant investment in renewable energies, which will allow a cleaner and cheaper energy production.

Buildings in European Union are responsible for 40% of final consumption of energy, therefore improving energy efficiency, will represent great savings in final energy costs, in addition to a more sustainable environment.

In this dissertation service buildings are the focus, with the presentation of a case study regarding a service building, located in Castelo Branco. Energy simulation of the building was developed, using specific, modeling and simulation software (*Google SketchUp* and *EnergyPlus* respectively) and several changes in the characteristics of the building were simulated in order to obtain responses to energy performance of the building. The ultimate goal is to improve the energy class of the building, from B⁻ to A.

Keywords: Energy Efficiency, Service Building, Energy Certification, *EnergyPlus*

Índice de Texto

Agradecimentos	ii
Resumo.....	iv
Abstract.....	vi
Índice de Texto.....	viii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas	xii
Lista de Abreviaturas e Siglas	xiv
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Estrutura da Dissertação	4
2. Eficiência Energética em Portugal	5
2.1. Eficiência Energética	5
2.2. Realidade Nacional.....	6
2.3. Planos Para o Setor Energético.....	10
2.4. Área Setorial dos Edifícios.....	17
3. Edifício de Serviços em Castelo Branco	21
3.1. Clima em Castelo Branco	21
3.2. Caracterização do Edifício.....	25
3.3. Patologias do Edifício	32
3.4. Intervenções Realizadas	44
3.5. Componente Energética Recente (Consumos).....	45
4. Simulação Energética.....	49

4.1. <i>Google SketchUp e EnergyPlus</i>	49
4.2. Simulação do Conjunto Energético Presente.....	50
4.3. Aplicação de Melhorias e Avaliação da Viabilidade Económica.....	56
4.4. Simulação do Conjunto Energético Final	63
4.5. Determinação da Classe Energética após Aplicação das Medidas de Melhoria	66
5. Conclusões.....	73
Referências Bibliográficas	75
Anexo A – Certificado de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior.....	77
Anexo B – Escalas de Urgência, Importância e Definição de Prioridades	79
Anexo C – Planta de Arquitetura do Edifício em Estudo.....	81
Anexo D – Ficha Técnica dos Envidraçados	83
Anexo E – Fichas Técnicas da Iluminação	85

Índice de Figuras

Figura 1 - Consumo de energia primária a nível mundial (1830-2010) [5].....	1
Figura 2 - Variação da temperatura à superfície terrestre (1860-2000) [6].....	2
Figura 3 - Dependência energética de Portugal (%) [9].	7
Figura 4 - Consumo de Energia Primária (ktep) [9].....	8
Figura 5 - Consumo de Energia Final (ktep) [9].	8
Figura 6 - Produção de eletricidade por energias renováveis (GWh) [9].	9
Figura 7 - Consumo total de energia final por setor de atividade (ktep) [9].	10
Figura 8 - Temperatura do ar em Castelo Branco. Normais climatológicas (1981-2010) [14].....	22
Figura 9 - Precipitação em Castelo Branco. Normais climatológicas (1981-2010) [14].	23
Figura 10 - Humidade relativa em Castelo Branco. Normais climatológicas (1986-2005) [13].....	23
Figura 11 - Insolação em Castelo Branco. Normais climatológicas (1986-2005) [13]..	24
Figura 12 - Velocidade do vento em Castelo Branco. Normais climatológicas (1986-2005) [13].....	25
Figura 13 - Edifício de serviços em Castelo Branco [15].....	26
Figura 14 - Etiqueta de desempenho energético do edifício [16].	31
Figura 15 - Vista geral da zona de <i>open space</i> [17].....	32
Figura 16 - Pormenor dos deflectores acrílicos [17].....	34
Figura 17 - Ventilador de extração de ar ambiente [17].	35
Figura 18 - Difusor rotativo de teto [17].....	36
Figura 19 - Vista geral da Sala Clube Pessoal [17].....	37
Figura 20 - Exaustor de ar para desenfumagem passiva, em caso de incêndio [17]...38	
Figura 21 - Grelha de teto, com a função de desenfumagem passiva [17].	39

Figura 22 - Vista interior de um dos envidraçados [17].	41
Figura 23 - Consumos energéticos anuais 2010-2013 (kWh).	46
Figura 24 - Custos energéticos anuais 2010-2013 (€).	47
Figura 25 - Consumos energéticos trimestrais 2010-2013 (kWh).	47
Figura 26 - Consumos energéticos mensais 2010-2013 (kWh).	48
Figura 27 - Versão modelada do edifício em estudo (Fonte: TG).	50
Figura 28 - Carga horária de ocupação do edifício.	51
Figura 29 - Carga horária da iluminação interior do edifício.	52
Figura 30 - Carga horária da iluminação exterior do edifício.	52
Figura 31 - Carga horária dos equipamentos do edifício.	53
Figura 32 - Carga horária do sistema de AVAC do edifício.	54
Figura 33 - Comparação mensal entre os consumos reais e da simulação.	55
Figura 34 - Consumo de energia no edifício, previsto pela simulação.	56
Figura 35 - Consumo de energia no edifício, previsto pela simulação, após aplicação das medidas.	65
Figura 36 - Comparação mensal entre os consumos reais e os da simulação final.	65

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Áreas e programas do PNAEE 2016 [11].	13
Tabela 2 - Resumo dos impactes do PNAEE 2016 por programa [11].	14
Tabela 3 - Impacte da medida "SCE Edifícios de Serviços" no PNAEE 2016 [11].	15
Tabela 4 - Síntese global dos impactes do PNAEE 2016 [11].	16
Tabela 5 - Resultados obtidos de CO ₂ [15].	29
Tabela 6 - Resultados obtidos de PM ₁₀ [15].	29
Tabela 7 - Resultados obtidos de bactérias [15].	30
Tabela 8 - Resultados obtidos de fungos [15].	30
Tabela 9 - Características das unidades de VRF [17].	33
Tabela 10 - Mapa de identificação global de prioridades [17].	43
Tabela 11 - Características das novas unidades de VRF [18].	45
Tabela 12 – Consumos energéticos anuais 2010-2013 (kWh).	46
Tabela 13 - Custos energéticos anuais 2010-2013 (€).	46
Tabela 14 - Consumos energéticos mensais 2010-2013 (kWh).	48
Tabela 15 - Poupança de energia anual, prevista pela simulação da Medida 1.	58
Tabela 16 - Viabilidade económica da Medida 1.	58
Tabela 17 - Poupança de energia anual, prevista pela simulação da Medida 2.	60
Tabela 18 - Viabilidade económica da Medida 2.	60
Tabela 19 - Lista de lâmpadas a instalar.	61
Tabela 20 - Poupança de energia anual, prevista pela simulação da Medida 3.	62
Tabela 21 - Custo das lâmpadas a instalar no edifício.	62
Tabela 22 - Viabilidade económica da Medida 3.	63

Tabela 23 - Poupança de energia anual, prevista pela simulação, após aplicação de todas as medidas.	64
Tabela 24 – Cálculos efetuados para determinar o valor do IEE.....	68
Tabela 25 - Cálculo do IEE de Referência para edifícios novos.	69
Tabela 26 - Intervalos das classes energéticas [23].	69
Tabela 27 - Cálculo do Fator S.	70
Tabela 28 - Cálculos efetuados para determinar o valor do IEE _{nom}	70
Tabela 29 - Intervalos das classes energéticas, para o edifício.	71

Lista de Abreviaturas e Siglas

AQS – Águas quentes sanitárias

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*

AVAC – Aquecimento, ventilação e ar condicionado

CMR – Concentração máxima de referência

CO₂ – Dióxido de carbono

EPW – *EnergyPlus Weather File*

FER – Fontes de energia renováveis

GWh – Gigawatt-hora

IDF – *Input Data File*

IEE – Indicador de Eficiência Energética

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

kg_{ep} – Quilograma equivalente de petróleo

ktep – Quilotonelada equivalente de petróleo

kVA - Quilovolt-ampere

kW - Quilowatt

kWh – Quilowatt-hora

MW – Megawatt

NZEB – *Nearly Zero Energy Building*

PM₁₀ – Partículas inaláveis de diâmetro inferior a 10 micrómetros

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

PPM – Partes por milhão

QAI – Qualidade do Ar Interior

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS – Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH – Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

tep – Tonelada equivalente de petróleo

UE – União Europeia

UFC – Unidades formadoras de colónias

UPS – Fonte de alimentação ininterrupta

VRF – Fluxo refrigerante variável

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A procura e a gestão dos recursos energéticos são hoje grandes desafios que a sociedade enfrenta, a nível global.

Atualmente, a satisfação das necessidades energéticas do planeta assenta sobretudo na exploração de combustíveis fósseis. O problema é que estas necessidades têm vindo a aumentar rapidamente ao longo dos anos, ao passo que as reservas se esgotam a um ritmo muito rápido também. Aos Estados Unidos da América, que por ano consomem um quarto de toda a energia produzida no mundo, e ao Canadá, que detém o consumo *per capita* mais elevado, juntam-se agora novas potências económicas emergentes, como a China, a Índia ou o Brasil, cujo consumo de energia está a aumentar a um ritmo acelerado. Por outro lado, a instabilidade dos preços do petróleo e do gás natural levou alguns países a apostarem novamente no carvão, que sendo mais barato, é também o combustível fóssil mais poluente e prejudicial ao ambiente. [1]

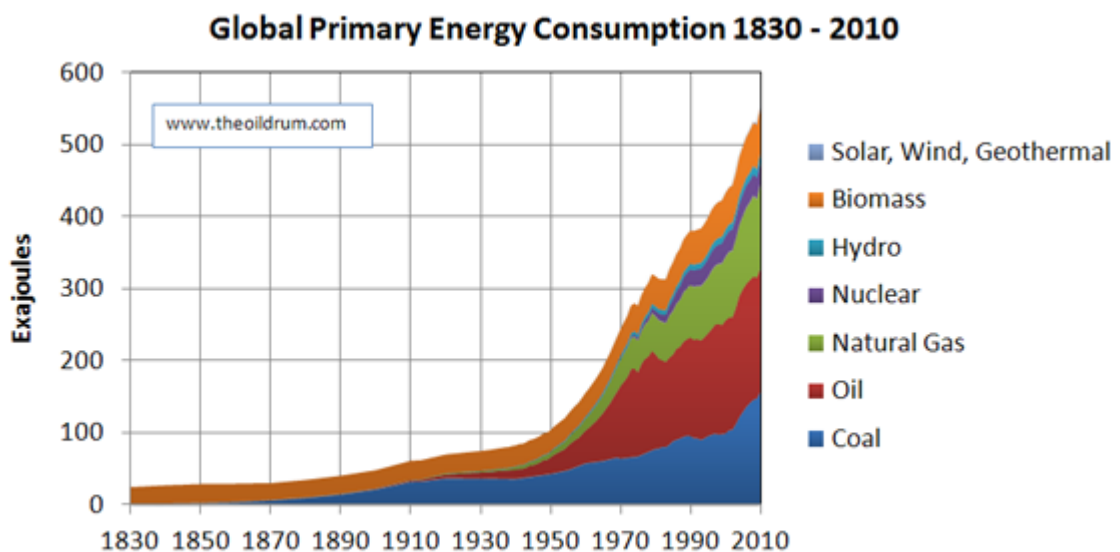


Figura 1 - Consumo de energia primária a nível mundial (1830-2010) [5].

A produção de energia a nível mundial é composta, maioritariamente, pelas fontes de energia tradicionais como o petróleo, o carvão e o gás natural. Tais fontes são poluentes e não-renováveis e como tal criam um problema para o futuro, que é o da sua sucessão a médio/longo prazo.

Desde a formação do nosso planeta, há mais de 4600 milhões de anos, o clima tem conhecido ligeiras alterações. No entanto é ao longo do último século que essas variações se notam cada vez mais, ultrapassando já a fronteira do que é natural. O mundo está a aquecer. Nos últimos 140 anos a temperatura da terra aumentou entre 0,2 a 0,6°C e as previsões são para que esta continue a aumentar entre 1,4°C a 5,8°C até ao ano 2100. À medida que estas temperaturas aumentam, vai-se tornando evidente a ocorrência de várias mudanças no globo terrestre, tais como o aumento do nível da água do mar, que ameaça as comunidades e ecossistemas localizados no litoral, a ocorrência de catástrofes naturais com mais frequência, a desertificação, entre outras. Segundo um relatório do IPCC de 1995, as alterações climáticas são a consequência da intervenção humana no meio ambiente. Desde a revolução industrial, a atividade do homem aumentou em cerca de 25% a quantidade de dióxido de carbono presente na atmosfera, sendo a queima de combustíveis fósseis como o carvão, o petróleo e o gás natural, aliada à destruição das florestas e também à utilização de certos métodos de cultivo, os principais responsáveis por este aumento. Se não forem tomadas as medidas necessárias para reduzir as emissões de gases que contribuem para o efeito de estufa, o clima pode tornar-se cada vez mais imprevisível, o que trará certamente impactos negativos sobre todo o ecossistema terrestre assim como nos diversos setores económicos mundiais, na saúde pública e na qualidade de vida da população em geral.

[2]

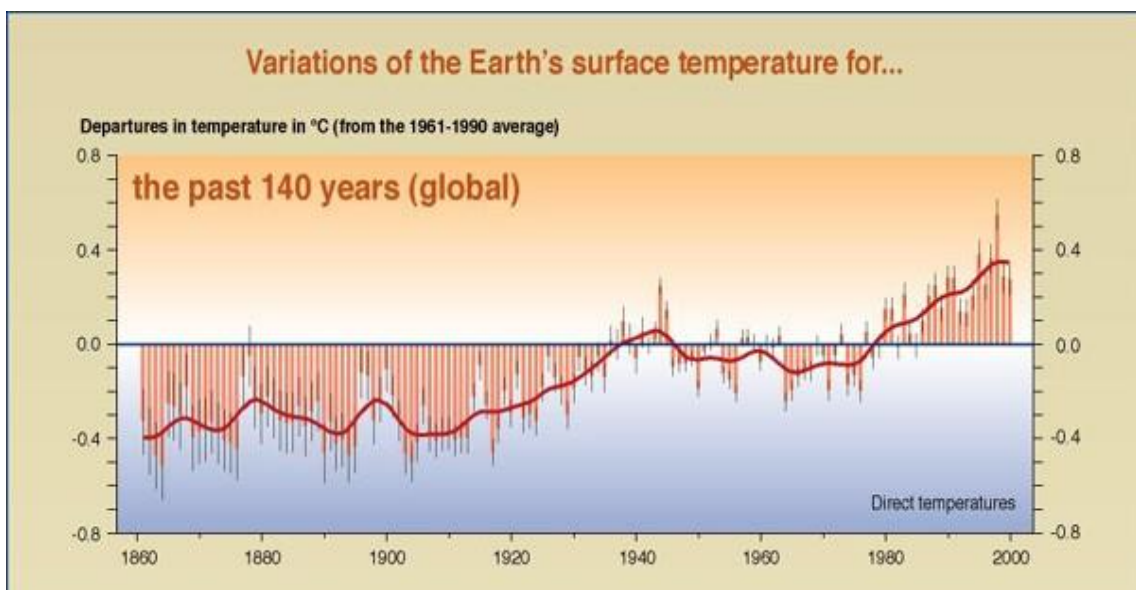


Figura 2 - Variação da temperatura à superfície terrestre (1860-2000) [6].

As principais autoridades internacionais viram-se obrigadas a adotar um conjunto importante e significativo de medidas. A União Europeia estipulou que os seus Estados Membros deveriam atingir as seguintes metas até 2020 [3]:

- Redução das emissões de gases causadores do efeito de estufa em 20% face aos níveis de 1990;
- Aumento de 20% relativamente ao uso de fontes de energias renováveis;
- Adoção de medidas com vista à obtenção de uma poupança energética de 20% relativamente aos níveis de consumo atuais.

É importante intervir atempadamente para alcançar um novo equilíbrio ambiental que respeite os direitos das gerações vindouras. É necessário modificar e reduzir o consumo de energia pelos diversos motivos [3]:

- Por motivos éticos e sociais. Presentemente, 28% da população mundial consome 77% de toda a energia produzida, enquanto 72% vivem apenas com os restantes 23% de energia produzida.
- Por motivos estratégicos. A Europa, e em especial Portugal, dependem fortemente de países fora da UE, sendo alguns deles politicamente instáveis, para satisfazer as suas necessidades de combustíveis fósseis, razão pela qual não existe uma certeza de continuidade do fornecimento.
- Por motivos económicos. O custo anual da fatura energética representa uma parcela significativa das despesas de um lar ou de uma empresa e uma parcela importante no orçamento de um Estado.

Novos caminhos terão que ser encontrados para se manter viável a manutenção dos padrões de vida das sociedades desenvolvidas e as justas aspirações dos países em desenvolvimento, sem contudo comprometer o futuro das gerações seguintes. O desafio é grande e a solução de longo prazo está longe de ser consensual mas, no imediato, a ação deve passar pela procura de fontes alternativas de energia, com ênfase especial para as energias renováveis, e pelo aumento da eficiência na utilização das energias disponíveis. [4]

1.2. Objetivos

A elaboração desta dissertação visa estudar a reabilitação energética de um edifício de serviços, situado em Castelo Branco, recorrendo a *software* específico para modelar e analisar diferentes configurações energéticas. Pretende-se com isto efetuar um estudo

técnico-económico de medidas conducentes à melhoria da classe energética, para no final melhorar a classe energética do edifício, do nível B⁻ para o nível A.

Na presente dissertação serão apresentadas com detalhe as soluções adotadas e feita uma avaliação das poupanças energéticas pós intervenção, pretendendo no final demonstrar que é possível, com um determinado investimento inicial, reabilitar energeticamente todo um edifício de serviços de uma forma sustentável e economicamente viável, reduzindo assim no final a fatura a pagar: a financeira e a ecológica.

1.3. Estrutura da Dissertação

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos, cujo conteúdo se sintetiza de seguida:

- No primeiro capítulo é apresentada uma introdução, composta por um enquadramento ao tema principal a abordar, uma definição dos objetivos da dissertação e uma composição da estrutura da dissertação.
- No segundo capítulo aborda-se a situação energética em Portugal, com enfoque para aquilo que se faz atualmente no nosso país relativamente à eficiência energética, mostrando quais os planos para o futuro energético do nosso país.
- No terceiro capítulo o foco incide no edifício de serviços em estudo. É feita uma caracterização do edifício, o estudo das suas patologias, é realizado um histórico das intervenções previamente realizadas e analisa-se a sua componente energética recente.
- No quarto capítulo faz-se a simulação energética do edifício, com recurso a *software* específico, como o *Google SketchUp* e o *EnergyPlus*. É feita uma simulação energética ao conjunto atual, estudo e aplicação de melhorias com nova simulação e avaliação económica das melhorias instaladas.
- No quinto capítulo faz-se uma síntese e apresentam-se as conclusões obtidas ao longo do trabalho.

2. Eficiência Energética em Portugal

2.1. Eficiência Energética

A eficiência energética pode-se definir como a otimização que pode ser feita no consumo de energia. Antes de poder ser transformada em calor, luz ou movimento, a energia sofre um percurso de transformação, durante o qual uma parte se desperdiça e a outra, que realmente chega ao consumidor, nem sempre é aproveitada da melhor maneira. A eficiência energética pressupõe que sejam implementadas estratégias para combater o desperdício de energia ao longo do seu processo de transformação, desde que a energia é transformada até mais tarde, quando esta é realmente utilizada. A eficiência energética acompanha todo o processo de produção, distribuição e utilização da energia. Este processo pode ser dividido em duas fases principais [7]:

- Transformação

A energia existe na Natureza em várias formas e, para ser utilizada, necessita de ser transformada primeiro. Ao longo dessa transformação uma parte da energia perde-se, gerando desperdícios prejudiciais para o ambiente. Parte destas perdas é inevitável, devendo-se a questões físicas, mas a outra parte é desperdiçada por mau aproveitamento e falta de otimização dos sistemas. Esse desperdício tem sido tido em conta pelas empresas que operam no processamento e venda de energia. Além do mais como a energia é hoje algo fulcral nas diversas economias mundiais, este tema faz parte da agenda política de vários países, suscitando alguma inquietação na comunidade internacional. Assim sendo, têm-se multiplicado as diferentes iniciativas para promover a eficiência energética. Governos, empresas e outros por esse mundo fora têm investido em força na melhoria dos processos e na pesquisa de novas tecnologias, mais eficientes e amigas do ambiente, assim como no aproveitamento das energias renováveis.

- Utilização

O desperdício energético não se esgota na fase de transformação, ocorrendo também durante o seu consumo. Nesta fase, a eficiência energética é normalmente associada ao termo “Utilização Racional da Energia”, que pressupõe a utilização de medidas que permitam uma melhor utilização da energia no setor doméstico, nos setores de serviços e na indústria. Através

de uma escolha, aquisição e utilização adequada dos equipamentos, é possível alcançar poupanças bastante significativas de energia, assim como manter o conforto e ainda aumentar a produtividade das atividades que dependem da energia, tudo isto com vantagens do ponto de vista económico e ambiental. Nesta fase da utilização, ao contrário da transformação, a eficiência energética já depende de todos os intervenientes incluindo o utilizador final.

2.2. Realidade Nacional

Portugal é um país com escassos recursos energéticos de origem fóssil, em particular, aqueles que asseguram as necessidades energéticas da maioria dos países. São eles o petróleo, o gás natural e o carvão. Essa escassez traduz-se numa elevada dependência energética do exterior, nomeadamente das importações de fontes primárias de origem fóssil. Assim, é de extrema importância para o país aumentar a contribuição das energias renováveis tais como a energia hídrica, eólica, solar, geotérmica, entre outras. A taxa de dependência energética no ano de 2012 foi de 79,4%. Um valor alto, mas que tem vindo a decrescer desde o ano de 2005, como se pode verificar na figura 3. O valor mais elevado da última década foi registado nesse ano, embora este se tenha devido à baixa produção das centrais hidroelétricas, em resultado de um ano hidrológico muito seco. A ligeira subida registada em 2011, e que se manteve no ano seguinte, foi resultado sobretudo do aumento do consumo de carvão para produção de energia elétrica, que veio compensar a redução na produção hídrica.

[8]

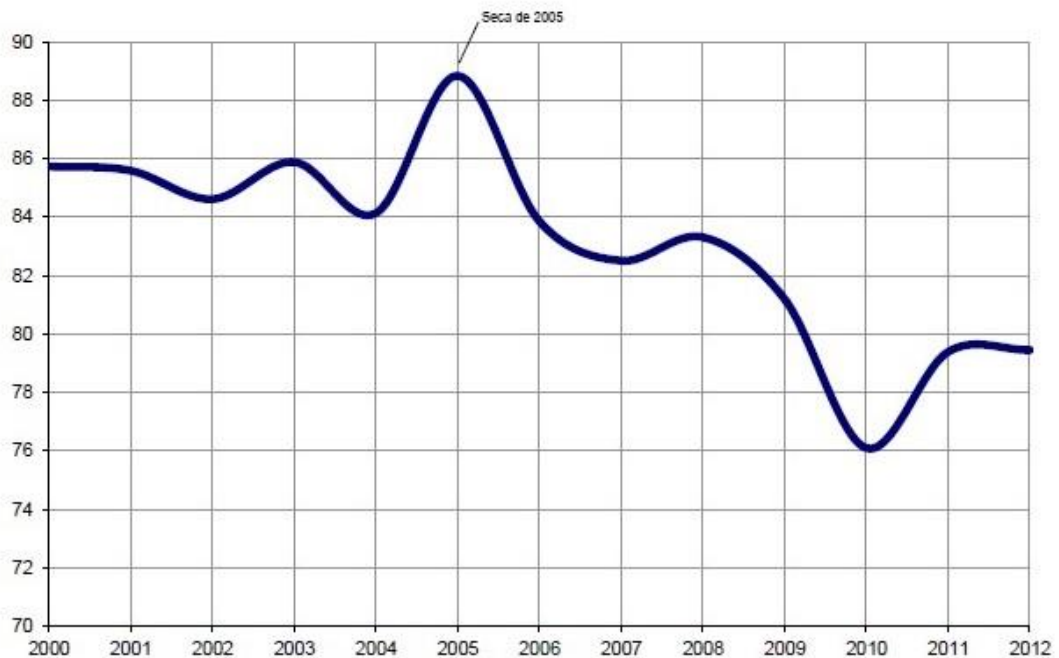


Figura 3 - Dependência energética de Portugal (%) [9].

O petróleo, apesar dos valores terem vindo a baixar ao longo dos anos, ainda mantém um papel essencial na estrutura de abastecimento, representando 43,3% do consumo total de energia primária em 2012. Uma das razões para esse decréscimo foi o aumento no consumo de gás natural, que contribuiu, na última década, para diminuir o consumo de petróleo, diversificando assim a estrutura da oferta de energia e reduzindo a dependência exterior do país em relação ao petróleo. A utilização de gás natural tem registado uma evolução positiva. Em 2012, representou 18,4% do total do consumo em energia primária. O consumo de carvão representou, em 2012, 13,6% do total do consumo de energia primária. Estes consumos de energia primária podem ser observados na figura 4, assim como os consumos de energia final, na figura 5. A previsão aponta para uma redução progressiva do peso do carvão na produção de eletricidade, devido ao seu maior impacto nas emissões de CO₂, pese embora nos dois últimos anos ter aumentado o seu peso, em consequência da redução do preço deste nos mercados internacionais, bem como do preço baixo das licenças de CO₂. Em 2012, o contributo das energias renováveis no consumo total de energia primária foi de 20,8%, um ligeiro decréscimo em relação ao ano anterior que tinha sido de 21,4%. [8]

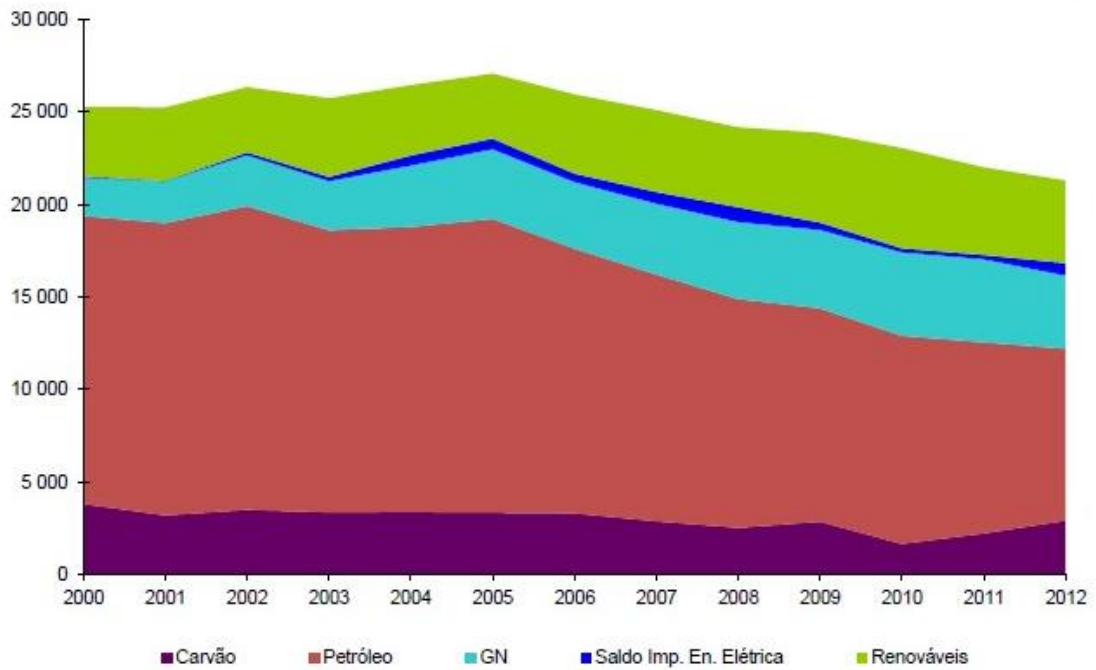


Figura 4 - Consumo de Energia Primária (ktep) [9].

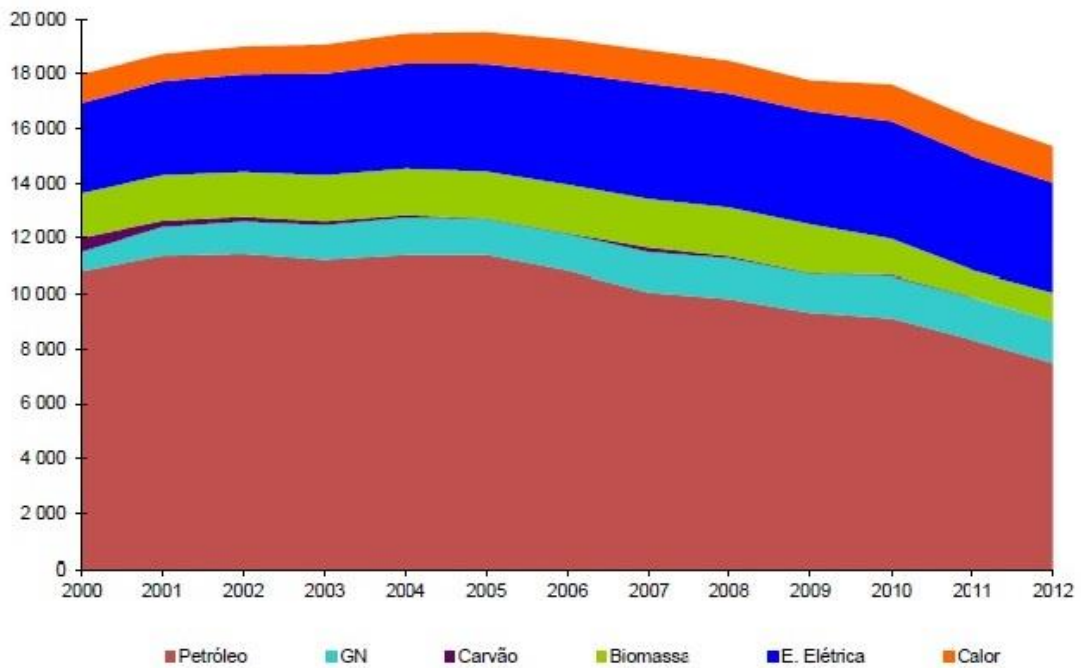


Figura 5 - Consumo de Energia Final (ktep) [9].

Em 2012, cerca de 78,4% da energia primária consumida foi importada. Destes, 75,2% foram a partir de combustíveis fósseis, 20,8% a partir de fontes renováveis, e os restantes 3,9% provenientes dos resíduos industriais e da eletricidade importada. Face aos recursos energéticos de origem fóssil inexistentes no nosso país, a produção doméstica de energia depende totalmente do recurso às energias renováveis. Atingiu-se em 2012, 11 054 MW de potência instalada, sendo 5 539 MW em hídrica, 4 531 MW em eólica, 713 MW em biomassa, 242 MW em fotovoltaica e 29 MW em geotérmica. Em 2012 foram produzidos 20 654 GWh de energia elétrica a partir de fontes de energia renováveis. Conforme se pode verificar na figura 6, a produção de eletricidade por energias renováveis teve uma quebra nos últimos dois anos, depois de ter atingido o seu pico no ano 2010. [8]

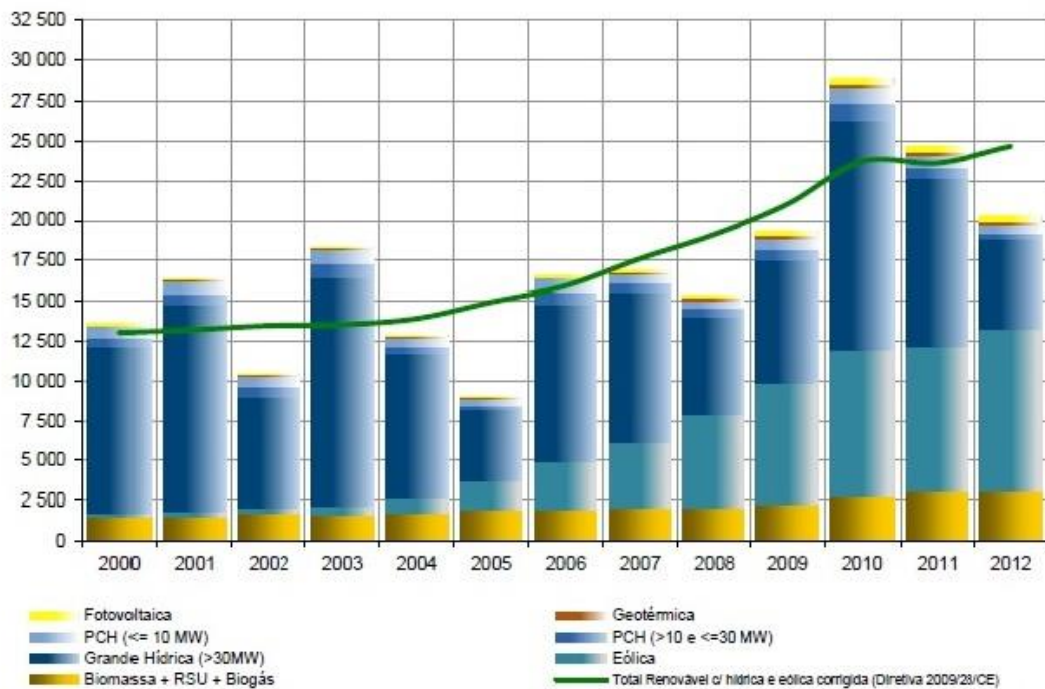


Figura 6 - Produção de eletricidade por energias renováveis (GWh) [9].

Em 2012, o peso do consumo dos principais setores de atividade económica relativamente ao consumo final de energia, foi de 35,7% nos Transportes, 32,5% na Indústria, 17% no Doméstico, 12% nos Serviços e 2,6% na Agricultura e Pescas, conforme se pode verificar na figura 7. Verifica-se assim uma forte incidência apresentada pelos sectores dos Transportes e da Indústria no consumo de energia final. [8]

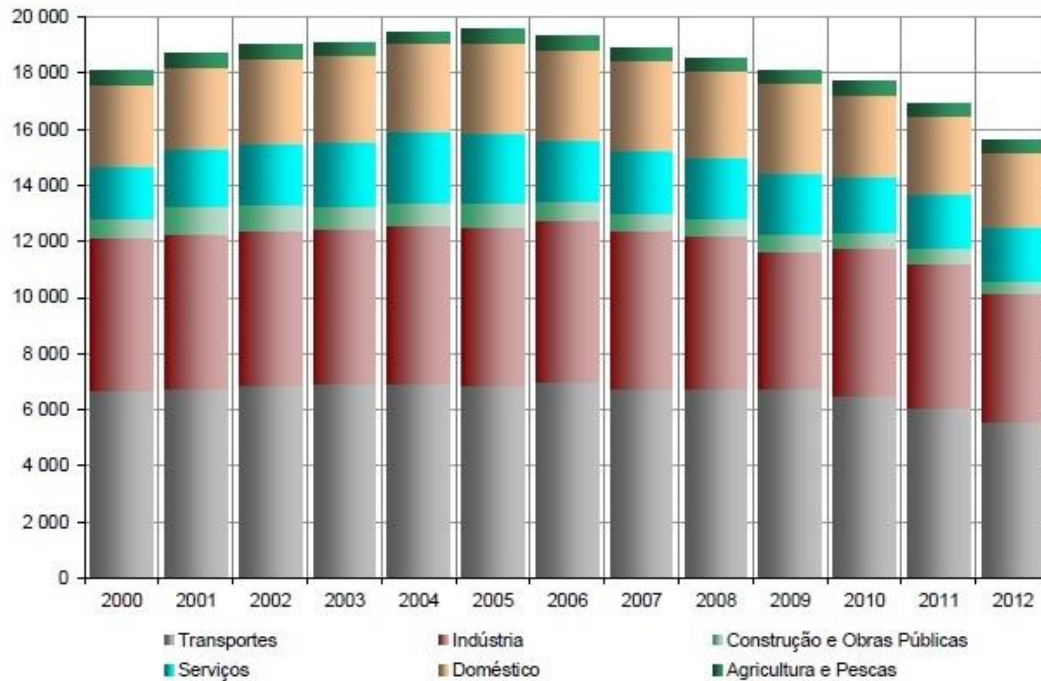


Figura 7 - Consumo total de energia final por setor de atividade (ktep) [9].

2.3. Planos Para o Setor Energético

A necessidade global de reduzir o consumo de energia vem ditar a necessidade de cada país desenvolver as suas políticas energéticas, de modo a que estas sejam capazes de cumprir metas estabelecidas.

Tendo por base os compromissos estabelecidos no âmbito do Protocolo de Quioto, os Estados Membros da UE mobilizaram-se, no sentido de adotar modelos energéticos que permitam alcançar um melhor desempenho no setor, não sendo Portugal uma exceção.

A política energética nacional assenta em dois pilares fundamentais, a racionalidade económica e a sustentabilidade. Em traços gerais são objetivos desta política [10]:

- Reduzir de uma maneira significativa as emissões de gases com efeito de estufa, de uma forma sustentável;
- Diversificar o mais possível as fontes de energia primária, contribuindo assim para aumentar a segurança de abastecimento do País;

- Aumentar a eficiência energética de toda a economia, em particular no setor do Estado, contribuindo assim para a redução da despesa pública e para um uso eficiente dos recursos;

No último ano, foi publicada a Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013 que aprova o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (Estratégia para a Eficiência Energética - PNAEE 2016) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (Estratégia para as Energias Renováveis - PNAER 2020).

O PNAEE e o PNAER são instrumentos de planeamento energético que estabelecem como alcançar as metas e os compromissos internacionais assumidos por Portugal em matéria de eficiência energética e de utilização de energia proveniente de fontes renováveis. Para além das metas a atingir, estes identificam ainda as barreiras existentes, assim como o potencial de melhoria relativos à eficiência energética e ainda à incorporação de energia proveniente de fontes renováveis nos vários setores de atividade, tendo em vista o estabelecimento das medidas mais adequadas à observância dos referidos compromissos. [11]

O diagnóstico da execução do PNAEE 2008-2015 e do PNAER 2010 permitiu concluir que Portugal apresenta hoje uma intensidade energética da energia primária em linha com a UE, não obstante este valor ocultar um resultado não tão positivo quando é medida a intensidade energética da energia final. O que acontece na realidade é que o elevado investimento feito por Portugal em energias renováveis, aliado ao reduzido consumo energético no setor residencial, quando em comparação com o resto da Europa, encobrem uma intensidade energética da economia produtiva 27% superior à média da restante UE. Este resultado vem realçar a necessidade de se intensificar os esforços numa atuação direta sobre a energia final, no âmbito do PNAEE, ao invés de um maior nível de investimento na oferta de energia, isto sem pôr em causa o necessário cumprimento das metas de incorporação de energias renováveis que surgem no âmbito do PNAER. [11]

Os objetivos do PNAEE e do PNAER visam [11]:

- O cumprimento de todos os compromissos assumidos por Portugal de uma forma economicamente mais racional;

- A redução significativa das emissões de gases com efeito de estufa, num quadro de sustentabilidade;
- O reforço da diversificação das fontes de energia primária, contribuindo assim para o aumento estrutural da segurança de abastecimento do País;
- O aumento da eficiência energética da economia, com foco particular no setor do Estado, contribuindo assim para a redução da despesa pública e para um uso eficiente dos recursos;
- Uma contribuição para o aumento da competitividade da economia, através da redução dos consumos e custos associados ao funcionamento das empresas, libertando recursos para dinamizar a procura interna e novos investimentos.

2.3.1. PNAEE 2016

A definição de uma nova “Estratégia para a Eficiência Energética” tem como objetivo tornar a eficiência energética numa prioridade da política energética nacional, tendo em conta, por um lado, que Portugal não possui recursos fósseis endógenos, nem volume suficiente de compras de energia primária para influenciar preços de mercado e, por outro lado, que o aumento na eficiência energética promova tanto a proteção ambiental como a segurança energética, com uma relação custo-benefício favorável. O principal objetivo do PNAEE 2016 é, então, o de projetar novas ações e metas para 2016, em consonância com o PNAER 2020, com base em três eixos de atuação [11]:

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

Tendo por base as áreas e os programas do PNAEE 2008, o PNAEE 2016 passa a abranger seis áreas específicas: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado, Comportamentos e Agricultura. Estas áreas albergam um total de dez programas, que integram um leque de medidas de melhoria da eficiência energética, orientadas para a procura energética e que visam alcançar os objetivos propostos. [11]

Tabela 1 - Áreas e programas do PNAEE 2016 [11].

		ÁREAS					
		Transportes	Residencial e Serviços	Indústria	Estado	Comportamentos	Agricultura
PROGRAMAS	Eco Carro	Renove Casa & Escritório	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia	Eficiência Energética no Estado	Comunicar Eficiência Energética	Eficiência no Sector Agrário	
	Mobilidade Urbana	Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios					
	Sistema de Eficiência Energética nos Transportes	Solar Térmico					

A área “Residencial e Serviços” incorpora os seguintes programas de melhoria da eficiência energética [11]:

- “Renove Casa & Escritório”, que incorpora uma panóplia de medidas destinadas a potenciar a eficiência energética na iluminação, eletrodomésticos e reabilitação de espaços;
- “Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios”, que alberga as medidas que resultam do processo de certificação energética nos edifícios;
- “Solar Térmico”, relativo às medidas dirigidas à promoção de uma maior integração de fontes de energia renovável nos edifícios e equipamentos residenciais e de serviços.

O PNAEE prevê uma poupança induzida de 8,2%, uma poupança próxima da meta definida pela UE de 9% até 2016, com os contributos na redução dos consumos energéticos distribuídos pelos vários setores de atividade, como se pode observar na tabela 2. [11]

Tabela 2 - Resumo dos impactes do PNAEE 2016 por programa [11].

Programa	Potenciais Economias (tep)	%	Meta 2016 (tep)
Transportes	344.038	23%	1.501.305
Residencial e Serviços	634.265	42%	
Indústria	365.309	24%	
Estado	106.380	7%	
Comportamentos	21.313	1%	
Agricultura	30.000	2%	

A área “Residencial e Serviços” integra três programas, como já foi referido. Trata-se de uma área muito sensível para o sucesso da implementação do PNAEE 2016, já que representou, em 2011, cerca de 28% do consumo de energia final em Portugal, distribuídos em 16,6% no setor residencial e 11,4% no setor dos serviços. O peso da componente elétrica é muito elevado, sobretudo nos serviços, sendo também bastante significativa no setor residencial. [11]

Dos programas idealizados pelo PNAEE 2016 o programa “Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios” será porventura o mais relevante no âmbito desta dissertação. O programa visa o melhoramento do desempenho energético dos edifícios, através de uma melhoria da classe média de eficiência energética do parque edificado, mediante a implementação das orientações que regulam o SCE.

Dentro deste programa e mais uma vez no âmbito desta dissertação, temos como principal foco os edifícios de serviços.

O SCE obriga a que as novas edificações ou grandes reabilitações atinjam quotas mínimas por classes eficientes, que vão desde “B-” a “A+”. Adicionalmente, poderão ser desenvolvidos mecanismos que potenciem a melhoria da classe energética nos edifícios. O objetivo é o de certificar, até 2020, cerca de metade dos edifícios de serviços como classe energética B- ou superior. Nesta medida, contabilizou -se a área útil de pavimento dos edifícios certificados desde a entrada em vigor do SCE e até ao fim de 2020, que foi de 58 563 066 m², correspondendo a um total de 22 837 certificados de imóveis no âmbito do RSECE. Em 2011 e 2012, a contabilização dos edifícios de serviços no âmbito do RCCTE foi de 3 551. Estes edifícios passam, a partir de 2013, a ser analisados no âmbito do RSECE, pelo que a projeção efetuada de 2013-2020 já teve este fator em consideração. [11]

Os impactes desta medida foram determinados baseando-se na estimativa de emissões de Certificados Energéticos para novos fogos e grandes reabilitações, emitidas no âmbito do SCE e de um fator de impacte, expresso em tep/fogo. A projeção dos edifícios certificados no período de 2013-2020 foi baseada no aumento esperado em função da nova legislação, que potenciará uma maior certificação desta tipologia de edifícios, assim como a evolução da definição de grande edifício de serviços. O valor do fator de impacte no consumo dos edifícios no âmbito do RSECE, para os anos 2011-2020, é de 2,49 kgep/m², considerando a informação estatística mais atualizada relativamente à melhoria do desempenho energético dos imóveis e extraída da base de dados do SCE. Para os edifícios de serviços no âmbito do RCCTE e tendo em atenção a informação existente na base de dados do SCE, o valor do fator de redução do consumo por fogo foi estimado em 0,173 tep/fogo. [11]

Tabela 3 - Impacte da medida "SCE Edifícios de Serviços" no PNAEE 2016 [11].

Medida RSp2m2		Energia Final	Energia Primária
Resultados	Energia Economizada (tep)	23.697	29.098
Metas	Meta a 2016 (tep)	83.272	102.251
	Execução face a 2016	28%	
	Meta a 2020 (tep)	152.671	187.465
	Execução face a 2020		16%

A estimativa da poupança induzida pelo PNAEE até 2016 é de 1501 ktep, o que corresponde a uma redução do consumo energético de aproximadamente 8,2% relativamente à média do consumo verificada no período 2001-2005, valor esse, que se aproxima da meta indicativa definida pela União Europeia de 9% de poupança de energia até 2016. O estabelecimento de um horizonte temporal em 2020 para efeitos de acompanhamento do impacte estimado no consumo de energia primária permite perspetivar com antecipação o cumprimento das novas metas assumidas pela UE, de redução de 20% dos consumos de energia primária até 2020, assim como o objetivo geral assumido pelo Governo de redução no consumo de energia primária de 25% e o objetivo específico para a Administração Pública de redução de 30%. [11]

Tabela 4 - Síntese global dos impactes do PNAEE 2016 [11].

Programa	Resultados							
	Energia Poupada (tep)		Meta 2016 (tep)		Execução 2016 (1)	Meta 2020 (tep)		Execução 2020 (2)
	Final	Primária	Final	Primária		Final	Primária	
Transportes	252.959	252.959	344.038	343.683	74%	408.414	406.815	54%
Residencial e Serviços	267.008	371.147	634.265	836.277	42%	857.493	1.098.072	34%
Indústria	177.895	179.812	365.309	377.221	49%	471.309	521.309	34%
Estado	9.902	14.190	106.380	153.634	9%	205.425	295.452	5%
Comportamentos	21.313	32.146	21.313	32.416	100%	21.313	32.416	100%
Agricultura	-	-	30.000	30.000	0%	40.000	40.000	0%
TOTAL PNAEE	729.077	850.524	1.501.305	1.773.231	49%	2.003.954	2.394.064	36%
(1) Face à energia final								
(2) Face à energia primária								

A execução dos programas e medidas do PNAEE 2016 traduzem-se num impacte económico associado às economias em energia final e primária, impacte esse, que é suscetível de ser medido diretamente na vertente associada à redução das importações de combustíveis fósseis, assim como na diminuição das emissões de gases com efeito de estufa. Existem benefícios indiretos que não são objeto de quantificação deste Plano, bem como a criação de emprego associado à sua execução, embora se possa fazer uma estimativa. A melhoria da qualidade do ar nas cidades, por exemplo, associada à diminuição do transporte particular, tem evidente impacte positivo na redução dos custos com a saúde pública, a qual tem também reflexos sobre a atividade económica. No entanto, dada a complexidade dos fatores que estão em causa, ainda não é possível avaliar este impacte por falta de dados, indicadores e metodologia adequada à sua quantificação. [11]

2.3.2. PNAER 2020

A Estratégia para as Energias Renováveis está integrada numa nova visão para 2020 do setor energético. Esta nova visão aposta nas sinergias resultantes da articulação das estratégias para a procura e oferta de energia, que são objeto do PNAEE e do PNAER, respetivamente, garantindo assim a sustentabilidade de preços. [11]

A forte aposta no passado recente em meios de produção baseados em FER e em centrais de ciclo combinado a gás natural, conduziu a um desequilíbrio entre a

capacidade de produção e o consumo de energia, tendo em conta a diminuição da procura atual, traduzindo-se numa oferta excedente, com índices de cobertura bastante elevados. No entanto, as consequências para a economia nacional só se tornaram realmente visíveis a partir do final da década passada. Neste contexto, o PNAER 2020 é definido em função do cenário atual de excesso de oferta decorrente de uma diminuição da procura, de forma a adequar e a mitigar os custos inerentes, tendo por objetivo principal rever o peso relativo de cada uma das FER no balanço energético nacional e respetivas metas de incorporação a atingir em 2020, de acordo com o seu custo de produção. O PNAER adequa, assim, a evolução da futura capacidade de produção e das escolhas tecnológicas a uma lógica de racionalidade económica e de livre iniciativa dos promotores. [11]

O PNAER estabelece as trajetórias de introdução de FER de acordo com o ritmo da implementação das medidas e ações previstas em cada um dos setores referidos:

- Eletricidade
- Aquecimento e arrefecimento
- Transportes.

Para tal, identifica e descreve as medidas específicas setoriais, bem como as medidas gerais, necessárias para alcançar os compromissos globais nacionais. A aposta nacional nas energias renováveis tem-se revelado positiva, o que pode ser avaliado pelos impactes já registados na economia portuguesa nos últimos anos. A natureza descentralizada das energias renováveis permite uma distribuição territorial mais equilibrada dos investimentos, contribuindo para um maior desenvolvimento regional e local. [11]

2.4. Área Setorial dos Edifícios

O setor dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa, cerca de 30% para o caso de Portugal. No entanto, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido, através de medidas de eficiência energética. Esta redução do consumo pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂, o equivalente à quase totalidade do compromisso da UE, no âmbito do Protocolo de Quioto. Perante esta realidade, os Estados Membros da UE têm vindo a promover um conjunto de medidas, tendo em vista impulsionar a melhoria do desempenho energético

e das condições de conforto dos edifícios, em linha com a Diretiva 2002/91/CE, de 16 de dezembro e da sua reformulação, a Diretiva 2010/31/EU, de 19 de maio, ambas do Parlamento Europeu e do Conselho, relativas ao desempenho energético dos edifícios. [8]

O texto da Diretiva vem reforçar as exigências mínimas para os edifícios, no âmbito da eficiência energética. Relativamente à versão anterior, aprovada em 2002, a revisão da Diretiva traz alterações significativas. Nesta nova Diretiva, aparecem aspetos que terão um impacto muito significativo em Portugal, nomeadamente as alterações que teremos que introduzir nos requisitos dos presentes regulamentos, para incluir o conceito de custo/benefício, numa ótica de custo de ciclo de vida alargado nos edifícios. Os investimentos terão que ser pensados a longo prazo em termos de retorno energético. Os requisitos mínimos vão ser muito mais exigentes e controlados a nível europeu por uma metodologia comum. Passa a existir a obrigatoriedade da justificação da viabilidade económica destes requisitos, que terão que ser pelo menos próximos do ótimo, calculado por essa metodologia, ou ainda melhores. Surge também o conceito NZEB, obrigando a que todos os novos edifícios tenham desempenhos energéticos muito elevados o mais tardar em 31 de dezembro de 2020, sendo que as suas necessidades de energia quase nulas deverão ser asseguradas por fontes de energias renováveis. Esse prazo é antecipado em dois anos para os novos edifícios públicos. [8]

Com a publicação do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, foi assegurada a transposição para o direito nacional da Diretiva 2010/31/EU, bem como a revisão da legislação nacional referente ao SCE, em vigor desde 2006. Neste novo diploma único, estão incluídos o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação – REH (correspondente ao antigo RCCTE) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços – RECS (correspondente ao antigo RSECE), tornando-se deste modo mais definida a separação do âmbito de aplicação do SCE aos edifícios de habitação e aos edifícios de comércio e serviços. A obrigatoriedade da implementação de um sistema de certificação energética tem como objetivo informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da sua construção, venda ou arrendamento dos mesmos, permitindo aos futuros utilizadores a obtenção de informações sobre os consumos de energia potenciais, para novos edifícios, reais ou aferidos para padrões de utilização típicos, para edifícios existentes. [8]

Uma das novidades deste novo diploma é o da obrigação dos proprietários dos edifícios indicarem a classificação energética da fração ou edifício constante do respetivo pré-certificado ou certificado SCE em todos os anúncios publicados com vista à venda ou arrendamento, obrigação essa, extensível aos promotores ou mediadores da venda ou arrendamento, no âmbito da sua atuação. Relativamente à qualidade do ar interior, passa a ser privilegiada a ventilação natural em detrimento dos equipamentos de ventilação mecânica. É também considerado relevante a manutenção dos valores mínimos de caudal de ar novo por espaço e dos limiares de proteção para concentrações de poluentes do ar interior, de modo a salvaguardar os mesmos níveis de proteção de saúde e de bem-estar dos ocupantes dos edifícios. São ainda eliminadas as auditorias de qualidade do ar interior, mantendo-se no entanto, a necessidade de se proceder ao controlo das fontes de poluição e à adoção de medidas preventivas, quer ao nível da conceção dos edifícios, quer do seu funcionamento. [8]

Nos edifícios já existentes, o certificado energético presta informação sobre as medidas de melhoria de desempenho energético e da qualidade do ar interior, com viabilidade económica, que o proprietário pode implementar para reduzir as suas despesas energéticas e simultaneamente melhorar a eficiência energética do imóvel. A certificação energética permite comprovar a correta aplicação da regulamentação térmica e da qualidade do ar interior em vigor para o edifício, nomeadamente a obrigatoriedade de instalar sistemas de energias renováveis, bem como obter informação sobre o seu desempenho energético. O Certificado SCE é um documento emitido por um perito qualificado no âmbito do SCE e descreve a situação efetiva de desempenho energético de um imóvel, onde consta o cálculo dos consumos anuais de energia previstos e qualifica a qualidade do ar interior de um edifício ou fração autónoma, classificando o imóvel em função do seu desempenho energético numa escala de 8 classes (de A⁺ a F). Desde o dia 1 de dezembro de 2013, qualquer anúncio publicado com vista à venda ou arrendamento de um edifício, deve indicar a classificação energética constante do respetivo pré-certificado ou certificado SCE. [8]

No decurso do procedimento de licenciamento ou de autorização de construção de um edifício, o perito não emite um certificado energético mas antes um Pré-Certificado onde se atesta que o projeto cumpre os requisitos impostos pelos regulamentos. Na prática, corresponde a um “certificado de projeto”, uma vez que possui um formato idêntico e o

mesmo tipo de informação que um certificado. Um imóvel que cumpra os requisitos mínimos exigidos pelos novos regulamentos terá uma classificação de B+. A certificação energética, permitindo obter informações sobre os consumos de energia anuais previsíveis para o imóvel, poderá constituir um critério adicional na escolha da habitação quer na compra ou arrendamento. Dependendo do tipo de edifício ou fração existem dois tipos de certificados, um de habitação e outro de comércio e serviços. [8]

3. Edifício de Serviços em Castelo Branco

Neste capítulo é efetuada a análise e caracterização do edifício em estudo nesta dissertação.

O edifício escolhido para este trabalho é um edifício de escritórios, situado na Zona Industrial de Castelo Branco.

Para além da caracterização geral do mesmo é efetuado um levantamento histórico de intervenções realizadas previamente, devido a patologias existentes a nível energético, que se apresentarão.

Para a realização da presente dissertação, e deste capítulo em particular, foram consideradas as soluções arquitetónicas e construtivas existentes, de acordo com os elementos fornecidos pelo orientador, Eng.º João Hormigo, nomeadamente:

- Peças desenhadas de arquitetura, sistemas de AVAC e ventilação do edifício;
- Relatório preliminar de visita inicial e pré avaliação da QAI, elaborado em 2009, por Joana Ambrósio/Teresa Costa;
- Certificado de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior, em virtude de avaliação realizada ao edifício em 2011, pela perita Ana Teresa Pinto de Azevedo Costa;
- Relatório técnico às instalações mecânicas de ar condicionado e ventilação, efetuado ao edifício em 2011, pelo Eng.º João Hormigo;
- Dados sobre a faturação energética do edifício.

Antes da caracterização do edifício, propriamente dito, é feita uma pequena análise ao clima na região de Castelo Branco.

3.1. Clima em Castelo Branco

O clima no concelho de Castelo Branco é, segundo a Classificação Climática de Köppen, um clima temperado, do tipo C, verificando-se o subtipo Cs, com Verão quente e seco. [12]

A localização da cidade, que fica numa zona transitória entre o Mar Mediterrâneo e o Oceano Atlântico, confere-lhe muitas das propriedades climatológicas que apresenta. 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

determinar a temperatura média anual em Castelo Branco, em cerca de 15,9°C, sendo o valor de 8,1°C o mais baixo, obtido no mês de Janeiro, e o valor mais alto obtido no mês de Julho, com 24,9°C.

A média da temperatura máxima anual é de cerca de 21,2°C, sendo a média da temperatura mínima anual de cerca de 10,5°C. Os meses onde se registaram os valores mais extremos de temperatura para o período 1981-2010, foram os meses de Março e Agosto com, respetivamente, -4,8°C de temperatura mínima e 41,6°C de temperatura máxima. Estes dados podem ser observados na figura 8.

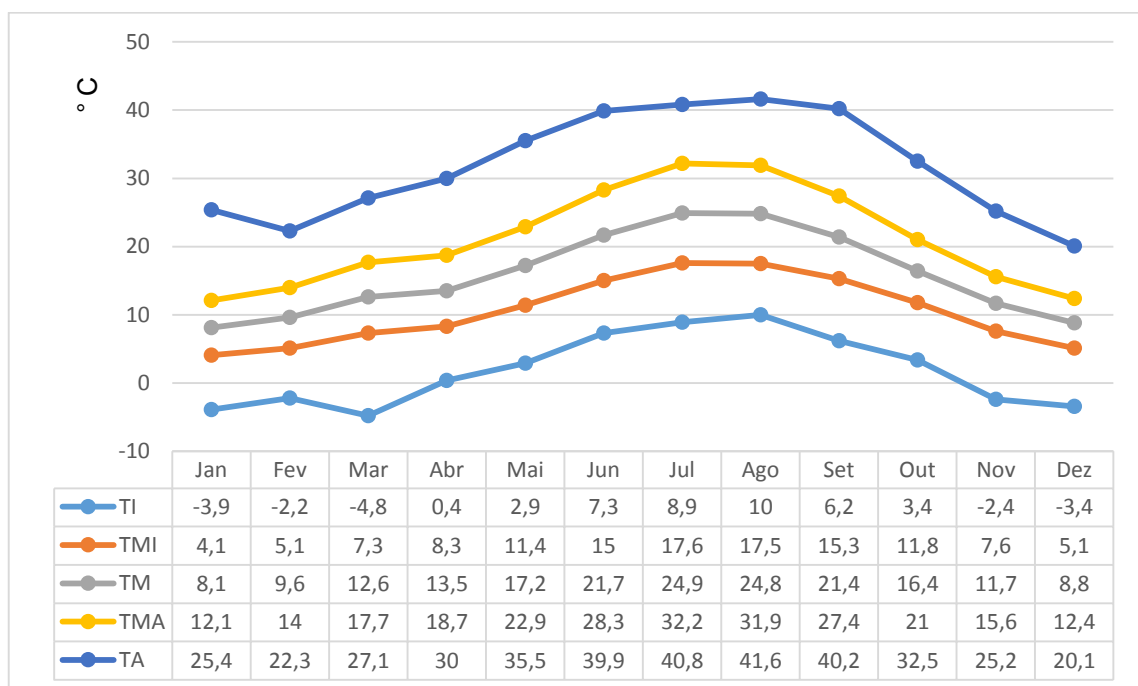


Figura 8 - Temperatura do ar em Castelo Branco. Normais climatológicas (1981-2010) [14].

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.

Relativamente à precipitação, de acordo com os dados do IPMA, para o período 1981-2010, verifica-se que os maiores valores de precipitação média se dão entre Novembro

e Janeiro e os menores, entre Julho e Setembro. O mês com menor precipitação média em Castelo Branco é Agosto, com 8,1mm. Por outro lado, o mês de Outubro apresenta a maior precipitação média, com 124,5mm, conforme ilustrado na figura 9.

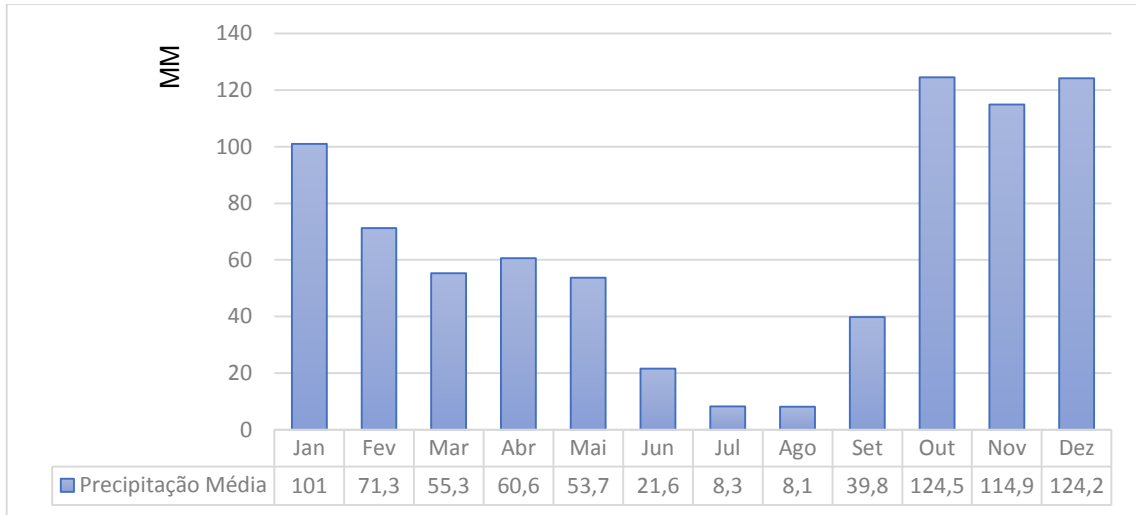


Figura 9 - Precipitação em Castelo Branco. Normais climatológicas (1981-2010) [14].

Através de medições efetuadas pela Escola Superior Agrária, do Instituto Politécnico de Castelo Branco, podemos observar os valores da humidade relativa, afetos ao período 1986-2005, concluindo-se que os seus valores médios variam entre 77,2% em Dezembro e 46,3% em Julho. A humidade relativa média desse período foi de 62,3%, conforme ilustrado na figura 10.

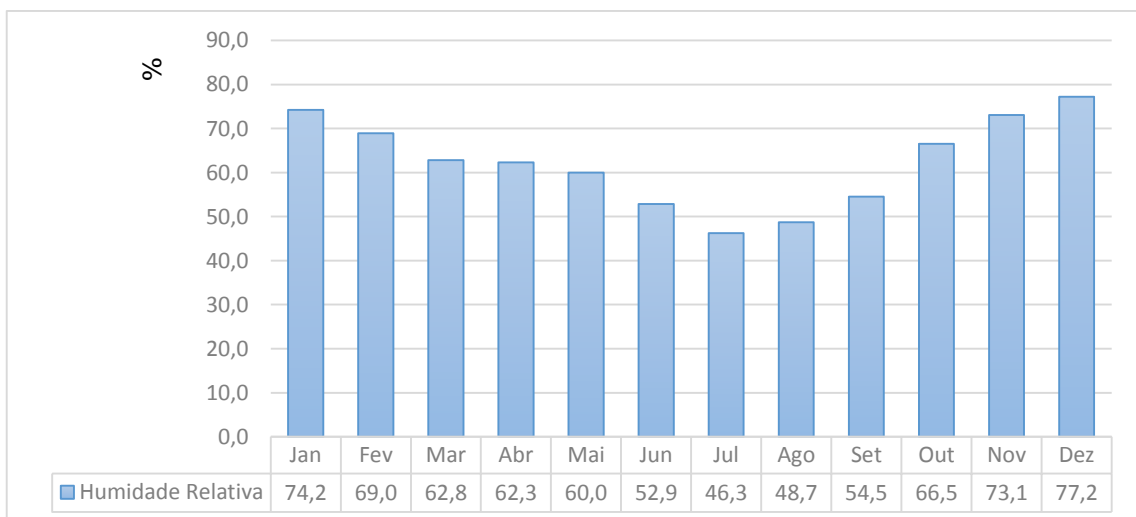


Figura 10 - Humidade relativa em Castelo Branco. Normais climatológicas (1986-2005) [13].

Outra variável climática importante para a caracterização do clima é a insolação, que corresponde ao número de horas em que a luz solar chega até à superfície da Terra sem que haja interferência das nuvens, ou seja, em que a radiação solar é direta. Através de dados do posto meteorológico da Escola Superior Agrária de Castelo Branco, obtiveram-se os dados relativos a um período compreendido entre 1986 e 2005 e constata-se que o mês de Julho é o que apresenta maior insolação com 361,4 horas. O mês de Dezembro é o que apresenta menor insolação com apenas 127,8 horas de luz solar. Neste período registou-se uma média de 234,7 horas de luz solar mensais, conforme ilustrado na figura 11.

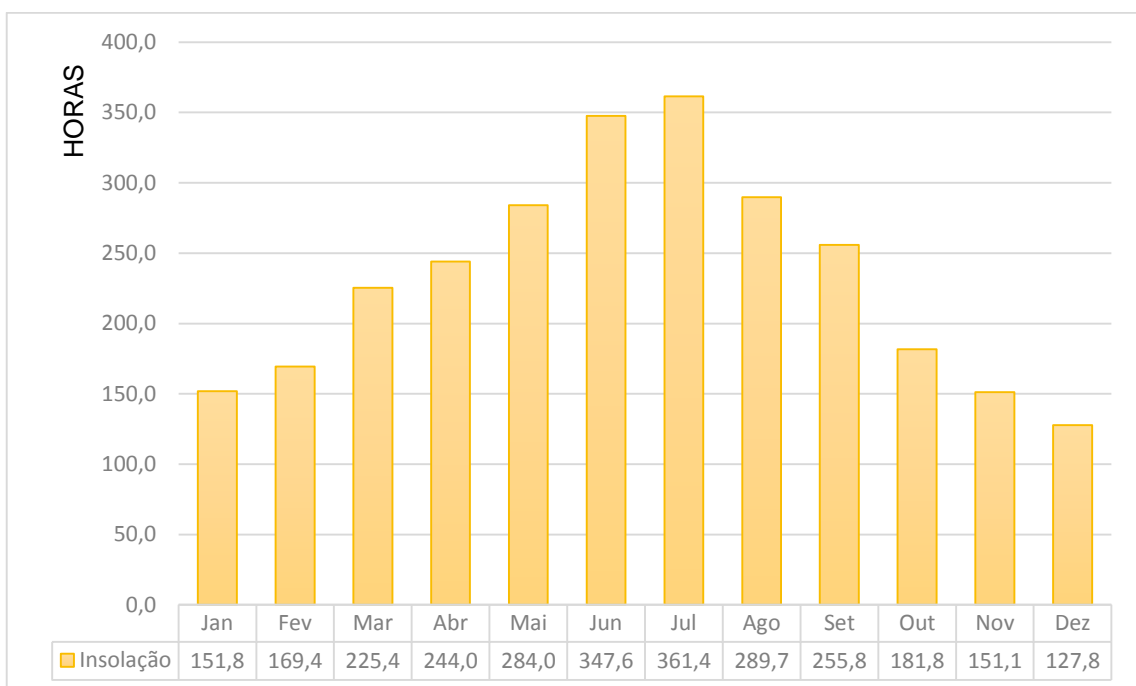


Figura 11 - Insolação em Castelo Branco. Normais climatológicas (1986-2005) [13].

Relativamente ao vento, o posto meteorológico da Escola Superior Agrária de Castelo Branco tem registos relativos ao período 1986-2005 da velocidade do vento a 2 metros de altura. Através desses dados verifica-se que o período compreendido entre Outubro e Janeiro é o período do ano onde a velocidade do vento é menor, sendo Abril e Julho os meses que registam uma maior velocidade do vento, em média. A média anual da velocidade do vento é de 6,9 km/h, conforme ilustrado na figura 12.

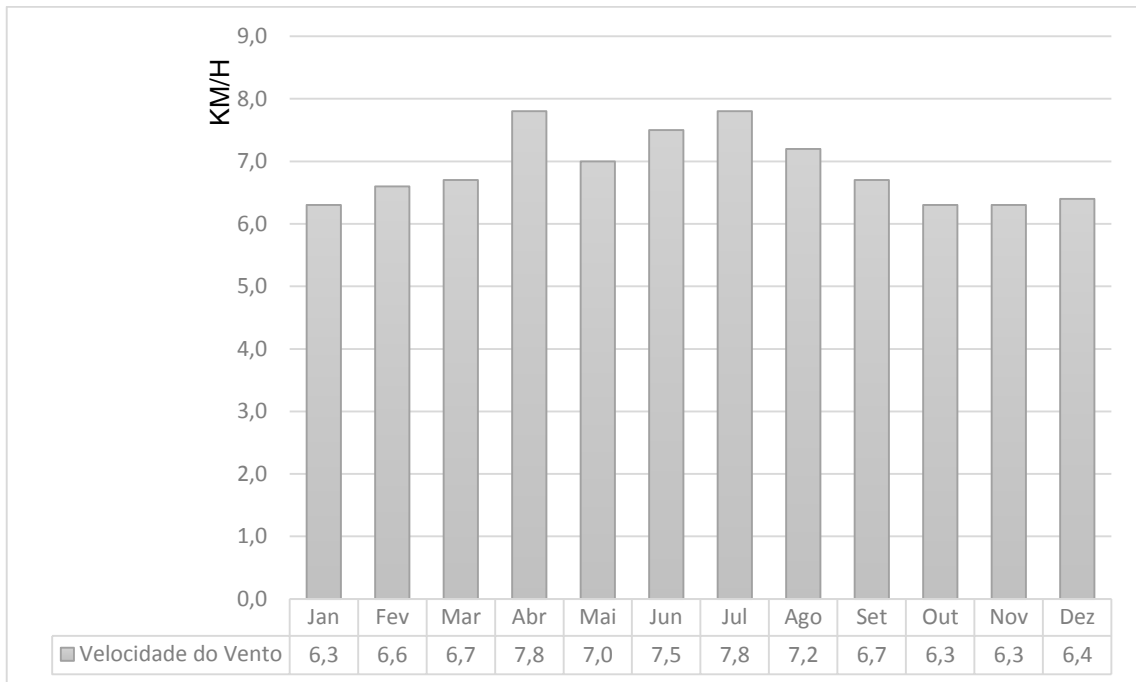


Figura 12 - Velocidade do vento em Castelo Branco. Normais climatológicas (1986-2005) [13].

3.2. Caracterização do Edifício

O edifício em estudo, construído no ano de 2009, é constituído apenas por um piso térreo, com uma área útil de 525,43m² e um pé-direito médio ponderado de 4,8m. Localizado na Zona Industrial de Castelo Branco, o edifício encontra-se na periferia de uma zona urbana, no concelho de Castelo Branco, na zona climática I2V3N, implantado à cota de 349m e a uma distância à costa marítima de, aproximadamente, 120km. [16]

O edifício possui fachadas a Noroeste/Sudeste/Nordeste/Sudoeste e não existem obstáculos/edifícios que provoquem sombreamento. A Este, a cerca de 70m, encontra-se uma estrada com tráfego intenso, a estrada nacional N3. [16]

O edifício é composto por escritórios, do tipo *open space*, gabinetes individuais, instalações sanitárias, pólo técnico, balneário e um espaço de repouso denominado Sala Clube Pessoal. O balneário e a Sala Clube Pessoal não são utilizados pelo pessoal do escritório, mas sim por piquetes, que fazem o serviço técnico externo na zona de Castelo Branco. Como espaço complementar existe um armazém cujo acesso é feito pelo exterior. [16]

A densidade média de ocupação é de $14\text{m}^2/\text{pessoa}$. Na Sala Clube Pessoal a sua ocupação é pontual, normalmente utilizado nos períodos de descanso, sendo a densidade máxima de ocupação de $3,5\text{m}^2/\text{pessoa}$. Como apoio ao serviço dos escritórios existe um pólo técnico onde se encontra o servidor, os bastidores dos serviços informáticos e a unidade ininterrupta de alimentação (UPS). Esta área normalmente não tem ocupação permanente. [15]



Figura 13 - Edifício de serviços em Castelo Branco [15].

A climatização é centralizada e feita a partir de um sistema modulante com duas bombas de calor da marca *Toshiba*, do tipo VRF. Existem ligadas a estas unidades exteriores dez unidades interiores do tipo cassette, estando cinco distribuídas pelo *open space*, quatro distribuídas pelos gabinetes individuais e uma na Sala Clube Pessoal. A insuflação de ar novo é feita por dois ventiladores suspensos, VI1 e VI2, da marca *Relopa*, em perfil de alumínio com cantos em polipropileno reforçado e com painéis de dupla parede, com o exterior em aço pré-pintado e isolados com 25mm de espessura de isolamento. [15]

Cada unidade de ventilação é composta por um módulo de filtragem, do tipo plano, com uma classe F7 e um ventilador centrífugo de transmissão por correia. O ventilador VI1 insufla $1780\text{m}^3/\text{h}$ de ar novo para o *open space*, gabinetes individuais e zonas de circulação, enquanto o ventilador VI2 insufla $1800\text{m}^3/\text{h}$ de ar novo para a Sala Clube

Pessoal. A extração das zonas ocupadas é promovida por dois ventiladores centrífugos, VE1 e VE2, enquanto a extração das instalações sanitárias e vestiários é feita por um ventilador independente, VEIS. A eficácia de ventilação do sistema instalado é de cerca de 60%, uma vez que as grelhas de insuflação e extração estão localizadas ambas no teto falso. [15]

Existe ainda climatização no polo técnico. O sistema de climatização desta zona é assegurado por duas unidades individuais de expansão direta, do tipo *split*. Embora estas unidades tenham a possibilidade de promover aquecimento e arrefecimento, as necessidades deste espaço são normalmente de arrefecimento, tendo em conta a carga térmica elevada dos equipamentos instalados. O *set point* de temperatura definido para o pólo técnico é de 20°C. Normalmente apenas funciona um destes equipamentos, entrando em funcionamento automaticamente o segundo, caso a temperatura interior o justifique. O período de funcionamento da climatização deste espaço é de 24h/dia. [15]

A preparação de AQS é feita por um sistema solar térmico, enquanto a iluminação interior é do tipo fluorescente tubular *TL5* e fluorescente compacta com balastro eletrónico. [16]

3.2.1. Visita Inicial e Pré-avaliação da QAI

Em Junho de 2009, com vista à emissão do Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior, o edifício foi sujeito à análise da QAI, feita pelas peritas Joana Ambrósio/Teresa Costa.

Com o objetivo de elaborar um plano da avaliação da QAI, foi realizada uma visita inicial ao edifício, incluindo a pré-avaliação das condições de higiene e manutenção do sistema de AVAC, a avaliação do grau de contaminação do ar insuflado e a verificação expedita no ar interior dos níveis de CO₂ e de outros poluentes, cuja deteção se justifica. [15]

Os espaços inspecionados foram [15]:

- Cobertura do edifício, onde se encontra a zona técnica de AVAC;
- Todos os espaços interiores do edifício, onde se confirmou o *layout* da distribuição dos espaços, densidades de ocupação e localização dos equipamentos terminais do sistema de AVAC;
- Zona técnica acima do teto falso, onde se localizam os ventiladores VE1, VEIS e VI1;

Foi feita a avaliação visual das respetivas condições estruturais e higiénicas de todos os equipamentos acessíveis do sistema de climatização, concluindo-se que os equipamentos acessíveis se encontravam em bom estado de limpeza e conservação. [15]

Como possíveis fontes de contaminação foram identificadas [15]:

- Exteriores - Estrada Nacional N3
- Interiores - equipamentos de impressão, correias dos motores dos ventiladores de insuflação e os materiais ecologicamente não limpos, como aglomerados, vinílicos e outros.

Para além dos citados foi feita uma verificação e análise da concentração de poluentes, especificamente o CO₂, PM₁₀ e microrganismos como bactéria e fungos. Para a avaliação e interpretação dos resultados, foram comparados os valores obtidos com os referidos no Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. [15]

3.2.1.1. Verificação Expedita do CO₂

No âmbito da preparação e planeamento da auditoria à QAI, foi realizada uma verificação expedita inicial da concentração de CO₂ no edifício, durante o seu período normal de funcionamento. O objetivo desta verificação foi apenas identificar e caracterizar eventuais situações de não cumprimento deste e de outros parâmetros previstos no regulamento, alertando para essas situações ainda antes da realização da auditoria. Um nível de CO₂ elevado pode indicar a deficiente ventilação dos espaços interiores, bem como concentrações elevadas de outros poluentes. Ao longo da visita foram feitas medições da concentração de CO₂ em diferentes zonas do edifício e foram registados o n.º de ocupantes, o revestimento do pavimento e o tipo de mobiliário, como se apresenta seguidamente, na tabela 5. [15]

Tabela 5 - Resultados obtidos de CO₂ [15].

Ponto de medição	Nº de ocupantes	Nº máximo de ocupantes	Concentração obtida		Observações adicionais
			CO ₂ (ppm)	CO ₂ (mg/m ³)	Tipo de pavimento/mobiliário
Exterior			381	698	
Open Space - Ponto 1	13	31	662	1152	Vinílico/Metálico e aglomerado de madeira
Open Space - Ponto 2	13	31	736	1281	Vinílico/Metálico e aglomerado de madeira
Open Space - Ponto 3	13	31	878	1528	Vinílico/Metálico e aglomerado de madeira
Gabinete - Eletricistas	3	9	966	1682	Vinílico/Metálico e aglomerado de madeira
Clube	3	18	953	1659	Vinílico/Metálico e aglomerado de madeira
Concentração Máxima de Referência (CMR) (RSECE)				1800	

3.2.1.2. PM₁₀

Junto ao edifício, num local próximo da tomada de ar novo, foram medidas as concentrações de partículas PM₁₀ no ar exterior. [15]

No interior foram feitas idênticas medições, num local próximo de um ponto de insuflação, no *open space*. Os resultados obtidos são os que se apresentam de seguida, na tabela 6.

Tabela 6 - Resultados obtidos de PM₁₀ [15].

Ponto de medição	Concentração obtida, PM ₁₀	CMR
Exterior	0,025	
Open Space - Zona 3	0,006	0,15

3.2.1.3. Microrganismos – Bactérias e Fungos

Num local próximo da tomada de ar novo, junto ao edifício, foram recolhidas amostras de ar para análise de concentração de microrganismos (bactérias e fungos). No interior foram feitas idênticas recolhas de amostras de ar, próximo de um ponto de insuflação, no *open space*. [15]

A data de colheita dos microrganismos foi realizada a 26 de Maio de 2009, sendo a data inicial e a data final do ensaio a 27 de Maio de 2009 e 3 de Junho de 2009, respetivamente. [15]

Os resultados obtidos apresentam-se nas tabelas seguintes (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7 - Resultados obtidos de bactérias [15].

Ponto de medição	Método de colheita	Método de análise	Concentração Obtida, Bactérias a 37°C	CMR
			UFC/m ³	UFC/m ³
Exterior	Impacto em meio semi-sólido	EN 13098:2001; CIBSE TM26: 2000	24	
Open Space - Zona 3	Impacto em meio semi-sólido	EN 13098:2001; CIBSE TM26: 2000	13	500

Tabela 8 - Resultados obtidos de fungos [15].

Ponto de medição	Método de colheita	Método de análise	Concentração Obtida, Bactérias a 37°C	CMR
			UFC/m ³	UFC/m ³
Exterior	Impacto em meio semi-sólido	EN 13098:2001; CIBSE TM26: 2000	94	
Open Space - Zona 3	Impacto em meio semi-sólido	EN 13098:2001; CIBSE TM26: 2000	35	500

Face aos resultados apresentados e tendo em consideração a legislação de referência verificou-se que, para todos os pontos de medição, as concentrações de CO₂, PM₁₀, bactérias e fungos, encontram-se inferiores à respetiva concentração máxima de referência (CMR). [15]

3.2.2. Certificado de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior

Em Maio de 2011, o edifício foi alvo de uma avaliação por parte da perita qualificada Ana Teresa Pinto de Azevedo Costa, com vista à obtenção de certificação energética.

Feita a avaliação dos diferentes parâmetros, entre os quais se teve em conta o desempenho das paredes, coberturas, pontes térmicas planas, sistema de climatização, iluminação exterior e interior, preparação de AQS, sistemas de aproveitamento de energias renováveis e outros consumos, o edifício obteve uma classe energética B⁻, conforme representado na figura 14. [16]

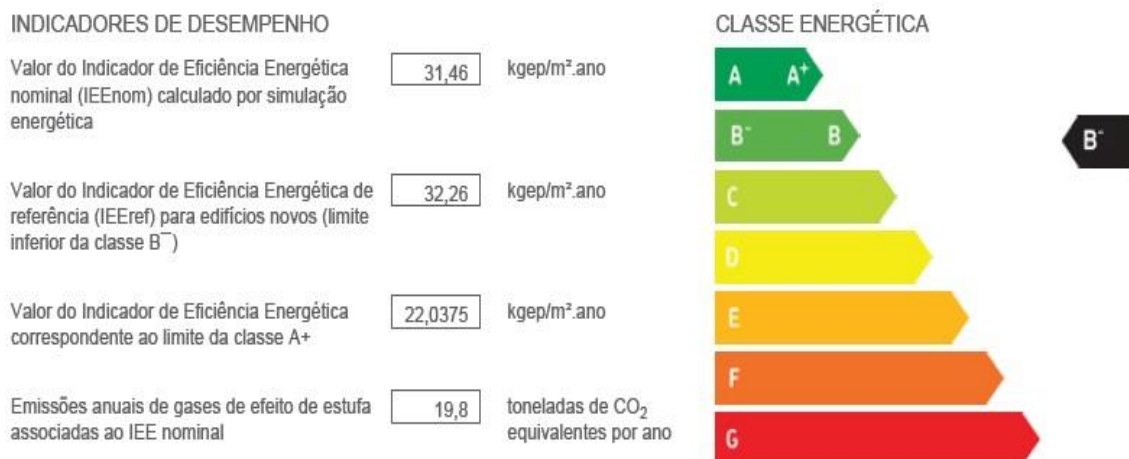


Figura 14 - Etiqueta de desempenho energético do edifício [16].

Como propostas de medidas de melhoria do desempenho energético foi sugerida a substituição das lâmpadas fluorescentes *TL5* por umas lâmpadas fluorescentes *Master TL5 Eco*, mas mesmo com essa medida concretizada, a classe energética do edifício continuaria a ser B⁻. [16]

O Certificado de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior está presente na sua totalidade nesta dissertação, como Anexo A, para consulta de todos os pormenores relativos à avaliação deste edifício.

3.3. Patologias do Edifício

Em Novembro de 2011, em virtude de verificar a adequação das instalações mecânicas de climatização do edifício, a exigências energéticas cada vez mais prementes, assim como a condições de conforto e outras que em conjunto permitiriam avaliar os parâmetros de qualidade globais da instalação, foi efetuada, pelo Eng.º João Hormigo, uma vistoria às instalações mecânicas de ar condicionado e ventilação, da qual resultou posteriormente um relatório técnico, com vista a realizar algumas verificações de adequação da instalação aos seus propósitos, assim como a indicar soluções que possam garantir condições reais de conforto, eficiência e salubridade do ar.

À data da vistoria, a instalação encontrava-se com um funcionamento deficitário, sendo as reclamações por parte dos utilizadores constantes em virtude da instalação da climatização não ir ao encontro dos requisitos pretendidos.



Figura 15 - Vista geral da zona de *open space* [17].

3.3.1. Resumo da Avaliação Técnica Realizada

A vistoria teve como principal finalidade identificar as deficiências da instalação, pois verificava-se desconforto tanto na estação fria, como na estação quente, com a climatização em funcionamento. [17]

Foi constatado que a instalação tinha capacidade para responder às necessidades térmicas do edifício, tendo sido então necessário efetuar medições de variáveis para uma melhor compreensão dos motivos das reclamações. [17]

Foi verificado no final da avaliação que a instalação possuía deficiências que punham em causa o conforto dos utilizadores e que necessitaria de intervenções de beneficiação. [17]

3.3.2. Funcionamento e Propostas de Melhoria

Na avaliação efetuada, foram analisados os parâmetros que influenciam diretamente o conforto que se pretende que exista no interior do edifício. São eles, o ar condicionado, a ventilação mecânica, a desenfumagem passiva e a envolvente construtiva. Para cada um deles foi analisado o seu funcionamento e foram propostas medidas de melhoria. [17]

3.3.2.1. Ar Condicionado

O aquecimento e o arrefecimento do ar ambiente eram assegurados por um sistema VRF da marca *Toshiba*, consistindo em duas unidades exteriores interligadas a dez unidades, com os modelos e capacidades consoante representados na tabela 9. [17]

Tabela 9 - Características das unidades de VRF [17].

Localização	Modelo	Capacidade de Arrefecimento	Capacidade de Aquecimento
Exterior	MMY-MAP 0801 HT8	22 kW	25 kW
Exterior	MMY-MAP 0601 HT8	16 kW	18 kW
Clube	MMU-AP0271H	8 kW	9 kW
Open Space	MMU-AP0151H	4,5 kW	5 kW
Open Space	MMU-AP0151H	4,5 kW	5 kW
Open Space	MMU-AP0151H	4,5 kW	5 kW
Open Space	MMU-AP0181H	5,6 kW	6,3 kW
Átrio de Entrada	MMU-AP0151H	4,5 kW	5 kW
Eletricista	MMU-AP0121H	3,6 kW	4 kW
Polivalente	MMU-AP0091H	2,8 kW	3,2 kW
Responsável	MMU-AP0091H	2,8 kW	3,2 kW
Sala de Reuniões	MMU-AP0121H	3,6 kW	4 kW

O equipamento de climatização encontrava-se a funcionar dentro dos valores de ajuste pré-definidos, respondendo de forma adequada às solicitações que lhe eram impostas

e possuindo capacidade de arrefecimento e aquecimento suficientes para satisfazer as necessidades da instalação. [17]

Verificou-se que a opção por unidades do tipo cassete de teto não garantia o conforto pretendido, pois devido ao baixo pé-direito existente no local, cerca de 2,6m, as temperaturas e velocidades que se verificavam na insuflação de ar de cada um dos equipamentos, provocavam correntes de ar na zona ocupada. Este efeito era mais penalizante quando em modo de arrefecimento. [17]

Na tentativa de minimizar o desconforto ambiente causado pelo funcionamento das unidades de climatização, tinham sido instalados deflectores acrílicos, como se pode observar na figura 16, para mitigar o desconforto causado pela insuflação de ar. Contudo, a melhoria de conforto foi apesar disso, reduzida. [17]



Figura 16 - Pormenor dos deflectores acrílicos [17].

A solução de climatização por VRF foi tida como adequada, mas a opção por unidades interiores do tipo cassete de teto, num local com um pé direito reduzido, apresentava as contra indicações anteriormente indicadas. [17]

Foi recomendada a substituição de nove, das dez unidades existentes, por unidades de capacidade equivalente, mas com modelos de embutir no teto falso, com distribuição de ar por condutas acima do teto e insuflação de ar por difusores de discos rotativos com insuflação de ar rasante ao teto e com direcionamento de sentido de ar a 360°. [17]

Apenas a unidade instalada na Sala Clube Pessoal poderia manter-se sem intervenção, pois nesse local, o pé-direito é de 3,5m. [17]

3.3.2.2. Ventilação Mecânica

À data da avaliação, a ventilação era mecânica, por ventiladores de caixa, da marca *Relopa*, garantindo a introdução de ar novo e a extração de ar viciado. As instalações sanitárias possuíam um sistema de extração de ar autónomo, com ventilação mecânica. Essas instalações sanitárias possuíam um ventilador de extração de ar dedicado. [17]



Figura 17 - Ventilador de extração de ar ambiente [17].

A Sala Clube Pessoal possuía uma ventilação própria, constituída por ventilador de extração de ar e ventilador de ar novo, independentes e autónomos. O ventilador de extração de ar extraía conjuntamente o ar da sala de arrecadação anexa. [17]

Os restantes espaços do edifício possuíam um ventilador de extração de ar e um ventilador de ar novo, independentes e autónomos. Em todos os espaços existiam difusores de insuflação de ar novo e grelhas de extração de ar viciado. [17]

A distribuição de ar entre os ventiladores e os pontos de extração e introdução de ar era realizada por condutas, enquanto a introdução de ar novo no ambiente era garantida por difusores rotacionais. A extração de ar era garantida por grelhas de simples deflexão. [17]



Figura 18 - Difusor rotativo de teto [17].

Os ventiladores possuíam reguladores de velocidade locais, junto ao seu corpo, para ajuste da velocidade de rotação. Não existia recuperação de energia do ar extraído. O funcionamento dos ventiladores era controlado de forma centralizada, por relógio horário ou por controlo manual. [17]

A ventilação mecânica dos espaços de escritório era uma das principais causas de desconforto. A introdução direta de ar novo exterior no ambiente ocupado causava correntes de ar, especialmente no período de Inverno. Também os caudais de ar novo existentes eram excessivos. [17]

Foram efetuadas leituras de CO₂ no interior do edifício, obtendo-se valores de 500 mg/m³, valor muito inferior ao máximo admissível de 1800 mg/m³. [17]

Como proposta de melhoria foi recomendado que os horários de funcionamento dos ventiladores fossem ajustados ao horário de funcionamento da climatização para permitir que a climatização compensasse o efeito térmico negativo causado pela introdução de ar novo exterior sem pré-correção de temperatura. [17]

Foi recomendado que a introdução de ar novo fosse revista, devendo ser introduzido no retorno de ar das unidades de climatização, para que a unidade de climatização se encarregasse de misturar o ar novo com o ar de retorno ambiente, efetuando assim eficazmente a sua correção de temperatura sem afetar o conforto interno. [17]

Se as unidades de climatização interiores do sistema VRF fossem substituídas pelas recomendadas nesse relatório, podia-se introduzir o ar novo no pleno de retorno de ar ambiente. [17]

Na Sala Clube Pessoal poder-se-ia manter a introdução de ar novo tal como se encontrava, dada a sua ocupação ser irregular e o pé-direito elevado. [17]



Figura 19 - Vista geral da Sala Clube Pessoal [17].

Os caudais de ar, do ar novo e do de extração, necessitavam de ser regulados para valores abaixo dos praticados, tendo como referência um caudal de renovação de cerca de $35 \text{ m}^3/\text{hora.pessoa}$, para uma ocupação de referência média. [17]

Para garantir que o edifício se encontrasse em sobrepressão relativamente ao exterior, recomendou-se um excesso de caudal de ar novo em cerca de 10% relativamente ao caudal de extração de ar. [17]

3.3.2.3. Desenfumagem Passiva

O edifício possuía à data um sistema centralizado de deteção de incêndios e para garantir a desenfumagem em caso de incêndio existiam quatro ventiladores estáticos instalados na cobertura do edifício, conforme ilustrado pela figura 20, divididos por duas zonas. Uma das zonas, com dois ventiladores estáticos, situava-se na zona de escritórios, acima de todos os espaços ocupados por postos de trabalho e a outra zona,

também com dois ventiladores estáticos, situava-se na zona da Sala Clube Pessoal e arrecadação. [17]



Figura 20 - Exaustor de ar para desenfumagem passiva, em caso de incêndio [17].

Para garantir o funcionamento eficaz do sistema de desenfumagem foram aplicadas grelhas de retícula fixa com dimensão de 600x600mm distribuídas no teto falso metálico dos espaços ocupados, conforme ilustrado pela figura 21. Dessa forma, existe um contacto permanente entre o ar do espaço ocupado e o ar do pleno da cobertura/teto, onde se encontram os ventiladores estáticos. [17]

Os sistemas de deteção de incêndio e desenfumagem passiva não foram sujeitos a análise de funcionamento. Apenas foi analisado o impacto da solução de desenfumagem passiva no conforto dos espaços ocupados, sendo negativo quer em termos de consumo energético quer em termos de conforto térmico. [17]

A existência das grelhas de retícula fixa distribuídas pelo teto falso transformava o ambiente ocupado e o pleno de cobertura/teto num único volume de ar. Existia uma troca de massa de ar permanente entre o ambiente e o pleno de teto falso, causada por diferenças de temperatura e diferentes densidades do ar e pelas infiltrações próprias do edifício. [17]



Figura 21 - Grelha de teto, com a função de desenfumagem passiva [17].

O funcionamento da climatização contribuía para o aumento das trocas de massa de ar entre os dois volumes, obrigando a um esforço acrescido para climatizar diretamente os espaços ocupados e indiretamente o espaço do pleno de teto, isto é o espaço entre o teto falso e a cobertura do edifício. [17]

Quando se estava na estação de aquecimento (Inverno), as infiltrações de ar frio do pleno de teto no ambiente ocupado eram elevadas, causando assim desconforto no ambiente ocupado. [17]

Como propostas de melhoria foi estabelecido que era necessário garantir a separação entre o espaço ocupado e o pleno de teto falso, sem comprometer o funcionamento da ventilação passiva. [17]

Para tal recomendou-se a remoção de todas as grelhas de passagem de ar e a instalação de dispositivos no teto falso que garantissem a abertura de áreas de teto falso em caso de necessidade de desenfumagem, quando da atuação dos ventiladores estáticos. [17]

Foi estabelecido que a atuação dos ventiladores estáticos pela central de deteção de incêndios, de forma automática ou pelas botoneiras, deveria ser simultânea com os novos dispositivos de abertura a aplicar no teto falso. [17]

Tendo em conta a importância da segurança contra incêndios, o dimensionamento da solução final deveria ser compatibilizado com as soluções construtivas do edifício e deveria ser executado por uma empresa da especialidade. [17]

Esta solução poderia ser aplicada apenas numa das zonas, na área dos postos de trabalho, pois nessa área o pleno de teto é mais alto, cerca de 3 metros, e esta ação teria uma maior importância. Na Sala Clube Pessoal não se justificava, pois o pleno de teto falso possuía uma cota mais reduzida. [17]

Efetuada esta alteração, o edifício consumiria menos energia e aos ocupantes seria garantido um maior conforto. [17]

3.3.2.4. Envolvente Construtiva

O edifício é térreo possuindo envolvente em paredes de alvenaria de tijolo duplo com isolamento térmico intermédio e laje de cobertura em betão armado, sobre a qual foi instalado um sistema de chapa ondulada contendo um sistema 'sandwich' com isolamento térmico por polímero de poliuretano. [17]

O edifício possui vãos envidraçados nas fachadas, conforme ilustrado na figura 22, com caixilharia de alumínio e vidro duplo, sem dispositivos externos de sombreamento, mas com dispositivos internos de sombreamento por estores de lamelas. [17]

Os envidraçados expostos a sudeste apresentam uma elevada exposição solar, sendo os ganhos térmicos pelos envidraçados, excessivos. As caixilharias estão expostas a radiação solar permanentemente. [17]



Figura 22 - Vista interior de um dos envidraçados [17].

Como propostas de melhoria recomendou-se a instalação de dispositivos de sombreamento externos, para minimizar o desconforto térmico causado pelas trocas de calor radiante com o interior. Recomendou-se igualmente que o isolamento térmico existente acima do teto falso metálico deveria ser totalmente refeito, pois as placas de isolamento encontravam-se dispersas de forma desorganizada pelo teto falso. [17]

3.3.3. Conclusões da Avaliação

Finalizada a análise dos aspetos anteriores chegou-se então às seguintes conclusões [17]:

- O sistema de climatização e ventilação instalado apresentava um índice de qualidade heterogéneo;
- A opção por um sistema de climatização centralizado do tipo VRF era adequada, embora fossem totalmente desajustadas as opções de colocação de unidades do tipo cassete de teto, ventilações sem recuperação de calor e introdução de ar exterior diretamente no ambiente.

- Os trabalhos de beneficiação e regularização de anomalias que foram propostos, garantiriam um bom desempenho energético e o grau de conforto e qualidade de ar interior, adequados.
- O sistema de desenfumagem deveria ser sujeito a uma análise e revisão profundas, devendo as soluções adequar-se à função primordial de segurança contra incêndios, para o qual o sistema se destina.
- O conteúdo do relatório deveria ser entendido como um indicador de anomalias existentes e de medidas corretivas a executar, a curto prazo.

Para uma melhor identificação dos problemas verificados, foi elaborado um mapa de identificação global de prioridades onde se destaca as anomalias identificadas, com as respetivas medidas corretivas e um nível de prioridade para as corrigir. [17]

O mapa de identificação global de prioridades é baseado no método da matriz de risco, que é uma das ferramentas mais utilizadas em avaliações de risco. Estas são utilizadas para determinar o tamanho de um risco e se este é ou não suficientemente controlado. [22]

O mapa, adaptado do relatório, pode ser observado na tabela 10.

Para uma total compreensão dos valores e das cores presentes nesta tabela deverá ser consultado o Anexo B.

Tabela 10 - Mapa de identificação global de prioridades [17].

IDENTIFICAÇÃO GLOBAL DE PRIORIDADES					
TEMA	ANOMALIA IDENTIFICADA	CÁLCULO DE PRIORIDADE		NÍVEL DE PRIORIDADE	MEDIDAS CORRETIVAS
		URGÊNCIA (1 a 5)	IMPORTÂNCIA (1 a 5)		
CONDICIONAMENTO DE AR AMBIENTE	A difusão de ar ambiente é deficiente e provoca desconforto.	3	3	9 (PRIORIDADE ELEVADA)	Substituição das unidades interiores por outras unidades interligadas a condutas e com difusão adequada.
VENTILAÇÃO MECÂNICA	A introdução de ar novo no ambiente ocupado causa desconforto aos ocupantes.	5	5	25 (PRIORIDADE IMEDIATA)	A introdução de ar novo deverá ser realizada nas unidades de climatização a instalar.
VENTILAÇÃO MECÂNICA	Os caudais de ar novo e extração são excessivos.	2	2	4 (PRIORIDADE MÉDIA)	Os caudais de ar deverão ser ajustados à ocupação média dos espaços.
VENTILAÇÃO MECÂNICA	O acesso aos ventiladores é precário.	3	2	6 (PRIORIDADE MÉDIA)	Criação de acessos aos ventiladores, para tarefas de manutenção.
DESENFUMAGEM PASSIVA	As grelhas de passagem de ar instaladas no teto falso provocam correntes de ar que causam desconforto aos ocupantes.	5	5	25 (PRIORIDADE IMEDIATA)	Instalação de dispositivos de abertura para atuação em caso de desenfumagem.
ENVOLVENTE CONSTRUTIVA	Exposição solar excessiva dos vãos envidraçados orientados a sudeste.	1	4	4 (PRIORIDADE MÉDIA)	Instalação de dispositivos de sombreamento, exteriores.
ENVOLVENTE CONSTRUTIVA	Isolamento térmico do teto falso não se encontra garantido.	1	2	2 (PRIORIDADE MÍNIMA)	Reposicionamento e reposição das placas de isolamento térmico.

3.4. Intervenções Realizadas

Em consequência do relatório técnico realizado, que sugeria a aplicação de medidas corretivas a realizar num curto prazo, foram então tomadas medidas para iniciar os trabalhos de correção das anomalias existentes. Foram então iniciados os trabalhos de intervenção para beneficiação da infraestrutura de climatização e ventilação do edifício.

Do projeto executado constavam as seguintes atividades [18]:

- Instalação de portinholas de desenfumagem nos locais, ou próximo das anteriores grelhas de desenfumagem;
- Adaptação do sistema de desenfumagem existente à instalação das portinholas de desenfumagem;
- Aplicação de placas de teto falso semelhantes às anteriores, para fecho das quadrículas de teto que ainda faltassem para o acabamento final;
- Verificação, reposicionamento e/ou fornecimento e aplicação de película acústica e placas de isolamento térmico em toda a instalação;
- Substituição de unidades interiores de climatização do sistema VRF, do tipo cassete, por unidades de potência equivalente, da mesma marca e capacidade, do tipo embutido, com insuflação por condutas e com difusão adequada, prevendo a adaptação das infraestruturas frigoríficas, elétricas, hidráulicas e aerólicas;
- Regulação de caudais de ar novo e de extração;
- Instalação de escada de acesso à zona de ventiladores, de forma a garantir a segurança das operações de manutenção.

3.4.1. Ar Condicionado

As unidades de ar condicionado instaladas foram da marca *Toshiba*, com as características em conformidade com a tabela 11.

Tabela 11 - Características das novas unidades de VRF [18].

Localização	Modelo	Capacidade de Arrefecimento	Capacidade de Aquecimento
Open Space	MMD-AP0181H	5,6 kW	6,3 kW
Open Space	MMD-AP0151H	4,5 kW	5 kW
Open Space	MMD-AP0151H	4,5 kW	5 kW
Open Space	MMD-AP0151H	4,5 kW	5 kW
Eletricista	MMD-AP0121H	3,6 kW	4 kW
Polivalente	MMD-AP0091H	2,8 kW	3,2 kW
Responsável	MMD-AP0091H	2,8 kW	3,2 kW
Sala de Reuniões	MMD-AP0121H	3,6 kW	4 kW

3.4.2. Desenfumagem Passiva

Depois dos trabalhos, as portinholas de desenfumagem atuam em simultâneo com a clarabóia de desenfumagem da sua zona respetiva. As portinholas de desenfumagem atuam por intermédio de um eletroímã e fazem uma rotação de 90°, auxiliada pelo efeito da gravidade.

3.4.3. Difusores de Insuflação do Ar

A distribuição de ar climatizado proveniente de cada unidade de climatização interior passou a ser feita por difusores de ar de teto, da marca *Swegon*, com o modelo *Eagle C a 400 600 + ALS d 315-400*.

O difusor de ar é composto por uma caixa quadrada de comissionamento e um difusor removível. Os discos são orientáveis em 360°, tornando possível um número infinito de combinações de difusão horizontal ou vertical do ar, sem alterar o fluxo de ar, nível de som, ou queda de pressão.

3.4.4. Outras Alterações

Para além dos citados foram ainda desenvolvidos trabalhos nas tubagens em cobre, nas condutas de ar e na instalação elétrica, entre outros.

3.5. Componente Energética Recente (Consumos)

Através de dados fornecidos pelo Eng.º João Hormigo, foi possível obter dados relativos ao consumo energético do edifício de serviços de Castelo Branco, relativamente aos anos de 2010, 2011, 2012 e 2013.

O edifício utiliza uma tarifa tetra-horária, com uma potência contratada de 41,41 kW/kVA.

Os consumos de energia nos anos citados foram os seguintes, conforme tabela 12.

Tabela 12 – Consumos energéticos anuais 2010-2013 (kWh).

2010 (kWh)	2011 (kWh)	2012 (kWh)	2013 (kWh)
66.589	55.527	55.374	54.205

Como se pode verificar na figura 23, o consumo energético desde 2010 tem vindo a decrescer.

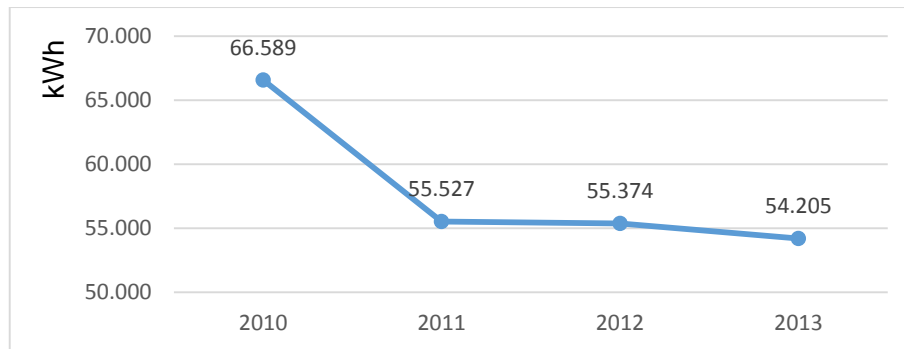


Figura 23 - Consumos energéticos anuais 2010-2013 (kWh).

O edifício é tarifado com um valor que ronda os 0,12€/kWh. Sendo assim os custos com energia do edifício rondaram os seguintes valores, conforme tabela 13.

Tabela 13 - Custos energéticos anuais 2010-2013 (€).

2010 (€)	2011 (€)	2012 (€)	2013 (€)
7.991	6.663	6.645	6.505

Assim como os consumos energéticos têm vindo a decrescer, também os custos energéticos acompanham essa tendência, já que o preço da energia não se alterou, conforme se pode ver na figura 24.

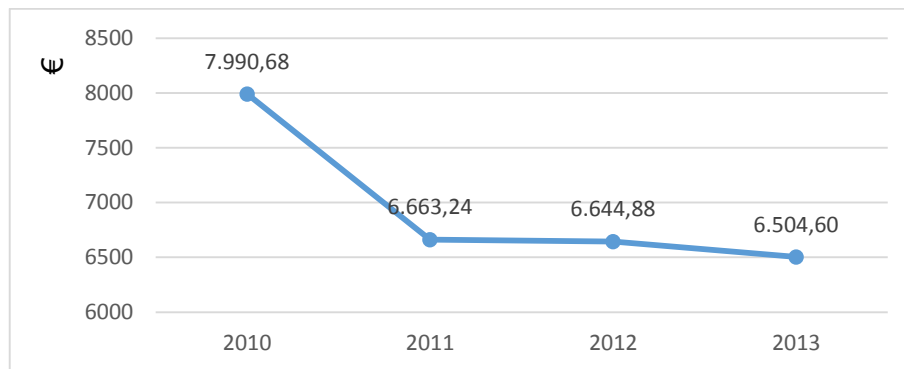


Figura 24 - Custos energéticos anuais 2010-2013 (€).

Podemos observar também os consumos energéticos por trimestre, obtendo assim um pouco mais de detalhe.

Como se pode observar pela figura 25, os consumos variaram pouco de um ano para o outro, com exceção do ano de 2010, devido ao facto de nesse ano o sistema de AVAC ter funcionado ininterruptamente, 24h/dia durante todos os dias da semana.

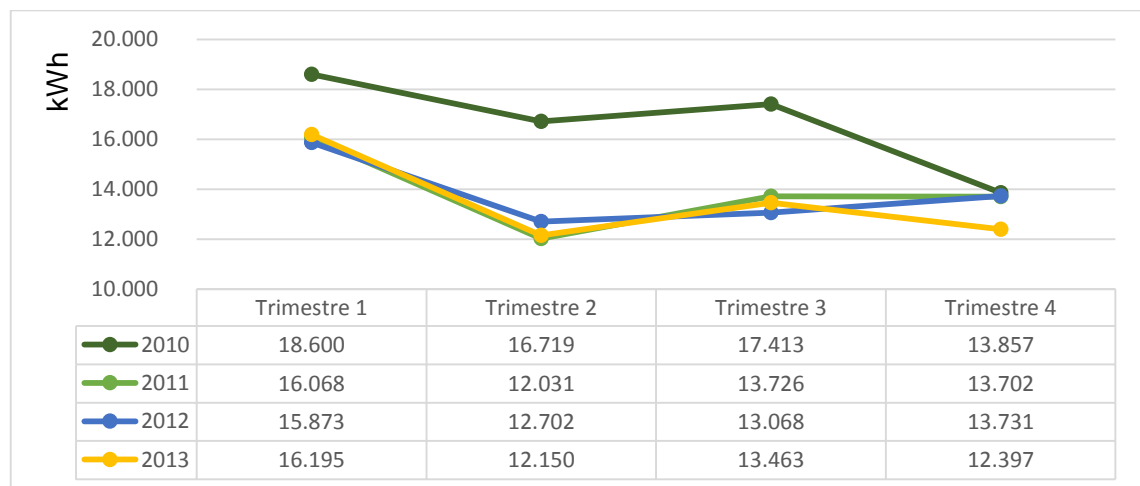


Figura 25 - Consumos energéticos trimestrais 2010-2013 (kWh).

Mais uma vez acrescentando um pouco de detalhe aos consumos energéticos, podemos observar os dados mensais, desde 2010 a 2013, conforme tabela 14.

Tabela 14 - Consumos energéticos mensais 2010-2013 (kWh).

2010 (kWh)		2011 (kWh)		2012 (kWh)		2013 (kWh)	
Janeiro	18600	Janeiro	5792	Janeiro	5595	Janeiro	11239
Fevereiro		Fevereiro	5548	Fevereiro	5728	Fevereiro	
Março		Março	4728	Março	4550	Março	
Abril	7723	Abril	4432	Abril	4301	Abril	4729
Maio	4473	Maio	3476	Maio	4242	Maio	3521
Junho	4523	Junho	4123	Junho	8319	Junho	3900
Julho	5733	Julho	4360	Julho		Julho	4205
Agosto	5994	Agosto	4767	Agosto	4660	Agosto	4611
Setembro	5686	Setembro	4599	Setembro	4248	Setembro	4647
Outubro	4657	Outubro	4436	Outubro	3767	Outubro	3929
Novembro	4276	Novembro	4298	Novembro	4613	Novembro	3806
Dezembro	4924	Dezembro	4968	Dezembro	5351	Dezembro	4662
Total	66589	Total	55527	Total	55374	Total	54205
Média	5549	Média	4627	Média	4615	Média	4517

A média de consumo anual no período compreendido entre 2010 e 2013 é de 57924 kWh.

Podemos observar então na figura 26, um gráfico com os consumos mensais detalhados, verificando-se claramente os consumos superiores efetuados no ano de 2010, quando comparados com os restantes anos em análise.

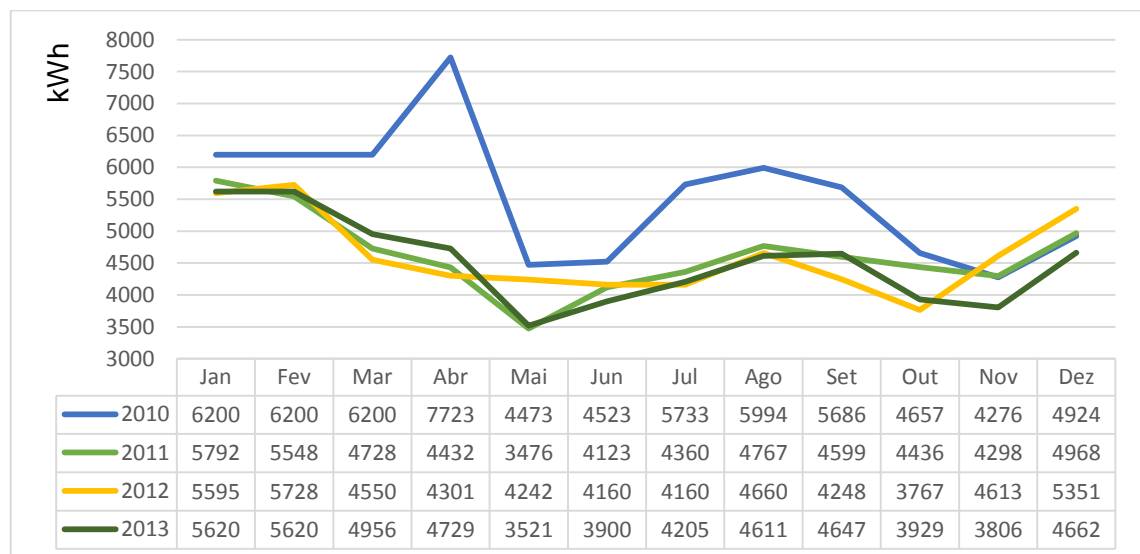


Figura 26 - Consumos energéticos mensais 2010-2013 (kWh).

4. Simulação Energética

No presente capítulo realiza-se uma simulação energética ao edifício em estudo, recorrendo para isso a *software* técnico específico. Para esse efeito, começa-se por fazer a modelação do edifício, com recurso ao *Google SketchUp*. Depois de modelado o edifício, com as suas características as mais aproximadas possíveis da realidade, é feita então a simulação energética do mesmo, desta vez com recurso ao programa *EnergyPlus*.

4.1. *Google SketchUp e EnergyPlus*

Segundo o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, uma simulação dinâmica é “a previsão de consumos de energia correspondentes ao funcionamento de um edifício e respetivos sistemas energéticos que tome em conta a evolução de todos os parâmetros relevantes com a precisão adequada, numa base de tempo pelo menos horária, para diferentes zonas térmicas e condições climáticas de um ano de referência”.

De acordo com a Portaria n.º 349-D/2013, a determinação do IEE de um edifício, com base no método de simulação dinâmica, deve ser realizada por um programa acreditado pela norma ASHRAE 140, sendo o *EnergyPlus*, um dos mais sofisticados e correntemente utilizados para este efeito.

Desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América, o *EnergyPlus* é um motor de simulação que pode ser utilizado com diferentes interfaces e ferramentas de análise de resultados. Permite calcular 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. O *EnergyPlus* desenvolveu-se à medida que ia crescendo a perceção da necessidade de ter um programa que assegurasse soluções integradas que incluíssem não só o cálculo de cargas térmicas mas também um estudo mais detalhado do impacto dos sistemas de climatização e ventilação nos consumos energéticos totais de um edifício. [19]

No entanto, o *EnergyPlus* não possui uma interface gráfica, que nos permita fazer a modelação de um edifício de uma forma clara. Pode usar-se para esse efeito diverso *software*. Para auxiliar esta dissertação decidiu utilizar-se o *Google SketchUp*, que em

conjunto com o *Legacy OpenStudio* (um *plug-in* do *Google SketchUp*, que faz a ligação deste com o *EnergyPlus*), permite fazer uma modelação 3D do edifício, de forma simples e intuitiva. Toda a informação criada através do *Google SketchUp* é gravada num ficheiro de extensão IDF, reconhecido pelo *EnergyPlus* e que é passível de ser editado. Assim sendo, os dados para a simulação são inseridos através de dois ficheiros editados pelo utilizador, o já referido IDF, que pode ser criado integralmente no *EnergyPlus* ou com ajuda da interface gráfica do *Google SketchUp*, e o ficheiro de dados climáticos de extensão EPW.

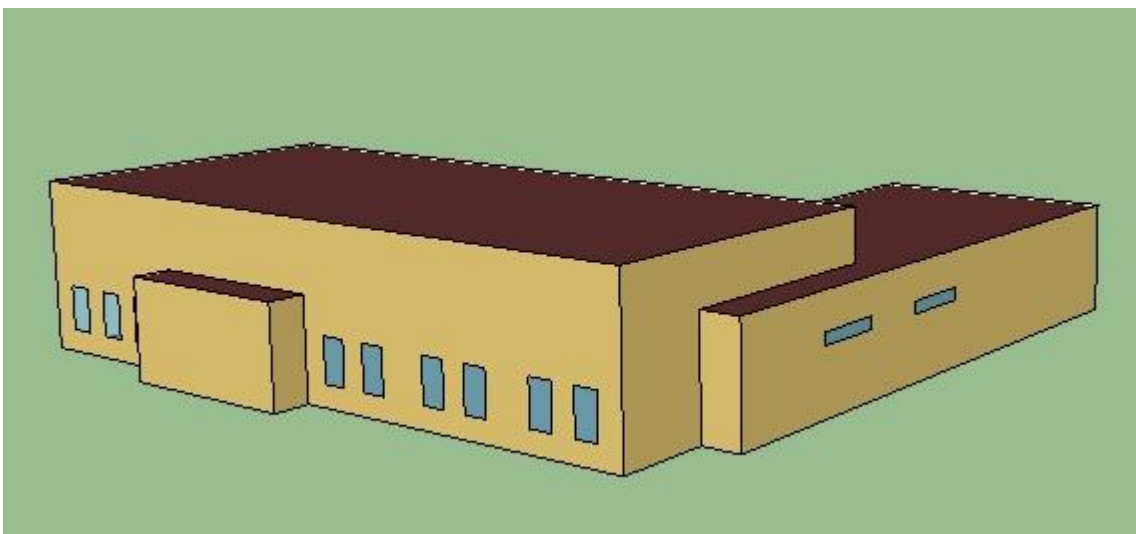


Figura 27 - Versão modelada do edifício em estudo (Fonte: TG).

Com a utilização de todo o *software* mencionado acima, ficaram assim reunidas as condições para a realização de uma simulação energética fiável, do edifício em estudo. Na figura 27 apresenta-se a versão de modelação do edifício em estudo.

4.2. Simulação do Conjunto Energético Presente

Para a simulação energética do edifício em estudo foi necessário fazer o zonamento térmico do mesmo, para separar diferentes áreas e também para isolar eventuais áreas não climatizadas.

O edifício foi dividido em cinco zonas térmicas numeradas de um a cinco. A *Zona 1* compreende a área do *Open Space*, a *Zona 2* corresponde à área dos gabinetes, a *Zona 3* inclui as instalações sanitárias e balneários, a *Zona 4* corresponde à *Sala Clube*

Pessoa e por fim a *Zona 5* corresponde à arrecadação. Para uma melhor compreensão da planta do edifício, esta pode ser consultada no Anexo C.

Na construção do modelo foram feitas algumas simplificações de modo a não tornar a simulação num processo mais moroso do que o necessário, mas sem nunca comprometer o rigor que esta deverá ter. Os coeficientes de transmissão térmica dos materiais (U) e o fator solar dos envidraçados foram retirados diretamente do Certificado de Desempenho Energético do edifício.

Relativamente à ocupação do edifício, foram atribuídos os valores de 14m² por pessoa para as *Zonas 1 e 2* e de 3,5m² por pessoa para as *Zonas 3 e 4*, como referido no Relatório Preliminar de QAI. A *Zona 5* sendo uma arrecadação não tem ocupação permanente.

Quanto à carga horária de ocupação do edifício, foi considerado o horário real de funcionamento, das 08h00 até às 20h00, de segunda-feira a sexta-feira. No restante horário considerou-se o edifício como estando desocupado. A ocupação ao longo do dia foi portanto definida, de acordo com a figura 28.

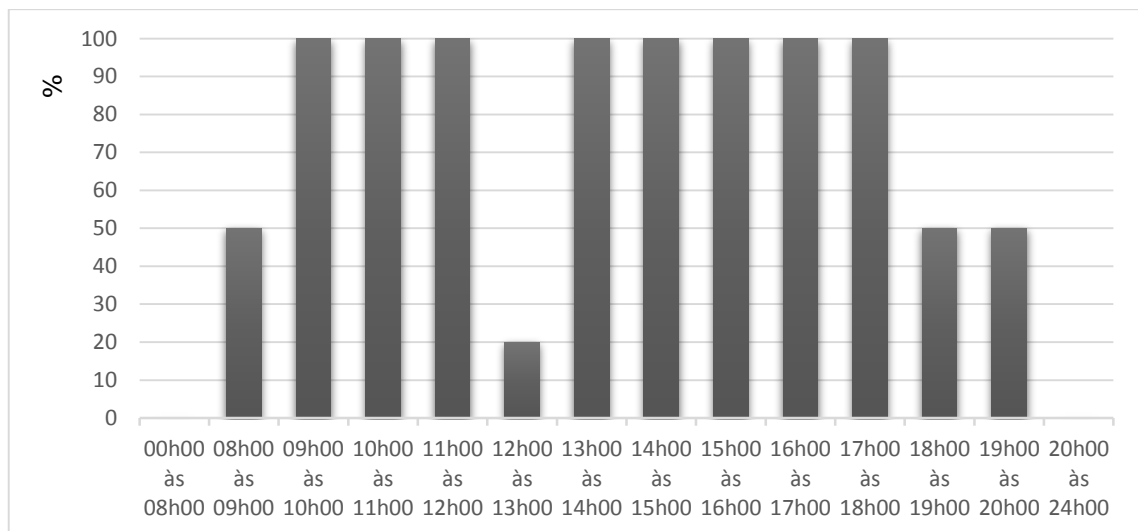


Figura 28 - Carga horária de ocupação do edifício.

No que diz respeito à iluminação, em virtude de os dados referentes a esta não serem muito precisos no Certificado de Desempenho Energético, foram fornecidos pelo Eng.^o João Hormigo os dados completos relativamente à iluminação interior e exterior do

edifício. Do levantamento efetuado observa-se que a potência total de iluminação presente no interior do edifício é de 3992 W e no exterior é de 630 W.

Relativamente à carga horária da iluminação no edifício, foi definido que a iluminação interior está totalmente ligada durante o horário de trabalho e totalmente desligada fora desse horário. Para a iluminação exterior definiu-se que esta está ligada entre as 19h00 e as 08h00 durante todos os dias do ano. As duas figuras seguintes (Figuras 29 e 30), ilustram a carga horária da iluminação interior e exterior.

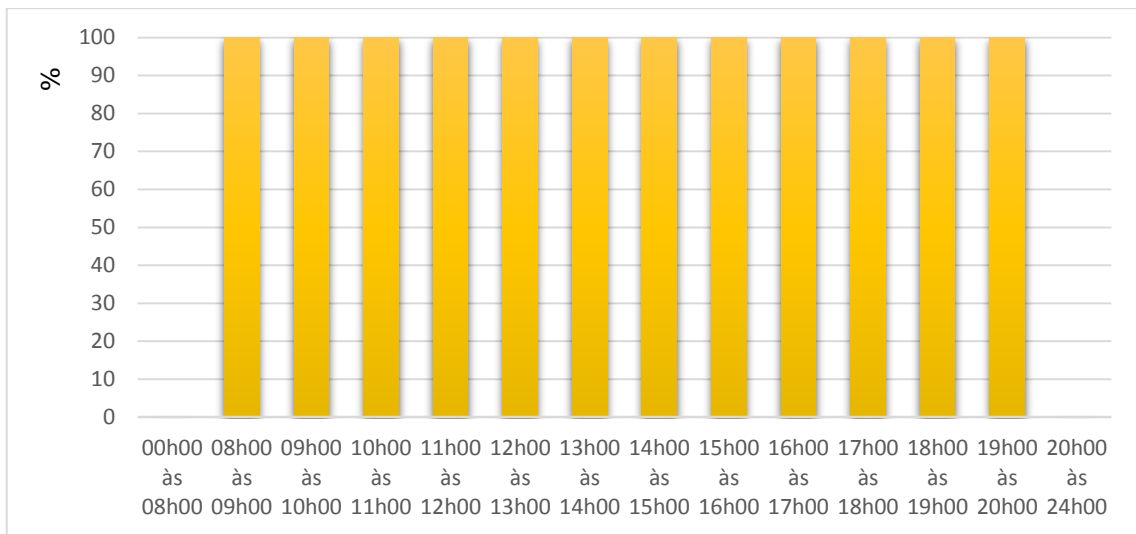


Figura 29 - Carga horária da iluminação interior do edifício.

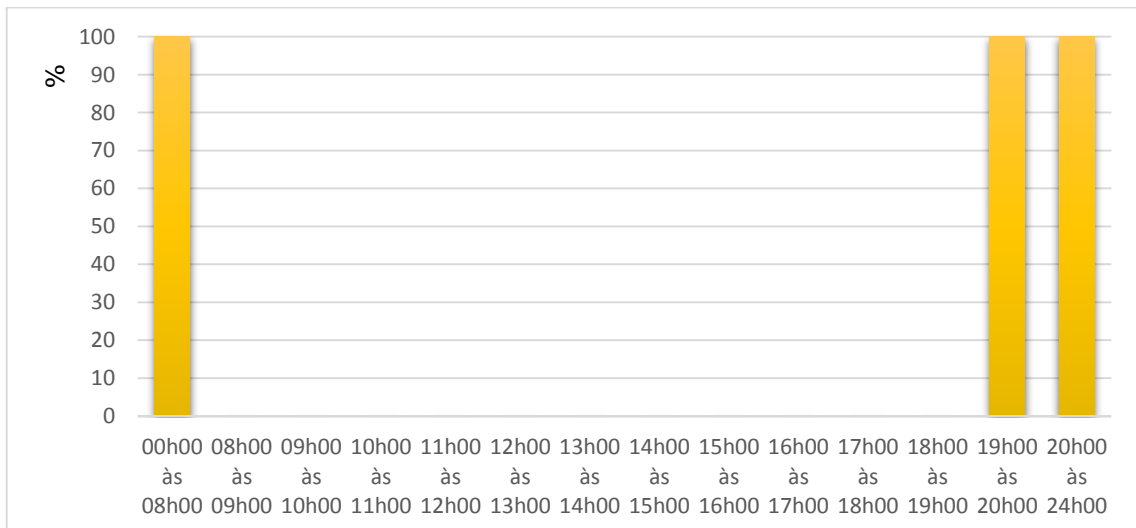


Figura 30 - Carga horária da iluminação exterior do edifício.

Para além da iluminação, existem diversos equipamentos elétricos responsáveis pelo consumo de energia do edifício. Para a simulação energética usou-se a lista de equipamentos referida no Certificado de Desempenho Energético. Considera-se assim que o edifício tem uma potência instalada de equipamentos a rondar os 12000 W.

Para a carga horária dos equipamentos elétricos considerou-se que estes funcionam a 30% durante o horário de funcionamento do edifício, funcionando a 5% em todo o restante horário, como se mostra na figura 31.

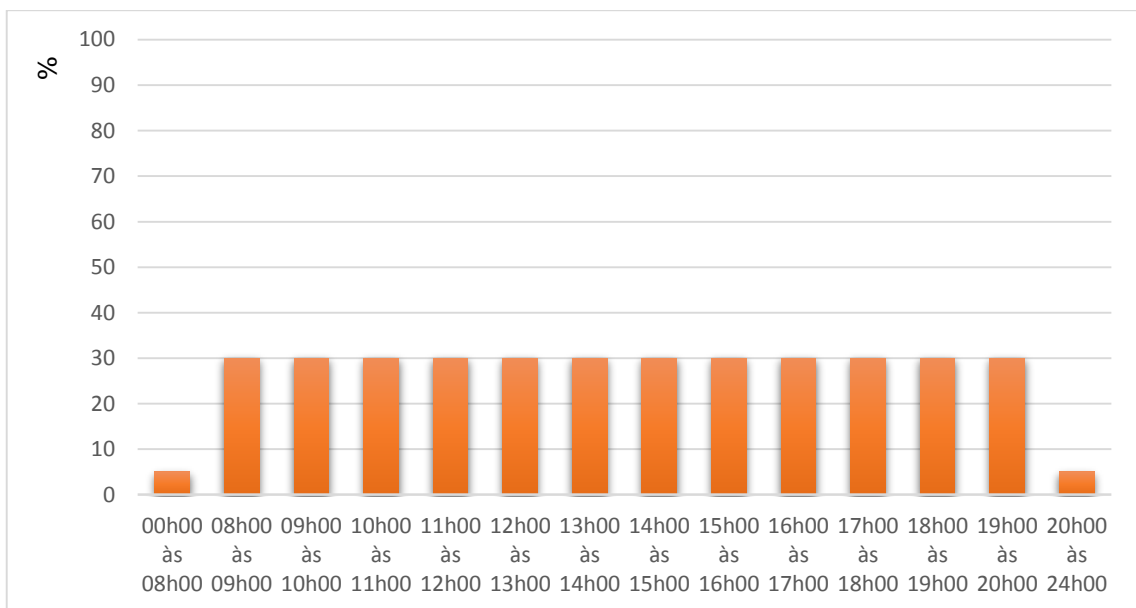


Figura 31 - Carga horária dos equipamentos do edifício.

Relativamente ao sistema de AVAC, as temperaturas de funcionamento do termostato são de 20 °C e 25 °C, para o inverno e verão respetivamente.

A carga horária do sistema de AVAC foi definida para um funcionamento total durante o horário de ocupação do edifício e um funcionamento de 5% nos outros períodos horários, uma vez que o polo técnico funciona 24h/dia, como se demonstra pela figura 32.

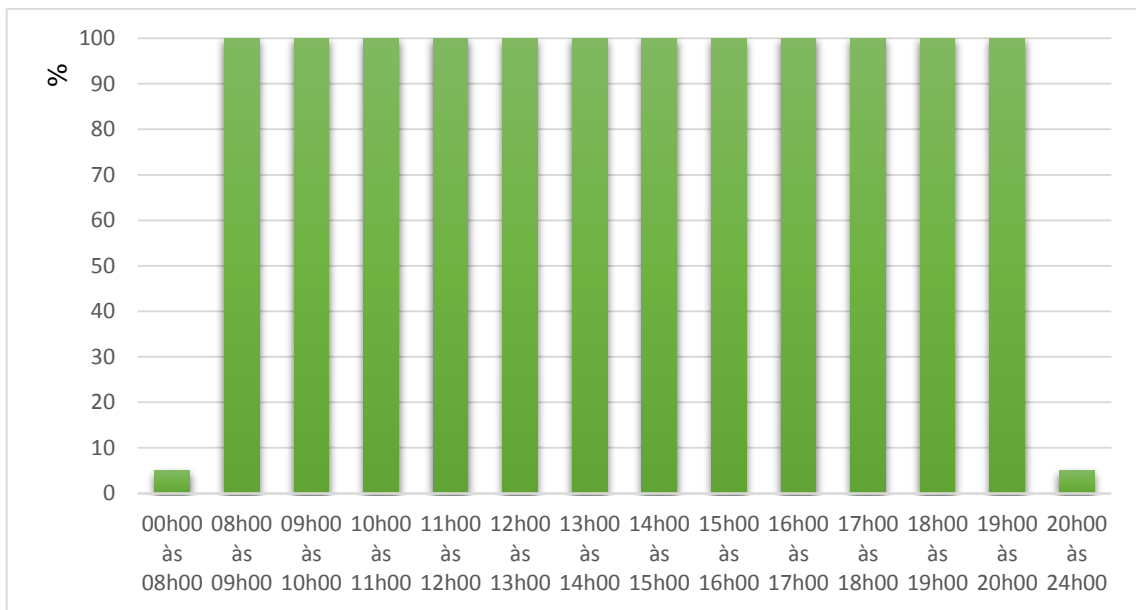


Figura 32 - Carga horária do sistema de AVAC do edifício.

Não foi possível encontrar um ficheiro climático para a cidade de Castelo Branco. Sendo assim, para a realização desta simulação energética, foi utilizado um ficheiro climático representativo de um ano climatológico da cidade de Cáceres, Espanha. Foi escolhida esta opção pois, de entre as opções possíveis, esta era a cidade mais próxima e com o clima mais parecido, em relação às outras cidades.

4.2.1. Resultados da Simulação

Para se obterem os resultados da simulação, é necessário começar por executar o processo iterativo de ajuste de vários parâmetros com vista a estes ficarem o mais próximo possível da realidade. No final o objetivo é que o resultado da simulação energética seja bastante aproximado ao consumo real presente nas faturas energéticas.

Segundo o RSECE, considera-se um modelo como sendo fiável quando a razão entre a simulação energética e o consumo real, obtido nas faturas ou em contagens no próprio local, é de no máximo 10% do consumo de energia anual.

Como resultado da simulação energética feita ao edifício em estudo, obteve-se um consumo anual de 53995 kWh, o que comparando com a média dos últimos três anos, que é de 55035 kWh, representa uma diferença de 1,89% entre o modelo e a situação real. Considera-se então que o modelo simulado é válido.

Ao observarmos o gráfico que contém a comparação entre os consumos anuais obtidos pela simulação e os consumos anuais apresentados em fatura, verifica-se que existem diferenças por vezes significativas nos consumos mensais. Isto poderá dever-se a vários fatores entre os quais o facto de o ficheiro climático não corresponder à zona na qual o edifício se situa e também ao facto de estes ficheiros corresponderem a um ano meteorológico típico, baseado numa série de trinta anos. Outra explicação poderá ser também o facto de nas faturas energéticas, por vezes, os consumos virem acumulados em dois ou três meses, sendo usados nesses casos uma média relativa a cada mês, o que não corresponde rigorosamente à realidade dos consumos.

A comparação entre os consumos produzidos pela simulação e os consumos reais pode ser observada na figura 33.

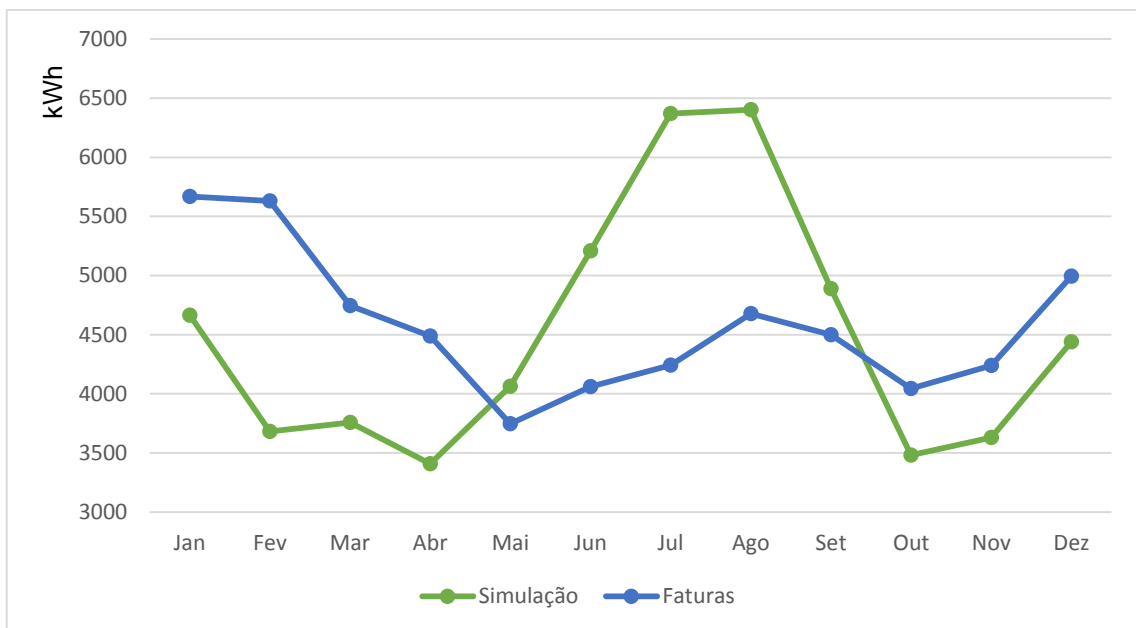


Figura 33 - Comparação mensal entre os consumos reais e da simulação.

Através da simulação dinâmica efetuada, consegue-se compreender onde são gastas as maiores parcelas de energia e qual o seu peso relativamente aos consumos totais. Nesta simulação as parcelas estão atribuídas de uma forma relativamente equilibrada. A parcela que consome maior energia é a do arrefecimento, com 30,3% do consumo total do edifício, seguida pela iluminação (interior e exterior) com 28,46% e pelos

equipamentos elétricos com 26,6%. A parcela que consome menos energia é a relativa ao aquecimento do edifício com 14,64% da energia total consumida.

Estes resultados podem ser observados na figura 34.

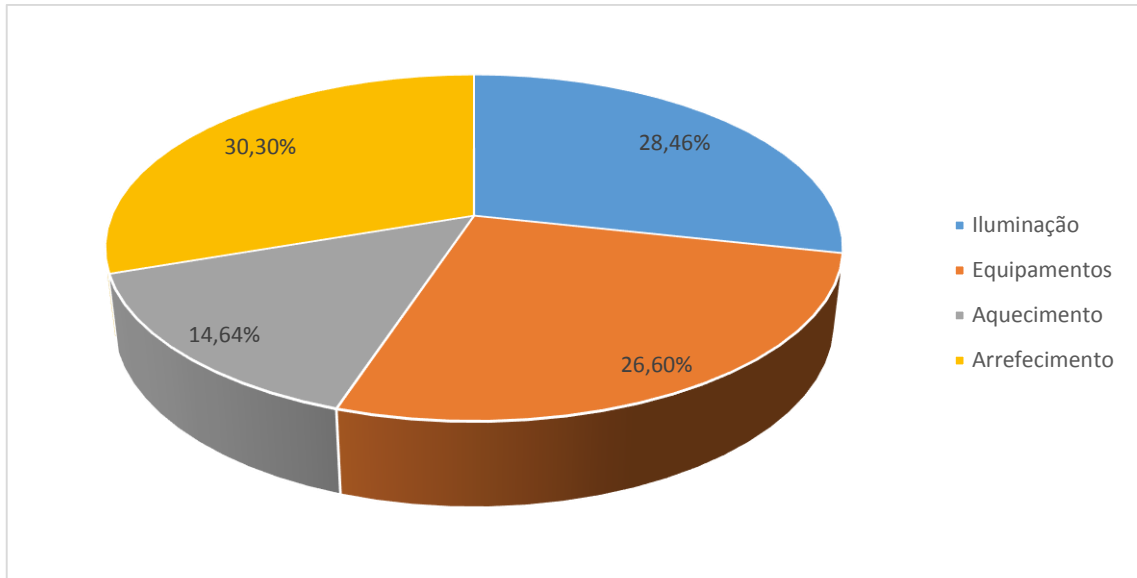


Figura 34 - Consumo de energia no edifício, previsto pela simulação.

4.3. Aplicação de Melhorias e Avaliação da Viabilidade Económica

Após o conhecimento dos pormenores relativos ao consumo energético produzidos pela simulação, vão então aplicar-se medidas que ajudem a reduzir a fatura energética e possam contribuir para um aumento da classe energética do edifício, sendo de preferência economicamente viáveis.

De acordo com o Artigo 32º do RSECE, “são de implementação obrigatória todas as medidas de eficiência energética que tenham um período de retorno simples,..., de oito anos ou menor, incluindo como custos elegíveis para o cálculo do período de retorno os correspondentes a um eventual financiamento bancário da execução das medidas.”.

Segundo este mesmo Regulamento, a viabilidade económica das medidas de eficiência energética a aplicar são calculadas através de um parâmetro denominado Período de Retorno Simples (PRS). Este é calculado através da seguinte fórmula:

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

Em que:

C_a – custo adicional de investimento, calculado pela diferença entre o custo inicial da solução base e o da solução mais eficiente, estimada aquando da construção do sistema;

P_1 – poupança anual resultante da aplicação da alternativa mais eficiente, estimada com base em simulações anuais do funcionamento do edifício e seus sistemas energéticos

De salientar que o custo do investimento utilizado nas medidas a apresentar se refere apenas ao custo dos equipamentos ou materiais a aplicar, não incluindo qualquer eventual mão-de-obra necessária. Para o valor da poupança anual, utiliza-se o valor de 0,12€/kWh, que tal como referido anteriormente é o valor a pagar por kWh consumido no edifício em estudo.

De seguida apresentam-se então as medidas propostas para reduzir o consumo energético.

4.3.1. Medida 1 – Troca dos Computadores de Secretária por Computadores Portáteis

Como pôde ser observado na figura 34, os equipamentos são responsáveis por uma fatia apreciável do consumo de eletricidade do edifício, representando um valor de 26,6% do consumo total, pelo qual os 32 computadores presentes no edifício são maioritariamente responsáveis.

No entanto, estes equipamentos possuem um elevado potencial de economia de energia. Os computadores portáteis são a forma mais óbvia de economizar energia na utilização de computadores no escritório. Comparando o consumo de 30 W de um poderoso computador portátil com o consumo de 200/250 W de um computador de secretária, constata-se que a economia pode atingir os 80%. Mesmo no caso de portáteis destinados a substituir computadores de secretária, de ecrã maior e com parâmetros de gestão de energia menos exigentes, a economia será superior a 50%.
[20]

De acordo com a simulação efetuada, a troca dos 32 computadores de secretária por 32 computadores portáteis permite uma poupança de energia de 58,33% nos equipamentos e ainda de 27,36% nos gastos com o arrefecimento, devido à redução de temperatura provocada pela mudança no local onde estes estavam instalados, já que os computadores de secretária libertam bastante mais calor que os computadores portáteis. No entanto, e devido a este mesmo facto, os consumos de aquecimento subiram 27,1%.

No global, esta medida provoca uma diminuição do consumo de energia de 19,84%, como se pode observar pela tabela 15.

Tabela 15 - Poupança de energia anual, prevista pela simulação da Medida 1.

Setor Energético	Consumo Original (kWh)	Consumo após Medida 1 (kWh)	Varição (kWh)	Varição (%)
Iluminação	15365	15365	0	0,00%
Equipamentos	14365	5985	-8380	-58,33%
Aquecimento	7904	10046	2142	27,10%
Arrefecimento	16362	11885	-4477	-27,36%
Total	53996	43281	-10715	-19,84%

Quanto aos custos a considerar para a implementação desta medida, ao preço estimado de 400€ por portátil, a troca dos 32 computadores, fica estimada em 12800€, o que em virtude da redução da fatura de eletricidade representa um período de retorno de 10 anos, conforme ilustrado na tabela 16.

Tabela 16 - Viabilidade económica da Medida 1.

Custo do Portátil (€)	Quantidade	Custo Total (€)	Redução na Fatura (kWh)	Período de Retorno (anos)
400	32	12800	10715	10

Esta medida provoca uma redução na fatura energética de aproximadamente 1285€ anuais.

Esta medida, segundo o RSECE, não é economicamente viável pois apresenta um período de retorno superior a 8 anos, mas sendo uma medida que permite uma redução tão significativa nos consumos anuais do edifício e tendo em conta que os computadores de secretária terão de ser substituídos ou melhorados com o tempo, será sempre uma medida a contemplar.

4.3.2. Medida 2 – Substituição dos Vãos Envidraçados

As áreas envidraçadas são os elementos de maior interação entre o ambiente interior e o ambiente exterior. São também um dos elementos construtivos que, durante as últimas décadas, mais beneficiou de um grande desenvolvimento. Este desenvolvimento tecnológico tornou o vidro mais evoluído e deu-lhe outras qualidades, que contribuem para otimizar o desempenho energético e ambiental dos edifícios. Existem sistemas envidraçados que atingem um grau de desempenho energético semelhante ao de uma parede maciça comum. [21]

Com o objetivo de reduzir o consumo de energia e as respetivas emissões de CO₂ para a atmosfera, através de uma redução dos consumos do sistema de AVAC entendeu-se fazer uma substituição dos vãos envidraçados existentes, mantendo a caixilharia, por outros com um melhor desempenho energético, nomeadamente um coeficiente de transmissão térmica (designado por fator U) mais reduzido.

Após pesquisa dos produtos de vários fabricantes a decisão recaiu sobre vãos envidraçados de vidro duplo *PLANITHERM 4S*, da empresa *Saint-Gobain Glass*. É um vão em vidro duplo com a configuração 4-16-4, com os espaços entre panos e vidro preenchidos por 90% de Árgon, com um coeficiente U de 1.1 W/ (m².K). No Anexo D pode ser encontrada informação mais detalhada relativamente ao vão envidraçado selecionado.

De acordo com a simulação efetuada, a substituição dos vãos envidraçados existentes permite uma poupança de 15,64% de energia utilizada para aquecimento e de 10,53% de energia utilizada para arrefecimento. Globalmente, esta medida permite obter uma poupança de 5,48% na fatura de energia anual, como se pode observar pela tabela 17.

Tabela 17 - Poupança de energia anual, prevista pela simulação da Medida 2.

Setor Energético	Consumo Original (kWh)	Consumo após Medida 2	Varição (kWh)	Varição (%)
Iluminação	15365	15365	0	0,00%
Equipamentos	14365	14365	0	0,00%
Aquecimento	7904	6668	-1236	-15,64%
Arrefecimento	16362	14640	-1722	-10,53%
Total	53995	51037	-2958	-5,48%

Quanto aos custos associados a esta medida, o preço total dos vãos envidraçados é de 2471,41€, segundo orçamento fornecido por uma empresa (*Vidreira Algarvia*), o que, em virtude da redução provocada na fatura, permite um período de retorno de 7 anos, conforme tabela 18.

Tabela 18 - Viabilidade económica da Medida 2.

Custo dos Envidraçados (€)	Redução na Fatura (kWh)	Período de Retorno (anos)
2471,41	2958	7,0

Esta medida, depois de aplicada, provoca uma redução na fatura energética de aproximadamente 355€ anuais. Segundo o RSECE esta medida é economicamente viável.

4.3.3. Medida 3 – Substituição da Iluminação

Ao observar a figura 34 verificamos que a iluminação é a segunda maior responsável pelo consumo de energia elétrica do edifício com um peso de 28,46% do total de energia consumida. Procurou-se por isso então, encontrar soluções que permitam reduzir os custos, o consumo energético e as emissões de CO₂.

Para a substituição da iluminação do edifício procurou-se encontrar uma medida que permitisse uma diminuição do consumo energético, mas que não obrigasse a qualquer

substituição dos equipamentos existentes, tais como as luminárias e as armaduras para colocação das lâmpadas. Assim seria apenas necessário substituir as lâmpadas existentes, não sendo necessário qualquer mão-de-obra extra que viesse implicar custos adicionais. Na procura por lâmpadas mais eficientes, com as características das atuais, efetuou-se uma pesquisa por diversos fabricantes, sendo escolhidas para o efeito lâmpadas de vários modelos da marca *Philips*.

Na tabela 19 pode consultar-se a lista de lâmpadas a instalar no edifício.

Tabela 19 - Lista de lâmpadas a instalar.

Quantidade de Lâmpadas	Modelo
201	<i>MASTER TL5 HE Eco 13=14W/840 UNP</i>
2	<i>MASTER TL5 HO Eco 20=24W/840 UNP</i>
2	<i>MASTER TL5 HO Eco 34=39W/840 1SL</i>
3	<i>MASTER TL5 HO Eco 45=49W/840 UNP</i>
10	<i>MASTER PL-C 10W/840/2P 1CT</i>
72	<i>MASTER PL-C 10W/840/4P 1CT</i>
9	<i>MASTER CosmoWhite CPO-TT Xtra 45W/628 E27</i>

Com a substituição da iluminação total do edifício a potência instalada diminuiu, sem nenhuma perda de qualidade para os utilizadores, devido à gama de lâmpadas a instalar ter todas as vantagens das lâmpadas anteriores e a mesma qualidade de iluminação, acrescido de uma poupança de energia através de uma simples substituição. As características técnicas das lâmpadas a substituir podem ser consultadas em pormenor no Anexo E.

Com esta substituição total da iluminação a potência instalada da iluminação exterior diminuiu de 630W para 405W, enquanto a potência da iluminação interior diminuiu de 3992W para 3675W.

De acordo com a simulação efetuada, a substituição da iluminação existente permite uma poupança nos consumos energéticos a rondar os 13,91% de energia utilizada para iluminação e de 3,17% de energia utilizada para arrefecimento, devido ao facto de as

lâmpadas serem menos potentes e libertarem menos calor. No entanto isto faz com que os consumos relativos ao aquecimento do edifício aumentem 2,79%. No total esta medida permite obter uma poupança de 4,51% na fatura de energia anual, como se pode observar pela tabela 20.

Tabela 20 - Poupança de energia anual, prevista pela simulação da Medida 3.

Setor Energético	Consumo Original (kWh)	Consumo após Medida 3	Variação (kWh)	Variação (%)
Iluminação	15365	13228	-2137	-13,91%
Equipamentos	14365	14365	0	0,00%
Aquecimento	7904	8125	221	2,79%
Arrefecimento	16362	15844	-518	-3,17%
Total	53995	51562	-2433	-4,51%

Quanto aos custos associados a esta medida, os mesmos podem ser consultados na tabela 21.

Tabela 21 - Custo das lâmpadas a instalar no edifício.

Modelo	Quantidade de Lâmpadas	Custo Unitário (€)	Custo Total (€)
MASTER TL5 HE Eco 13=14W/840 UNP	201	5,53	1111,53
MASTER TL5 HO Eco 20=24W/840 UNP	2	6,21	12,42
MASTER TL5 HO Eco 34=39W/840 1SL	2	7,01	14,02
MASTER TL5 HO Eco 45=49W/840 UNP	3	8,41	25,23
MASTER PL-C 10W/840/2P 1CT	10	2,98	29,80
MASTER PL-C 10W/840/4P 1CT	72	2,74	197,28
MASTER CosmoWhite CPO-TT Xtra 45W/628 E27	9	35,36	318,24
			1708,52

Como se pode ver pela tabela 21 o custo da substituição total da iluminação do edifício estima-se em 1708,52€, o que em virtude da redução provocada na fatura, terá um período de retorno próximo dos 6 anos, conforme tabela 22.

Tabela 22 - Viabilidade económica da Medida 3.

Custo das Lâmpadas (€)	Redução na Fatura (kWh)	Período de Retorno (anos)
1708,52	2433	5,9

A poupança implicada nesta medida é de aproximadamente 292€ anuais. Segundo o RSECE esta medida é economicamente viável.

4.4. Simulação do Conjunto Energético Final

Depois de uma simulação inicial, para avaliar os consumos energéticos do edifício em estudo, foram então aplicadas as três medidas, em diferentes setores energéticos, para reduzir o consumo de energia elétrica e tentar elevar a classe energética do edifício. Depois da aplicação dessas medidas foi então efetuada uma nova simulação para verificar se de facto o consumo energético desceu significativamente. Os resultados da simulação efetuada mostram que o consumo de energia elétrica desceu de facto, de uma forma significativa.

O setor dos equipamentos foi aquele que apresentou uma maior quebra no consumo, tendo este sido reduzido em mais de 58%. A troca dos computadores de secretária pelos computadores portáteis revelou-se assim uma medida com grande impacto no consumo de energia, já que o consumo dos equipamentos passou para menos de metade do consumo original.

O setor da iluminação apresentou também uma redução nos valores de energia consumidos de quase 14%, depois da substituição da iluminação total do edifício. Derivado disso e juntamente com a medida 1 (troca de computadores), houve uma redução no consumo de energia dedicada ao arrefecimento, na ordem de 41,5%, em virtude de ambas as medidas reduzirem a temperatura ambiente no interior do edifício. Ao mesmo tempo isto fez com que os consumos energéticos provenientes do aquecimento do edifício subissem em quase 13%, sendo este o único setor em que se verificou um aumento no consumo de eletricidade. Apesar disso, houve uma redução bastante significativa no consumo de energia total, que teve uma redução superior a 30%.

Na tabela 23 pode fazer-se a comparação entre os consumos energéticos previstos pela simulação antes e depois da aplicação das medidas de poupança energética.

Tabela 23 - Poupança de energia anual, prevista pela simulação, após aplicação de todas as medidas.

Setor Energético	Consumo Original (kWh)	Consumo após Medidas	Variação (kWh)	Variação (%)
Iluminação	15365	13228	-2137	-13,91%
Equipamentos	14365	5985	-8380	-58,33%
Aquecimento	7904	8921	1017	12,87%
Arrefecimento	16362	9570	-6792	-41,51%
Total	53995	37705	-16290	-30,17%

Após as três medidas aplicadas, obtém-se uma nova distribuição quanto às parcelas que consomem mais energia e menos energia no edifício, relativamente ao total.

A iluminação é agora o setor energético com maiores consumos, consumindo cerca de 35% de toda a energia gasta no edifício, trocando de posição com o arrefecimento que consome agora perto de 25%. O aquecimento do edifício consome agora uma parcela maior relativamente ao total, com quase 24% dos gastos energéticos, enquanto os equipamentos são agora aqueles que menor peso têm no consumo, não perfazendo sequer 16% do total de energia consumida, conforme se pode observar na figura 35.

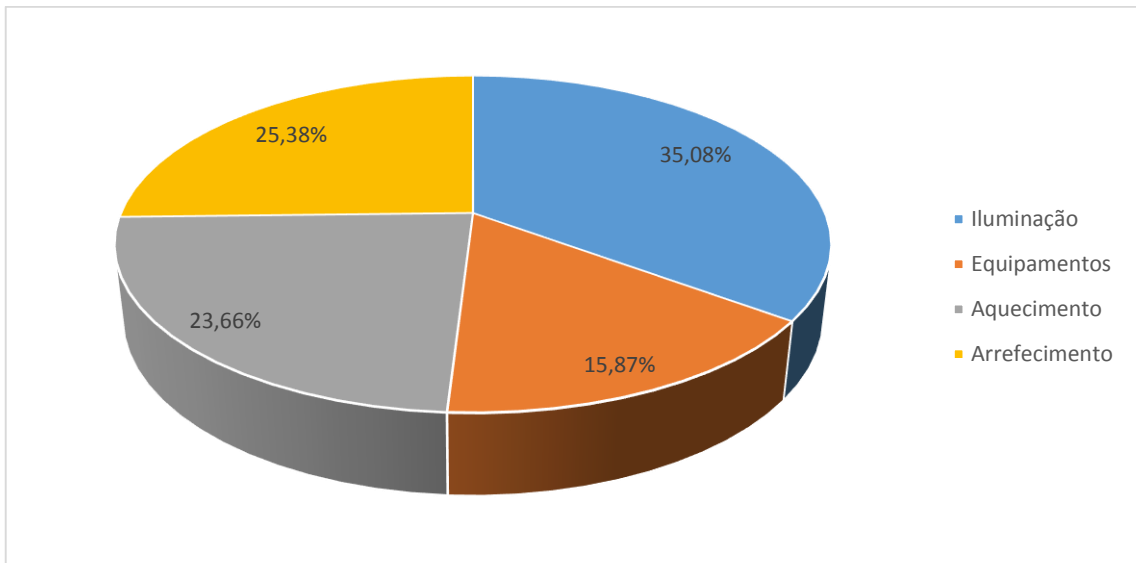


Figura 35 - Consumo de energia no edifício, previsto pela simulação, após aplicação das medidas.

Comparando agora os resultados da simulação, após a aplicação das medidas de poupança energética, com a média dos últimos 3 anos dos consumos registados nas faturas energéticas, observamos que após a aplicação das medidas houve uma redução de 17331 kWh nos consumos anuais, o que corresponde a 31,49% de diferença, conforme se pode observar na figura 36:

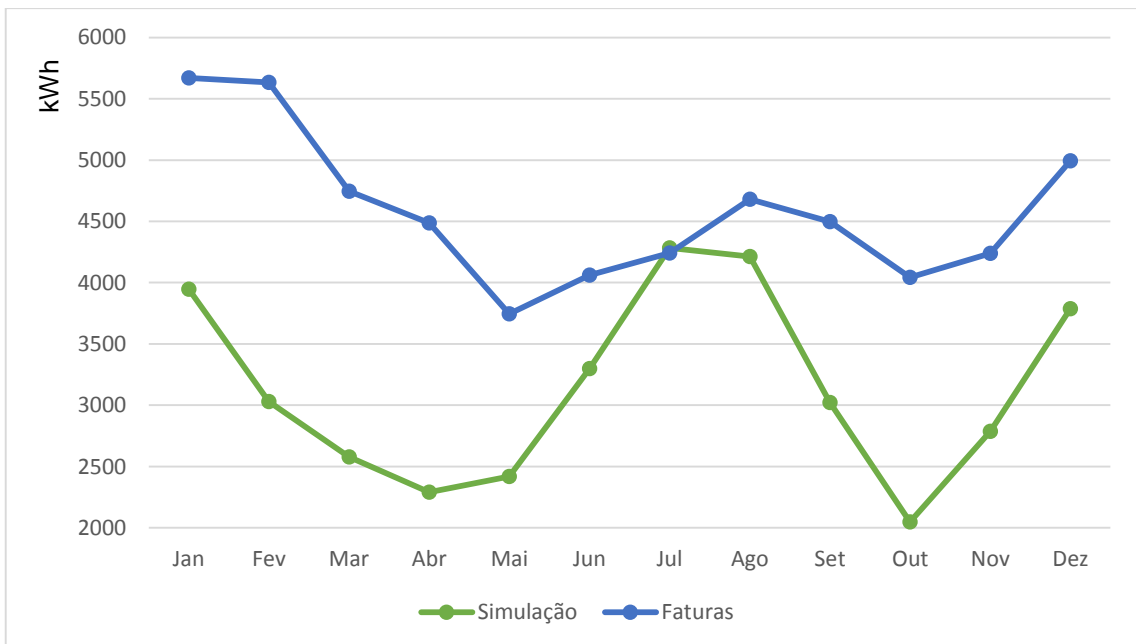


Figura 36 - Comparação mensal entre os consumos reais e os da simulação final.

Analisando a figura 36, observamos que houve uma redução do consumo de energia em todos os meses, com uma variação do consumo que vai desde os 9,98%, no mês de agosto, até aos 49,36%, no mês de outubro. A única exceção é o mês de julho que regista um ligeiro acréscimo de 0,99% no consumo de energia.

4.5. Determinação da Classe Energética após Aplicação das Medidas de Melhoria

Após a aplicação das medidas de poupança energética e da realização da simulação dinâmica para aferir as poupanças que ocorreram nos consumos, vamos então determinar por fim a classe energética do edifício em estudo, para verificar se os objetivos iniciais foram cumpridos.

Importa referir previamente que quando esta dissertação foi iniciada ainda vigorava o RSECE, tendo o Certificado de Desempenho Energético do edifício sido baseado no mesmo. Assim sendo, e pelo facto de os dados disponíveis para a realização desta dissertação terem sido todos baseados no RSECE, foi decidido que a determinação da nova classe energética será também ela feita com base no mesmo regulamento. No entanto é importante referir que o RSECE já não se encontra em vigor, tendo sido substituído pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, e Portarias anexas.

Para calcular o IEE utiliza-se o método proposto pelo RSECE no Anexo IX. O IEE é então calculado pela seguinte expressão [23]:

$$IEE = IEE_I + IEE_V + \frac{Q_{out}}{A_p}$$

Em que:

IEE - Indicador de eficiência energética (kgep/m².ano);

IEE_I - Indicador de eficiência energética de aquecimento (kgep/m².ano);

IEE_V - Indicador de eficiência energética de arrefecimento (kgep/m².ano);

Q_{out} - Consumo de energia não ligado aos processos de aquecimento e arrefecimento (kgep/ano);

A_p - Área útil de pavimento (m^2).

Por sua vez [23]:

$$IEE_I = \frac{Q_{aq}}{A_p} \times F_{CI}$$

e

$$IEE_V = \frac{Q_{arr}}{A_p} \times F_{CV}$$

Em que:

Q_{aq} - Consumo de energia em aquecimento (kgep/ano);

Q_{arr} - Consumo de energia em arrefecimento (kgep/ano);

F_{CI} – Fator de correção do consumo de energia de aquecimento;

F_{CV} – Fator de correção do consumo de energia de arrefecimento.

Os fatores de correção calculam-se da seguinte maneira [23]:

$$F_{CI} = \frac{N_{I1}}{N_{Ii}}$$

Em que:

N_{I1} – necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, como se estivesse localizado na zona de referência I1 (kWh/ m^2 .ano);

N_{Ii} – necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, na zona onde está localizado o edifício (kWh/ m^2 .ano).

$$F_{CV} = \frac{N_{V1}}{N_{Vi}}$$

Em que:

N_{V1} – necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE, como se estivesse localizado na zona de referência I1-V1 (kWh/m².ano);

N_{Vi} – necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE, na zona onde está localizado o edifício (kWh/m².ano).

Para o cálculo de Q_{aq} , Q_{arr} e Q_{out} , multiplica-se o valor do consumo anual destes pelo fator de conversão utilizado para a eletricidade que é igual a 0,29 kgep/kWh.

Para o cálculo de N_{I1} e N_{Ii} e como o Fator de Forma é menor do que 0,5 a fórmula utilizada é a seguinte [24]:

$$N_i = 4,5 + 0,0395 * GD$$

Posto isto, os cálculos efetuados produziram os seguintes resultados:

Tabela 24 – Cálculos efetuados para determinar o valor do IEE.

$Q_{aq} =$	2587,16	kgep/ano
$Q_{arr} =$	2775,35	kgep/ano
$Q_{out} =$	5571,88	kgep/ano
$A_p =$	525,43	m ²
$F_{Cl} =$	0,632	
$N_{I1} =$	44	kWh/m ² .ano
$N_{Ii} =$	69,675	kWh/m ² .ano
$F_{CV} =$	0,615	
$N_{V1} =$	16	kWh/m ² .ano
$N_{Vi} =$	26	kWh/m ² .ano
$IEE_i =$	3,109	kgep/m ² .ano
$IEE_v =$	3,251	kgep/m ² .ano
$IEE =$	16,96	kgep/m ² .ano

O valor do IEE real do edifício é de 16,96 kgep/ m².ano. De seguida determina-se o valor do IEE de referência deste edifício, sendo para isso necessário fazer uma média ponderada dos diferentes espaços presentes no edifício, com base nas suas áreas. Os

valores de referência limite dos consumos nominais específicos para novos edifícios de serviços encontram-se presentes no Anexo XI do RSECE.

Tabela 25 - Cálculo do IEE de Referência para edifícios novos.

Tipo de atividade	Tipo de Espaço	IEE (kgep/m ² .ano)	Área Útil (m ²)
Serviços	Escritórios	35	452,83
Espaço Complementar	Armazéns (7h/dia)	15	72,6
IEE de Referência Ponderado		32,24	

O valor real do IEE determinado, 16,96 kgep/m².ano, é bastante inferior ao valor do IEE de referência para edifícios novos, 32,24 kgep/m².ano.

Para além do IEE de referência, é necessário calcular o IEE nominal e o fator S para se determinar a classe energética de um edifício. Na tabela 26 apresentam-se as condições que definem os intervalos das diferentes classes energéticas.

Tabela 26 - Intervalos das classes energéticas [23].

Classe Energética	Condição a verificar
A +	$IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,75 \times S$
A	$IEE_{ref,novos} - 0,75 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,50 \times S$
B	$IEE_{ref,novos} - 0,50 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,25 \times S$
B -	$IEE_{ref,novos} - 0,25 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos}$
C	$IEE_{ref,novos} < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 0,50 \times S$
D	$IEE_{ref,novos} + 0,50 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 1,00 \times S$
E	$IEE_{ref,novos} + 1,00 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 1,50 \times S$
F	$IEE_{ref,novos} + 1,50 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 2,00 \times S$
G	$IEE_{ref,novos} + 2,00 \times S < IEE_{nom}$

De seguida determina-se o valor do Fator S, necessário para o cálculo da classe energética. Tal como o IEE de referência tem de se fazer uma média ponderada dos diferentes espaços presentes no edifício, com base nas suas áreas. O Fator S resultante é apresentado na tabela 27.

Tabela 27 - Cálculo do Fator S.

Tipo de atividade	Tipo de Espaço	S (kgep/m ² .ano)	Área Útil (m ²)
Serviços	Escritórios	15	452,83
Espaço Complementar	Armazéns (7h/dia)	5	72,6
Fator S Ponderado		13,62	

O IEE nominal representa o indicador de eficiência energética em condições de utilização nominal. Estas condições estão especificadas no Anexo XV do RSECE, nomeadamente aspetos relativos às taxas de ocupação horárias, carga horária da iluminação e carga horária dos equipamentos entre outros.

Posto isto, foi efetuada uma nova simulação dinâmica aos consumos energéticos do edifício, com base nos pressupostos definidos pelo Anexo XV do RSECE. Os resultados obtidos nos cálculos efetuados para obtenção do IEE_{nom} foram os apresentados de seguida na tabela 28.

Tabela 28 - Cálculos efetuados para determinar o valor do IEE_{nom}.

Q _{aq} =	1971,01	kgep/ano
Q _{arr} =	4826,42	kgep/ano
Q _{out} =	8789,38	kgep/ano
A _p =	525,43	m ²
F _{Cl} =	0,632	
N _{I1} =	44	kWh/m ² .ano
N _{Ii} =	69,675	kWh/m ² .ano
F _{CV} =	0,615	
N _{V1} =	16	kWh/m ² .ano
N _{Vi} =	26	kWh/m ² .ano
IEE _I =	2,369	kgep/m ² .ano
IEE _V =	5,653	kgep/m ² .ano
IEE _{nom} =	24,75	kgep/m ² .ano

Como pode ser observado, o IEE_{nom} é igual a $24,75 \text{ kgep/m}^2\cdot\text{ano}$. Na tabela 29 podemos observar quais os intervalos de valores que correspondem a cada classe energética e assim podemos finalmente aferir a classe energética a que pertence o edifício em estudo, após as melhorias a que foi sujeito.

Tabela 29 - Intervalos das classes energéticas, para o edifício.

Classe Energética	Limite Inferior (kgep/m ² .ano)	Limite Superior (kgep/m ² .ano)
A ⁺	-	22,03
A	22,03	25,43
B	25,43	28,84
B ⁻	28,84	32,24
C	32,24	39,05
D	39,05	45,86
E	45,86	52,67
F	52,67	59,48
G	59,48	-

Analisando a tabela anterior e sabendo que o valor do IEE_{nom} é de $24,75 \text{ kgep/m}^2\cdot\text{ano}$, podemos então concluir que o IEE_{nom} do edifício se enquadra na classe energética A.

Para o edifício em estudo, apresentam-se os indicadores usualmente utilizados para os consumos energéticos de edifícios de serviços:

Ano de 2010: $127 \text{ kWh/ m}^2\cdot\text{ano}$

Ano de 2013: $103 \text{ kWh/ m}^2\cdot\text{ano}$

Ano de 2013 (consumo modelo simulação): $102 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$

Consumo com medidas implementadas (modelo simulação): $72 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$

Note-se que um consumo de $72 \text{ kWh/ m}^2\cdot\text{ano}$ corresponde a um edifício de serviços com um bom desempenho energético.

5. Conclusões

A dependência energética de Portugal em relação ao estrangeiro faz com que seja necessário olhar para o futuro com uma diferente perspetiva de consumo e a eficiência energética tem um papel fulcral nesta vertente.

A realização desta dissertação fez-me compreender melhor os processos que giram em volta desse tema, desde os planos do nosso país para o futuro através do PNAEE 2016 e do PNAER 2020, a legislação que rege os procedimentos a seguir e as medidas concretas a aplicar em edifícios para mitigar os consumos energéticos.

É importante também referir que adquiri ao longo da realização desta dissertação diversos conhecimentos, como a modelação de edifícios em três dimensões e a utilização de *software* para a simulação dinâmica dos consumos energéticos anuais de um edifício.

Nesta dissertação, procedeu-se ao estudo completo da caracterização de um edifício, nas suas diversas vertentes, para a construção de um modelo o mais fiável possível a fim de poder estudar potenciais medidas a aplicar, com o objetivo de melhorar a classe energética do mesmo.

Após a análise dos resultados da simulação dinâmica, decidiu-se aplicar três medidas distintas, cada uma delas orientada para um diferente setor energético (equipamentos, sistema de AVAC e iluminação) a fim de poder melhorar a classe energética de B⁻ para a classe A. Essas medidas foram a substituição dos computadores de secretária por computadores portáteis, a substituição dos vãos envidraçados e a substituição da iluminação.

Após a aplicação dessas três medidas os consumos energéticos do edifício foram reduzidos em cerca de 30%, o que representa uma redução no consumo de energia de 16290 kWh/ano que se traduzem numa poupança económica que ronda os 1955€ anuais.

O objetivo inicial foi cumprido: com as medidas propostas foi possível reduzir o consumo de energia elétrica do edifício, tendo a sua classe de certificação energética melhorado de B⁻ para A.

Como propostas de desenvolvimento futuro, apresentam-se as seguintes:

- Realização de simulação com substituição de toda a iluminação fluorescente compacta de alto rendimento, por iluminação de tecnologia LED;
- Avaliação, por simulação, da instalação de sistema solar fotovoltaico para auto consumo;
- Avaliação do potencial interesse em instalar turbina mini-eólica na cobertura do edifício.

Referências Bibliográficas

- [1] Scribd - Consumo de Energia no Mundo [Online]. [Acedido em 20 04 2014]. Disponível em <http://pt.scribd.com/doc/55921356/Consumo-de-Energia-No-Mundo>
- [2] Eco EDP - Impactes da Energia no Ambiente [Online]. [Acedido em 20 04 2014]. Disponível em <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/conhecer/o-que-e-a-eficiencia-energetica/no-mundo/impactos-da-energia-no-ambiente>
- [3] DECO – Eficiência energética nos edifícios residenciais. Lisboa: Ondagrafe, 2008.
- [4] BCSD Portugal – Manual de boas práticas de eficiência energética. Lisboa, 2005.
- [5] Resilience - World Energy Consumption - Beyond 500 Exajoules [Online]. [Acedido em 25 04 2014]. Disponível em <http://www.resilience.org/stories/2012-02-16/world-energy-consumption-beyond-500-exajoules>
- [6] Labspace [Online]. [Acedido em 25 04 2014]. Disponível em <http://labspace.open.ac.uk/mod/resource/view.php?id=434940>
- [7] Eco EDP - O Que é a Eficiência Energética? [Online]. [Acedido em 05 05 2014]. Disponível em <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/eficiencia-energetica>
- [8] DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia [Online]. [Acedido em 06 05 2014]. Disponível em <http://www.dgeg.pt/>
- [9] Direcção Geral de Energia e Geologia - Energia em Portugal - Principais Números, Janeiro de 2014 [Online]. [Acedido em 06 05 2014]. Disponível em <http://www.dgeg.pt/>
- [10] ADENE - Política Energética [Online]. [Acedido em 07 05 2014]. Disponível em <http://www.adene.pt/politica-energetica>
- [11] Presidência do Conselho de Ministros - Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, Diário da República, 1.ª série — N.º 70 — 10 de abril de 2013.
- [12] IPMA – Normais Climatológicas [Online]. [Acedido em 26 07 2014]. Disponível em <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>
- [13] Dados Climáticos Referentes ao Período 1986-2005. Posto Meteorológico da Escola Superior Agrária. Elaborado por Maria do Carmo Horta e João Nunes. Castelo

Branco. 2006. [Online] [Acedido em 27 07 2014]. Disponível em http://docentes.esa.ipcb.pt/meteo/Docs/dados_climaticos_1986_2005.pdf

[14] IPMA – Normais Climatológicas – 1981-2010 Castelo Branco [Online]. [Acedido em 27 07 2014]. Disponível em <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/005/>

[15] Relatório Preliminar – Visita inicial e pré-avaliação da QAI. Elaborado por Joana Ambrósio/Teresa Costa. Senhora da Hora, 2009.

[16] Certificado de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior, Nº CER CE47879035, 13/05/2011.

[17] Instalações mecânicas de ar condicionado e ventilação - Relatório Técnico. Elaborado por Eng.º João Hormigo. Lisboa, novembro de 2011.

[18] Caso do Edifício em Castelo Branco - Especificações Técnicas Para Melhorias AVAC e Ventilação. Elaborado por Eng.º João Hormigo. março de 2014.

[19] EnergyPlus Energy Simulation Software [Online]. [Acedido em 20 11 2014]. Disponível em http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm

[20] Eco EDP [Online]. [Acedido em 01 12 2014]. Disponível em <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/conhecer/equipamentos-eficientes/lazer-trabalho/computador>

[21] Construção Sustentável [Online]. [Acedido em 05 12 2014]. Disponível em <http://www.construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-%7C%7C-Construcao-Sustentavel/Eficiencia-Energetica/Vidros-Duplos-de-Qualidade>

[22] CGE Risk Management Solutions [Online]. [Acedido em 15 12 2014]. Disponível em <http://www.cgerisk.com/knowledge-base/risk-assessment/risk-matrices>

[23] Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, Diário da República – I Série-A, n.º 67 – 4 de abril de 2006

[24] Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Diário da República – I Série-A, n.º 67 – 4 de abril de 2006

Anexo A – Certificado de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior

Anexo B – Escalas de Urgência, Importância e Definição de Prioridades

Anexo C – Planta de Arquitetura do Edifício em Estudo

Anexo D – Ficha Técnica dos Envidraçados

Anexo E – Fichas Técnicas da Iluminação