



João Miguel Nobre Diogo

Licenciatura em Ciências da Engenharia Mecânica

**Projeto da melhoria da eficiência energética
do edifício VIII (DEMI) da FCT/UNL**

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Doutor João José Lopes de Carvalho

Júri:

Presidente: Prof. Doutor José Fernando de Almeida Dias
Arguente(s): Prof. Doutor Vasco Nunes da Ponte Moreira Rato
Vogal(ais): Prof. Doutor João José Lopes de Carvalho

Projeto da melhoria da eficiência energética do edifício VIII (DEMI) da FCT/UNL

Copyright © João Miguel Nobre Diogo, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

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

"The noblest pleasure is the joy of understanding".

Leonardo Da Vinci

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor João Lopes de Carvalho, por ter estado sempre disposto a ajudar-me no decorrer deste trabalho, mostrando-se sempre disponível para esclarecer algumas dúvidas pontuais que foram surgindo no decorrer do mesmo.

Gostaria também de agradecer a todos os professores com os quais tive o privilégio de me cruzar ao longo destes 5 anos, em particular os docentes que compõem o Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial da Faculdade de Ciências e Tecnologia, pois todos eles direta ou indiretamente contribuíram para a minha formação acadêmica.

Aos meus pais, sem os quais nada disto seria possível, quero agradecer profundamente por todas as oportunidades que me proporcionaram, pelos valores e educação que me transmitiram, por todo o apoio, suporte e motivação que me deram durante todos estes anos, incentivando-me sempre a fazer mais e melhor mesmo quando eu próprio duvidava que seria possível. Ao meu irmão, que sempre acreditou em mim, agradeço os bons momentos, a amizade e a boa disposição com os quais me tem sempre brindado durante todos estes anos.

Um muito obrigado a todos.

Resumo

A presente dissertação teve como principal finalidade o estudo e a proposta de medidas que visem a melhoria da eficiência energética no edifício do Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, situado no campus da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Nova de Lisboa.

O estudo em causa pode ser dividido em três etapas basilares que serviram de linha guia durante todo o processo. A primeira etapa passou por um estudo bibliográfico associado a toda a legislação, nacional e internacional, relacionada com o desempenho energético de edifícios, traçando assim desde logo um objetivo/meta a alcançar com as medidas que foram estudadas subsequentemente. A segunda etapa teve como principal ênfase o estudo do edifício, sendo que numa primeira fase foi feito um levantamento ao estado do mesmo, tendo sido logo possível verificar que existiam bastantes aspetos que poderiam ser melhorados, destacando-se de imediato o sistema de climatização e a envolvente exterior (paredes opacas e vãos envidraçados). Numa segunda fase, ainda desta etapa, foi sugerido um conjunto de medidas, tendo-se sempre tentado recorrer a *softwares* informáticos, como por exemplo o *SolTerm*, o *WINDOW* e o *BuildDesk U* por forma a quantificar o impacto das mesmas. Por fim, a última etapa focou-se principalmente em avaliar a viabilidade das melhorias propostas, tendo sempre em vista a racionalização e a melhoria do desempenho energético do edifício.

Após o estudo, verificou-se que as medidas propostas constituem de facto uma melhoria significativa da eficiência energética do edifício e, tendo em conta as metas energéticas europeias para 2020, a sua implementação será certamente um passo na direção correta, promovendo assim o aproveitamento e a sustentabilidade energética.

Palavras chave: Eficiência energética; Racionalização energética; *SolTerm*; *WINDOW*; *BuildDesk*.

Abstract

The main purpose of this dissertation was to study and propose measures to improve energy efficiency in the building of the Department of Mechanical and Industrial Engineering, located on the campus of the Technology and Sciences Faculty of the Nova University Lisbon.

The study in question can be divided into three major steps that served as a guideline throughout the process. The first stage was a bibliographical study associated with all the national and international legislation related to the energy performance of buildings, thus outlining a goal to be achieved with the measures that were studied subsequently. The second stage had as main emphasis the study of the building, being that in a first phase a survey was made to assess the current state of the building, from the get-go it was possible to verify that there were many aspects that could be improved, standing out immediately the HVAC, external walls and glazing systems. In a second phase still related to this step, a set of measures were suggested, and it was always a concern to try and use computer software such as *SolTerm*, *WINDOW* and *BuildDesk U* in order to quantify their impact. Lastly, the final step was focused mainly on evaluating the feasibility of the proposed measures, always with a view to rationalizing and improving the energy performance of the building.

After the study, it was concluded that the proposed measures do indeed improve significantly the energy efficiency of the building, and taking into account the European energy targets for the year of 2020, their implementation will certainly be a step in the right direction, thus promoting the use and sustainability.

Keywords: Energy efficiency; Energy rationalizing; *SolTerm*; *WINDOW*; *BuildDesk U*.

Índice

Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1 – Enquadramento.....	1
1.2 – Objetivos.....	3
1.3 – Trabalhos existentes	4
1.4 – Estrutura do trabalho	5
Capítulo 2 – Estudo bibliográfico	7
2.1 – Caracterização do estado atual do parque edificado.....	7
2.1.1 – Contexto europeu	8
2.1.2 – Contexto nacional.....	10
2.2 – Enquadramento energético	12
2.3 – Fontes de energia renováveis	16
2.4 – Legislação	19
Capítulo 3 – Estudo do edifício	31
3.1 – Breve descrição do edifício em estudo	31
3.1.1 – Envolvente do edifício	35
3.1.2 – Equipamentos de climatização.....	38
3.1.3 – Outros dados relevantes para o consumo energético do edifício.....	39
Capítulo 4 – Estudo das melhorias a introduzir	41
4.1 – Medidas a estudar por forma a melhorar a eficiência do edifício	41
4.1.1 – Introdução de fontes de energia renováveis	41
4.1.2 – Sistema de iluminação	46
4.1.3 – Sistema de climatização.....	52
4.1.4 – Envolvente exterior.....	58
Capítulo 5 – Análise económica da viabilidade das soluções.....	69
5.1 – Indicadores contabilísticos utilizados	69
5.2 – Condições base para o investimento	70
5.3 – Análise económica	71
Capítulo 6 – Conclusões.....	77
6.1 – Considerações finais	77
6.2 – Cumprimento do objetivo e dificuldades encontradas	79
6.3 – Recomendações.....	80
6.4 – Desenvolvimentos futuros	80
Referências bibliográficas.....	82

Apêndices.....	86
Apêndice A – Cálculo das cargas horárias (SolTerm)	86
Apêndice B – Dimensionamento sistemas solares térmicos	87
Apêndice C – Relatórios do SolTerm	88
Apêndice D – Equações	91
Apêndice E – Análise financeira.....	92
Anexos.....	97
Anexo I – Dependência energética	97
Anexo II – Plantas do edifício	98
Anexo III – Fichas do edifício	99
Anexo IV – Consumo anual de energia do edifício	101
Anexo V – Consumo de eletricidade na faculdade	102
Anexo VI – Comparação entre o consumo de gás natural e propano	104

Índice de figuras

Figura 1.1 - Consumo de energia primária em Portugal (adaptado de [1])	1
Figura 1.2 - Metas para 2020 (adaptado de [3])	2
Figura 2.1 - Distribuição do consumo final de energia na Europa (adaptado de [8])	8
Figura 2.2 - Distribuição dos diversos tipos de edifícios de serviços [8].....	9
Figura 2.3 - Distribuição de edifícios em função do ano de construção (adaptado de [9]).....	10
Figura 2.4 - Distribuição dos edifícios de serviços em Portugal (adaptado de [10]).....	11
Figura 2.5 - Distribuição do consumo final de energia em Portugal (adaptado de [9]).....	12
Figura 2.6 - Evolução do consumo de energia primária e final em ktep em Portugal (adaptado de [12])....	13
Figura 2.7 - Consumo de energia final e primária por fonte em Portugal [11].....	14
Figura 2.8 - Dependência energética em Portugal (adaptado de [13]).....	15
Figura 2.9 - Radiação solar em Portugal continental [16].....	17
Figura 2.10 - Percentagem de eletricidade gerada por parte da utilização do vento na UE [18]	18
Figura 2.11 - Cronologia dos regulamentos energéticos [19]	19
Figura 2.12 - Intervalos de valores R_{IEE} de para a determinação da classe energética [28].....	22
Figura 2.13 - Valores máximos admissíveis para o fator solar nos edifícios de comércio e serviços [29]... 24	
Figura 2.14 - Requisitos mínimos de eficiência nas unidades de produção térmica [29].....	25
Figura 2.15 - Requisitos mínimos de eficiência energética de caldeiras [29].....	25
Figura 2.16 – Rendimento nominal de caldeiras e esquentadores [29].....	25
Figura 2.17 - Requisitos mínimos de eficiência energética para UTA's [29]	26
Figura 2.18 - Número de escalões a considerar em função da potência térmica nominal [29].....	26
Figura 2.19 - Requisitos mínimos de eficiência para elevadores [29]	27
Figura 3.1 - Fachada Oeste edifício [37]	31
Figura 3.2 - Vista superior do edifício VIII [38]	32
Figura 3.3 - Soluções construtivas da envolvente exterior	35
Figura 3.4 - Configuração principal das paredes exteriores	36
Figura 3.5 - Configuração das paredes revestidas a tijolo.....	37
Figura 3.6 - Densidade ocupacional de ref. para escritório [39]	39
Figura 3.7 - Densidade ocupacional de ref. para estabelecimento de ensino [39].....	39
Figura 3.8 - Dados de ref. para iluminação (escritório e estabelecimento de ensino) [39].....	40
Figura 4.1 - Coletor de plano seletivo e coletor de tubo vácuo (respetivamente) [40]	42
Figura 4.2 - Esquema ilustrativo da composição e das propriedades do Tinox (adaptado de [41])	42
Figura 4.3 - Comparação do custo económico incorrido das soluções apresentadas	45
Figura 4.4 - Comparação da eficiência energética entre diferentes tipos de lâmpadas [45] e [46].....	46
Figura 4.5 - Detetor de ocupação e sensor de nível de luz respetivamente [48].....	47
Figura 4.6 - Funcionamento de um <i>chiller</i> de climatização [51].....	54
Figura 4.7 - Funcionamento de uma bomba de calor [52]	55
Figura 4.8 - Esquema ilustrativo do funcionamento de sistema de climatização solar	56
Figura 4.9 - Sistema solar de cogeração [53]	56

Figura 4.10 - Utilização do sistema ETICS em Portugal (milhões de m ²)[54]	58
Figura 4.11 - Esquema de composição do sistema ETICS [54]	59
Figura 4.12 - Modelos atuais das paredes exteriores	60
Figura 4.13 - Modelos das paredes exteriores com isolamento exterior em XPS de 0,06m	61
Figura 4.14 - Variação anual da temperatura interior em condições ideais.....	62
Figura 4.15 - Layout do software WINDOW.....	65
Figura 4.16 - Esquema representativo dos envidraçados simples e duplos.....	66
Figura 4.17 - Comparação entre utilização de envidraçados simples e duplos.....	66
Figura 4.18 - Comparação entre utilização de caixilharias em alumínio e PVC	67

Índice de tabelas

Tabela 3.1 - Constituintes do edifício	34
Tabela 3.2 - Constituição da zona rebocada.....	36
Tabela 3.3 - Características dos equipamento de iluminação	40
Tabela 4.1 - Propriedades dos coletores selecionados [40]	43
Tabela 4.2 - Comparação do desempenho energético anual dos sistemas solares propostos	44
Tabela 4.3 - Comparação entre lâmpadas fluorescentes e LED's	49
Tabela 4.4 - Preços de aquisição e instalação dos equipamentos de regulação de iluminação [50].....	50
Tabela 4.5 - Balanço final após subt. das lâmp. e aquisição de equip. de regulação de iluminação.....	50
Tabela 4.6 - Disposição e características do sistema de climatização	52
Tabela 4.7 - Consumo da caldeira no edifício VIII do DEMI (em kWh)	57
Tabela 4.8 - Valores obtidos para os modelos estudados	61
Tabela 4.9 - Custos associados à fachada atual versus custos com a utilização do ETICS	63
Tabela 5.1 - Resultados da análise ao sistema solar fotovoltaico	71
Tabela 5.2 - Resultados da análise ao sistema de iluminação	72
Tabela 5.3 - Resultados da análise ao sistema climatização	73
Tabela 5.4 - Resultados da análise à componente opaca da envolvente exterior	75

Lista de abreviaturas e siglas

ADENE – Agência para a Energia

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

APREN – Associação Portuguesa de Energias Renováveis

AQS – Águas Quentes Sanitárias

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CFL – *Compact Fluorescent Light*

COP – *Coefficient Of Performance*

DEMI – Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial

DGES – Direção Geral de Energia e Geologia

EPBD – *Energy Performance of Building Directive*

ETICS – *External Thermal Insulation Composite System*

FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologia

GEE – Gases com Efeito de Estufa

GPL – Gás de Petróleo Liquefeito

IRR – *Internal Rate of Return*

ITE – Isolamento Térmico pelo Exterior

LBNL – *Lawrence Berkley National Laboratory*

LED – *Light Emitting Diode*

NZEB – *Nearly Zero Energy Buildings*

OMM – Organização Mundial de Metrologia

PAEF – Programa de Assistência Económica e Financeira

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Serviços

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios

SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

SHGC – *Solar Heat Gain Coefficient*

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

UE – União Europeia

UNL – Universidade Nova de Lisboa

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

UTV – Unidade de Tratamento e Ventilação de ar

VAL – Valor Atualizado Líquido

VE – Ventilador Extrator

VT – *Visual Transmittance*

Capítulo 1 – Introdução

1.1 – Enquadramento

Tendo em conta a atual conjuntura socioeconómica, tanto do nosso país em particular como do resto do mundo em geral, é de extrema importância nos dias de hoje ter uma atitude crítica e pró-ativa face à utilização dos recursos energéticos disponíveis. Com o inevitável e fundamental avanço dos processos tecnológicos existe uma demanda cada vez maior de recursos energéticos. Como tal, é necessário ter sempre em vista uma utilização regulada dos mesmos, tentando sempre promover a produção e utilização de recursos renováveis de forma a satisfazer as necessidades energéticas, promovendo simultaneamente uma diminuição na utilização dos recursos finitos existentes.

A figura 1.1, apresentada em seguida, constitui uma boa ilustração para demonstrar que atualmente ainda não existe uma aposta definitiva na utilização das energias renováveis, sendo possível constatar que, de momento, apenas cerca de 20% da totalidade da energia consumida em Portugal é proveniente de fontes renováveis, o que se revela manifestamente curto, tendo em conta o crescente aumento das necessidades energéticas.

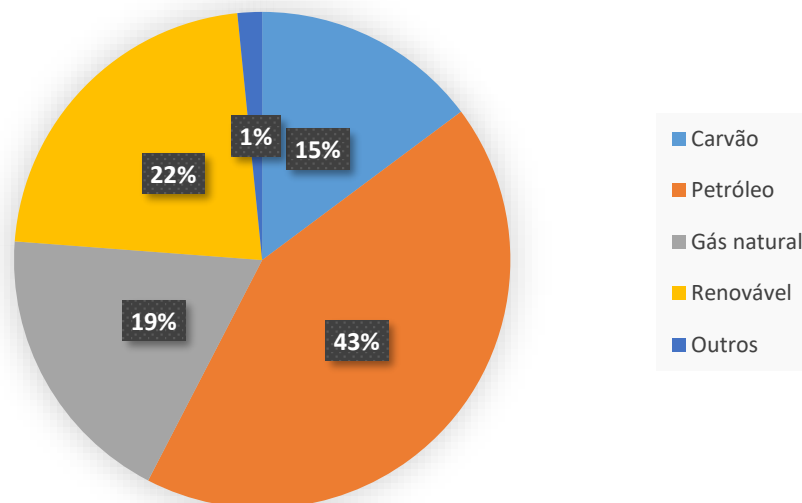


Figura 1.1 - Consumo de energia primária em Portugal (adaptado de [1])

A utilização irracional destas fontes de energia primárias, não renováveis, suscita uma série de inconvenientes, não só do ponto de vista económico, mas também ao nível da própria sustentabilidade ambiental do planeta. Nos últimos anos o impacto da utilização desmedida destas fontes de energia está bem patente no meio ambiente, de tal forma que recorrentemente são atingidos níveis de poluição cada vez mais preocupantes, colocando

assim em causa o bem-estar e a saúde, não só da geração atual como das gerações vindouras.

O efeito da poluição ambiental é sentido com maior expressividade ao nível das grandes cidades e áreas urbanizadas, uma vez que uma parte substancial da poluição gerada está associada à utilização de transportes e ao consumo de eletricidade, sendo que a combinação destes fatores perfaz cerca de 50% da totalidade das emissões de dióxido de carbono (CO₂) produzidas em Portugal, segundo os dados recentemente divulgados no boletim anual sobre os gases com efeito de estufa da Organização Mundial de Metrologia (OMM), das Nações Unidas (referentes ao ano de 2016) [2].

Ainda segundo os dados revelados no estudo anteriormente mencionado é possível verificar que, apesar de globalmente se ter atingido um nível recorde de CO₂ na atmosfera, o contributo de Portugal, quando comparado com os restantes membros da União Europeia (UE), acaba por ser mais reduzido o que, no entanto, acaba por não invalidar a necessidade de reduzir os atuais níveis de CO₂ produzidos localmente, uma vez que estes valores podem ser considerados manifestamente elevados quando confrontados com a dimensão geográfica do país.

O impacto ambiental provocado pela emissão de Gases com Efeito de Estufa (GEE), como é o caso do CO₂, é uma questão que tem vindo a ser debatida recorrentemente, de tal forma que é inclusivamente apontada como um dos principais fatores a ter em conta quando se aborda a necessidade de reduzir a excessiva utilização dos recursos fósseis. Em 1997, no Japão, foi proposto o Protocolo de Quioto, que é, à data, o único tratado jurídico internacional que teve como objetivo a redução das emissões GEE para a atmosfera por parte dos países desenvolvidos. Este protocolo entrou em vigor em fevereiro de 2005, tendo os países desenvolvidos/industrializados acordado em reduzir as emissões de GEE em 5,2% até ao ano 2012, em função dos dados recolhidos até 1990, face ao nível das emissões.

Por forma a continuar a combater globalmente as alterações climáticas a União Europeia, ainda no seguimento do protocolo de Quioto, solicitou aos seus Estados-Membros que alcançassem as seguintes metas até ao ano de 2020:

Redução das emissões de GEE em 20% face aos níveis de 1990

Aumento em 20% do uso de fontes de energia renováveis

Adopção de medidas com vista à obtenção de uma poupança energética de 20% relativamente aos níveis atuais de consumo

Figura 1.2 - Metas para 2020 (adaptado de [3])

De entre as várias medidas propostas para atingir os objetivos pretendidos, tem particular interesse a Diretiva da União Europeia (n.º 2002/91/UE) implementada em 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios, designada por EPBD (*Energy Performance of Building Directive*) que teve como objetivo “promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios da comunidade, tendo em conta as condições climáticas externas e condições locais, bem como as exigências em matérias de clima interior e rentabilidade económica” [3]. Esta Diretiva foi, entretanto, reformulada em 2010, através da Diretiva da UE (nº 2010/31/UE).

Estas diretivas são particularmente relevantes para o estudo em causa, na medida em que segundo a Diretiva nº 2010/31/UE, os edifícios representam cerca de 40% do consumo total de energia na UE e que, devido à crescente expansão do sector, é expectável que esse consumo seja cada vez maior [4], sendo que a implementação de energias provenientes de fontes renováveis nos edifícios seja vista como uma medida de grande importância, tanto a nível ambiental como a nível energético e económico.

Com foi referido anteriormente, uma percentagem significativa responsável pela utilização dos recursos energéticos em causa recai no consumo energético ao nível dos parques edificados, de tal forma que no passado recente têm sido lançadas uma série de alterações aos regulamentos energéticos existentes, tornando-os cada vez mais exigentes e restritivos, com o objetivo de tentar suprimir ao máximo esta dependência energética, promovendo assim uma adequada utilização para os recursos em causa. Com esta visão em mente surgiu assim o conceito de *Nearly Zero Energy Buildings* (NZEB), que pretende revolucionar a forma de como os edifícios são construídos, tornando-os praticamente autossustentáveis com recurso à utilização de energias renováveis, reduzindo-se assim drasticamente as suas necessidades energéticas.

1.2 – Objetivos

A presente dissertação foi proposta com o intuito de dar seguimento a uma série de outras dissertações e trabalhos desenvolvidos, relativamente ao estudo do edifício VIII do Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial (DEMI) da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) da Universidade Nova de Lisboa (UNL).

O principal objetivo da dissertação a desenvolver passa por fazer uma avaliação global ao atual estado do edifício (na sua totalidade), à luz dos novos regulamentos energéticos, tendo em vista a implementação de uma série de medidas, de forma a poder melhorar o aproveitamento energético do edifício e, conseqüentemente, reduzir assim os gastos económicos associados ao mesmo.

De forma a poder fazer uma correta apreciação do estado atual do edifício, a primeira etapa deste trabalho passa por fazer uma análise aos novos e mais restritos regulamentos

energéticos em vigor, de forma a confirmar que, no momento atual, o edifício não se encontra em conformidade com as novas exigências energéticas.

A segunda etapa do trabalho terá incidência nos aspetos que podem ser melhorados de forma a rentabilizar da melhor forma possível as potencialidades do edifício, desde os gastos energéticos devido às necessidades de climatização, à própria constituição da envolvente exterior do edifício, e até mesmo a eventuais oportunidades de implementação de fontes de energias renováveis, face às particulares características geográficas em que o edifício se encontra situado.

Por fim, a etapa final deste trabalho assenta numa análise crítica aos resultados obtidos, utilizando como auxílio um conjunto de *softwares* informáticos, de entre os quais se destacam o *SolTerm*, o *Window* e o *BuildDesk U* que possibilitam quantificar de forma mais precisa e realista os resultados obtidos.

1.3 – Trabalhos existentes

A presente dissertação abrange um conjunto de áreas científicas inerentes à Engenharia Mecânica, sendo que as principais áreas científicas a abordar se encontram ao nível da Termodinâmica, Transmissão de Calor e Eficiência Energética, sendo esta última a temática central sobre a qual o trabalho foi desenvolvido.

Uma vez que o edifício já foi alvo de diversos estudos ao longo dos anos, uma primeira abordagem para a realização deste trabalho passou por estabelecer um ponto de partida inicial para o estudo em causa. Desta forma, foi necessário, e útil, recorrer a uma série de trabalhos sobre o edifício, já realizados alguns anos atrás, o que significa que os mesmos se encontram desatualizados em relação aos requisitos atuais dos recentes regulamentos sobre edifícios de serviços. Este edifício já foi estudado por diversas ocasiões, mas apenas para cada um dos blocos de forma individual e não na sua totalidade.

De entre os trabalhos realizados sobre o edifício destacam-se os seguintes:

- “Análise energética do edifício do DEMI à luz do RCCTE e RSECE: Corpo Sul”, por Filipe Alexandre Barroso dos Santos;
- “Dimensionamento de um sistema solar térmico para apoio à climatização de 4 edifícios da FCT-UNL”, por Frederico da Cruz Luz;
- “Análise Energética do Corpo Central do Edifício do DEMI-UNL através do software EnergyPlus”, por Nuno Alexandre Cerejo Fernandes.
- “Análise do uso da energia na FCT-UNL (edifícios II, VII, VIII, IX e X) e estudo dos comportamentos relativos ao uso da energia”, por Sara Diana Pinheiro dos Santos.

1.4 – Estrutura do trabalho

Este trabalho é composto por 6 capítulos, que se encontram organizados em função do estudo progressivo que foi efetuado no decorrer da realização do mesmo, podendo cada um dos capítulos ser caracterizado do seguinte modo:

- Capítulo 1 – O primeiro capítulo tem como principal finalidade introduzir o estudo que vai ser realizado, dando também a conhecer os pressupostos e objetivos do trabalho, bem como fornecer um pequeno enquadramento ao tema a ser abordado.
- Capítulo 2 – Pretende dar a conhecer os principais requisitos que devem ser cumpridos, através de uma análise detalhada aos novos regulamentos energéticos, bem como fazer uma pequena contextualização do estado atual do parque edificado nacional.
- Capítulo 3 – Dedicado exclusivamente ao estudo do edifício. Ao longo deste capítulo será apresentado em pormenor o edifício VIII do DEMI, no seu estado atual, focando assim todos os aspetos associados ao mesmo (envolvente, sistemas de climatização e iluminação, entre outros).
- Capítulo 4 – Neste capítulo proceder-se-á à proposta e ao estudo de medidas a introduzir no edifício por forma a melhorar a eficiência energética global do mesmo, utilizando para tal, um conjunto de *softwares* informáticos de forma a avaliar a viabilidade das medidas em causa. Serão utilizados: o *SolTerm* para avaliar a introdução de painéis solares, o *WINDOW* para avaliar o estado dos envidraçados e o *BuildDesk U* para estudar as soluções construtivas da envolvente exterior.
- Capítulo 5 – O penúltimo capítulo deste trabalho passa por uma análise económica às sugestões propostas, utilizando para tal um conjunto de indicadores financeiros de forma a aferir a sua validade.
- Capítulo 6 – O último capítulo deste trabalho passa por uma análise aos resultados obtidos nos capítulos anteriores, de forma a poder retirar as devidas ilações e considerações finais deste estudo.

Capítulo 2 – Estudo bibliográfico

2.1 – Caracterização do estado atual do parque edificado

Neste subcapítulo será brevemente descrita a situação atual do parque edificado, focando, com particular atenção, o setor correspondente aos edifícios de serviços. Esta mesma realidade será abordada através de dois pontos de vista distintos, um primeiro mais abrangente que foca o panorama europeu, e um segundo mais concreto que pretende dar a conhecer a situação nacional atual.

Como foi mencionado no capítulo anterior, é possível constatar que, atualmente, os edifícios comerciais e residenciais representam cerca de 40% de todo o consumo energético à escala global. Este excessivo consumo energético pode ser atribuído a uma diversa variedade de fatores, de entre os quais se podem destacar os seguintes:

- Crescimento populacional e conseqüente aumento da necessidade de criar novas habitações e edifícios de serviços, por forma a acomodar as crescentes necessidades humanas;
- Avanços tecnológicos que inevitavelmente acabam por aumentar as necessidades energéticas;
- Existência de um grande número de edifícios construídos no passado e que atualmente já não se enquadram com as novas necessidades energéticas;
- Utilização descuidada dos recursos energéticos que provoca elevadas taxas de desperdício.

Esta problemática está bem identificada nos dias de hoje, sendo inclusivamente conhecidos os principais fatores que contribuem para o problema e as respetivas alternativas que o permitem contrariar, o que de certa forma acaba por tornar este problema uma questão mais ao nível da própria consciência ambiental humana e não da falta de conhecimentos técnicos e/ou científicos.

Atualmente são perfeitamente conhecidas todas as formas de produção e distribuição de energia, bem como o seu potencial de exploração, ficando assim apenas ao critério humano qual a melhor forma de proceder face à procura energética, visto que as opções do ponto de vista do fornecimento são conhecidas e variadas.

2.1.1 – Contexto europeu

O consumo energético europeu proveniente dos edifícios habitacionais e de serviços, constitui cerca de 40% do consumo global de energia, sendo assim o setor de maior dimensão no que ao consumo final de energia diz respeito.

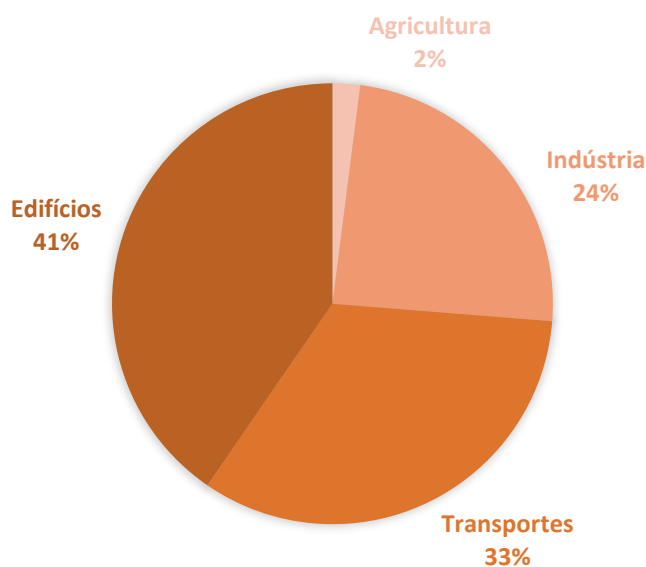


Figura 2.1 - Distribuição do consumo final de energia na Europa (adaptado de [8])

Sendo este o setor que mais peso tem quando se contabiliza o consumo final de energia, e atendendo ao crescimento populacional e aos sucessivos avanços tecnológicos que têm sido feitos, acaba por não ser surpreendente que o consumo energético ao nível dos edifícios tenha vindo a aumentar consideravelmente nos últimos 20 anos. Os principais fatores que contribuem para este aumento do ponto de vista do setor residencial são: o aquecimento e arrefecimento de espaços interiores (sistemas de ar condicionado) e o aquecimento de águas para uso doméstico.

Do ponto de vista dos edifícios de serviços, o principal fator que pesa neste aumento do consumo de energia é sobretudo a necessidade de manter um adequado nível de conforto para todos os ocupantes, através do aquecimento e refrigeração dos edifícios. De entre todos os fatores que contribuem para o elevado consumo energético associado à totalidade de todos os edifícios na Europa, o maior contributo é dado por parte das necessidades de climatização dos mesmos, inclusivamente segundo dados da Direção Geral de Energia e Geologia (DGES) “O aquecimento e refrigeração de edifícios constituem a maior fonte de procura de energia na Europa” [9].

O setor de edifícios não residenciais é bastante diversificado, contemplando assim uma vasta gama de diferentes tipologias, dado que neste setor diferentes edifícios pretendem satisfazer diferentes necessidades, o que contrasta bastante com o sector residencial, que se caracteriza por ser um setor mais homogéneo. Os edifícios não residenciais/de serviços constituem aproximadamente um quarto (25%) de todos os edifícios existentes. No entanto, as análises feitas ao nível dos consumos energéticos destes tipos de edifícios torna-se sempre mais complexa, uma vez que perante um nível tão díspar de edifícios no próprio setor e ainda mais quando comparado com outros países (quer seja devido ao tipo de materiais usados habitualmente para construção, horas de utilização, padrões de consumo, entre outros), acaba por ser sempre necessário ter em consideração todas estas variantes e condicionantes quando se pretende fazer uma correta e detalhada análise a este tipo de edifícios, de um ponto de vista mais global.

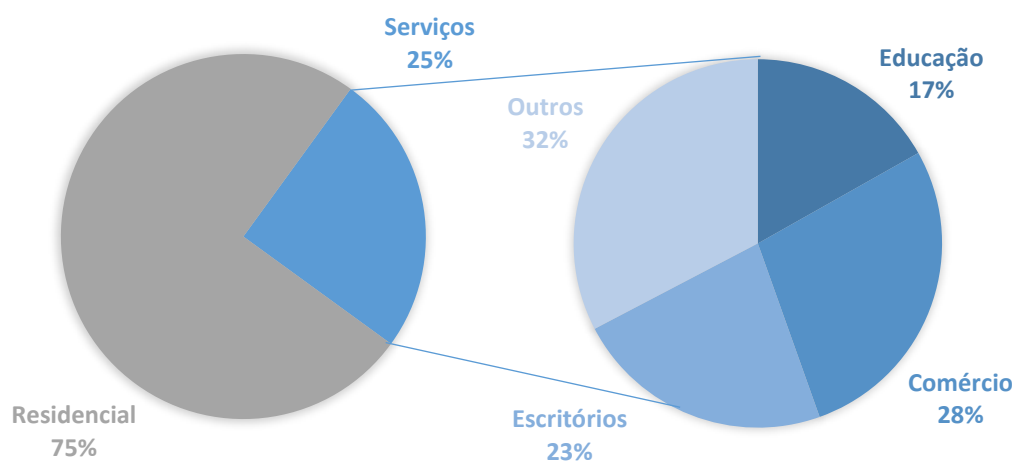


Figura 2.2 - Distribuição dos diversos tipos de edifícios de serviços [8]

Os dados recolhidos e apresentados acima, figura 2.2, permitem verificar que o setor do comércio é aquele que constitui uma maior percentagem face à distribuição dos edifícios de serviços em função do seu tipo de utilização, com cerca de 28% (neste setor estão também considerados espaços como armazéns e não apenas os espaços para venda de produtos). Os escritórios são o segundo maior grupo com cerca de 23%, sendo inclusivamente aqueles que mais se aproximam dos edifícios residenciais sendo estes, no entanto, bastante diferentes ao nível do período de utilização e da taxa de ocupação. O terceiro maior grupo, e com particular interesse para o trabalho a ser desenvolvido, corresponde ao setor da educação com cerca de 17% (que de entre todas as outras tipologias existentes, acaba por ter um padrão de consumo bastante semelhante aos escritórios). Por fim, todos os restantes tipos de edifícios de serviços não explicitados anteriormente constituem os restantes 32% (como é o caso dos hospitais, restaurantes, hotéis, entre outros).

2.1.2 – Contexto nacional

Atualmente, o parque edificado nacional pode ser caracterizado como relativamente envelhecido, uma vez que, apesar da crescente expansão do setor, em particular início do século XXI, as taxas de renovação destes mesmos edifícios acabam por ser manifestamente curtas (na ordem dos 2%) face às novas exigências energéticas, sendo que uma fração significativa destes edifícios beneficiaria consideravelmente com uma reabilitação, sobretudo ao nível da envolvente exterior, a qual, em grande parte dos casos, poderia ser melhorada do ponto de vista do isolamento térmico e do desempenho térmico dos vãos envidraçados.

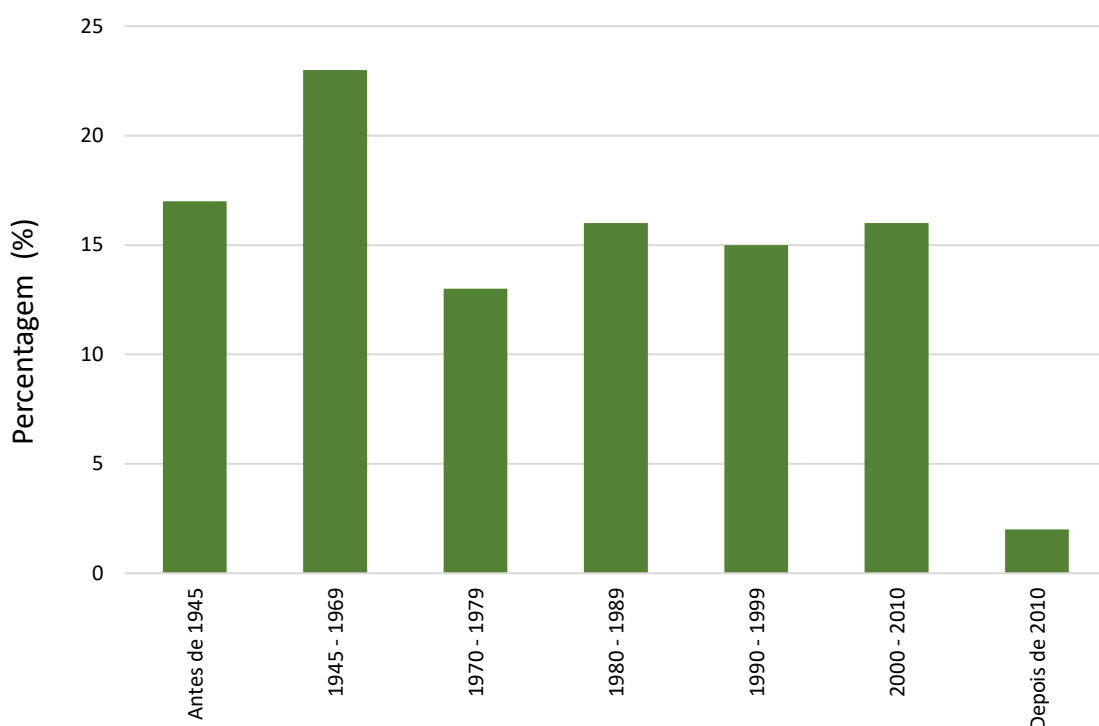


Figura 2.3 - Distribuição de edifícios em função do ano de construção (adaptado de [9])

A figura 2.3 é indicadora de que atualmente o parque edificado português é composto maioritariamente por edifícios construídos até 1990 (aproximadamente 67% de todos os edifícios do país). No entanto, apesar de uma percentagem considerável de todo o parque edificado nacional ser relativamente recente (uma vez que a maioria destes edifícios acaba por ter menos de 50 anos), grande parte destes edifícios necessita de ser reabilitada uma vez que na altura da sua construção não existiam os atuais regulamentos energéticos em vigor. De tal forma, não é de todo uma surpresa que uma grande parte destes edifícios seja considerada hoje em dia como energeticamente bastante ineficientes.

Atualmente o parque edificado português abrange uma área total de cerca de 452.000.000 m², sendo que cerca de 77% de toda esta área é ocupada por edifícios residenciais, sendo os restantes 23% ocupados por edifícios de serviços (este setor é também comumente designado por setor terciário) [10].

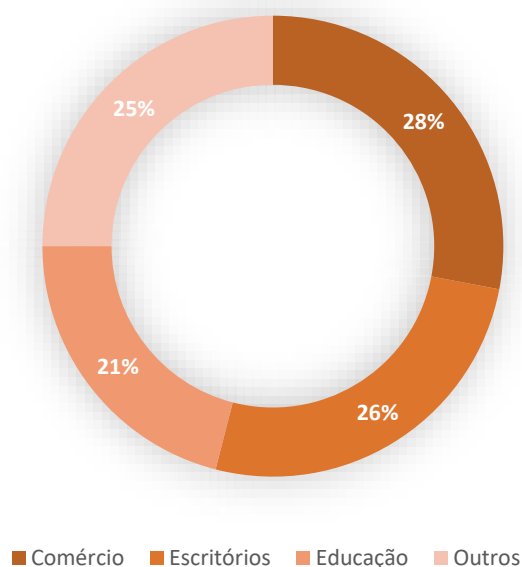


Figura 2.4 - Distribuição dos edifícios de serviços em Portugal (adaptado de [10])

A distribuição dos diferentes tipos de edifícios no setor de serviços é essencialmente composta por três grandes grupos: comércio (28%), escritórios (26%) e edifícios destinados à educação (21%), sendo que os demais grupos que não foram explicitados anteriormente perfazem os restantes 25% (neste último grupo incluem-se: hospitais, hotéis, restaurantes, entre outros). No entanto, é ainda necessário ter em consideração que também existem edifícios que acomodam dois tipos de utilização, habitacional e comercial. Nestes casos, as necessidades energéticas e/ou potenciais necessidades de reabilitação dos edifícios são condicionadas pela área destinada a cada tipo de tipologia.

Como foi mencionado anteriormente, os principais fatores que motivam uma maior procura de energia ao nível dos parques edificados em toda a Europa são o aquecimento e a refrigeração. Contudo, em Portugal existe uma menor necessidade de aquecimento e uma maior necessidade de arrefecimento, sobretudo devido às condições geográficas e climatéricas da região, o que significa que a distribuição do consumo energético no país é ligeiramente diferente daquela que foi apresentada quando se analisou o contexto energético no continente europeu (figura 2.1). Inclusivamente, neste aspeto em particular, Portugal está bastante abaixo da média europeia.

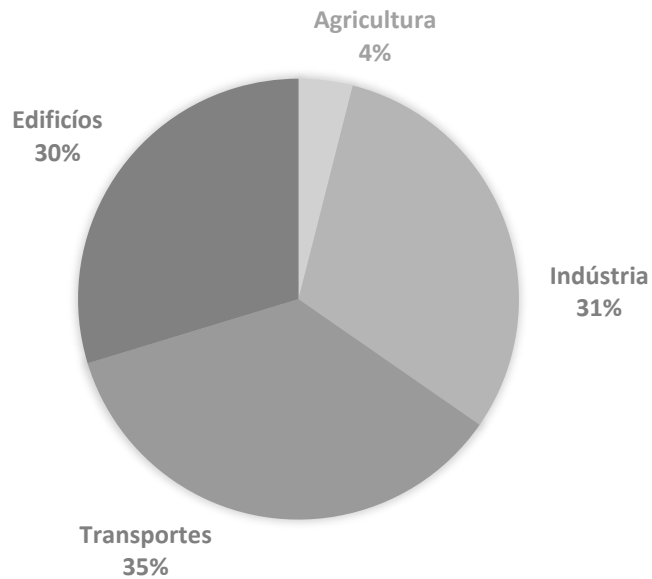


Figura 2.5 - Distribuição do consumo final de energia em Portugal (adaptado de [9])

Em Portugal, o setor que mais contribui para o consumo final de energia é o setor dos transportes, contabilizando cerca de 35% de todo o consumo final de energia, por sua vez os setores da indústria e dos edifícios têm uma contribuição aproximadamente idêntica com cerca de 30%. Desta forma, verifica-se que, quando confrontada a realidade nacional com o contexto europeu, o contributo dos edifícios (habitação e de serviços) no consumo final de energia em Portugal é 10% inferior ao valor médio observado em todo o continente.

2.2 – Enquadramento energético

Nos dias de hoje, os edifícios constituem um dos principais fatores a ter em atenção quando se pretende reduzir o consumo energético à escala global. No entanto, como ficou bem patente no subcapítulo anterior, ainda existe um longo caminho a percorrer para que a generalidade da sociedade atual adira por completo ao conceito da eficiência energética e todas as demais vantagens que lhe estão associadas.

O presente subcapítulo é destinado a analisar o consumo energético em Portugal nos últimos anos, bem como a própria distribuição energética do ponto de vista das fontes utilizadas, renováveis e não renováveis. Sucintamente, este subcapítulo pretende fazer um enquadramento à situação energética em Portugal no momento atual, não esquecendo, no entanto, as tendências do passado e tendo também em vista futuras perspetivas de desenvolvimento no setor em causa.

À semelhança do que tem acontecido na esmagadora maioria dos países a nível mundial, tem-se vindo a verificar uma redução no consumo de energia nos últimos anos. Em Portugal este abrandamento no consumo energético pode ser atribuído essencialmente a dois fatores:

- O estado económico atual do país, associado às medidas financeiras impostas por parte do PAEF (Programa de Assistência Económica e Financeira) nos últimos anos por forma a combater a crise económica que o país atravessou;
- As metas energéticas que o país, tal como os outros estados membros da UE, se tem vindo a propor a alcançar em prol da redução da libertação de GEE e da promoção da eficiência energética.

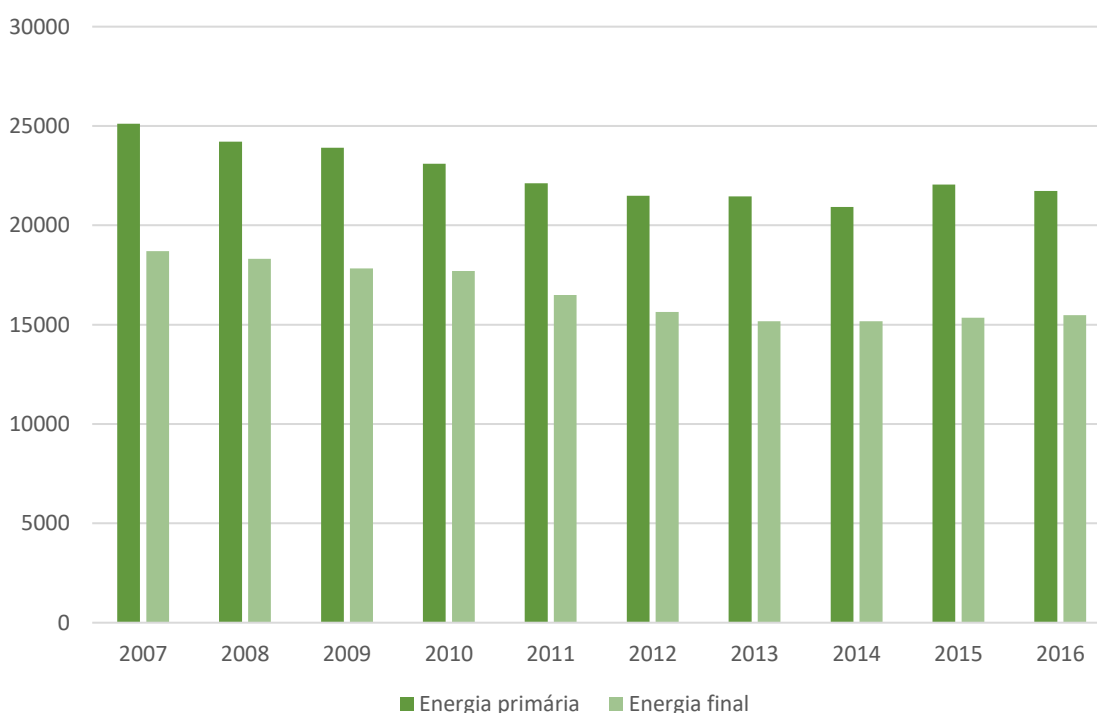


Figura 2.6 - Evolução do consumo de energia primária e final em ktep em Portugal (adaptado de [12])

A figura 2.6 apresenta a evolução dos consumos de energias final e primária em Portugal, sendo representativa de um período de dez anos (entre 2007 e 2016). É possível constatar que após o consumo de energia primária máximo verificado em 2007, para o período em análise, seguiu-se uma redução constante da mesma até 2014. No entanto, em 2015 o consumo de energia primária aumentou em relação anos anteriores, sendo este acontecimento pontual uma vez que em 2016 a tendência voltou a ser a redução do consumo em relação ao ano anterior. Em 2016, o consumo de energia primária foi da ordem dos 21.729.000 tep, tendo descido cerca de 1,2% em relação ao valor obtido em 2015. Esta diminuição está associada sobretudo à redução do consumo de carvão nas centrais termoelétricas [11].

O consumo de energia final, à imagem do que aconteceu com a energia primária, também tem vindo a diminuir desde 2007 até 2014. No entanto, tanto em 2015 como em 2016 esta tendência inverteu-se sendo que nestes dois últimos anos verificou-se um aumento de 2,2% no consumo de energia final em relação a 2014. Este aumento do consumo de energia final pode ser explicado com a subida do consumo dos produtos do petróleo e eletricidade [11].

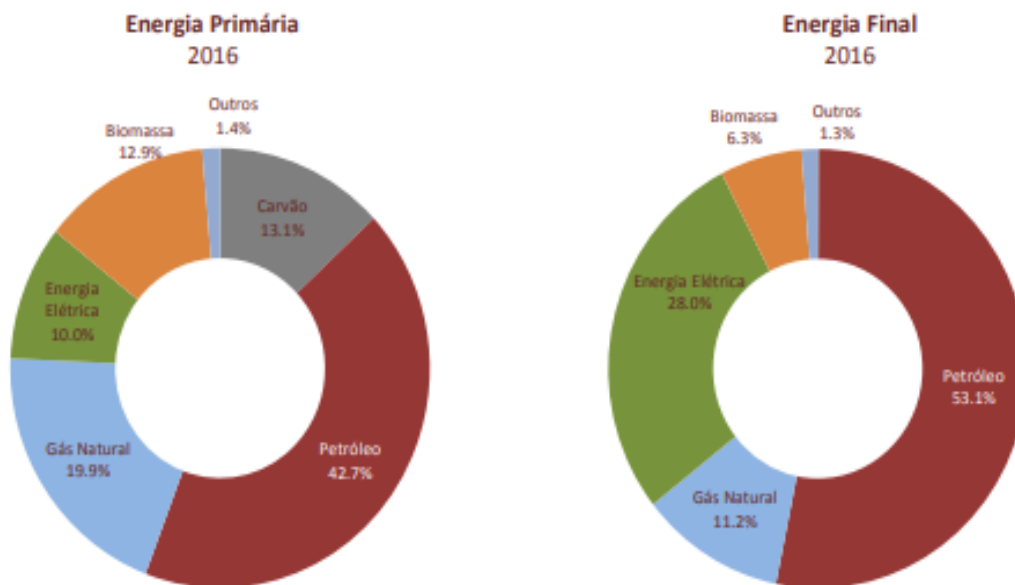


Figura 2.7 - Consumo de energia final e primária por fonte em Portugal [11]

Apesar de Portugal ser um país com escassos recursos energéticos não renováveis, estes ainda constituem uma parte bastante significativa do *mix* energético consumido atualmente. A figura 2.7 permite verificar que, atualmente, a composição do *mix* energético nacional é bastante diversificada, existindo uma grande variedade de fontes energéticas. No entanto, é também visível que ainda existe uma grande dependência energética dos recursos não renováveis, sendo o petróleo a principal fonte de energia primária consumida no país (43%). Contudo, o peso que este tem no consumo de energia tem vindo a decrescer nos últimos anos. Em 2004, o peso do petróleo neste balanço energético era da ordem dos 58%. Em contrapartida, o peso das energias renováveis tem vindo a aumentar significativamente (14% em 2004 e 25% em 2013) (DGES, 2014).

A dependência energética é calculada a partir da expressão (DGES, 2016):

$$Dependência\ energética\ [\%] = \frac{Imp - Exp}{CEP + NMI + AI} \times 100$$

Em que:

Imp Importações

Exp Exportações

CEP Consumo de Energia Primária

NMI Navegação Marítima Internacional

AI Aviação Internacional

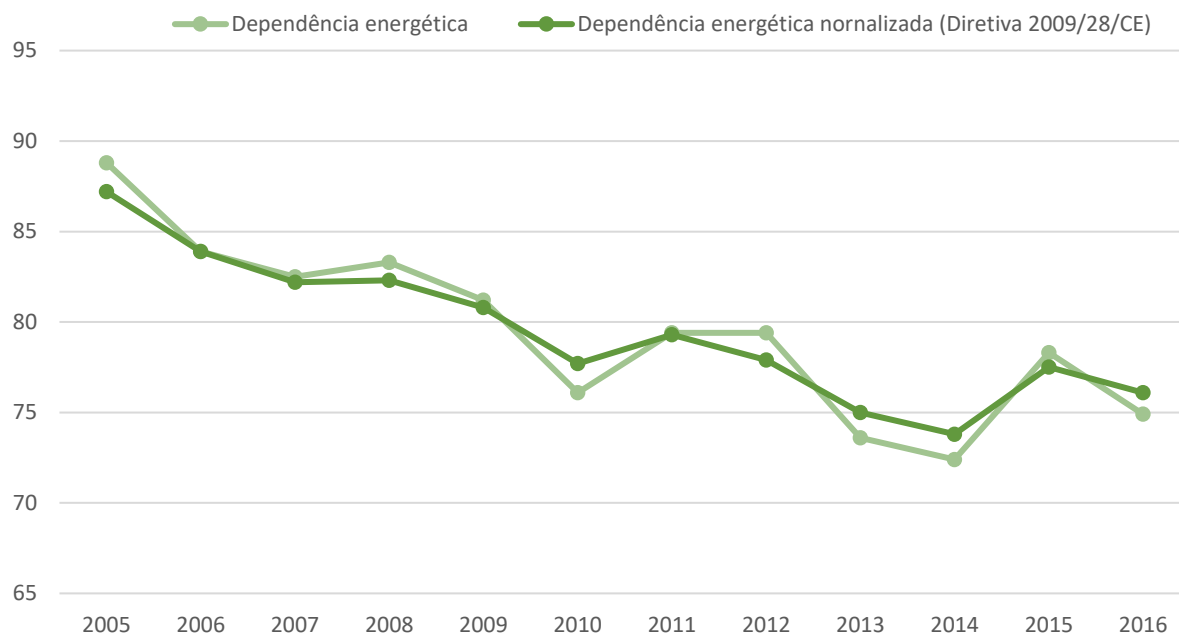


Figura 2.8 - Dependência energética em Portugal (adaptado de [13])

Nos últimos anos, tem-se verificado uma redução substancial na dependência energética, sobretudo quando considerado como objeto de comparação o elevado nível de dependência energética atingido em 2005 (o mais elevado no passado recente 88,80%). Esta redução tem vindo a acontecer devido à crescente e contínua aposta na utilização de energias renováveis, em particular no aumento das produções de energia hídrica e eólica.

Como foi mencionado anteriormente, o ano de 2014 acabou por ser uma exceção à regra, tendo-se verificado um aumento significativo no consumo de energia primária, o que consequentemente significou também um aumento na dependência energética. Segundo a DGES, este aumento deveu-se ao crescimento das importações de gás natural e de carvão por forma a satisfazer as necessidades decorrentes do aumento do consumo energético no setor electroprodutor. Contudo, em 2016 voltou a verificar-se a tendência observada até 2015 com uma redução de 3,4% em relação ao valor obtido no ano transato.

2.3 – Fontes de energia renováveis

Nas últimas décadas, as fontes de energia renováveis têm recolhido cada vez mais o interesse da população mundial, sendo que hoje em dia já não é possível negar que a sua utilização é indispensável para solucionar um conjunto de problemas, de entre os quais se destacam os problemas ambientais, como o aquecimento global e os problemas energéticos, como a dependência energética.

Genericamente, define-se uma fonte de energia renovável como uma fonte energética sustentável não condicionada e/ou comprometida pelo seu uso continuado, sendo que a sua utilização não resulta na libertação de agentes poluentes em quantidades significativas (como gases poluentes, entre outros), não comprometendo assim a sustentabilidade do meio ambiente. Segundo a Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN), as fontes de energia renováveis são definidas como “fontes de energia provenientes de recursos naturais que se renovam constantemente, de um modo sustentável, mesmo depois de serem usadas para gerar eletricidade ou calor [14].

Tendo em conta todas as vantagens associadas à utilização de energias renováveis, torna-se praticamente obrigatório integrar a sua utilização também ao nível dos edifícios, sendo que atualmente existe um conjunto bastante variado de formas para captar a energia proveniente destas fontes renováveis e convertê-la, sempre que necessário, em outras formas de energia indispensáveis para o cumprimento das necessidades energéticas de um edifício (como por exemplo a captação da energia eólica e posterior conversão em eletricidade).

A utilização de energias renováveis pode ser um dos trunfos para tornar Portugal num país mais atrativo e revolucionário do ponto de vista da eficiência energética, uma vez que dispõe de um enorme potencial para a utilização de energias renováveis. A localização geográfica do país e a sua orografia torna-o, um pouco à semelhança do que também acontece com a Espanha, o candidato ideal para produzir e usufruir de um *mix* energético sustentado sobretudo nas fontes de energia renováveis.

Em Portugal, praticamente todas as fontes de energia renováveis existentes são viáveis do ponto de vista da sua utilização. No entanto, devido à proximidade ao mar e ao clima a que o país está sujeito existem algumas fontes de energia que se tornam particularmente interessantes.

De seguida, serão abordadas mais concretamente duas fontes de energia renováveis, a energia solar e a energia eólica, uma vez que atualmente são as fontes de energia que mais contribuem para a diminuição do consumo energético de recursos não renováveis em Portugal.

- **Energia solar**

Atualmente, trata-se da maior fonte de energia renovável disponível, podendo ser utilizada de forma direta, para o aquecimento e iluminação de edifícios, ou indiretamente para geração de eletricidade (através de painéis fotovoltaicos). Como foi referido anteriormente, as características geográficas do país, viabilizam a utilização desta fonte de energia. Estima-se que Portugal continental tenha cerca de 2.500 horas anuais de sol (Amado, 2015 [15]), o que demonstra o potencial existente para o aproveitamento deste recurso energético.



Figura 2.9 - Radiação solar em Portugal continental [16]

A figura acima ilustra bem o potencial do país, sendo mesmo um dos países da Europa com melhores condições para aproveitar esta fonte de energia. Em média, constata-se que a irradiação solar global anual em Portugal se situa na faixa dos de 1700-1800 kWh/m² [16]. Contudo, apesar das excelentes condições para a exploração e aproveitamento desta fonte de energia, atualmente este setor continua a ser subaproveitado, segundo a Quercus o setor fotovoltaico em Portugal representa menos de 4% de toda a capacidade instalada para a produção de energia renovável.

Quando confrontadas as potências instaladas em Portugal com a Grécia, por exemplo, (país que se aproxima bastante de Portugal em várias vertentes como a dimensão territorial, o clima, a situação económica entre outros) verifica-se que a capacidade fotovoltaica instalada é quase seis vezes superior à existente em Portugal (465 MW em Portugal e 2,6 GW na Grécia). Estes números tomam ainda proporções mais extremas quando confrontados com países como o Reino Unido e a Alemanha (que possuem, respetivamente, vinte e cem vezes mais potência instalada que Portugal) [17].

- **Energia eólica**

O aproveitamento do vento como fonte de energia tem vindo a ser cada vez mais utilizada entre os 28 países constituintes da União Europeia, sendo hoje em dia a fonte de energia renovável com maior impacto na produção total de energia elétrica em Portugal.

Em 2016, cerca de 10% do total da eletricidade produzida na União Europeia resultou da utilização da energia eólica, sendo que em Portugal este valor ascende a cerca de 20%, denotando assim o crescente impacto que a energia eólica tem na produção de eletricidade em Portugal.

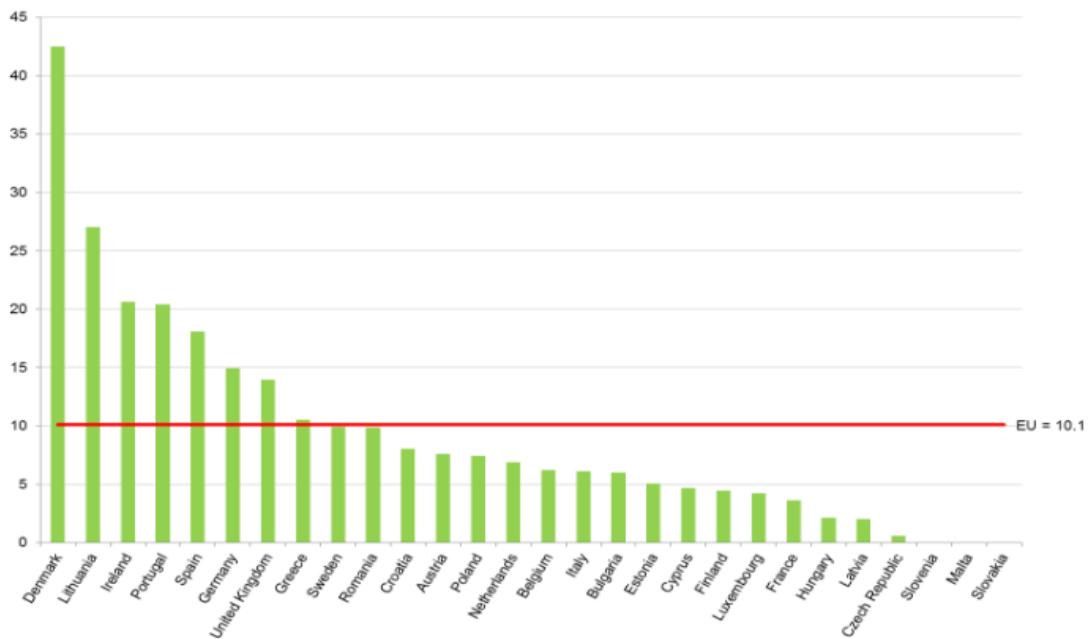


Figura 2.10 - Percentagem de eletricidade gerada por parte da utilização do vento na UE [18]

Atualmente, Portugal é o 4º país da UE com um maior aproveitamento da energia eólica para produção de eletricidade, tendo registado um aumento percentual na ordem dos 16%, desde 2005. A utilização desta fonte de energia tem por base a diferença de pressão existente ao longo da superfície terrestre causada por parte das radiações solares que atingem o planeta com diferentes intensidades em diferentes zonas do globo. Como tal, o principal inconveniente associado à utilização desta fonte de energia deve-se à imprevisibilidade e inconsistência dos deslocamentos de ar, componente essa que é fundamental para o funcionamento das turbinas eólicas utilizadas para gerar energia elétrica. Um outro inconveniente associado à utilização da energia eólica passa pela destruição de alguma zona florestal ao redor das turbinas eólicas. No entanto, este inconveniente nem sempre constitui um problema, uma vez que as turbinas eólicas são tipicamente instaladas em zonas que não implicam destruição florestal, como no topo das serras, por exemplo.

2.4 – Legislação

Com o passar dos anos, têm sido criadas e reformuladas diversas políticas energéticas, não só à escala global, mas também localmente em Portugal. Apesar de grande parte destas medidas energéticas afetar a generalidade dos edifícios, e uma parte considerável destas afetar apenas o setor dos edifícios habitacionais, no âmbito deste trabalho será dada maior atenção às medidas energéticas que afetam direta ou indiretamente o setor dos edifícios de serviços. Em seguida, serão apresentadas cronologicamente, as principais medidas energéticas que têm sido introduzidas ao longo dos últimos anos com particular impacto na melhoria da eficiência energética dos edifícios de serviços.

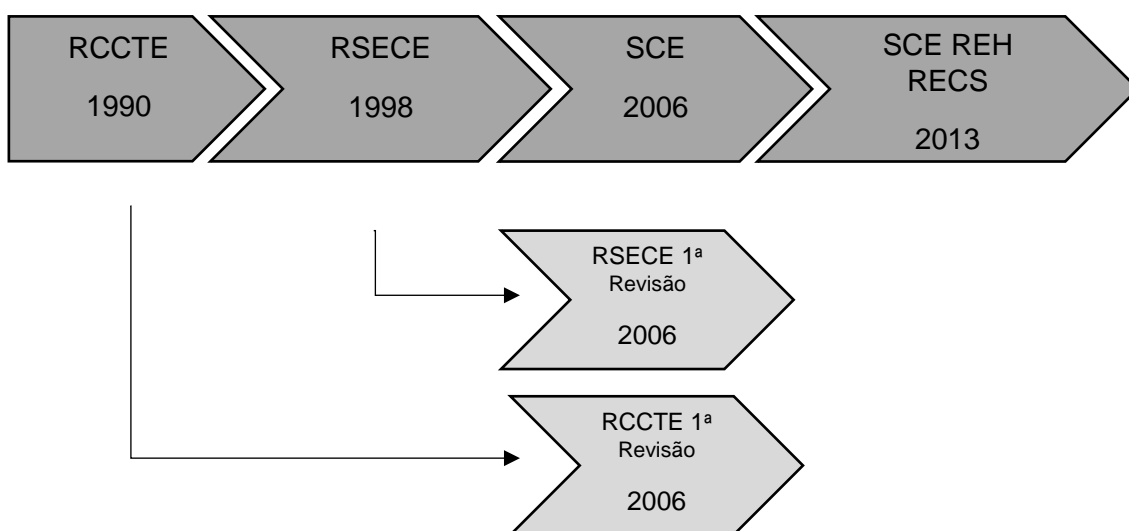


Figura 2.11 - Cronologia dos regulamentos energéticos [19]

- **RCCTE**

O primeiro normativo imposto em Portugal no que diz respeito à eficiência energética ao nível dos edifícios foi o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de fevereiro, o qual introduziu um instrumento legal que pretendia assegurar o conforto térmico nos edifícios. Com a introdução deste normativo nasceram os primeiros requisitos térmicos para a construção de novos edifícios e remodelações de grandes edifícios, tendo sido introduzidas exigências mínimas para a qualidade da envolvente exterior e valores base para as necessidades de aquecimento e arrefecimento em função da zona climática, o principal objetivo deste regulamento passou por “assegurar as exigências de conforto térmico sem dispêndio excessivo de energia” [20].

- **RSECE**

Em 1998 foi aprovado o Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), pelo Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de maio, que teve como principal desiderato o dimensionamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios e as exigências técnicas a observar no que diz respeito: - ao conforto térmico e da qualidade do ambiente no interior dos edifícios, à sua eficiência energética, à qualidade e segurança dos edifícios e à salvaguarda pelo meio ambiente.

- **SCE**

Em 2006 foi aprovado o Decreto-Lei n.º 78/06, de 4 de abril que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios e que transpõe parcialmente para o ordenamento jurídico nacional a Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu, relativa ao desempenho enérgico dos edifícios. A introdução deste Decreto-Lei teve como principais objetivos [23]:

- a) *Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE);*
- b) *Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;*
- c) *Identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.*

Este normativo definiu também as diferentes entidades responsáveis pela gestão e supervisão do SCE. Como entidades supervisoras foram definidas a DGES e a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), tendo sido apontada a ADENE, Agência para a Energia, como entidade gestora, encarregue por assegurar o funcionamento do sistema e a aprovar os certificados energéticos.

- **1ª Revisão RCCTE e RSECE**

Os Decretos-Lei nº 79/06 e 80/06 surgiram como as 1ª revisões ao RSECE e RCCTE, respetivamente, estas revisões foram introduzidas uma vez que desde que os Decretos-Lei originais foram impostos, os pressupostos assumidos para a formulação dos mesmos alteraram-se significativamente, especialmente devido ao aumento da utilização de equipamentos de climatização, como tal foi necessário alterar algumas das medidas impostas sendo que as principais alterações surgiram ao nível das exigências dos requisitos energéticos a cumprir.

- **SCE, REH e RECS**

Em 2013, 20 de agosto, foi publicado o Decreto-Lei n.º 118/2013 que consiste numa transposição para o ordenamento jurídico português da Diretiva n.º 2010/31/EU, que reformulou o regime estabelecido pela Diretiva n.º 2002/91/CE. O Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, tem como principal objetivo melhorar a eficiência energética dos edifícios de serviços, em função do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), contendo assim o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Serviços (RECS). Esta diretiva exige que os Estados-Membros garantam que até 2020 todos os novos edifícios a ser construídos tenham necessidades praticamente nulas de energia, de acordo com o conceito de NZEB.

De seguida serão analisadas mais detalhadamente as principais alterações introduzidas por parte do Decreto-Lei n.º 118/2013 no âmbito dos edifícios de serviços, numa primeira instância serão abordadas as alterações ao Decreto-Lei 78/06 (SCE), sendo posteriormente analisadas as alterações introduzidas por parte do RECS. Apesar do REH também ter sido alvo de algumas alterações, estas não serão analisadas uma vez que não se enquadram no âmbito do trabalho a desenvolver.

- SCE

Segundo as definições dos tipos de edifícios presentes no SCE, encontram-se abrangidos os seguintes casos (artigo 3.º):

1 – [...] edifícios ou frações, novos ou sujeitos a grande intervenção, nos termos do REH e RECS.

3 – [...] edifícios ou frações existentes de comércio e serviços:

- a) Com área interior útil de pavimento igual ou superior a 1000 m², ou 500 m² no caso de centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas;*
- b) Que sejam propriedade de uma entidade pública e tenham área interior útil de pavimento ocupada por uma entidade pública e frequentemente visitada pelo público superior a 500 m² ou, a partir de 1 de julho de 2015, superior a 250 m²;*

4 – [...] edifícios ou frações existentes a partir do momento da sua venda, dação em cumprimento ou locação posterior à entrada em vigor do presente diploma [...].

O artigo 15.º define o tipo e a validade dos pré-certificados e dos certificados do SCE em função do tipo de edifício, segundo o artigo 15.º, ponto nº 3:

- a) *Os pré-certificados têm um prazo de validade de 10 anos (exceção feita se a licença ou autorização de construção tiver caducado);*
- b) *Os certificados SCE têm um prazo de validade de 10 anos;*
- c) *Os certificados SCE para GES sujeitos a avaliação energética periódica, [...] têm um prazo de validade de seis anos.*

Uma alteração significativa introduzida por parte do Despacho nº 15793-J/2013, passou pela alteração da metodologia utilizada para a determinação da classe de desempenho energético para os edifícios de serviços, sendo a classe energética definida através do rácio de classes energéticas (R_{IEE}), que é dado por [28]:

$$R_{IEE} = \frac{IEE_s - IEE_{REN}}{IEE_{ref,s}}$$

Em que:

IEE_s - Indicador de Eficiência Energética, consoante o tipo de edifício (novo, existente ou sujeito a grande intervenção) relativamente aos consumos do tipo S;

IEE_{REN} - Indicador de Eficiência Energética renovável associado à produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes de energia renováveis;

$IEE_{ref,s}$ - Indicador de Eficiência Energética de referência associado aos consumos anuais de energia do tipo S.

Classe Energética	Valor de R_{IEE}
A +	$R_{IEE} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{IEE} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{IEE} \leq 0,75$
B -	$0,76 \leq R_{IEE} \leq 1,00$
Classe Energética	Valor de R_{IEE}
C	$1,01 \leq R_{IEE} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{IEE} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{IEE} \leq 2,50$
F	$R_{IEE} \geq 2,51$

Figura 2.12 - Intervalos de valores R_{IEE} de para a determinação da classe energética [28]

- RECS

Os edifícios de serviços e comércio que anteriormente faziam parte do RSECE, passam agora a pertencer ao RECS existindo assim uma clara divisão entre edifícios habitacionais (abrangidos pelo REH) e os edifícios de serviços, apesar de constarem todos no mesmo diploma.

Segundo o artigo 33.º são abrangidos pelo RECS os edifícios de comércio e serviços nas seguintes circunstâncias:

- a) Projeto e construção de edifícios novos;*
- b) Grande intervenção na envolvente ou sistemas técnicos de edifícios existentes;*
- c) Avaliação energética e da manutenção dos edifícios novos, sujeitos a grande intervenção e existentes no âmbito do SCE.*

O artigo 34.º, que foca o comportamento térmico dos edifícios, indica que todos os edifícios abrangidos pelo RECS “devem ser avaliados e sujeitos a requisitos tendo em vista promover a melhoria do seu comportamento térmico, a prevenção de patologias e o conforto ambiente, incidindo para esse efeito nas características da envolvente opaca e envidraçada”. Os requisitos mencionados no artigo 34.º estão definidos na Portaria nº 349-D/20013, no ponto nº 6 que adereça a questão da qualidade térmica da envolvente.

Segundo esta Portaria apenas os novos edifícios ou os edifícios sujeitos a grandes intervenções estão sujeitos a requisitos do ponto de vista da sua qualidade térmica, contudo os valores estabelecidos anteriormente mantêm-se, sendo que as principais alterações nesta questão passam pela eliminação dos requisitos para a envolvente interior, e pela alteração da formula de cálculo para o fator solar global do vão envidraçado, que passa a ser dada pela seguinte expressão [29]:

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{Tm\acute{a}x}$$

Em que:

g_T - Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes ou móveis, totalmente ativados;

F_o - Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas;

F_f - Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício;

$g_{Tm\acute{a}x}$ - Fator solar global máximo admissível dos vãos envidraçados (valores tabelados).

$g_{T\text{máx}}$ por zona climática		
V1	V2	V3
0,56	0,56	0,50

Figura 2.13 - Valores máximos admissíveis para o fator solar nos edifícios de comércio e serviços [29]

Para os casos em que a soma da área dos vãos envidraçados verticais por orientação seja superior a 30% da fachada a expressão anterior toma a seguinte forma:

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{T\text{máx}} \cdot \frac{0.30 \cdot A_{env}}{A_{eve}}$$

Em que:

A_{env} – Soma das áreas dos vãos envidraçados por orientação (m²);

A_{eve} – Área da envolvente vertical exterior por orientação (m²).

A eficiência dos sistemas técnicos é também uma das questões que é alvo de uma grande reformulação em relação ao que anteriormente era referido no RSECE. Segundo o RECS os sistemas de iluminação, as escadas rolantes, os sistemas de preparação e aquecimento de águas quentes sanitárias, o sistema de gestão de energias renováveis e os elevadores passam também a ter requisitos de eficiência à semelhança do que também já acontecia anteriormente com os sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC).

De seguida será analisado mais detalhadamente o ponto nº 7 da Portaria nº 349-D/20013 que aborda a questão dos sistemas de climatização.

7.1 – Requisitos gerais

A única alteração assinalável aos requisitos gerais foi a seguinte:

f) Nos sistemas de climatização com potência instalada de climatização superior a 100 kW, dotados de ventilação mecânica que sirvam espaços com ocupação permanente, em que a ocupação média destes, durante o período de funcionamento, é inferior a 50% da ocupação máxima, será obrigatória a instalação de um sistema de caudal de ar novo variável que permita o ajuste dos caudais em função da utilização e ocupação dos espaços, onde o controlo do sistema será feito com base num sistema de monitorização permanente de dióxido de carbono (CO2) e/ou detetores de presença;

7.2 - Produção

No que diz respeito à produção térmica de sistemas de ar condicionado, bombas de calor com ciclo reversível e *chillers* de arrefecimento, devem ser cumpridos requisitos mínimos de eficiência energética presentes na Portaria nº 349-D/20013 (tabelas I.13 a I.17), que foram baseados na classificação da *Eurovent* de acordo com a classe eficiência energética mínima exigida na seguinte tabela:

Tipo de equipamento	Classe de eficiência mínima após...	
	entrada em vigor	31 dez 2015
Split, multissplit, VRF e compacto	C	B
Unidades do tipo <i>Rooftop</i>		
Unidades do tipo <i>Chiller</i> de compressão (Bomba de calor)		

Figura 2.14 - Requisitos mínimos de eficiência nas unidades de produção térmica [29]

Para os sistemas de aquecimento e/ou preparação de Águas Quentes Sanitárias (AQS) com caldeiras ou esquentadores, os requisitos mínimos de eficiência energética das caldeiras a combustível líquido ou gasoso devem ser cumpridos segundo a figura 2.15, na forma de classe de eficiência obtida a partir do rendimento nominal de acordo com a figura 2.16.

Tipo de equipamento	Classe de eficiência mínima após...	
	entrada em vigor	31 dez 2015
Caldeira	B	A

Figura 2.15 - Requisitos mínimos de eficiência energética de caldeiras [29]

	Classe de eficiência energética	Rendimento nominal (η)
	Caldeiras	A++ (1)
A+ (2)		$96\% \geq \eta > 92\%$
A		$92\% \geq \eta > 89\%$
B		$89\% \geq \eta > 86\%$
C		$86\% \geq \eta > 83\%$
D		$83\% \geq \eta > 80\%$
E		$80\% \geq \eta > 77\%$
F		$\eta \leq 77\%$
Esquentadores	Potência (kW)	Rendimento
	$\leq 10\text{kW}$	$\geq 0,82$
	$> 10\text{ kW}$	$\geq 0,84$

Figura 2.16 – Rendimento nominal de caldeiras e esquentadores [29]

7.3 - Distribuição

As Unidades de Tratamento de AR (UTA's), à semelhança do que foi referido anteriormente, devem também pertencer a uma gama certificada e classificada pela *Eurovent*, obedecendo assim aos requisitos mínimos de eficiência energética indicados em função da sua classificação segundo a norma EN 15053.

Tipo de equipamento	Classe de eficiência mínima após...	
	entrada em vigor	31 dez 2015
Unidades de tratamento de ar	D	C

Figura 2.17 - Requisitos mínimos de eficiência energética para UTA's [29]

Os elementos propulsores dos fluídos de transporte como as bombas e os ventiladores, estão também ao abrigo de novos requisitos de eficiência. De acordo com as normas IEC600034-30 e EN 13779, referentes aos motores elétricos e às potências específicas respetivamente.

Os requisitos de eficiência ao nível das redes de transporte de fluídos e os seus respetivos componentes, não foram alvo de grandes modificações, sendo a única alteração relevante a seguinte:

“Os componentes das redes de tubagem e/ou condutas que estiverem instalados à vista no interior de um espaço climatizado, desde que exclusivamente dedicados a esse mesmo espaço e nos quais não exista a possibilidade de condensação, não se incluem no âmbito de aplicação dos requisitos mencionados no número anterior”.

7.4 - Controlo, regulação e monitorização

O recurso à obrigatoriedade da repartição da potência térmica de aquecimento em contínuo ou por escalões manteve-se tal como definido no regime anterior, no entanto os valores dos intervalos para a potência foram reduzidos para metade.

P (kW)	Nº de escalões
≤ 50	1
$50 > P \leq 250$	2
$250 > P \leq 500$	4
$P > 500$	Modulante

Figura 2.18 - Número de escalões a considerar em função da potência térmica nominal [29]

Neste último ponto acerca do controlo, regulação e monitorização dos sistemas de climatização é ainda necessário referir a passagem á obrigatoriedade da monitorização do consumo elétrico de motores com potência superior a 1 kW e dos gases de combustão de caldeiras em sistemas com potências superiores a 25 kW.

O ponto nº 8 da Portaria nº 349-D/2013 faz menção aos sistemas de AQS, sendo que para qualquer tipo de sistema utilizado para a preparação de AQS os requisitos gerais de eficiência indicam que este deve *“incluir obrigatoriamente soluções para aproveitamento de energia solar térmica, sempre que exista área de cobertura disponível, em coberturas horizontais, ou em coberturas inclinadas entre o quadrante sudeste e sudoeste”*. Alternativamente é também mencionado que *“podem ser considerados outros sistemas de aproveitamento de energia renovável que garantam, numa base anual, energia primária equivalente ao sistema solar térmico, mesmo que para outros fins que não o aquecimento de água”* (a equivalência mencionada anteriormente encontra-se no Despacho n.º 15793-H/2013).

Adicionalmente é também definido um *COP (Coefficient Of Performance)* mínimo de 2,3 para as bombas de calor segundo as normas EN 14511 (para a preparação de AQS e águas quentes para climatização) e EN 16147 (produção exclusiva de AQS).

O ponto nº 9 da Portaria nº 349-D/2013 é destinado aos sistemas de iluminação, que como foi referido anteriormente passam também a ser abrangidos por requisitos de eficiência. Segundo o novo regulamento:

- Os valores máximos de iluminância admissíveis não podem ser superiores a 30% dos valores definidos na norma EN 12464-1;
- Os valores máximos para a densidade de potência são também definidos para os diferentes tipos de espaços segundo a sua função, sendo também definido o método de cálculo a utilizar para a determinação do valor *DPI/100lux*;
- Exigidas funções mínimas de controlo e regulação de sistemas a instalar.

Por fim, os elevadores a instalar em edifícios de comércio e serviços passam também a ter requisitos mínimos de eficiência a cumprir

Tipo de equipamento	Categoria de utilização	Classe de eficiência energética mínima após...	
		entrada em vigor	31 dez 2015
Elevadores	Todas	C	B

Figura 2.19 - Requisitos mínimos de eficiência para elevadores [29]

Retomando agora a análise do RECS, o artigo 36º que faz referência à temática da ventilação e qualidade do ar interior, remete para a Portaria n.º 353-A/2013 onde são abordados os valores mínimos de caudal de ar novo e os limiares de proteção para as concentrações de poluentes do ar interior. Ainda segundo esta portaria são também definidos os requisitos para: a ventilação natural, a ventilação mecânica, para os métodos de cálculo para o caudal mínimo de ar novo, entre outros.

Este novo regulamento define dois métodos para o cálculo do caudal de ar novo mínimo, um método analítico e um método prescritivo.

Método analítico:

“1 - No método analítico, o caudal mínimo de ar novo é determinado através de um processo de cálculo da concentração média de CO₂ durante o período de ocupação, no qual o valor do caudal de ar novo (QAN) é ajustado até ser assegurado que não é excedido o limiar de proteção para a concentração de CO₂”

Método prescritivo:

“O método prescritivo baseia-se na determinação dos caudais de ar novo que garantem a diluição da carga poluente devido:

- a) Aos ocupantes do espaço e em função do tipo de atividade física (atividade metabólica) aí desenvolvida;*
- b) Ao próprio edifício e em função do tipo de materiais usados na construção, nos revestimentos das superfícies e no mobiliário.”*

Este novo método de cálculo é diferente do utilizado anteriormente que se baseava no valor máximo obtido entre os valores definidos para os caudais mínimos de ar novo por tipologia em função do número de pessoas ou da área ocupada.

Os valores para os limiares de proteção para os poluentes também foram alvo de algumas modificações, tendo sido atualizados por forma a serem mais exigentes. No entanto, as margens de tolerância admitidas também foram alargadas em alguns casos.

Por fim, e como já foi mencionado anteriormente quando foi analisado o SCE, surgiram alterações significativas no modo de cálculo das classificações energéticas. O cálculo dos IEE's também foi modificado, sendo agora baseado em condições reais previstas e efetivas.

Tendo em conta o trabalho a desenvolver ao longo desta dissertação, são de salientar algumas alterações relevantes face à introdução deste Decreto-Lei:

Em 2014 foi publicada a primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, através do Decreto-Lei n.º 53/2014, de 8 de abril que prevê um regime excecional e temporário a vigorar na reabilitação de edifícios construídos há mais de 30 anos ou situados em áreas de reabilitação urbana, sempre que estejam afetos ou se destinem a ser afetos total ou predominantemente ao uso habitacional.

Em 2015 foi publicada uma segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, que simultaneamente também procede a algumas alterações ao Decreto-Lei n.º 53/2014, de 8 de abril, através do Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro.

Nesse mesmo ano foi ainda publicada uma terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, através do Decreto-Lei n.º 251/2015 de 25 de novembro.

Mais recentemente, em 2016, foi publicada uma quarta alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, através do Decreto-Lei n.º 28/2016 de 23 de junho, que simultaneamente também procede a algumas alterações ao Decreto-Lei n.º 251/2015 de 25 de novembro.

Capítulo 3 – Estudo do edifício

O presente capítulo é destinado única e exclusivamente ao estudo do edifício. Este capítulo tem como principal finalidade dar a conhecer o edifício sobre o qual se desenvolve este trabalho, focando assim todos os aspetos que intervêm na análise do desempenho energético do mesmo como por exemplo: o tipo de construção que compõe a envolvente do edifício, os sistemas utilizados para a climatização, os sistemas de iluminação, entre outros.

Como foi mencionado anteriormente, o principal objetivo deste trabalho passa sobretudo por fazer uma análise ao estado atual do edifício, do ponto de vista da eficiência energética, e propor algumas melhorias em função dos novos regulamentos energéticos. Como tal, e tendo em conta que este não é o primeiro trabalho que tem como objeto de estudo o edifício VIII do DEMI, serão utilizados os trabalhos já realizados sobre o edifício como base para a contextualização do edifício. A utilização da informação presente nos trabalhos realizados em anos anteriores (que datam de 2009 a 2012) é viável para fazer esta contextualização, uma vez que o edifício até à data não foi alvo de grandes modificações.

3.1 – Breve descrição do edifício em estudo

O edifício alvo para o estudo em causa situa-se no Monte de Caparica, Concelho de Almada, pertence ao Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, da FCT/UNL, e a sua construção foi concluída em 1998. O edifício, na sua totalidade, abrange uma área bruta de cerca de 7530 m² [36] e é composto por três blocos, cada um com quatro pisos, com exceção do bloco Norte que é composto por três pisos. Existe ainda um bloco destacado do bloco central, localizado na fachada Oeste, que é composto por dois elevadores e um vão de escadas.



Figura 3.1 - Fachada Oeste edifício [37]



Bloco Sul

Bloco Central

Bloco Norte

Figura 3.2 - Vista superior do edifício VIII [38]

A figura 3.2 permite inferir que apesar da orientação do edifício VIII do DEMI não ser a mais favorável, uma vez que o seu maior eixo se encontra orientado segundo a direção Norte-Sul, estando assim a sua fachada principal virada para Este o que implica grandes áreas de fachada a poente. Como também é observável na figura 3.2, a cobertura do edifício é apenas ocupada pelas áreas técnicas dos sistemas de climatização e AQS, existindo assim uma área relativamente extensa da cobertura favorável ao aproveitamento de energia solar e eólica. Contudo, como será confirmado mais adiante no decorrer deste trabalho, a orientação do edifício acaba por não ser um fator muito limitante uma vez que as medidas estudadas a este nível permitirão conferir que apesar de toda a disponibilidade existente na cobertura do edifício não será de todo vantajoso a utilização completa da mesma.

A orientação e a disponibilidade espacial da cobertura do edifício serão inclusivamente umas das principais características a ter em consideração nas etapas subsequentes deste estudo, uma vez que a conjugação destes dois fatores permitirá idealizar um conjunto de sugestões/medidas (especialmente do ponto de vista da introdução da utilização de fontes de energias renováveis) que permitirão melhorar significativamente a eficiência energética do edifício. Este ponto será abordado de forma mais pormenorizada no decorrer do trabalho quando forem estudadas e analisadas as medidas a introduzir no edifício.

De seguida serão apresentados os principais constituintes de cada um dos blocos que compõem o edifício, em função de cada um dos pisos:

Bloco Norte

Como foi mencionado anteriormente, trata-se do único bloco composto por apenas três pisos, sendo constituído sobretudo por gabinetes para docentes e salas de reuniões. O piso nº 2 é constituído por: um Laboratório de Órgãos de Máquinas, que abarca a grande maioria do espaço disponível, uma oficina de manutenção, salas de apoio, gabinetes e instalações sanitárias (este elemento é uma constante em todos os pisos do bloco). Os restantes pisos, nº 3 e nº4, são compostos por: gabinetes de docentes, áreas administrativas e salas de reuniões.

Bloco Central

Uma vez que se trata do corpo central do edifício, é neste bloco que se situa a entrada principal para o mesmo. Este bloco encontra-se ligado aos restantes blocos por áreas de circulação comuns (passadiços envidraçados) e a sua cobertura é composta por uma área técnica para os sistemas de climatização e AQS.

O piso nº1 deste bloco é essencialmente ocupado pelo Laboratório de Termodinâmica e por salas de cálculo computacional, sendo o restante espaço ocupado pelas instalações sanitárias, por um espaço técnico e por uma zona de armazenagem.

O piso nº 2 do bloco central teve um bar/restaurante, recentemente desativado, sendo atualmente constituído por dois Laboratórios de Tecnologia Mecânica, salas de apoio, instalações sanitárias, uma zona de limpezas, uma zona de armazenagem e um posto médico.

Os restantes pisos (nº2 e nº3), apresentam uma configuração bastante semelhante, sendo destinados principalmente a gabinetes de direção e secretariado, salas de aula, reprografia, instalações sanitárias, salas de estudo e salas de desenho computacional (desenho assistido por computador).

Bloco Sul

O piso nº1 deste bloco é ocupado maioritariamente por parte do Laboratório de Mecânica Estrutural, existindo ainda um pequeno espaço destinado a espaços complementares a este laboratório, salas de apoio e casa de máquinas. O piso nº2 acaba por ser uma continuidade do piso nº1, tendo assim uma configuração idêntica ao anterior e dando continuidade ao Laboratório de Mecânica Estrutural. Para além dos elementos presentes no piso anterior existem ainda um laboratório de metrologia e um núcleo de instalações sanitárias.

O piso nº3 é exclusivamente destinado a salas de aula, sendo o piso nº4 constituído por Laboratório de Ergonomia e de computadores, salas de estudo e um pequeno espaço de armazenagem.

De seguida apresenta-se uma tabela que resume de forma sucinta os principais constituintes de cada um dos blocos do edifício em cada um dos pisos. As plantas dos pisos podem ser consultadas nos anexos (Anexo II - Plantas do edifício).

Bloco	Piso	Constituição Interior
Norte	Nº2	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratório de Órgãos de Máquinas; • Oficina de Manutenção; • Sala de apoio; • Gabinetes dos docentes; • Instalações sanitárias.
	Nº3 e Nº4	<ul style="list-style-type: none"> • Gabinetes dos docentes; • Áreas administrativas; • Salas de reuniões; • Instalações sanitárias.
Central	Nº1	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratório de Termodinâmica; • Salas de computadores; • Instalações sanitárias.
	Nº2	<ul style="list-style-type: none"> • Hall de entrada; • 2 Laboratórios de Tecnologia; • Instalações sanitárias; • Sala de apoio; • Bar (desativado).
	Nº3	<ul style="list-style-type: none"> • Gabinetes de direção; • Gabinetes de secretariado; • Instalações sanitárias; • Hall (idêntico ao 2º piso); • Salas de aula; • Reprografia.
	Nº4	<ul style="list-style-type: none"> • Gabinetes de secretariado; • Hall (idêntico ao anterior); • Salas de aula; • Laboratório polivalente.
Sul	Nº1 e Nº2	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratório de Mecânica Estrutural; • Salas de apoio; • Casa das máquinas; • Laboratório de Metrologia; • Instalações sanitárias.
	Nº3	<ul style="list-style-type: none"> • Salas de aula.
	Nº4	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratório de Ergonomia; • Laboratório Computacional; • Sala de computadores.

Tabela 3.1 - Constituintes do edifício

3.1.1 – Envoltente do edifício

A envoltente exterior de um edifício é sempre um fator que deve ser tido em especial atenção quando se procede a uma avaliação energética, uma vez que a qualidade da mesma afeta não só o consumo de energia, tanto para aquecimento como para arrefecimento, mas também o próprio estado do edifício, podendo este estar sujeito a condições mais ou menos severas de degradação em função da qualidade da sua envoltente exterior.

Para avaliar a qualidade térmica da envoltente exterior de um edifício utiliza-se o coeficiente global de transferência térmica U ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$) que é dado por $\frac{1}{R}$, sendo R a resistência térmica total e A a área total da parede. A resistência térmica total é obtida pela soma das resistências das várias camadas de condução (tijolos, rebocos, isolantes e caixas de ar) e das convecções interior e exterior. A resistência de condução de cada camada é obtida pelo quociente entre a espessura da camada e a condutividade térmica, k , do respetivo material. As resistências de convecção são obtidas pelo inverso do coeficiente de convecção multiplicado pela área da parede: $\frac{1}{hA}$. Para aferir a qualidade dos elementos da envoltente exterior, os valores obtidos devem ser confrontados com os valores impostos na legislação, neste caso no RECS [39], de forma a verificar se são ou não cumpridos os requisitos mínimos impostos.



Figura 3.3 - Soluções construtivas da envoltente exterior [37]

As paredes exteriores do edifício têm dois tipos de composição principais, sendo que em ambos os casos se tratam de paredes duplas. A figura 3.3 representa apenas uma das fachadas do edifício. No entanto, acaba por ser representativa da totalidade do edifício, no que à constituição da envoltente exterior diz respeito, uma vez que apesar de existirem diversas configurações para a constituição da envoltente exterior, os elementos mais comuns ao longo de todo o edifício são aqueles que estão assinalados na figura acima. Contudo, de entre os dois tipos de soluções construtivas assinalados na figura, aquela que tem uma maior expressão em todo o edifício está identificada na figura como “zona rebocada”.

Configuração da zona rebocada

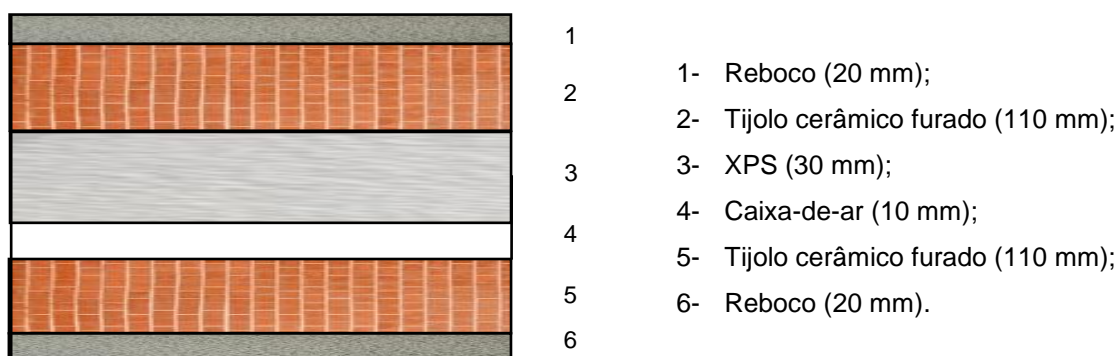


Figura 3.4 - Configuração principal das paredes exteriores

Constituição	Dimensão (m ²)	k (W/m°C)	R (C/W)
Resistência térmica superficial interior			0,130
Reboco interior	0,020	1,300	0,015
Pano de alvenaria de tijolo furado normal	0,110		0,270
Poliestireno expandido extrudido (XPS)	0,030	0,037	0,811
Caixa de ar	0,010		0,150
Pano de alvenaria de tijolo furado normal	0,110		0,270
Reboco exterior	0,020	1,300	0,015
Resistência térmica superficial exterior			0,040
Σ			1,7016

Tabela 3.2 - Constituição da zona rebocada

Para este primeiro caso $U = \frac{1}{1,7016} = 0,588 \text{ W/m}^2\text{C}$, por consulta da legislação e atendendo à zona climática em que o edifício está situado, é imposto um valor de referência máximo de $1,8 \text{ W/m}^2\text{C}$ que não pode ser excedido. Como se pode constatar, o valor obtido é muito inferior ao máximo permitido. Desta forma, pode-se concluir que o elemento em causa foi bem concebido, cumprindo os requisitos impostos.

Configuração da zona revestida a tijolo

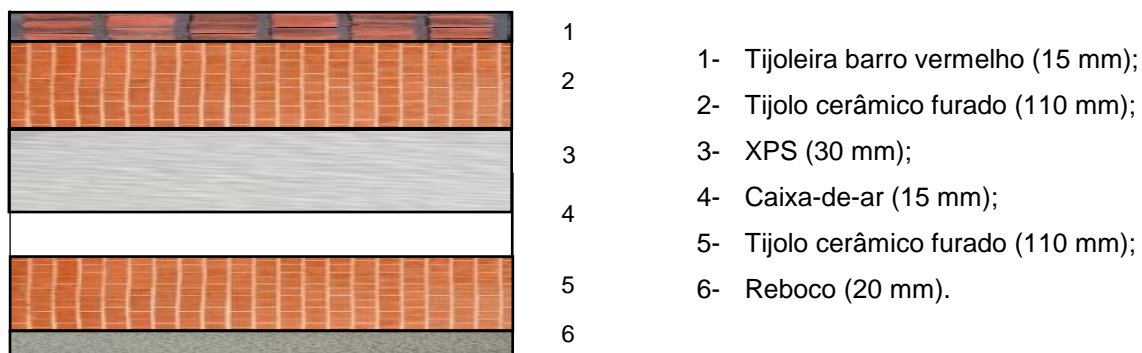


Figura 3.5 - Configuração das paredes revestidas a tijolo

Este segundo caso é muito semelhante ao anterior, verificando-se as únicas diferenças ao nível da caixa de ar e do revestimento exterior, passando este último a ser em tijoleira cerâmica. Portanto, de forma idêntica ao que foi descrito anteriormente, obtém-se um valor para o coeficiente global térmico de $U = 0,59 \text{ W/m}^2\text{C}$. Novamente, este valor encontra-se muito abaixo do limite máximo admissível, podendo-se assim, considerar que este elemento também está bem concebido.

As paredes interiores são compostas por duas camadas de tijolo de 70 mm, sendo cada uma das suas faces revestida por 10 mm de reboco, não apresentando assim isolamento nem caixa de ar. A cobertura do edifício é em seixo branco, com telas de impermeabilização e uma lage maciça em betão de 20 cm.

Na envolvente exterior é ainda necessário ter em conta o contributo resultante das pontes térmicas, lineares e planas (que resultam sempre em perdas de carga térmica).

Vãos envidraçados:

Os elementos, como vãos envidraçados verticais e horizontais, são avaliados em função do fator solar, sendo este dependente da zona climática em que o edifício se situa. Novamente por consulta à legislação é possível encontrar tabelados os valores para as diferentes zonas climáticas. Neste caso, Almada é classificada como uma zona I1 e V1, que se caracteriza por ser uma zona com um clima temperado (temperatura média anual ronda os $16,5^\circ\text{C}$).

Os vãos envidraçados do edifício são compostos por caixilharia de alumínio com vidro duplo incolor de 6 mm e caixa-de-ar com 12 mm, nas zonas destinadas aos docentes e vidro simples 6 mm nas restantes zonas, sendo a proteção solar feita por intermédio de estores de alumínio exteriores (com exceção das zonas de circulação entre blocos).

3.1.2 – Equipamentos de climatização

Os equipamentos a instalar num edifício são também um fator de extrema importância a ter em consideração, não só pelo consumo energético que representam, mas também pela mais-valia ao nível do bem-estar que proporcionam, bem como os efeitos que podem ter ao nível da saúde dos utentes do edifício. Sendo assim, é necessário conjugar as variáveis atrás mencionadas, impondo, para isso, os requisitos mínimos legislativos, em função da taxa de ocupação, do tipo de edifício, da zona climática e dos próprios equipamentos, a respeitar relativamente ao caudal de ar novo no ar ambiente.

O sistema de climatização implementado no edifício do DEMI funciona de forma centralizada para as necessidades de aquecimento, sendo o aquecimento fornecido por intermédio de duas caldeiras (IGNIS, NAR 200), sob a forma de água quente que é posteriormente transportada até às UTA's. O arrefecimento é feito de forma descentralizada nos gabinetes por intermédio de unidades *split* e em duas salas do bloco Central através de UCAs, não existindo atualmente, qualquer sistema centralizado de arrefecimento no edifício.

Como foi referido anteriormente, o arrefecimento é feito com recurso a unidades individuais de ar condicionado. Estas unidades *split* foram introduzidas como forma de colmatar a desativação de parte das Unidades de Tratamento e Ventilação de ar (UTV's) previamente instaladas no edifício, devido à falta de manutenção. Os equipamentos de ar condicionado instalados no edifício são da marca MIDEA e possuem uma potência nominal de 2,93 kW de aquecimento e 2,64 kW de arrefecimento, com um *COP* de 2,93 e 2,5 respetivamente.

O sistema de aquecimento, como foi referido anteriormente, é constituído por duas caldeiras alimentadas a gás propano com um rendimento nominal de 85% e uma potência térmica unitária de 190 kW (Anexo III – Fichas do edifício). A água aquecida por intermédio destas caldeiras é então distribuída por um sistema de tubagem até às unidades de tratamento de ar.

As UTA's encontram-se instaladas na cobertura do edifício e assistem à climatização de todos os pisos através de uma rede de condutas de baixa pressão, possibilitando assim não só o aquecimento, mas também a renovação de ar novo dos espaços interiores. A compensação de ar novo é também realizada por parte das UTA's, que possuem ventiladores de extração e de insuflação, sendo que consoante a utilização do espaço e a própria tipologia do mesmo é feita a recirculação parcial ou a insuflação de ar novo.

3.1.3 – Outros dados relevantes para o consumo energético do edifício

✓ Ocupação/Densidade ocupacional

A taxa de ocupação é um dos pontos críticos na análise de um edifício, uma vez que, ao longo do dia, o número de ocupantes do edifício é variável, sendo que as necessidades humanas ao nível do conforto também variam em função da taxa de ocupação. Como tal, é necessário existir uma renovação adequada do ar interior, de forma a manter uma ajustada temperatura de conforto e, ao mesmo tempo, remover o excesso de humidade e poluentes existente no ar.

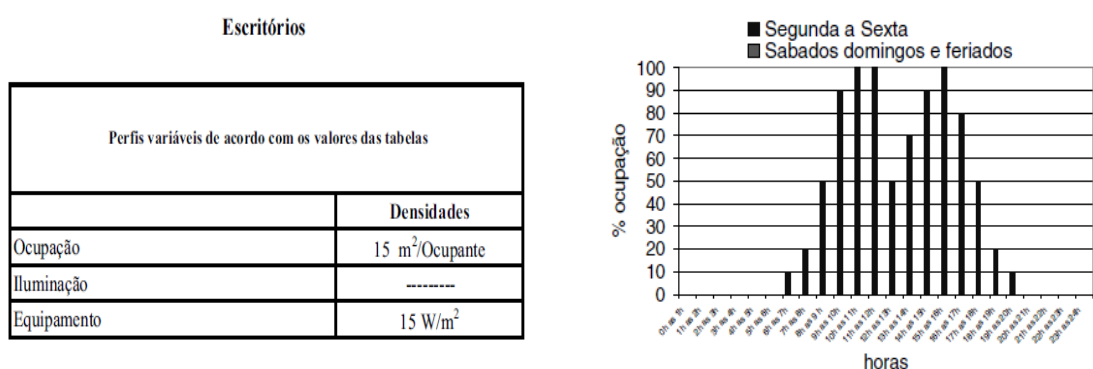


Figura 3.6 - Densidade ocupacional de ref. para escritório [39]

De forma a poder avaliar o impacto deste parâmetro no consumo energético de um edifício, é possível recorrer aos dados fornecidos no RECS, que definem os requisitos a ser cumpridos para as diferentes tipologias de edifícios existentes. Para o edifício em causa, existem dois tipos de tipologias que se enquadram no funcionamento do mesmo: estabelecimento de ensino superior (com uma densidade ocupacional de 10 m²/ocupante) e escritórios (com uma densidade ocupacional de 15 m²/ocupante).

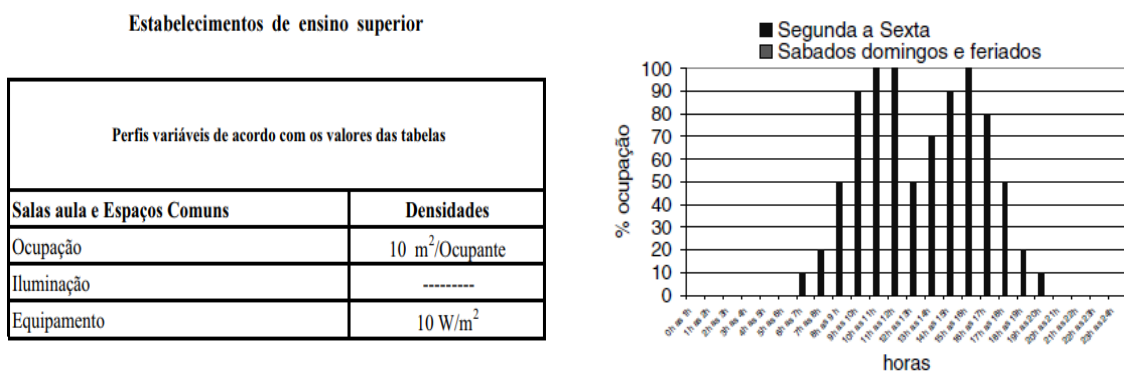


Figura 3.7 - Densidade ocupacional de ref. para estabelecimento de ensino [39]

✓ Iluminação

A iluminação é um dos principais fatores que concorre para os gastos energéticos de um edifício, tendo particular relevância nos edifícios de serviços. Consoante o espaço e a densidade ocupacional, em função do horário de funcionamento, as necessidades de iluminação são diferentes. A título de exemplo, elencam-se as salas de aula, os gabinetes, os laboratórios, entre outros, que têm um determinado período de funcionamento. Como tal, para cada uma destas divisões estão regulamentados, conforme o RECS, os valores de referência a aplicar.

De forma idêntica ao ponto anterior e novamente por consulta da legislação e do RECS, é possível obter os padrões de referência para as tipologias consideradas.

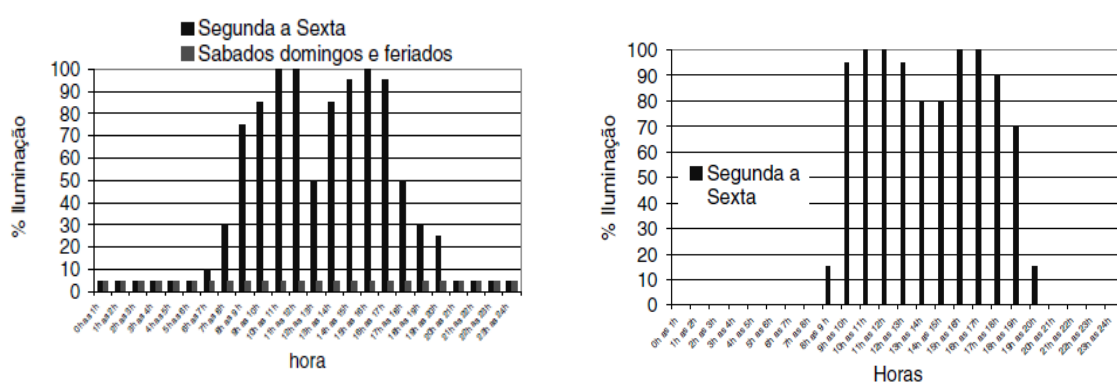


Figura 3.8 - Dados de ref. para iluminação (escritório e estabelecimento de ensino) [39]

A iluminação nas salas de aula, nos laboratórios e nos gabinetes é feita com recurso a lâmpadas fluorescentes lineares TLD36 que se encontram encastradas ou suspensas no teto das respetivas divisões, variando assim a luminária e o balastro, em função do pé direito da divisão. Em todas estas divisões são utilizados conjuntos de 2 lâmpadas fluorescentes com uma potência individual de 36 W sendo que potência total do conjunto (lâmpadas mais balastro) perfaz um total de 86 W. Os espaços comuns de circulação são iluminados por intermédio de conjuntos de 2 lâmpadas fluorescentes compactas TC-D com uma potência individual de 18 W, perfazendo desta forma uma potência total de cerca de 56 W.

Luminária	Lâmpada	Balastro	Potência Total
Euro 300	TLD 36 W	Ferromagnético	86 W
Régua	TLD 36 W	Ferromagnético	86 W
SPOT S2DL 220	TC-D 18 W	Eletrónico	56 W

Tabela 3.3 - Características dos equipamento de iluminação

Capítulo 4 – Estudo das melhorias a introduzir

4.1 – Medidas a estudar por forma a melhorar a eficiência do edifício

Sendo a melhoria da eficiência energética do edifício o tema central do trabalho a desenvolver, é então necessário avaliar um conjunto de medidas (algumas delas já sugeridas em trabalhos anteriores) que promovam essa mesma melhoria. As principais sugestões de melhoria a analisar serão:

- Ao nível dos equipamentos e sistemas utilizados no edifício (tanto de climatização como de iluminação);
- Introdução de fontes de energias renováveis (solar e/ou eólica) como alternativas viáveis às fontes de energias utilizadas atualmente para os sistemas de climatização, entre outros;
- Melhoria de elementos constituintes da envolvente exterior do edifício (com principal foco no estudo da melhoria dos envidraçados e da própria envolvente exterior do edifício).

4.1.1 – Introdução de fontes de energia renováveis

Como foi referido no início deste capítulo aquando da apresentação do edifício em estudo, a localização geográfica do mesmo é uma das suas principais valias, embora, atualmente, se encontre subaproveitada. Como tal, e tendo em conta que apesar da cobertura do edifício estar parcialmente ocupada, ainda existe uma área significativa desocupada que deverá ser utilizada para a instalação de painéis solares térmicos e/ou fotovoltaicos.

O estudo da introdução de painéis/coletores solares no edifício VIII já foi previamente analisada em trabalhos anteriores, em particular num trabalho que passou por estudar a viabilidade da introdução de um sistema solar térmico que servisse de apoio à climatização de quatro dos edifícios constituintes da FCT-UNL [42]. Como é possível observar na figura 3.2, o bloco sul encontra-se bastante ocupado. No entanto, os blocos norte e central encontram-se manifestamente desimpedidos, tendo sido este o espaço considerado para a determinação do número de coletores possíveis de ser instalados na cobertura do edifício.

No estudo previamente mencionado, foram considerados dois tipos de coletores solares: os coletores solares planos seletivos e os coletores solares de tubo de vácuo. Apesar dos coletores solares planos seletivos serem utilizados de forma mais regular em Portugal, os

coletores solares de tubo de vácuo, que são utilizados sobretudo em zonas climáticas mais frias, são também uma alternativa interessante a ter em consideração.

Os coletores solares térmicos (planos seletivos e de tubo de vácuo), selecionados no estudo previamente mencionado, são ambos da marca Wolf, tendo-se optado pelos modelos F3-1 e CRK-12, respetivamente. Atendendo ao espaço disponível na superfície da cobertura do edifício, foi determinado que seria possível colocar 66 coletores planos seletivos e 64 coletores de tubo de vácuo.



Figura 4.1 - Coletor de plano seletivo e coletor de tubo vácuo (respetivamente) [40]

Para além das opções apresentadas anteriormente, uma outra opção que também é bastante interessante, sobretudo do ponto de vista da eficiência energética, passa pela utilização de coletores solares planos equipados com uma superfície absorvora em Tinox, uma vez que, atualmente, se trata do tipo de coletor solar que possibilita ao utilizador obter uma melhor *performance*, apresentando valores de absorção de radiação solar extremamente elevados, na casa dos 95%, e valores de emissividade bastante baixos, cerca de 5%. A utilização deste tipo de coletores solares torna-se particularmente interessante quando se considera a composição e as propriedades associadas ao Tinox, ilustradas na figura 4.2.

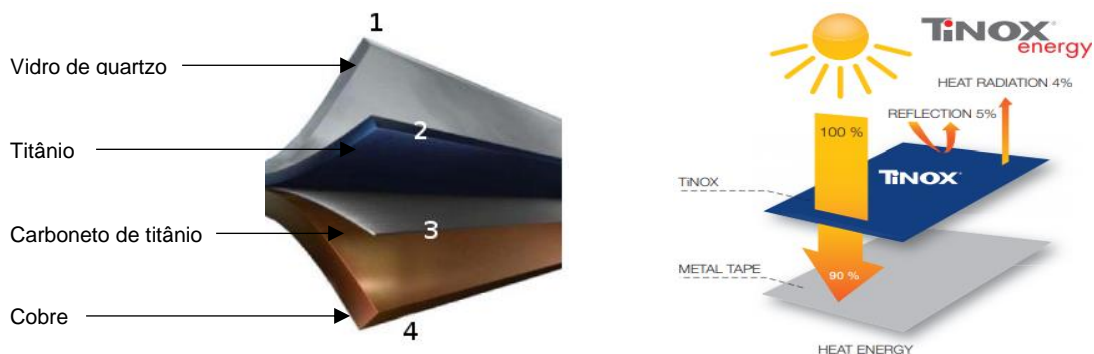


Figura 4.2 - Esquema ilustrativo da composição e das propriedades do Tinox (adaptado de [41])

Visto que, no estudo mencionado, não foram analisados coletores solares planos com Tinox, optou-se por selecionar um coletor da marca *Immosolar*, uma vez que já se encontrava disponível na base de dados mais recente do *SolTerm*. O modelo selecionado foi o IS-PRO 200 Tinox H, que apresenta dimensões semelhantes ao coletor solar de plano seletivo F3-1.

	Plano seletivo (F3-1)	Tubo vácuo (CRK-12)	Plano seletivo (IS-PRO 200 Tinox H)
Rendimento ótico [%]	80,40	64,2	81,0
Coef. perda a1 [w/m ² .K]	3,235	0,885	4,34
Coef. perda a2 [w/m ² .K]	0,012	0,001	0,0023
Área absorsor [m ²]	2	2	2

Tabela 4.1 - Propriedades dos coletores selecionados [40]

Uma vez que o principal propósito da realização do presente estudo não se prende única e exclusivamente com a simulação do impacto causado pela colocação de painéis solares no edifício, sendo a introdução destes apenas uma das sugestões a considerar, não se irá alongar em demasia todos os pormenores envolvidos na idealização do sistema proposto, podendo, no entanto, parte destes detalhes serem consultados em [42]¹ e [43].

De uma forma bastante sucinta, o dimensionamento do sistema solar foi selecionado tendo em conta um conjunto de fatores:

- Número de coletores – considerados 57 coletores, uma vez que após algumas simulações foi o número que verificou melhores resultados ao nível da relação fração solar-desperdício energético;
- Necessidades de aquecimento – consideradas como 141928 kWh/ano [42], tendo-se ainda estabelecido os valores de carga por hora para os meses considerados na estação de aquecimento, cuja duração depende da zona climática do país. Em Almada, zona climática I1, a duração é de 5.3 meses (tipicamente, desde meados de outubro a meados de março);
- Temperaturas de abastecimento e consumo – considerado que a água de abastecimento é proveniente da rede (variando assim a temperatura em função do mês) e que a temperatura de consumo é de 35°C.

¹ Na utilização do *software SolTerm* foram usadas parte das considerações tomadas aquando da realização dos trabalhos citados, no entanto algumas dessas considerações foram reformuladas por apresentarem algumas inconformidades, como por exemplo o valor assumido para o rendimento ótico do coletor solar CRK-12, que estava indicado incorretamente como 0,94 em vez de 0,642.

Os detalhes do dimensionamento do sistema solar podem ser consultados com maior pormenor em Apêndice B – Dimensionamento sistemas solar térmicos.

	F3-1	CRK-12	IS-PRO 200 Tinox H
Rad. Horizontal [kWh/m ²]	1643	1643	1643
Rad. Inclinada [kWh/m ²]	1829	1829	1829
Desperdiçado [kWh]	125	1429	58
Fornecido [kWh]	47948	40131	45392
Carga [kWh]	141928	141928	141928
Apoio [kWh]	93991	101808	96546
Rendimento global [%]	23	19	23
Fração solar [%]	33,8	28,3	32,0

Tabela 4.2 - Comparação do desempenho energético anual dos sistemas solares propostos

Tendo em conta a análise energética realizada com o auxílio do *SolTerm*, é possível confrontar e retirar algumas ilações em relação à utilização dos coletores solares propostos (sendo que os principais dados recolhidos podem ser consultados de forma mais sucinta na tabela 4.2 ou mais detalhadamente em apêndices A, B e C).

A utilização de coletores solares planos seletivos (modelo F3-1) revelou-se a opção mais vantajosa, apresentando valores de fração solar e rendimento global do sistema mais elevados. Os resultados obtidos acabam por não ser uma surpresa, uma vez que ao analisar as propriedades dos coletores, apresentadas na tabela 4.1, é possível verificar que o rendimento ótico em ambos os coletores solares planos seletivos (F3-1 e Tinox) é manifestamente superior quando comparado com o valor obtido nos coletores de tubo de vácuo, sendo desta forma este último uma solução ligeiramente inferior às anteriores.

Comparando agora os resultados obtidos na utilização dos coletores solares planos seletivos selecionados, seria à partida expectável que os coletores com Tinox apresentassem um rendimento global e uma fração solar ligeiramente superior aos coletores F3-1. No entanto, tal não se verifica, sendo os coletores F3-1 a opção mais vantajosa de entre os 3 selecionados. Este resultado pode ser explicado tendo em conta os coeficientes de perda dos coletores em causa, sendo que o coeficiente de perda, a_1 , do coletor com Tinox é bastante superior ao do coletor F3-1, o que leva a que os coletores F3-1 sejam capazes de fornecer uma quantidade de energia superior aos coletores com Tinox e uma vez que as restantes características dos coletores são bastante similares entre si, esta acaba por ser a principal diferença entre os casos em estudo.

Adicionalmente o *SolTerm* permite ainda realizar uma análise económica que possibilita confrontar os custos económicos incorridos na utilização e manutenção de um sistema solar com a rentabilidade desse mesmo capital numa aplicação segura com juros constantes. De forma a realizar esta comparação é necessário atribuir alguns valores, como por exemplo:

- Custo atual do combustível – 2,025 €/kg [44];
- Vida útil dos equipamentos – considerou-se 30 anos;
- Custo de manutenção anual – 0,1% do preço do sistema;
- Custo da renovação de componentes – 1% do preço do sistema;
- Rendimento da aplicação – 2,5% ao ano;
- Inflação – 1,5% ao ano;
- Deriva do preço da energia substituída – 2% a cima da inflação.

Ao introduzir os parâmetros acima mencionados, é possível constatar que todas as situações em estudo apresentam sempre uma mais-valia em relação à opção da aplicação do capital disponível numa aplicação segura a juros constantes.

Considerando os três projetos estudados, torna-se bastante claro que, apesar dos elevados custos económicos que teriam de ser suportados para a aquisição e manutenção dos sistemas solares, esta opção seria sempre bastante benéfica do ponto de vista financeiro, sobretudo de médio a longo prazo, quando comparada com as demais opções. No entanto e considerando todos os pormenores envolvidos na aquisição e utilização dos sistemas solares, é também evidente que de entre as três soluções apresentadas a melhor opção seria a utilização de um sistema de coletores solares planos seletivos (F3-1), seguida da utilização de um sistema de coletores solares com Tinox uma vez que se tratam de soluções que permitem uma recuperação do capital investido num menor período de tempo (sensivelmente 6 anos), sendo que a utilização dos coletores CRK-12 iriam levar em média cerca de mais um ano (7 anos) até recuperar todo o investimento realizado.

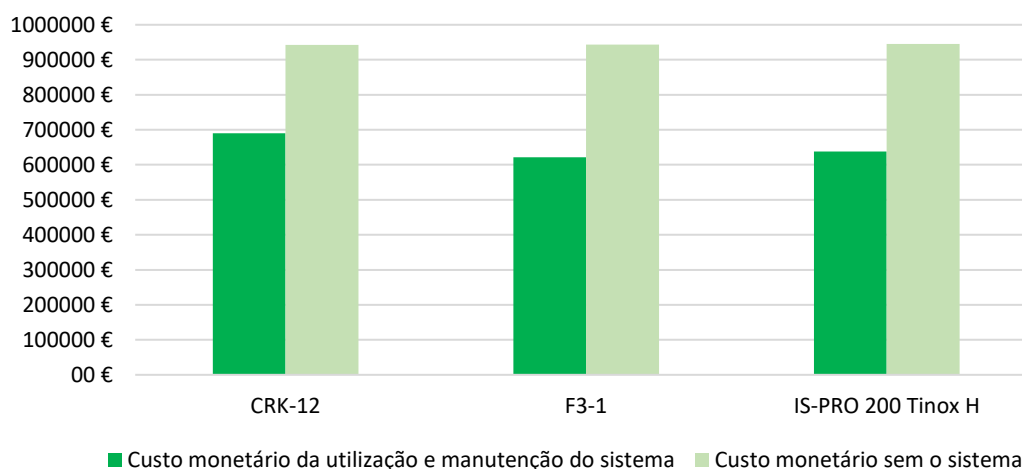


Figura 4.3 - Comparação do custo económico incorrido das soluções apresentadas

4.1.2 – Sistema de iluminação

Apesar do sistema de iluminação ser um dos fatores que mais contribui para um elevado consumo energético ao nível dos edifícios, é também, em contrapartida, um dos fatores mais fáceis de melhorar, não só do ponto de vista económico (uma vez que na maioria dos casos o retorno económico é obtido relativamente rápido), mas também atendendo ao período de tempo requerido para a sua implementação (claro que este varia sempre consoante os casos mas é um processo bastante célere para alterações exclusivamente ao nível dos equipamentos como: lâmpadas, balastros, luminárias, entre outros).

Como foi mencionado previamente, a iluminação do edifício é realizada por intermédio de lâmpadas fluorescentes lineares e lâmpadas fluorescentes compactas. No entanto devido à grande dimensão do edifício e à multitude de diferentes tipologias que este agrega, será expectável que os consumos energéticos e económicos associados aos equipamentos de iluminação utilizados sejam bastante elevados quando confrontados com outras alternativas disponíveis no mercado.

Uma medida que deve ser considerada no imediato passa pela substituição de todas as lâmpadas por LED's (*Light Emitting Diode*), visto que estas constituem uma redução significativa no consumo de eletricidade do edifício, tendo também uma durabilidade consideravelmente superior às alternativas disponíveis



Figura 4.4 - Comparação da eficiência energética entre diferentes tipos de lâmpadas [45] e [46]

A figura 4.4 permite estabelecer uma comparação entre as diversas opções de lâmpadas disponíveis atualmente no mercado (ainda Halogéneo, CFL e cada vez mais LED's, estando já proibido o fabrico e venda das Standards), sendo desde logo evidente que as LED's são a opção a adotar quando se tem como principal objetivo a melhoria da eficiência energética. Atualmente, os LED's enquadram-se na classe energética A, sendo assim a opção energeticamente mais eficiente, permitindo uma poupança de energia na ordem dos 80% quando comparado com as soluções menos eficientes: lâmpadas incandescentes (Standards) que ainda são utilizadas, sobretudo, nalgumas habitações antigas.

Adicionalmente, um dos aspetos onde é sentida uma maior diferença entre as LED's e as lâmpadas fluorescentes compactas (CFL), utilizadas atualmente no edifício é ao nível da durabilidade que acaba por ser mais de duas vezes superior nas LED's (entre 15 e 25 anos) quando comparadas com as lâmpadas fluorescentes (entre 6 a 10 anos).

Atualmente, cada vez mais se faz uso dos chamados sistemas de ajuste/controlo de luminosidade (comummente designados por "*dimming systems*"), permitindo assim ao utilizador um ajuste manual ou automático da luminosidade em função da ocupação, do horário de funcionamento, da quantidade de luz natural, entre outros. De entre as várias funcionalidades que permitem um controlo da iluminação num dado espaço, são de destacar os seguintes:

- Controlo em função da ocupação – permite ajustar o nível de luminosidade em função do número de ocupantes num determinado espaço;
- Controlo horário – permite controlar o nível de luminosidade em função dos períodos horários, diários, semanais, mensais ou anuais;
- Controlo de luz natural – permite ajustar o nível de luminosidade artificial automaticamente em função da luz natural existente num espaço num dado momento;
- Controlo misto e ou personalizado – possibilita ao utilizador combinar um conjunto de critérios pessoais de acordo com as suas necessidades ou preferências.

De entre as alternativas apresentadas, existem duas que seriam bastante interessantes de estudar. A primeira passa pela aplicação de sensores de presença ou detetores de ocupação em locais apropriados, implementando assim um sistema que funcionasse por deteção de movimento ou em função do nível de ocupação de um determinado espaço. Uma outra alternativa, seria a introdução de sistemas de regulação da quantidade da luz artificial em função da quantidade de luz natural disponível num determinado espaço, regulando assim a luminosidade artificial em função das necessidades e dos níveis de conforto dos utilizadores.

Qualquer uma destas soluções associada à substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, constituirá uma mudança significativa no desempenho energético do edifício, combinando assim a longevidade e eficiência de ambos os equipamentos (sensores/detetores e LED'S). É possível obter uma poupança energética na ordem dos 50% [47].



Figura 4.5 - Detetor de ocupação e sensor de nível de luz, respetivamente [48]

Uma vez que no momento em que este estudo foi realizado, não foi disponibilizado nenhum *software* que possibilitasse a realização de simulações dinâmicas para aferir a viabilidade da introdução das diferentes soluções propostas (como por exemplo o *DesignBuilder* ou o *EnergyPlus*), foi necessário realizar uma estimativa que permitisse assim ter uma ideia global do impacto das medidas em causa.

Como já foi referido previamente, o edifício em estudo é um estabelecimento de ensino superior, contendo assim diferentes áreas, de entre as quais se destacam sobretudo as salas de aula e os gabinetes. Estas duas tipologias, segundo os regulamentos em vigor, admitem equipamentos com uma densidade de potência máxima de 15 W/m² e 10 W/m² respetivamente (consultar figuras 3.6 e 3.7).

Atualmente as lâmpadas fluorescentes, ainda utilizadas no edifício, consomem cerca de 42 W (valor unitário), a sua substituição por LED's permite reduzir este consumo em aproximadamente 3 vezes, visto que as LED's que possibilitam desempenhar essa mesma função consomem somente cerca de 15 W (também valor unitário).

1) Comparação entre lâmpadas fluorescentes e LED's

De forma a poder tecer uma comparação realista do impacto da substituição das lâmpadas, foi necessário realizar uma pequena pesquisa de mercado, tendo-se optado pela escolha de lâmpadas da mesma marca, por forma a aferir um conjunto de valores, como por exemplo, preços, consumos, emissões de carbono entre outros.

- LED selecionada: Philips CorePro LEDtube 1200mm 14.5W 840 [49];
- Lâmpada fluorescente: Philips Master TL-D Super 80 36W/840 1SL/25 [49];
- Preço kWh: 0,087 € (valor médio calculado com base na fatura elétrica de 2018);
- Carbono libertado por kWh estimado com base no site e-emission.

Na realização destes cálculos considerou-se unicamente um espaço, como por exemplo uma sala de aula, tendo-se assumido que para a iluminação do mesmo seriam necessárias 12 lâmpadas e que as mesmas seriam ativadas em média 4 vezes por dia, tendo um período de funcionamento de 90 minutos.

	Lâmpada fluorescente	LED
Preço (€)	1,43	6,30
Duração (horas)	15000	30000
Consumo (W)	42	15
Custo por kWh (€)	0,087	
Carbono libertado (kg)	0,489	

Balanço após 1 ano		
Consumo (€)	99,34 €	35,48 €
Lâmpadas (€)	3 €	6 €
Total (€)	102,34 €	41,48 €
Carbono libertado (kg)	539,74 kg	192,76 kg

Tabela 4.3 - Comparação entre lâmpadas fluorescentes e LED's

A utilização de LED's, ao invés das lâmpadas fluorescentes, permite uma poupança anual na ordem dos 76 €. Tendo em conta que a comparação acima descrita contempla apenas os resultados que serão obtidos num único espaço, a substituição de todas as lâmpadas fluorescentes por LED's, em todo o edifício, constituirá uma mais-valia bastante significativa.

Um outro aspeto que também contribui para uma maior poupança económica e um menor desperdício energético está relacionado com a elevada longevidade das LED's que, para o exemplo acima referido, levarão apenas à necessidade de fazer a substituição das mesmas em média 0,05 vezes ao ano (1/20 anos), ao invés das lâmpadas fluorescentes que teriam de ser substituídas cerca de 0,125 vezes ao ano (1/8 anos). Adicionalmente, e de um ponto de vista mais concentrado na preservação do meio ambiente, a utilização das LED's permitiria reduzir aproximadamente 347 kg em emissões de carbono. Novamente também estes valores têm apenas em consideração um único espaço, pelo que este valor será manifestamente superior quando considerado o edifício na sua totalidade.

2) Utilização de dispositivos de controlo de iluminação

O impacto que a introdução desta medida irá surtir no desempenho energético do edifício, apenas pode ser corretamente avaliada com recurso a um *software* de simulação dinâmica, que permite modelar um conjunto de diferentes situações e aferir assim se a sugestão em causa é de facto merecedora de ser considerada numa eventual melhoria do edifício. Contudo, na impossibilidade de realizar tal estudo, foi apenas possível avaliar esta sugestão com base no consumo médio e no custo económico associado aos equipamentos.

A tabela 4.4 permite ter uma ideia geral dos custos e dos consumos associados aos equipamentos considerados para esta solução, tendo-se optado por analisar três tipos distintos de dispositivos. Os dados apresentados na tabela 4.4 dizem respeito apenas ao consumo e preço unitário de cada um dos equipamentos, podendo, no entanto, as características dos equipamentos ser consultadas com maior detalhe em [50]. O custo dos equipamentos em causa não contempla ainda a mão de obra necessária para a instalação dos equipamentos. Contudo, não se trata de um fator determinante para o estudo em causa.

Equipamento	Custo do equipamento	Consumo em suspenso
Sensor de ocupação (de parede)	100,67 €	0,2 W
Sensor de regulação em função da luz solar (de teto)	98,66 €	0,8 W
Sensor de ocupação de duplo funcionamento (infravermelho e ultrassom, de teto)	91,73 €	0,5 W

Tabela 4.4 - Preços de aquisição e instalação dos equipamentos de regulação de iluminação [50]

3) Utilização conjunta de lâmpadas LED e dispositivos de controlo de iluminação

A utilização de dispositivos de regulação de iluminação associada à substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED's será, sem dúvida, a alternativa que constituirá uma maior aposta na eficiência energética do edifício, no capítulo da iluminação. Como tal, será de todo o interesse fazer uma aproximação o mais possível da realidade das condições e equipamentos de iluminação existentes no mesmo.

Após a consulta de alguns trabalhos, verificou-se que existem cerca de 490 luminárias em todo o edifício, contendo cada uma destas 2 lâmpadas TLD ou TC-D. Contudo, considerou-se então que no total seriam necessárias cerca de 700 lâmpadas para a correta iluminação do espaço, uma vez que algumas das zonas consideradas não são de todo relevantes para este estudo como por exemplo casas de banho, zonas de arrumos, casas de máquinas entre outros. Foi ainda considerado que o edifício é utilizado ao longo de 261 dias, descartando assim os períodos de encerramento para férias, domingos e feriados. Quanto aos espaços considerados para a utilização dos dispositivos de regulação de iluminação, foram apenas contabilizados espaços como salas de aula, salas de estudo e laboratórios (27 zonas no total).


Comparação anual		
Custos	Lâmpadas LED	Lâmpadas fluorescentes
Custo total	1 431 €	4 006 €
A substituição gera uma mais-valia de 2 576 €		
Equipamentos	Custo total de aquisição	Balanço final
Sensores de ocupação	2 718 €	(-) 143 €
Sensores de reg. em função luz solar	2 664 €	(-) 89 €
Sensores de ocupação de duplo funcionamento	2 477 €	(+) 98 €

Tabela 4.5 - Balanço final após subt. das lâmp. e aquisição de equip. de regulação de iluminação

A estimativa apresentada acima (tabela 4.5), apesar de ser algo simplista, uma vez que não contempla todos os pormenores envolvidos nos custos e consumos da iluminação do edifício, permite ter uma ideia global dos custos incorridos na substituição e instalação de novos equipamentos para a regulação da iluminação.

A principal conclusão que é possível retirar deste exercício prende-se com o facto de que a simples substituição de todas as lâmpadas fluorescentes por lâmpadas do tipo LED possibilita gerar uma mais-valia, comparativamente à alternativa atualmente em vigor que, por si só, é praticamente suficiente para investir na aquisição e instalação de equipamentos de regulação de iluminação, sendo que uma correta utilização destes irá também promover um consumo mais regrado e eficiente da energia elétrica consumida no edifício.

4.1.3 – Sistema de climatização

O sistema de climatização e ventilação atual, como foi descrito anteriormente, é apenas constituído por um sistema de aquecimento central e um conjunto de unidades *split*. No período de Verão, atualmente, apenas seria possível obter ventilação ambiente com recurso ao arrefecimento via “free cooling”, solução essa que não é aproveitada, pois, durante o período noturno, está tudo fechado por questões de segurança. Atualmente, o sistema de climatização instalado no edifício apresenta a seguinte disposição:

Bloco	Equipamento	Piso	Funcionalidades
Norte	UTV 1	4	✓ Insuflação ✓ Recirculação
	UTV2	3	✓ Insuflação ✓ Recirculação
	UTV 3	2	✓ Insuflação ✓ Recirculação ✓ Extração (VE2) Lab. Maquinas
Central	UTV 4 (ala norte)	1	✓ Insuflação
		2	✓ Recirculação
		3	✓ Extração (VE4 e VE6) Bar, Armazém de Lab e posto médico
		4	
	UTV 5 (ala sul)	4	✓ Insuflação ✓ Recirculação ✓ Recuperação térmica
Sul	UTV 6 (ala sul)	3	✓ Insuflação ✓ Recirculação
		2	✓ Insuflação ✓ Recirculação
	UTV 8 (ala sul)	1	✓ Insuflação ✓ Recirculação
		4	✓ Insuflação ✓ Recirculação ✓ Extração (VE5) Armazém
Sul	UTV 10	3	✓ Insuflação ✓ Recirculação ✓ Recuperação
		2	✓ Insuflação ✓ Recirculação
	UTV 11	2	✓ Insuflação ✓ Recirculação
		1	✓ Insuflação ✓ Recirculação

Tabela 4.6 - Disposição e características do sistema de climatização

Desta forma, será sempre interessante estudar até que ponto a introdução de um sistema de climatização central, para aquecimento e arrefecimento, melhorará o desempenho energético do edifício. Inclusivamente, esta solução que, esperamos, será implementada num futuro próximo, tornará desnecessária a utilização de equipamentos individuais de climatização como é o caso das unidades *split*. Contudo, também é necessário ter em atenção que a introdução de um sistema de climatização como o que foi referido implicará sempre um avultado investimento económico com um período de retorno significativo.

A reformulação do sistema de climatização pode ser realizada de diversas formas, uma vez que existem bastantes aspetos que influenciam o seu funcionamento e desempenho. De seguida, será analisado um conjunto de alternativas que, diretamente ou indiretamente, irão melhorar não só o aproveitamento energético do edifício como também reduzir os custos incorridos na utilização e manutenção dos equipamentos em causa.

A) Substituição das caldeiras

A substituição das caldeiras, utilizadas no edifício para o aquecimento, será, à partida, uma mais-valia uma vez que estas funcionam a Gás de Petróleo Liquefeito (GPL) estando também preparadas para receber gás natural. As duas caldeiras, Ignis NAR 200, são responsáveis pela climatização de todo o edifício. No entanto, atualmente, apenas uma das caldeiras se encontra em funcionamento, não sendo por isso surpreendente que vários docentes e utilizadores do edifício refiram que o sistema de climatização em vigor não é de todo adequado, visto que algumas áreas são preferencialmente aquecidas enquanto outras divisões, como por exemplo as salas de aula não são corretamente climatizadas.

A validade desta alternativa está dependente acima de tudo da viabilidade económica da substituição das caldeiras, sendo uma medida vantajosa que permitirá eliminar a produção de gases de combustão, com base nas novas fontes de energia renovável. Um outro aspeto que também deve ser analisado e que contribui para a escolha dos equipamentos de climatização a utilizar, passa pelas necessidades de manutenção destes equipamentos e, inevitavelmente, pelos custos associados aos mesmos.

A alternativa mais energeticamente eficiente para a substituição das caldeiras a gás será a implementação de um campo solar térmico no espaço disponível na cobertura em conjunto com uma bomba de calor (para aquecimento) e a utilização de um *chiller* de absorção associado também à bomba de calor (para arrefecimento). Alternativamente seria também possível utilizar um sistema que assentasse na utilização de equipamentos/unidades multifuncionais que providenciassem tanto aquecimento como arrefecimento, sendo assim possível dar resposta às necessidades de aquecimento e arrefecimento. Estas opções poder-se-iam apresentar como soluções bastante interessantes para espaços de grandes dimensões que compreendam uma vasta gama de diferentes tipologias, sendo por isso mesmo uma solução que geralmente é utilizada em espaços como hotéis, hospitais ou outros edifícios de grandes proporções.

➤ *Chiller*

Trata-se de uma máquina frigorífica que quando aplicada aos sistemas de climatização (ar-condicionado) tem como principal função arrefecer o ar ambiente, sendo usado regularmente em espaços bastante movimentados e com uma ocupação considerável.

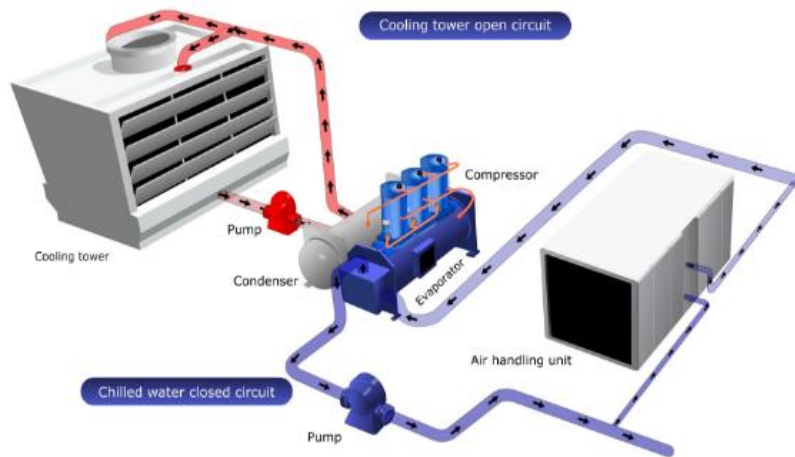


Figura 4.6 - Funcionamento de um *chiller* de climatização [51]

O funcionamento do *chiller* assenta num processo de refrigeração em que o ar quente ambiente é retirado e colocado em contacto com água, ou com um outro fluido circulante refrigerante, a temperatura inferior baixando assim a temperatura do ar que é libertado.

A figura 4.6 permite ter uma ideia geral dos componentes envolvidos no funcionamento de um *chiller* e do percurso que é efetuado por forma a refrigerar o ar ambiente. Este processo inicia-se no compressor que ao incrementar a pressão permite que o líquido refrigerante flua desde o recetor até à válvula de expansão. De seguida a válvula de expansão conduz o fluido refrigerante até ao evaporador, onde ocorre a transição de fase do fluido refrigerante para a forma gaseificada, entrando assim em contacto com a água presente na serpentina onde se dá então a troca de calor entre ambos. Seguidamente o gás refrigerante (a uma temperatura e uma pressão mais baixa) sai do evaporador e passa para o compressor (saindo a uma temperatura mais elevada e a alta pressão) sendo então conduzido até ao condensador onde é arrefecido (por intermédio da água de condensação) até condensar, retornando assim ao recetor sob a forma líquida. No final deste processo a água de condensação é conduzida até à torre de arrefecimento.

A utilização de um *chiller* traz vários benefícios, uma vez que quando combinado com outros equipamentos de ar-condicionado permite, por exemplo: controlar a temperatura e a humidade relativa, filtrar e renovar o ar, entre outros. Adicionalmente trata-se também de uma solução extremamente eficiente do ponto de vista energético, promovendo assim não só a redução dos custos económicos associados ao consumo de energia, mas também a redução das emissões de carbono.

➤ Bomba de calor

Atualmente, é uma das soluções existentes no mercado mais eficientes para a produção de calor (energia térmica), sendo que o seu aproveitamento e funcionamento é acrescido sobretudo quando combinada com equipamentos/sistemas destinados à climatização. De uma forma bastante simplicista uma bomba de calor capta e transfere o calor existente no ar para um sistema hidráulico que se encarrega do aquecimento e arrefecimento, sendo por isso mesmo uma alternativa ideal para a substituição das atuais caldeiras. Adicionalmente, nos dias de hoje, existem também soluções que permitem não só substituir as caldeiras, mas também utilizar fontes de energia renováveis (solar e geotérmica, por exemplo) como forma de energia de apoio para o funcionamento destes equipamentos.

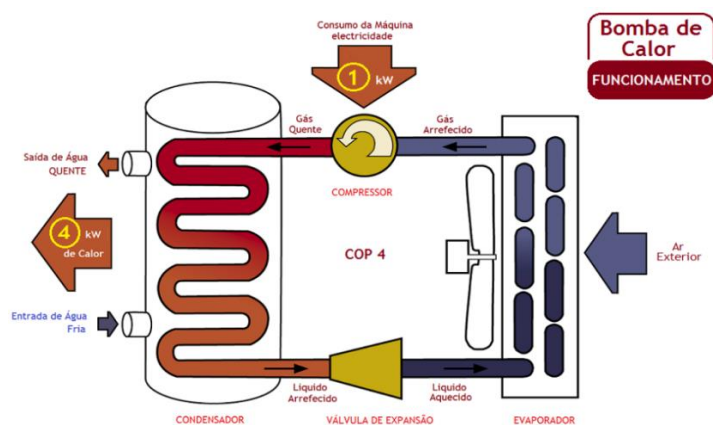


Figura 4.7 - Funcionamento de uma bomba de calor [52]

O funcionamento das bombas de calor consiste num ciclo frigorífico em que através das sucessivas mudanças do estado físico de um fluido circulante (fluido refrigerante), é possível realizar a transferência de calor entre este e o meio ambiente.

A figura 4.7 exemplifica de forma sintética o processo de funcionamento de uma bomba de calor, em que o fluido refrigerante presente na bomba de calor capta o calor (bastante baixo) existente no ar do meio ambiente e evapora a baixa temperatura e pressão, passando em seguida para o compressor (já sob a forma gasosa) onde é comprimido, elevando assim a sua temperatura e pressão. De seguida dá-se o processo de condensação em que é produzido calor que será libertado para o exterior, sendo que simultaneamente a válvula de expansão gera uma perda de pressão, reduzindo assim a elevada pressão do fluido refrigerante e permitindo que o processo se volte a realizar sucessivamente.

A utilização de bombas de calor, para o aquecimento e arrefecimento, é uma alternativa interessante sobretudo do ponto de vista energético e ambiental, sendo que a sua utilização pode ser associada e/ou complementada com a utilização de energias renováveis (através da utilização de sistemas solares fotovoltaicos, por exemplo), sendo por isso mesmo bastante usadas em edifícios que são concebidos segundo o conceito do *NZEB*.

➤ Sistema de climatização solar

Uma alternativa bastante interessante a todos os níveis (económicos, energéticos e ambientais), seria a utilização de sistemas de climatização que tivessem por base o aproveitamento ativo da energia solar. Apesar da energia solar poder ser utilizada em duas vertentes distintas, fornecendo eletricidade a partir de coletores fotovoltaicos ou transformando-se em energia térmica através de coletores/painéis solares, este último método de utilização acaba por ser o mais estudado, sendo cada vez mais integrado nas novas tecnologias que vão sendo colocadas no mercado.

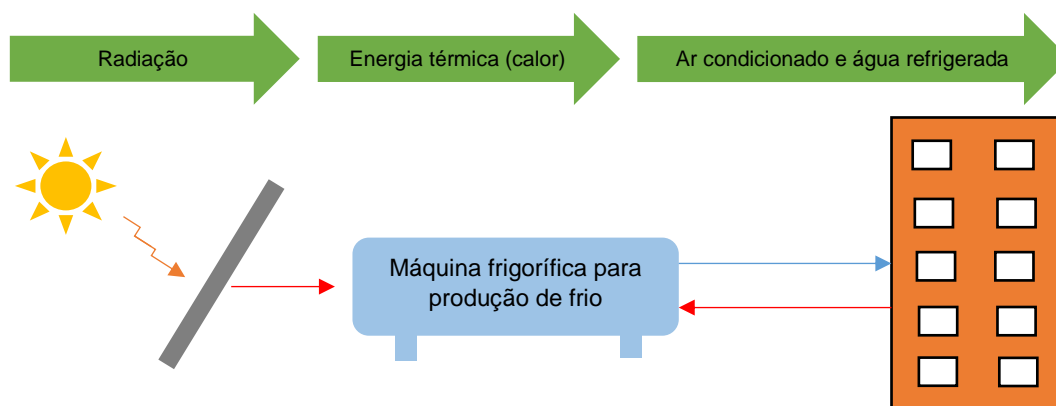


Figura 4.8 - Esquema ilustrativo do funcionamento de sistema de climatização solar

De uma forma bastante resumida o princípio de funcionamento de um sistema de climatização solar consiste na utilização de coletores solares por forma a captar a radiação solar que será então utilizada sob a forma de calor numa máquina frigorífica, como por exemplo um *chiller* de absorção, que, por sua vez, permite a produção de água refrigerada e do ar condicionado utilizado para a climatização do espaço em causa.

Uma solução que também tem vindo a ser bastante estudada nos últimos anos, sobretudo ao nível dos grandes edifícios, passa pela utilização conjunta das características solares e fotovoltaicas. Um exemplo da aplicação desta tecnologia é o sistema concebido pela *JOHNSON CONTROLS*, que permite uma recuperação do calor residual fotovoltaico, sendo assim possível converter cerca de 75% dos raios solares em energia [53].

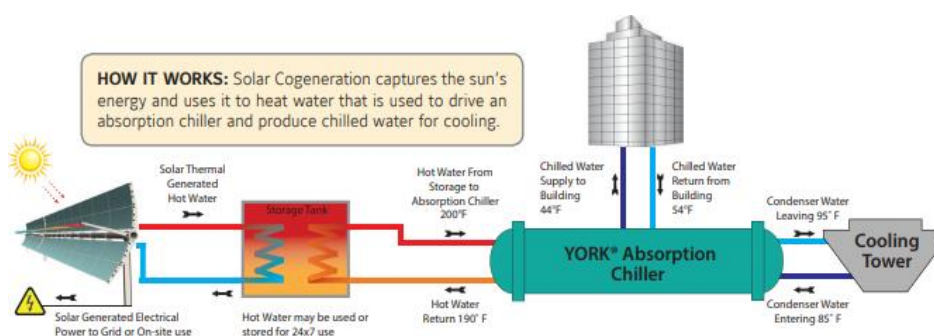


Figura 4.9 - Sistema solar de cogeração [53]

B) Substituição do combustível utilizado nas caldeiras

Considerando agora o sistema de climatização atualmente em vigor, é possível ter uma ideia geral do consumo e do custo associados à utilização da caldeira quando se consideram os valores lidos diretamente no *display* do contador. Apesar de não se tratar da melhor forma de avaliar o custo e o consumo da caldeira, foi a única alternativa encontrada visto que não existiam faturas que disponibilizassem esses valores.

2017										
Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN e JUL	SET	OUT e NOV	DEZ	Total
Leitura no contador (kWh)	34250	36905	37803	38112	38122	38112	38112	38685	39618	339749

Tabela 4.7 - Consumo da caldeira no edifício VIII do DEMI (em kWh)

A tabela 4.7 reflete o consumo de gás propano no edifício VIII do DEMI, verificando-se assim que no ano de 2017 foram consumidos cerca de 339,749 MWh, sendo que os meses que representam um maior contributo para o consumo total correspondem aos meses da estação de aquecimento, como já era esperado. O mês de agosto não consta nestes cálculos uma vez que nesse período o edifício não se encontra em funcionamento.

Fazendo uma breve pesquisa aos preços praticados atualmente no mercado verifica-se que o preço médio para o gás propano ronda os 0,16 €/kWh. Desta forma, o consumo anual de gás propano no edifício VIII do DEMI representa um custo total na ordem dos 54 360 €. Uma alternativa que também pode ser levada em consideração, ainda que não seja a solução mais vantajosa e impulsionadora da eficiência energética, passa pela substituição do gás propano por gás natural. Apesar do gás propano ter um poder calorífico (12,87 kWh/kg) superior ao gás natural (10,53 kWh/kg), sendo assim necessário consumir uma maior quantidade de gás natural por forma a obter o mesmo poder calorífico obtido por parte do gás propano, a diferença de preços praticados acaba por ser compensadora, tornando assim a utilização do gás natural uma alternativa mais apelativa.

Considerando que o consumo de gás natural ronda os 384,639 MWh e que o preço do gás natural ronda os 0,07 €/kWh, obtém-se um custo total anual de cerca de 26 924 €. Esta substituição traduz-se numa poupança anual significativa, cerca de 27 430 €, sendo que ainda que fosse necessário substituir parte dos equipamentos atuais, que só estão preparados para a utilização de gás propano, a mais-valia gerada seria suficiente para realizar as devidas alterações, podendo-se esperar uma recuperação do investimento relativamente célere. Estes cálculos podem ser observados com maior detalhe em anexo VI.

4.1.4 – Envolvente exterior

A envolvente exterior do edifício é, formalmente, de boa qualidade, mas há sintomas de má qualidade nalgumas superfícies exteriores com acumulação de negrume, devido à má agregação da humidade, e outros problemas similares, devendo esta ser reabilitada. No entanto, considerando apenas as soluções construtivas adotadas, pode-se considerar que a envolvente do edifício não é de todo desapropriada, permitindo inclusivamente perdas de energia relativamente baixas.

Tendo em conta que a reestruturação total da envolvente exterior do edifício iria implicar um esforço financeiro bastante avultado e que ao mesmo tempo seria um processo extremamente moroso, esta solução acaba por não constituir uma mais-valia significativa face ao estado atual do mesmo. Como tal, uma solução mais interessante passa pela utilização de um Isolamento Térmico pelo Exterior (ITE).

O sistema ITE é atualmente uma das soluções mais bem cotadas e reconhecidas nos meios da construção e reabilitação de fachadas de edifícios, sendo uma opção que não só permite a correção das patologias apresentadas, como também promove o incremento do conforto térmico dos utilizadores do edifício, diminuindo, entretanto, o consumo energético. Um outro aspeto positivo da utilização do ITE passa pela sua versatilidade, uma vez que tanto pode ser utilizado na construção de novos edifícios como na reabilitação de edifícios existentes. De uma forma geral, a utilização desta solução para a reabilitação da fachada do edifício promove uma série de vantagens como por exemplo: poupança de energia resultante da melhoria do comportamento térmico do edifício, redução de pontes térmicas, maior proteção face aos agentes atmosféricos, recuperação da estética do edifício, entre outras.

A aplicação do sistema ITE pode ser feita de diversas formas, consoante a situação em causa e a finalidade pretendida com a sua implementação. Uma das suas variantes, denominada por ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*), tem vindo a ganhar cada vez mais peso na reabilitação do parque edificado português, uma vez que se trata de uma forma eficaz e menos intrusiva (visto que é exclusivamente aplicada no exterior do edifício) de realizar as devidas alterações.

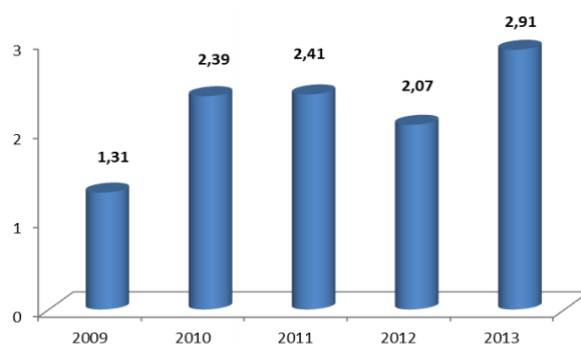


Figura 4.10 - Utilização do sistema ETICS em Portugal (milhões de m²)[54]

O sistema ETICS consiste num sistema de isolamento térmico pelo exterior em que o reboco é colocado diretamente sobre o isolamento, podendo esta solução ser utilizada na grande maioria das paredes de alvenaria, sejam elas de betão, tijolo ou pedra.

O funcionamento deste sistema consiste na utilização de um produto de colagem ou de um sistema de fixação mecânico sobre a camada de base/suporte do edifício por forma a fixar o isolante térmico, sendo este posteriormente revestido por uma rede de fibra de vidro, que tem como principal função incrementar a resistência mecânica da superfície, e pelos devidos acabamentos, sendo que estes para além da sua função estética também condicionam o comportamento do edifício face às ações externas a que este está sujeito, como a absorção de calor ou a fixação de poeiras e outros elementos, cuja acumulação pode resultar em diversos problemas, não só para a estética do edifício, mas também para a saúde dos seus ocupantes.

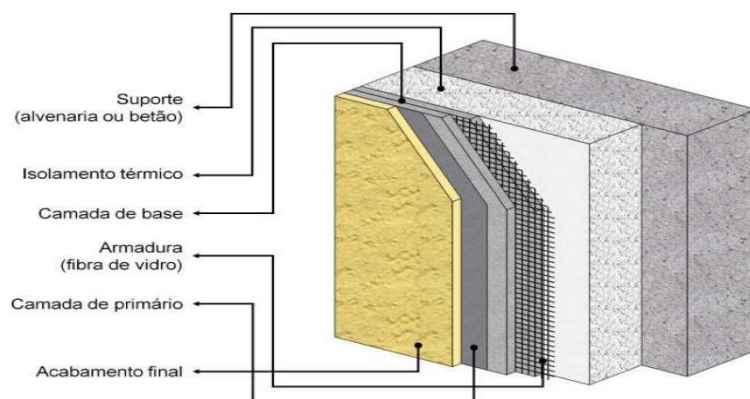


Figura 4.11 - Esquema de composição do sistema ETICS [54]

A utilização deste tipo de solução para a reabilitação da fachada do edifício será sempre uma opção interessante de analisar, visto que, se trata de uma alternativa que não só recolhe bastante reconhecimento no meio em causa, como também apresenta uma série de vantagens em vários aspetos relacionados com a eficiência energética do edifício e respetivos encargos financeiros. Contudo, a viabilidade desta alternativa está altamente dependente dos custos associados à sua implementação e aos respetivos ganhos (energéticos e económicos) que podem ser gerados pela mesma, uma vez que apesar da envolvente exterior do edifício se tratar de uma área que pode ser melhorada não é de todo a principal causa para a ineficiência energética do mesmo.

De forma a ter uma ideia mais concreta e realista do que esta alteração poderia provocar no desempenho do edifício, recorreu-se à utilização do *BuildDesk U*, que se trata de um *software* informático concebido com o propósito de ajudar a calcular a eficiência de energética de edifícios tendo em conta as regulamentações dos edifícios e os certificados de *performance* energética dos mesmos.

Este *software* permite a modelação de diversas componentes de um edifício, possibilitando o cálculo do valor U para componentes como paredes, telhados, pisos, entre outros, sendo assim possível verificar se as alterações na fachada do edifício constituiriam ou não uma melhoria significativa no desempenho do mesmo. Adicionalmente, é ainda possível realizar alguns outros testes, como por exemplo uma análise ao risco de condensação, ou uma análise à capacidade térmica.

O único inconveniente da utilização deste *software* prende-se com o facto de que o mesmo tenha sido concebido e aprovado em Inglaterra, tendo sido posteriormente aprovado em todo os países do Reino Unido e na República da Irlanda. Contudo, estando este de acordo com as normas *ANSI/ASHRAE Standard 140-2001* e *ISO*, é necessário ressaltar que os valores máximos que o *software* admite para o coeficiente global de transferência térmica (U) estão de acordo com os respetivos países. No entanto, e tendo em conta o propósito com que o *software* será utilizado, não se trata de um entrave para a sua utilização.

a) Modelos atuais

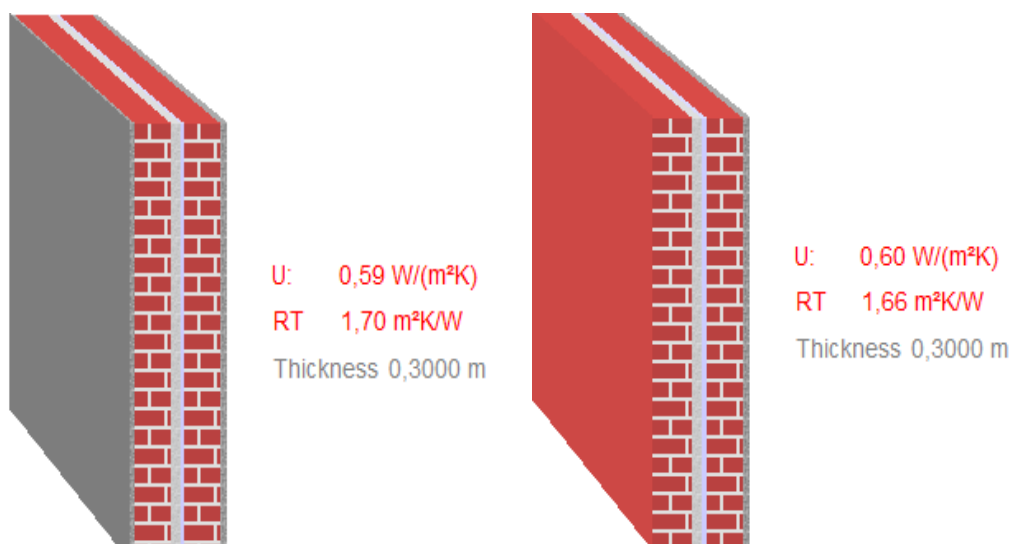


Figura 4.12 - Modelos atuais das paredes exteriores

Os modelos apresentados na figura 4.12, referentes ao estado atual da envolvente exterior do edifício são bastante consistentes, estando muito próximos da realidade, que já foi apresentada no ponto 3.1.1 do Capítulo 3, sendo que as discrepâncias apresentadas em relação a esses valores são muito pequenas, aproximadamente $0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$ para cada um dos casos. Contudo, seria benéfico fazer uma biopsia às paredes do edifício por forma a verificar realmente qual a composição das mesmas, uma vez que nos trabalhos previamente realizados existem algumas disparidades quanto à sua composição (sobretudo na zona de tijoleira).

Os modelos que serão estudados possuem uma constituição bastante semelhante entre eles, sendo compostos por uma camada de reboco interior de $0,02 \text{ m}$, seguida de um pano de alvenaria em tijolo cerâmico furado de $0,22 \text{ m}$. A principal diferença será a espessura da camada de isolamento exterior, em EPS, que irá variar entre $0,03$ e $0,1 \text{ m}$. Por fim, o

acabamento superficial será também ele em reboco, com uma espessura de 0.02 m, ou em tijoleira de barro vermelha, com uma espessura de 0,015 m, consoante a zona considerada.

b) Modelos em estudo

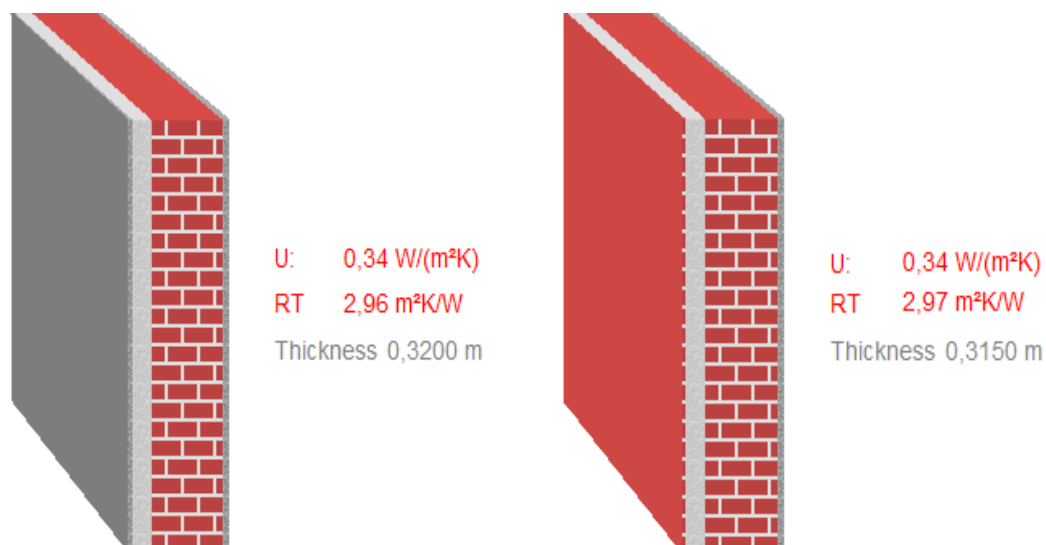


Figura 4.13 - Modelos das paredes exteriores com isolamento exterior em XPS de 0,06m

Zona considerada	Exterior revestido por reboco			Exterior revestido por tijoleira		
	U W/(m²K)	RT m²K/W	Dimensão m	U W/(m²K)	RT m²K/W	Dimensão m
Parede dupla	0,59	1,70	0,3000	0,60	1,66	0,3000
Etics 3cm	0,54	1,85	0,2900	0,54	1,86	0,2850
Etics 6cm	0,34	2,96	0,3200	0,34	2,97	0,3150
Etics 10cm	0,22	4,45	0,3600	0,22	4,45	0,3550

Tabela 4.8 - Valores obtidos para os modelos estudados

Com base nos resultados obtidos através das simulações, é possível constatar que a utilização do sistema ETICS só se revela vantajosa quando são consideradas espessuras de isolante superiores a 3 cm, sendo que valores inferiores a este, apesar de apresentarem um coeficiente de transferência térmica inferior aos das paredes duplas, são manifestamente curtos, não constituindo assim de todo uma melhoria significativa.

Atendendo agora aos valores obtidos quando consideradas maiores espessuras de isolamento térmico é possível verificar que, por exemplo, para 6 cm de isolamento térmico exterior em EPS o valor do coeficiente de transferência térmica diminui quase para metade em relação ao observado nas paredes duplas, sendo que, como seria expectável, à medida que se aumenta a camada de isolante aplicado também o valor do coeficiente de transferência térmica vai diminuindo. O último modelo simulado, em que foi considerada uma camada de isolante de 10 cm, apresenta valores para o coeficiente de transferência térmica bastante inferiores aos verificados atualmente, apresentando uma redução para o valor do coeficiente U na ordem dos 63%.

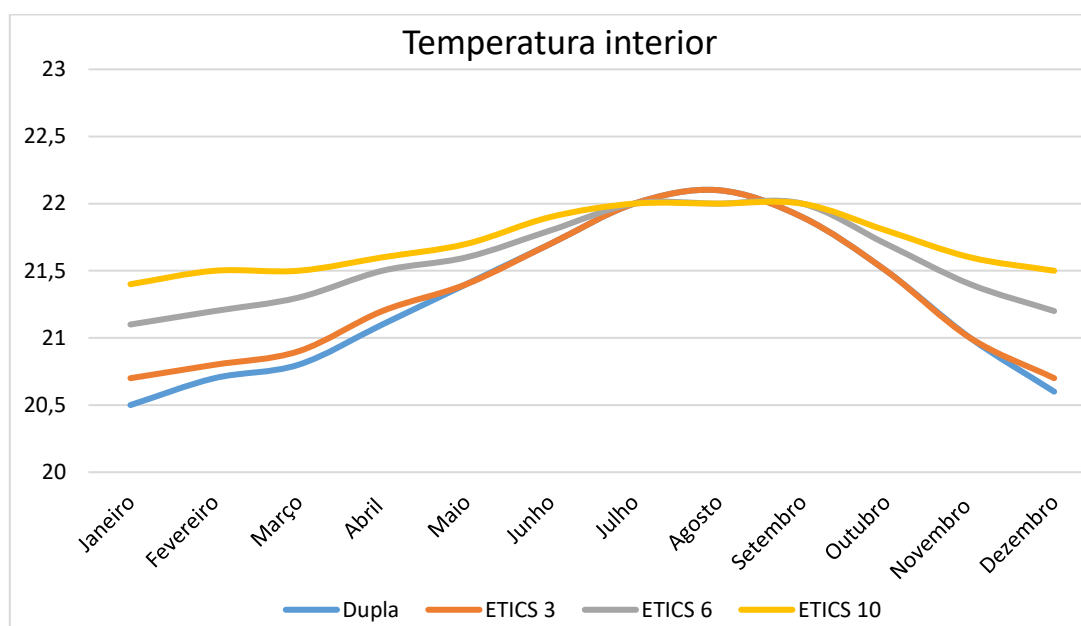


Figura 4.14 - Variação anual da temperatura interior em condições ideais

A figura 4.14 permite ter uma ideia, ainda que não nas condições reais de funcionamento, da capacidade térmica de cada um dos casos analisados. Assumindo que ao longo do ano a temperatura ideal de conforto térmico ronda os 22°C e considerando os dados climatológicos existentes para a região de Almada [55], é possível constatar que a solução ETICS com 10 cm de espessura possibilita que seja mantida uma temperatura mais constante no edifício ao longo de todo o ano, sendo que no período de inverno (estação de aquecimento onde existe uma maior dependência do sistema de climatização) é possível ganhar em média um 1°C em relação ao modelo utilizado atualmente.

No entanto, apesar de se tratar de uma melhoria em relação ao sistema utilizado atualmente, é necessário analisar se o ganho gerado é compatível com o investimento que terá de ser feito por forma a realizar tais alterações.

Tomando como exemplo a configuração de uma das paredes exteriores do edifício revestidas por reboco e considerando que seria aplicada esta solução, é possível constatar que

a introdução da mesma resultaria numa mais-valia significativa. A estimativa abaixo apresentada pretende apenas dar uma ideia mais concreta e tangível do impacto que esta alteração traria ao edifício, sendo que os valores apresentados não contemplam todos os fatores envolvidos nas perdas térmicas da envolvente exterior, baseando-se apenas nas perdas térmicas associadas às paredes exteriores da envolvente.

Por forma a avaliar a mais-valia gerada por estas soluções recorreu-se à metodologia utilizada no REH por forma a quantificar a parcela de calor perdido por parte das paredes exteriores. O exemplo apresentado na tabela seguinte contempla uma área de aplicação de 100 m², tendo-se ainda verificado que para a localidade em causa o número de graus-dias é de 1160°C. dias.

	U (W/(m ² K))	Área (m ²)	€/Kwh (€)	Graus-dias (°C. dias)	Custo (€)
Parede dupla	0,59	100	0,087	1160	142,9
ETICS 3cm	0,54	100	0,087	1160	130,8
ETICS 6cm	0,34	100	0,087	1160	82,4
ETICS 10 cm	0,22	100	0,087	1160	53,3

Tabela 4.9 - Custos associados à fachada atual versus custos com a utilização do ETICS

Com a aplicação do sistema ETICS é possível verificar que para qualquer uma das soluções em análise é possível reduzir os custos incorridos. Contudo, esta redução tem um maior impacto quando consideradas espessuras de isolamento na ordem dos 6 a 10 cm. Considerando que a aquisição e aplicação do sistema ronda os 25 € por m², o exemplo apresentado implicaria um investimento de cerca de 2.500 €, sendo que a recuperação do mesmo seria bastante demorada.

Contudo, uma medida de fácil implementação e que promove uma melhoria significativa não só do ponto de vista estético do edifício, mas também do ponto de vista estrutural e funcional do mesmo, passa pela utilização de tintas antifúngicas e/ou tintas anti algas no exterior do edifício por forma a precaver o aparecimento de algumas das patologias que atualmente se encontram presentes no edifício e que já foram previamente referidas no texto acima.

Em contrapartida, os elementos construtivos menos bem conseguidos no edifício, no que à envolvente exterior diz respeito, e que deve ser alvo de uma reformulação, são os envidraçados que constituem o principal responsável pela maioria das perdas energéticas ao nível da envolvente exterior, sobretudo na estação de aquecimento.

Como já foi referido previamente, no momento atual existem dois tipos distintos de tipologias de vãos envidraçados no edifício. Apesar de em ambos os casos serem utilizadas caixilharias de alumínio, apenas as zonas administrativas e dos gabinetes dos docentes são compostas por vidros duplos, sendo que a grande maioria do edifício é constituído por envidraçados simples como são os casos das salas de aulas, dos laboratórios e das zonas de circulação comuns. Adicionalmente, com a exceção das zonas de circulação comuns, todo o edifício é ainda provido de uma proteção solar.

De forma a poder comparar o impacto que as modificações acima sugeridas iriam provocar no desempenho dos envidraçados, optou-se por utilizar o *software* de cálculo automático *WINDOW7*, que se trata de uma ferramenta de cálculo de acesso livre elaborada por parte da *Lawrence Berkley National Laboratory* (LBNL) e que permite obter as propriedades óticas e térmicas dos envidraçados e respetivos dispositivos de oclusão. Este *software* foi elaborado tendo por base a norma ISO 15099, sendo que, para além desta, possui ainda uma série de outras funcionalidades que têm vindo a ser atualizadas em função das constantes alterações às normas e regulamentos (a documentação técnica e certificação do *software* pode ser encontrada em [56]).

O *WINDOW7* apresenta uma interface bastante intuitiva e simples de utilizar, sendo o programa composto por uma série de “bibliotecas” repletas de informações que permitem ao utilizador ir criando, passo a passo, o envidraçado pretendido, uma vez que o banco de dados do *software* é bastante extenso e variado. É assim possível criar e avaliar uma grande variedade de soluções. Uma vez que as alterações que se pretendem estudar com este *software* são relativamente simples de implementar, foram então considerados um conjunto de dados como constantes no decorrer das simulações:

- Tipo de vidro – foi selecionado o modelo PLANITHERM Max (10mm e 6mm) da marca Saint Gobain, uma vez que a marca se encontra sediada na Europa e possui uma distribuidora em Portugal;
- Dimensões – considerado uma área de 4 m² (2m×2m);
- Tipo de envidraçado – foi considerado um envidraçado simples fixo;
- Condições ambientais – Selecionado o modelo CEN, aprovado segundo o Comité Europeu de Normalização.

As restantes variáveis envolvidas na simulação, como por exemplo, as proteções solares e a caixilharia, foram submetidas em função dos dados recolhidos e previamente apresentados.

A figura 4.15 permite visualizar o *layout* do *WINDOW7*, as áreas e os ícones de maior interesse encontram-se assinalados numericamente de 1 a 13. De seguida, serão apresentadas sumariamente cada uma destas e as suas funcionalidades.

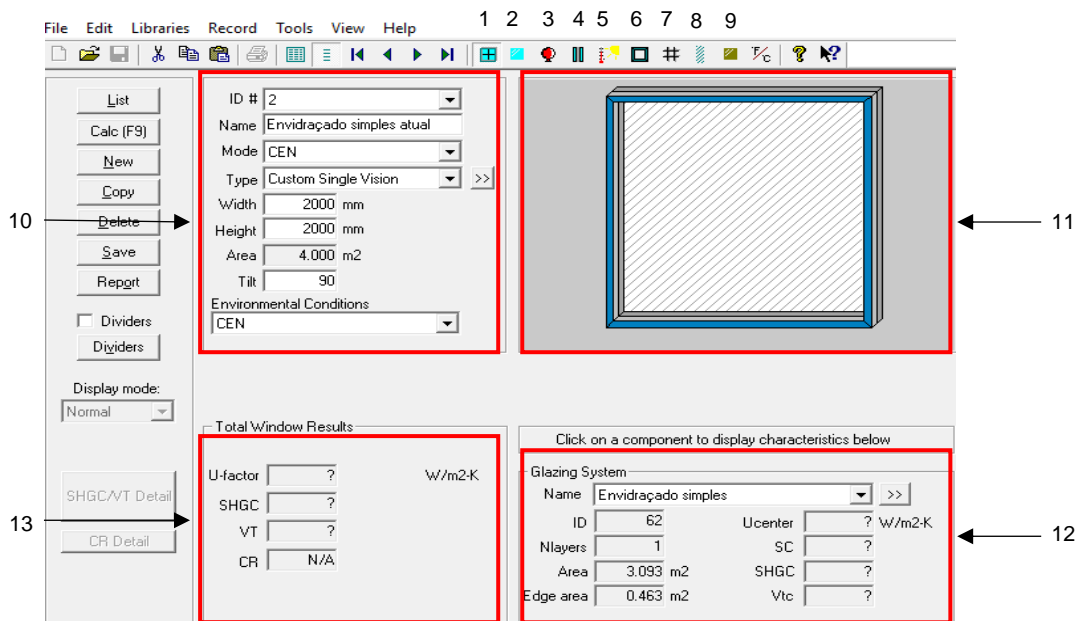


Figura 4.15 - Layout do software WINDOW

Os ícones assinalados na figura 4.15 de 2 a 9, permitem ao utilizadores aceder a cada uma das bases de dados que constituem o programa de forma a construir o envidraçado desejado. Sendo estas, respetivamente e por ordem crescente: tipo de vidro, gás utilizado entre camadas; sistema de envidraçado (simples, duplo, entre outros); condições ambientais; caixilharia; divisor do envidraçado em parcelas distintas; sombreamento e dispositivos de oclusão. O ícone assinalado com o número 1 permite ao utilizador regressar ao *layout* principal após navegar e seleccionar os elementos pretendidos entre as várias bibliotecas.

As áreas assinaladas de 10 a 13 na figura 4.15 possibilitam ao utilizador uma perceção global do sistema seleccionado no momento. A área indicada com o número 10 contempla as informações gerais, como as dimensões e as condições ambientais seleccionadas. A área assinalada com o número 11 permite ao utilizador observar uma representação do envidraçado em construção, sendo que ao pressionar cada um dos componentes do envidraçado (vidro, caixilharia, entre outros), é apresentado na zona indicada com o número 12 as principais propriedades de cada um destes elementos, em função das opções tomadas anteriormente em cada uma das bases de dados. Por fim, a região assinalada com o número 13 apresenta os resultados finais do sistema envidraçado modelado após seleccionar todos os elementos pretendidos.

De seguida, serão confrontados os resultados obtidos no decorrer das simulações realizadas. Primeiramente, será comparada a utilização de envidraçados duplos com a utilização de envidraçados simples. Em seguida será estudado o impacto da utilização de caixilharias em PVC em relação às atuais caixilharias em alumínio, sendo que nestes casos já serão considerados sistemas de envidraçados duplos em ambos os casos.

- **Comparação entre envidraçados simples e duplos**

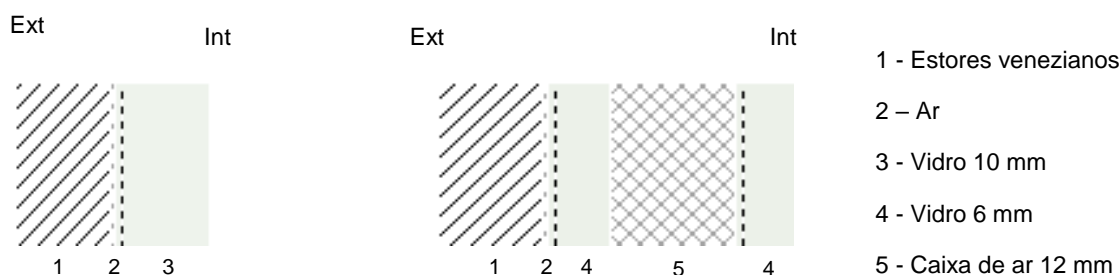


Figura 4.16 - Esquema representativo dos envidraçados simples e duplos

Ao introduzir as duas tipologias de envidraçados no *software*, é claramente notório que a utilização de um sistema de envidraçados com vidro duplo é mais benéfica que a utilização de um sistema composto apenas por um vidro simples.

Esta realidade é comprovada sobretudo ao analisar os valores do coeficiente global U em ambas as situações, sendo que a utilização de um sistema de envidraçados com vidro duplo permite reduzir em mais de metade a perda de calor ($2,2 \text{ W/ m}^2\text{K}$) quando comparado com a alternativa atualmente mais utilizada no edifício ($5,0 \text{ W/ m}^2\text{K}$). Adicionalmente, é ainda possível observar os valores referentes aos coeficientes de ganho de calor solar (SHGC) e à transmissividade visível (VT) em ambos os casos, valores esses que variam entre 1 e 0.

O SHGC é um coeficiente que permite avaliar a qualidade do envidraçado, no que diz respeito à absorção e transmissão de calor para o interior do espaço, sendo que quanto menor for este valor melhor é a qualidade do envidraçado, uma vez que a quantidade de calor transmitido também é menor. Neste caso particular, o envidraçado duplo apresenta um valor ligeiramente inferior ao envidraçado simples (0,582 e 0,660 respetivamente).

O coeficiente VT é bastante importante, uma vez que avalia a quantidade de luz solar na banda visível que atravessa um envidraçado, sendo que quanto maior for este coeficiente melhor, uma vez que uma correta utilização dos sistemas envidraçados permite poupar na utilização de eletricidade. Neste caso, a utilização de vidros duplos não se revela mais vantajosa do que apenas um vidro simples (0,685 e 0,771 respetivamente)

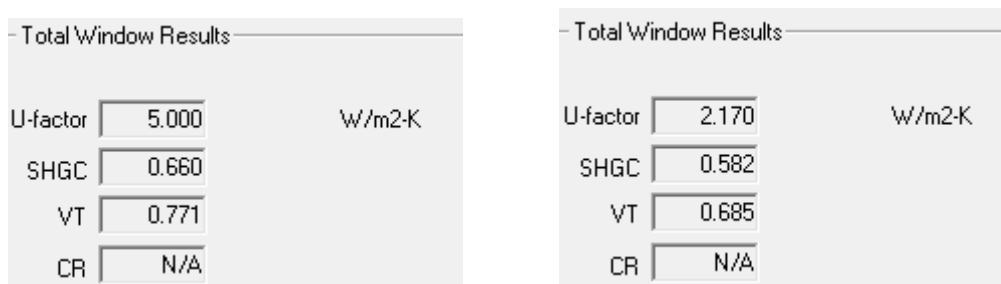


Figura 4.17 - Comparação entre utilização de envidraçados simples e duplos

- **Comparação entre caixilharias em alumínio e PVC**

A utilização de caixilharias em PVC é uma solução que, apesar de não ser recente, já é usada regularmente há mais de 50 anos, tendo vindo a ganhar cada vez mais interessados, especialmente nos mercados europeus.

Uma vez que na base de dados do *software* não existiam caixilharias em PVC foi necessário criar essa solução, tendo-se optado por seleccionar uma caixilharia de 70mm com um valor para o coeficiente de transmissão na ordem dos 1,1 W/m²K. Este coeficiente é simbolizado por U_f , sendo designado internacionalmente por “*U value of frame*”.

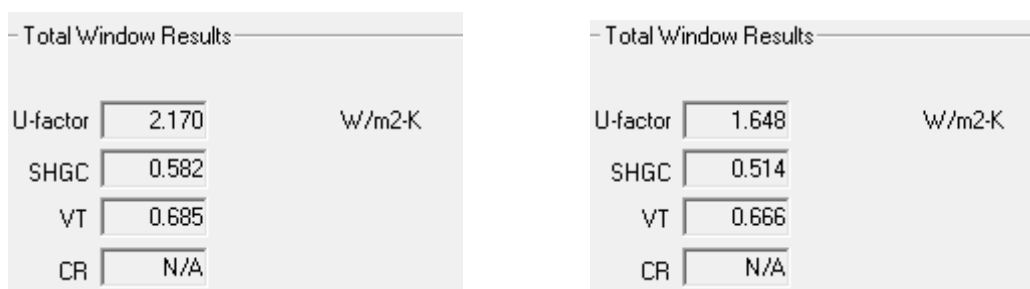


Figura 4.18 - Comparação entre utilização de caixilharias em alumínio e PVC

Ao comparar as duas soluções apresentadas, é notório que existe uma clara melhoria quando se utiliza uma caixilharia em PVC, sendo que esta é sentida com maior impacto ao nível do coeficiente global de transmissão do envidraçado, que passa dos 2,17 W/m²K da caixilharia em alumínio para os 1.65 da caixilharia em PVC. Os restantes valores apresentados nos resultados também apresentam ligeiras alterações, sendo que à semelhança do que sucedeu na simulação anterior, também os valores do SHGC e VT diminuíram em relação aos valores simulados para a caixilharia em alumínio, podendo-se igualmente retirar as mesmas conclusões que foram apresentadas no caso anterior em relação à sua importância e impacto no sistema envidraçado.

Considerando ambas as situações estudadas, torna-se claro que será bastante proveitoso substituir todos os sistemas de envidraçados atuais do edifício por sistemas de envidraçados de vidro duplo com caixilharia em PVC. A principal vantagem que se obterá com esta substituição será ao nível do coeficiente de transmissão global, que passará a ser cerca de três vezes menor em relação ao que se observa atualmente.

Um aspeto importante a ter em conta passa pelos custos incorridos na substituição dos atuais envidraçados. Dum ponto de vista a curto prazo, estas alterações iriam implicar sempre mais encargos económicos, não só pela substituição dos envidraçados, mas também pela substituição das caixilharias. No entanto considerando um espaço temporal mais alargado, este investimento poderá ser facilmente recuperado sobretudo se estes forem corretamente utilizados, podendo assim poupar-se nos custos associados à energia utilizada no edifício. Um

outro ponto que também pode contribuir para a rápida recuperação do investimento feito passa pelos custos associados à manutenção dos sistemas envidraçados, que seriam relativamente inferiores aos praticados atualmente, uma vez que se tratam de materiais bastante resistentes (mecânica e termicamente), possuindo assim uma longevidade considerável.

Adicionalmente, é também interessante ter em consideração que a utilização das caixilharias em PVC não só promove a eficiência energética do edifício, como também promove a sustentabilidade do meio ambiente, uma vez que se trata de componentes facilmente recicláveis e reutilizáveis.

Capítulo 5 – Análise económica da viabilidade das soluções

Após o estudo das soluções propostas no capítulo anterior, é necessário realizar um estudo à viabilidade das suas introduções no edifício. Desta forma, e como já tem vindo a ser mencionado por diversas vezes ao longo deste trabalho, a viabilidade das soluções propostas está fortemente associada à relação custo-benefício, sendo por isso de todo o interesse a utilização de indicadores financeiros que permitam aferir o impacto económico que essas medidas irão provocar.

5.1 – Indicadores contabilísticos utilizados

A utilização dos indicadores financeiros, que serão apresentados em seguida, é bastante relevante para a análise custo-benefício de um projeto, uma vez que permitem avaliar o impacto económico de um projeto, determinando assim se este é ou não viável do ponto de vista do bem-estar social. Este tipo de análise é particularmente interessante, uma vez que tem em consideração os efeitos externos e as flutuações dos preços, tendo assim em conta as imperfeições que são sentidas no mercado. A análise custo-benefício realizada assenta em três indicadores financeiros que são: o Valor Atualizado Líquido (VAL), a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) e o *Payback* (também designado por ponto de equilíbrio).

O VAL representa o valor presente de um projeto, sendo que o seu cálculo tem em conta os fluxos de caixa futuros gerados pelo investimento. Este valor é geralmente negativo a princípio, devido ao investimento, tornando-se positivo após alguns anos, em condições ideais. O VAL é dado pela fórmula (1), em que FC_t representa o fluxo de caixa do ano t , e i é a taxa de atualização. O valor mais comum utilizado para i é de 3,5%. A validade de um projeto avaliado por intermédio deste indicador é positiva quando $VAL > 0$, o que significa que o projeto em causa é rentável.

$$VAL = \sum_{t=0}^n FC_t (1 + i)^{-t} \quad (1)$$

O TIR representa o valor da taxa de juro, que nulifica o valor líquido atual do investimento. A fórmula do TIR (2) é bastante semelhante à do VAL, sendo que, neste caso, não é considerada uma taxa de atualização, mas sim uma Taxa de Rentabilidade Interna, (*Internal Rate of Return*, IRR). A avaliação que é feita com base no TIR, consiste na escolha de um valor limite para o TIR que viabiliza o projeto. Geralmente é utilizado o valor de 15%, sendo que qualquer projeto que não obtenha um valor maior ou igual ao definido deve ser recusado, uma vez que não se traduz num investimento rentável.

$$TIR = \sum_{t=0}^n FC_t (1 + i)^{-t} = 0 \quad (2)$$

O *payback* é um indicador que permite a uma empresa avaliar em que momento o investimento realizado se torna rentável, sendo que, nos primeiros tempos, os valores obtidos são sempre negativos, reflexo do investimento feito, melhorando progressivamente à medida que o tempo passa até atingir um valor nulo (ponto de equilíbrio) momento esse em que o projeto recuperou todo o investimento realizado, passando então a ser rentável. Apesar deste método ser bastante utilizado ao nível da matemática financeira, acaba por não ser muito consensual, uma vez que não tem em consideração o valor do dinheiro no tempo, sendo por isso, muitas vezes, utilizada uma variante deste método designada por *payback* descontado. Este último método é em tudo semelhante ao anterior, sendo que a única diferença entre os dois reside no facto de para este último caso ser utilizada uma taxa de desconto, também designada por Taxa Mínima de Atratividade, (TMA) antes de se proceder à adição de todos os fluxos de caixa.

$$\textit{Payback} = \text{N}^{\circ} \text{ anos até recuperar investimento total} + \frac{\textit{Custos no início do último ano de prejuízo}}{\textit{Fluxo de caixa do ano seguinte}} \quad (3)$$

5.2 – Condições base para o investimento

De forma a fazer uma correta avaliação da viabilidade económica das medidas propostas, é necessário estabelecer um conjunto base de valores, transversal a todas as soluções estudadas, como, por exemplo, o capital disponível para investir, as taxas de rentabilidade e amortização anuais, entre outras.

Como tal, em seguida apresentam-se as considerações que foram assumidas para a realização da análise económica realizada:

- Orçamento disponível para investir – 100 000 €;
- Taxa de atualização – 3,5% (valor praticado mais comum);
- Valor limite para o TIR – 20%;
- Período de análise² – 5 anos;
- Fluxo de caixa para os restantes anos – depende do projeto.

De seguida, serão apenas apresentados, de forma sucinta, os resultados obtidos fruto das devidas análises económicas a cada uma das soluções propostas, sendo que todo o processo de avaliação pode ser consultado em maior pormenor em apêndice E.

² O período de análise considerado para as sugestões propostas foi de 5 anos para todos os casos, com exceção das paredes opacas da envolvente exterior que foi de 10 anos, uma vez que a introdução desta medida iria implicar um período de implementação (e conseqüente retorno) bastante elevado.

5.3 – Análise económica

➤ Sistema solar térmico

Uma vez que a avaliação económica da introdução de um sistema solar térmico depende de vários fatores, foi considerado que a melhor solução para a realização desta análise seria a utilização dos valores obtidos no estudo económica efetuado pelo *SolTerm*. Como tal, foi assumido como valor de investimento o valor apresentado pelo *SolTerm* para a aquisição do sistema. Quanto ao retorno anual de cada sistema, considerou-se que este seria dado pela diferença entre os custos evitados em energia e os custos de manutenção e reparação (dados esses que são também passíveis de ser observados nos relatórios produzidos pelo *SolTerm*).

Sistema solar térmico composto por painéis F3-1				
VAL	TIR	Payback (anos)	Payback descontado (anos)	Validade da proposta
107 981 €	42,19%	4,11	5,1	Aceitar
Sistema solar térmico composto por painéis CRK-12				
VAL	TIR	Payback (anos)	Payback descontado (anos)	Validade da proposta
78 191 €	33,21%	5,08	6,10	Aceitar
Sistema solar térmico composto por painéis em Tinóx				
VAL	TIR	Payback (anos)	Payback descontado (anos)	Validade da proposta
98 577 €	41,53%	4,13	5,09	Aceitar

Tabela 5.1 - Resultados da análise ao sistema solar fotovoltaico

Como já era expectável, após as simulações dos diferentes sistemas solares térmicos, as melhores alternativas acabam por ser a utilização dos painéis F3-1 e IS-PRO 200 H Tinóx, pela ordem mencionada, visto que eram aqueles que permitiam obter uma maior quantidade de energia. Contudo, e apesar de ainda existir alguma diferença entre estes e o outro sistema também estudado, sobretudo ao nível do VAL e do TIR, qualquer uma destas alternativas acaba por ser sempre vantajosa, levando aproximadamente o mesmo tempo até se que recupere o investimento realizado.

➤ Sistema de Iluminação

As soluções propostas para o sistema de iluminação são compostas pela substituição das atuais lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, conjuntamente com a introdução de dispositivos de controlo de iluminação. Como tal, o investimento inicial considerado contempla estas duas componentes, sendo que o fluxo de caixa resultante considera apenas o retorno obtido pela substituição das lâmpadas, uma vez que não é possível estipular/quantificar ao certo o efeito provocado pela introdução dos dispositivos de regulação de iluminação.

Substituição lâmpadas + sensores de ocupação				
VAL	TIR	Payback (anos)	Payback descontado (anos)	Validade da proposta
30 756 €	111,81%	1,26	1,30	Aceitar
Substituição lâmpadas + sensores de regulação em função da luz solar				
VAL	TIR	Payback (anos)	Payback descontado (anos)	Validade da proposta
30 810 €	113%	1,25	1,29	Aceitar
Substituição lâmpadas + sensores de ocupação duplo funcionamento				
VAL	TIR	Payback (anos)	Payback descontado (anos)	Validade da proposta
30 997 €	117,30%	1,22	1,25	Aceitar

Tabela 5.2 - Resultados da análise ao sistema de iluminação

A análise económica ao sistema de iluminação revelou-se extremamente satisfatória, sendo que, para além de ser uma solução que permite melhorar a eficiência energética do edifício, é também uma solução simples de implementar e que permite recuperar rapidamente o investimento realizado.

De entre as três soluções apresentadas, aquela que constitui uma maior mais-valia é a introdução do sistema com os sensores de ocupação, principalmente porque se trata da solução que requer um menor investimento de entre as três. No entanto, não existindo forma de quantificar de facto o benefício gerado pelos diferentes sensores, qualquer uma das alternativas apresentadas é viável. Considerando um espaço temporal de cinco anos e partindo do princípio que o retorno obtido anualmente é sempre constante, os tais 2 576 € que resultam da poupança anual obtida pela substituição de 700 lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, seria esperado para qualquer um dos casos apresentados um fluxo de caixa positivo na ordem dos 13 000 € ao fim de um período de cinco anos.

➤ Sistema de climatização

As melhorias propostas ao nível do sistema de climatização focaram-se especificamente em dois aspetos:

1º - Preferivelmente, do ponto de vista energético e ambiental, a substituição integral das caldeiras por um sistema de climatização central, baseado em fontes de energias renováveis, que forneça aquecimento e arrefecimento;

2º - Provisoriamente, o aproveitamento e melhoria do sistema atualmente em utilização, alterando o tipo de combustível utilizado nas caldeiras a gás.

Na segunda proposta considerou-se que o investimento inicial, necessário para a alteração dos equipamentos existentes que apenas se encontram preparados para utilizar GPL, seria da ordem dos 50 000 € (valor obtido com base na consulta do documento [58]), sendo que o retorno anual considerado resulta da diferença entre o custo do GPL e do gás natural.

Chiller, bomba de calor e sistema de climatização solar				
VAL	TIR	Payback (anos)	Payback descontado (anos)	Validade da proposta
€	%	—	—	—
Substituição do GPL por gás natural				
VAL	TIR	Payback (anos)	Payback descontado (anos)	Validade da proposta
313 027 €	98,15%	1,41	1,46	Aceitar

Tabela 5.3 - Resultados da análise ao sistema climatização

Sendo o sistema de climatização do edifício um dos aspetos mais preponderantes no bem-estar e na despesa do mesmo, será sempre de maior interesse a realização de uma reestruturação ao atual sistema em utilização. No entanto, e visto que o presente trabalho tem como objetivo a proposta de soluções/melhorias que promovam a eficiência energética do edifício, não é possível realizar uma estimativa realista de todas as propostas que foram apresentadas ao longo do trabalho, uma vez que o estudo individual de cada uma destas sugestões seria extremamente extenso e demorado.

Contudo, e apesar da substituição do GPL por gás natural não ser de todo a medida que melhor promova a eficiência energética, não deixa de ser uma alternativa que acrescenta algum valor sobretudo do ponto de vista económico. As restantes sugestões propostas constituiriam à partida uma vantagem em relação ao sistema atual, promovendo a

racionalização energética e enquadrando-se no contexto *NZEB* que tem vindo a ganhar cada vez mais preponderância. No entanto, uma análise objetiva e coerente será sempre indispensável no que à introdução de qualquer uma destas sugestões diz respeito, uma vez que a sua aprovação estará sempre dependente do custo e retorno financeiros obtidos.

➤ Envolvente exterior

As soluções estudadas para a envolvente exterior incidiram em duas componentes: as paredes opacas e os vãos envidraçados. No primeiro caso foram abordadas duas soluções: a utilização do ETICS com diferentes espessuras de isolamento exterior e a utilização de tintas antifúngicas para a proteção da fachada do edifício. Neste caso, foi considerado que a aplicação do sistema ETICS rondaria os 25 €/m² e considerando que a área de aplicação seria de cerca de 730 m² (fruto da diferença entre a área bruta e a área útil), esta alternativa implicaria um investimento na ordem dos 18 250 €. Quanto ao retorno considerado, este resultaria da diferença obtida no custo anual do €/KWh em função do coeficiente global de transferência térmica da envolvente exterior.

Aplicação ETICS 3 cm				
VAL	TIR	Payback (anos)	Payback descontado (anos)	Validade da proposta
-14 415 €	-16,30%	—	—	Rejeitar
Aplicação ETICS 6 cm				
VAL	TIR	Payback (anos)	Payback descontado (anos)	Validade da proposta
926 €	4,26%	—	—	Rejeitar
Aplicação ETICS 10 cm				
VAL	TIR	Payback (anos)	Payback descontado (anos)	Validade da proposta
10 133 €	10,69%	27,03	—	Aceitar (médio/longo prazo)
Aplicação de tintas antifúngicas				
VAL	TIR	Payback (anos)	Payback descontado (anos)	Validade da proposta
€	%	—	—	Aceitar

Tabela 5.4 - Resultados da análise à componente opaca da envolvente exterior

A aplicação do sistema ETICS não se revelou particularmente vantajosa no período considerado para o estudo, sendo que a utilização de 10 cm de espessura de isolante exterior apenas se traduziria numa alteração satisfatória do ponto de vista da melhoria da eficiência energética do edifício, considerando um período de tempo mais alargado, como já era expectável. Contudo, e como já foi referido anteriormente, esta alteração implica um longo período de aplicação, como tal é também necessário ter este aspeto em atenção quando se procede à avaliação desta proposta. Sendo assim, e mesmo tendo-se obtido um valor para o TIR inferior ao estabelecido inicialmente, a aplicação do sistema ETICS com uma espessura de 10 cm de isolante exterior, acaba por ser uma solução interessante, sobretudo quando se

contempla um horizonte temporal mais alargado ao estimado inicialmente. Adicionalmente, uma medida que também incrementa a eficiência energética do edifício do ponto de vista da sua fachada, passaria pela utilização de tintas antifúngicas e/ou anti algas. Ainda que esta não se trate de uma solução definitiva ou que se traduza numa melhoria significativa, seria a opção mais viável visto que a sua aplicação resultaria sempre num benefício acrescido, principalmente em relação à manutenção da fachada do edifício.

A componente da envolvente exterior do edifício que trará um maior benefício do ponto de vista energético, considerando o espaço temporal em análise, seria a substituição de todos os envidraçados simples por envidraçados duplos. Tratando-se esta como uma medida relativamente simples de aplicar, o investimento considerado será unicamente o custo associado à substituição dos envidraçados simples. Considerando, preferivelmente, a substituição das atuais caixilharias de todos os vãos envidraçados, por caixilharias com vidro duplo, em PVC, ou em alumínio com bom corte térmico, ao investimento anterior será ainda acrescido o custo da substituição das caixilharias atuais.

Capítulo 6 – Conclusões

O sexto, e último capítulo deste trabalho, será exclusivamente dedicado à análise das propostas de melhoria estudadas e dos respetivos resultados obtidos ao longo do trabalho desenvolvido. Adicionalmente, será também realizado um balanço global ao trabalho desenvolvido, no qual será refletido sobre se os objetivos propostos aquando do início do mesmo foram alcançados, quais as principais dificuldades encontradas no decorrer da sua realização e possíveis sugestões para desenvolvimentos futuros.

6.1 – Considerações finais

Sendo o tema central do trabalho em causa o estudo e a proposta de melhorias a introduzir no edifício VIII do DEMI tendo em vista a promoção da eficiência energética, ficou bastante claro que, no momento atual, existem inúmeros aspetos que podem e devem ser alterados e/ou reestruturados em prol da melhoria da eficiência energética e do próprio desempenho do edifício. Esta ideia acabou por ir ao encontro daquilo que já era esperado aquando do levantamento de dados e estudo inicial do estado atual do edifício.

O edifício VIII do DEMI apesar de ser relativamente recente, completando no presente ano 21 anos desde a sua inauguração, espelha bem as constantes evoluções técnicas e tecnológicas que o setor energético tem vindo a provocar ao nível dos edifícios (de serviços neste caso em concreto), uma vez que não tendo sido alvo de qualquer alteração ou reestruturação significativa neste curto espaço de tempo, já pode ser considerado como ineficiente, apresentando um conjunto de debilidades e/ou imperfeições que não permitem que este se encaixe nos novos regulamentos e exigências energéticas, que são cada vez mais restritivas e rigorosas.

Após o estudo das sugestões propostas, foi possível concluir que de entre todos os elementos avaliados, o único que de facto não constituiria no imediato uma melhoria significativa da eficiência energética do edifício face ao investimento necessário para a sua implementação, sobretudo considerando um espaço temporal de curto a médio prazo, seria a reestruturação das soluções construtivas utilizadas na envolvente exterior (ETICS). Tendo-se inclusivamente confirmado as suspeitas levantadas no início do estudo, em que se considerou que esta seria a situação mais complexa de melhorar, uma vez que apesar de poder ser sempre aperfeiçoada, não é de todo desaproprada. No entanto, atendendo às particulares características que envolvem a reestruturação do elemento em causa, a aplicação do ETICS com uma espessura de 10 cm de isolante exterior acabou por ser considerada como uma medida benéfica, sobretudo no longo prazo. Considerando apenas um espaço temporal mais curto (5 anos), a única recomendação ao nível das soluções construtivas do edifício, irá passar

sempre pela prevenção e manutenção destas, podendo-se, no entanto, utilizar as chamadas tintas antifúngicas e/ou anti algas como forma de precaução, prevenindo assim a continua degradação destes elementos.

Em contrapartida, os vãos envidraçados, o outro elemento da envolvente exterior estudada, foram apontados desde o início do trabalho como sendo os elementos relativamente simples de substituir e que trariam um benefício energético significativo, especialmente considerando o rácio investimento-benefício. Não tendo sido possível quantificar a mais-valia gerada por estes elementos, é de ressaltar que a simples substituição dos envidraçados simples atuais de caixilharia em alumínio por envidraçados duplos com caixilharia em PVC, permitiria reduzir em mais de 3 vezes o coeficiente U , valor esse que certamente será significativo quando considerado o seu impacto em todo o edifício.

Entre todas as sugestões propostas, aquela que seguramente se encaixa mais no conceito *NZEB* é sem dúvida a introdução dos coletores solares, promovendo assim em simultâneo a utilização de energias renováveis e a redução dos consumos energéticos. Contudo, esta alternativa trata-se também daquela que irá implicar um investimento mais avultado. Porém, o estudo realizado revelou que a introdução dos coletores solares será sempre vantajosa, independentemente do coletor estudado, obtendo-se sempre frações solares na casa dos 30% na pior das hipóteses e 40% nas melhores soluções. Sendo esta uma das soluções que melhor combina todas as vertentes em estudo (eficiência energética e benefício gerado), é também interessante notar que tanto na análise económica gerada no *SolTerm*, como no estudo realizado posteriormente no Capítulo 5 com os indicadores financeiros, esta alternativa acaba sempre por ser vantajosa, apresentando um período de retorno relativamente simpático em ambos os casos e gerando uma mais-valia económica também ela bastante favorável quando comparada com as atuais alternativas.

Um pouco à semelhança do sucedido com o estudo dos envidraçados, a análise ao sistema de climatização não se revelou de todo simples de quantificar, sendo que a única alternativa em que de facto foi possível obter valores comparativos entre esta e o sistema atual, foi a substituição do combustível utilizado atualmente (GPL) por gás natural. Não sendo esta a alternativa mais interessante para o estudo em causa, não deixa, no entanto, de ser uma opção a ter em consideração, uma vez que a sua substituição permitiria poupar cerca de 27 000 € (valor esse ao qual teria ainda de ser abatido o custo da substituição de alguns dos atuais equipamentos que só se encontram preparados para utilizar GPL).

As alternativas mais interessantes como a utilização de um *chiller* em conjunto com uma bomba de calor, ou até mesmo a utilização de um sistema de climatização solar, são soluções extremamente interessantes e que, invariavelmente, terão de ser introduzidas a determinada altura. Contudo, são opções que carecem de um estudo individual e pormenorizado face à sua complexidade sendo, no entanto, alternativas que certamente irão promover a eficiência energética do edifício. Em particular, a introdução de um sistema de climatização solar, combinando assim as valias já atestadas pela introdução dos coletores

solares com um *chiller* de absorção, conjugando assim da melhor forma o aproveitamento das excepcionais condições de captação da radiação solar, em função do espaço disponível na cobertura do edifício, com a natural necessidade de reestruturar o sistema atual de climatização.

Por fim, a solução que se revelou mais ajustada e vantajosa passou pela reformulação do atual sistema de iluminação. Sendo esta uma proposta que contempla a substituição de todas as lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED's, bem como a introdução de sistemas de controlo e regulação da iluminação, existe assim um potencial de poupança bastante atrativo não só do ponto de vista energético, mas também do ponto de vista económico. Tendo em conta que a iluminação é um dos fatores que mais contribui para o consumo energético nos grandes edifícios de comércio e serviços, é também um dos fatores que pode ser retificado com maior facilidade, sendo por isso bastante interessante notar que a simples substituição das lâmpadas fluorescentes por LED's permitiria por si só gerar um fluxo de caixa positivo, suficiente para investir num sistema de controlo e regulação da iluminação.

6.2 – Cumprimento do objetivo e dificuldades encontradas

O presente trabalho foi desenvolvido tendo em vista o alcance de dois principais objetivos. Num primeiro plano, a proposta e/ou sugestão de medidas que possibilitem a melhoria da eficiência energética do edifício VIII do DEMI e num segundo plano o estudo e atualização em relação aos novos regulamentos energéticos que têm vindo a ser modificados nos últimos anos.

Após a concretização do trabalho, considera-se que ambos os objetivos foram alcançados, tendo-se sugerido um conjunto de medidas que na sua maioria constituem de facto uma melhoria da eficiência energética do edifício, sendo que simultaneamente na pesquisa bibliográfica desenvolvida também foram estudadas em detalhe as alterações à legislação e aos regulamentos energéticos em vigor. Considera-se então que apesar de alguns obstáculos encontrados no decorrer do trabalho, obstáculos esses que serão explicados de seguida, o trabalho desenvolvido foi ao encontro dos objetivos estabelecidos aquando da sua proposta.

As principais dificuldades encontradas no decorrer do trabalho deveram-se sobretudo a dois fatores. Por um lado, a escassez de informação disponível acerca dos consumos energéticos do edifício, uma vez que após solicitar por inúmeras vezes documentos como faturas ou consumos elétricos dos equipamentos, ser sempre confrontado com o facto de que atualmente não existem registos dos mesmos, tendo por isso diversas vezes sido necessário recorrer a trabalhos antigos como forma de estipular um valor base para os mesmos. Contudo, a principal dificuldade sentida na realização do trabalho foi a não disponibilização de *softwares* de cálculo e simulação dinâmica para a realização do mesmo. Tratando-se o assunto da

eficiência energética, um tema tão mencionado nos dias de hoje, mas que ao mesmo tempo acaba por ser bastante complexo de quantificar e avaliar, a utilização de um *software* como o *DesignBuilder* ou o *EnergyPlus*, seria, sem qualquer dúvida, indispensável na realização de um estudo a este nível. Inclusivamente, nos planos iniciais do trabalho estava pensado utilizar um dos *softwares* mencionados, tendo até sido feito um estudo prévio dos mesmos e iniciado o processo de recolha e introdução de dados nos mesmos. No entanto, quando confrontado com a realidade de que atualmente não existiam licenças de utilização válidas para nenhum dos *softwares*, foi necessário reavaliar grande parte das considerações e opções tomadas até ao momento. Posto isto, foi então necessário realizar uma pesquisa aprofundada de métodos que permitissem, de alguma forma, quantificar as propostas em causa. Essa escolha acabou por recair então na utilização de *softwares* como o *SolTerm*, o *BuildDesk U* e o *WINDOW*, todos eles *softwares* de livre utilização.

6.3 – Recomendações

De acordo com o trabalho desenvolvido nos capítulos anteriores, considera-se que a aplicação das medidas propostas será benéfica, não só do ponto de vista da melhoria da eficiência energética do edifício, mas também do ponto de vista da poupança económica.

Um outro aspeto também a ter em consideração, é que face às constantes alterações aos regulamentos energéticos, torna-se cada vez mais importante o acompanhamento destas tendências com a introdução de novas e mais eficientes soluções, não só para o cumprimento do quadro legal, mas também para a promoção da eficiência energética. Desta forma, considera-se que a introdução de soluções, como as propostas neste trabalho, será inevitável sendo que o adiar desta constatação apenas irá arrastar estas questões para um futuro próximo.

6.4 – Desenvolvimentos futuros

Como futuros desenvolvimentos do trabalho realizado, seria de todo interessante e até mesmo crucial a realização de um estudo individual, com recurso a *softwares* de simulação dinâmica multizona, de cada uma das soluções propostas, de forma a que num futuro próximo, caso a oportunidade surja, exista já um estudo pormenorizado e consolidado sobre os benefícios das propostas mencionadas neste trabalho.

Uma outra questão que acabou por não ser analisada neste trabalho, mas que também se encontra regulamentada e é bastante importante e, de certa forma complementar esta análise, é a qualidade do ar interior do edifício. Como tal, considera-se importante a realização

de uma auditoria à qualidade do ar interior do edifício, especialmente tratando-se de um estabelecimento de ensino com elevada taxa de ocupação.

Referências bibliográficas

- [1] "Renováveis - Estatísticas Rápidas- agosto 2017". [Consultado 11 novembro 2017]. Disponível em: <URL: <http://www.dgeg.gov.pt/>>.
- [2] "Organização Mundial de Metrologia" . [Consultado em 12 fevereiro 2018]. Disponível em: <URL: <https://public.wmo.int/en>>.
- [3] "Pieraldo Isolani. Eficiência energética nos edifícios residenciais. Deco, Lisboa, maio de 2008." . [Consultado 20 novembro 2017].
- [4] Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 2010;
- [5] "Worl Populacion Prospects" . [Consultado em 12 fevereiro 2018]. Disponível em: <URL: https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf >.
- [6] "Energy Outlook bp 2018" . [Consultado em 12 fevereiro 2018]. Disponível em: <URL: <https://www.bp.com>>.
- [7] "Energy Information Administration" . [Consultado em 12 fevereiro 2018]. Disponível em: <URL: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/>>.
- [8] Buildings Performance Institute Europe (BPIE). *Europe's Buildings under the microscope*. European Union, 2011.
- [9] "Individual Building Renovation Roadmaps" (iBRoad). *EU Building Stock Observatory*. 2018.
- [10] "Estratégia Nacional para a Renovação de Edifícios" DGES, Portugal 2014.
- [11] Bernardo, J., 2015, Estratégia para a Eficiência Energética nos Edifícios Públicos, DGEG.
- [12] Balanço Energético, Sintético 2016, DGEG.
- [13] Observatório da energia [Consultado 14 novembro 2018]. Disponível em: <URL: <https://www.observatoriodaenergia.pt/>>.
- [14] "Associação Portuguesa Energias Renováveis". [Consultado 20 janeiro 2018]. Disponível em: <URL: <http://www.apren.pt/>>.
- [15] Amado, M.P., Pinto, A.R, Alcachafe, A.M. & Ramalhete, I., 2015, Construção Sustentável, Conceito e prática, Caleidoscópico.
- [16] "Solagis". [Consultado 20 janeiro 2018]. Disponível em <URL: <https://solargis.com>.
- [17] Quercus". [Consultado 20 janeiro 2018]. Disponível em: <URL: <http://www.quercus.pt/>>.

-
- [18] “Eurostat”. [Consultado 20 janeiro 2018]. Disponível em: <URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/EDN-20170619-1?inheritRedirect=true>>.
- [19] “João Resende Pinto Figueiredo. O Novo Sistema de Certificação Energética – Edifícios de Comércio e Serviços Enviprime, S.A.”.
- [20] Decreto-Lei nº40/90. Diário da República 1.ªsérie – A – Nº31 – 6 de fevereiro de 1990;
- [21] Decreto-Lei nº118/98. Diário da República 1.ªsérie – A – Nº105 – 7 de maio de 1998;
- [22] Decreto-Lei nº80/2006. Diário da República 1.ªsérie – A – Nº67 – 4 de abril de 2006;
- [23] Decreto-Lei nº78/2006. Diário da República 1.ªsérie – A – Nº67 – 4 de abril de 2006;
- [24] Decreto-Lei nº79/2006. Diário da República 1.ªsérie – A – Nº67 – 4 de abril de 2006;
- [25] Diretiva 2002/91/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2002;
- [26] Decreto-Lei nº118/2013. Diário da República 1.ªsérie – A – Nº159 – 20 de agosto de 2013;
- [27] Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 2010;
- [28] Despacho nº15793-J/2013. Diário da República 2ª série- Nº234-3 de dezembro de 2013;
- [29] Portaria n. 349-D/2013. Diário da República 1.ª série – N.º 232 – 2 de dezembro de 2013;
- [30] Portaria n. 15793-H/2013. Diário da República 2.ª série – N.º 234 – 3 de dezembro de 2013;
- [31] Portaria n. 353-A/2013. Diário da República 1.ª série – N.º 235 – 4 de dezembro de 2013;
- [32] Decreto-Lei n.º 53/2014. Diário da República 1.ªsérie – A – Nº69 de 8 de abril de 2014;
- [33] Decreto-Lei nº 194/2015. Diário da República 1.ªsérie – A – Nº179 de 14 de setembro de 2015;
- [34] Decreto-Lei nº 251/2015. Diário da República 1.ªsérie – A – Nº231 de 25 de novembro de 2015;
- [35] Decreto-Lei nº 28/2016. Diário da República 1.ªsérie – A – Nº119 de 23 de junho de 2016;
- [36] “ Pedro Nuno Brites Bento da Silva. Soluções de racionalização do Edifício DEMI/FCT/UNL à luz do RSECE”.
- [37] “DEMI –FCT Nova”. [Consultado 15 novembro 2017]. Disponível em: <URL: <https://www.demi.fct.unl.pt/>>.
- [38] “Google Maps”. [Consultado 16 novembro 2017].
-

-
- [39] Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Comércio e Serviços
- [40] Características dos coletores da marca Wolf [Consultado 20 novembro 2017]. Disponível em: <URL: <https://www.wolf.eu/>>.
- [41] Propriedades dos coletores solares em tinox [Consultado 25 novembro 2017]. Disponível em: <URL: <http://www.almecogroup.com>>.
- [42] “Frederico da Cruz Luz. Dimensionamento de um sistema solar térmico para apoio à climatização de 4 edifícios da FCT-UNL”;
- [43] “ Pedro Miguel Domingues. Análise da implementação de um sistema solar térmico no edifício do DEMI”;
- [44] “Preços médios ponderados dos gases de petróleo liquefeitos (GPL), em Portugal continental ”, DGEG. [Consultado em 12 Julho 2017]. Disponível em: <URL: www.dgeg.gov.pt/wwwbase/wwwinclude/ficheiro.aspx?access=1&id=14306>.
- [45] “Iluminação led poupe energia e dinheiro”. Consultado 13 julho 2017]. Disponível em: <URL: <http://www.energia.pt/pt/iluminacao-led>>.
- [46] Imagem comparativa entre os tipos de lâmpadas. Consultado 13 julho 2017]. Disponível em: <URL: <https://www.ecolectrical.com>>.
- [47] “Advanced Lightning Controls Comprehensive Study”. [Consultado em 12 Julho 2017]. Disponível em: <URL: <https://www.buildings.com>>.
- [48] Imagens dos sensores de iluminação. [Consultado em 15 Julho 2017]. Disponível em: <URL: <http://priac.com.pt/produtos/sensores-de-luz-e-ocupacao>>.
- [49] Lâmpadas selecionadas para o estudo. [Consultado em 20 Julho 2017]. Disponível em: <URL: <http://www.lighting.philips.pt>>.
- [50] Equipamentos de regulação de iluminação. [Consultado em 22 Julho 2017]. Disponível em: <URL: <https://www.legrand.pt>>.
- [51] Imagem do esquema de funcionamento do *chiller* [Consultado em 30 Julho 2017]. Disponível em: <URL: <http://refrigerationandairconditioning.danfoss.com.br>>.
- [52] Imagem do esquema de funcionamento da bomba de calor [Consultado em 30 Julho 2017]. Disponível em: <URL: <http://myhome-consultores.yolasite.com>>.
- [53] “Solar Cogeneration”. [Consultado em 20 Dezembro 2018]. Disponível em: <URL: <https://www.johnsoncontrols.com>>.
- [54] “Patologias de sistemas de isolamento térmico pelo exterior do tipo etics” APFAC. [Consultado em 15 agosto 2017]. Disponível em: <URL: <http://www.apfac.pt>>.
-

-
- [55] Dados climáticos de Almada.[Consultado em 15 agosto 2017]. Disponível em: <URL: <https://pt.climate-data.org/europa/portugal/almada/almada-7111/>>.
- [56] Documentação do software WINDOW7 [Consultado 24 setembro 2018]. Disponível em: <URL: <https://windows.lbl.gov/tools/window/documentation>>.
- [57] “Nuno Alexandre Cerejo Fernandes. Análise Energética do Corpo Central do Edifício do DEMI-UNL através do software EnergyPlus”;
- [58] “Patrícia Pereira Bravo. Análise Custo-benefício de Medidas de Eficiência Energética na FCT/UNL”

Apêndices

Apêndice A – Cálculo das cargas horárias (SolTerm)

De forma a introduzir o valor das cargas térmicas no *SolTerm* foi necessário calcular o valor das cargas térmicas horárias, na estação de aquecimento, uma vez que o *software* só admite a introdução dos valores do consumo neste formato. As fórmulas utilizadas para o cálculo dos valores apresentados nas tabelas A.1 e A.2 podem ser consultadas mais adiante em: Apêndice D - Equações.

Mês	T _{interior} [°C]	T _{exterior} [°C]	ΔT [°C]	CCT _{mês}	C _m [kWh]	C _d [kWh]
Janeiro	20	11,4	8,6	0,23	32120,5	1036,1
Fevereiro	20	12,2	7,8	0,21	29132,6	1040,4
Março	20	13,6	6,4	0,17	23903,7	771,1
Outubro	20	18,4	1,6	0,04	5975,9	192,8
Novembro	20	14,4	5,6	0,15	20915,7	697,2
Dezembro	20	12	8	0,21	29879,6	963,9
Total	–	–	38	1	141928	4701,5

Horas	O _{hora} [%].	CCD _{hora}	C _{hora} [kWh]					
			Janeiro	Fevereiro	Março	Outubro	Novembro	Dezembro
7 8	5	0,01	6,3	6,3	4,7	1,2	4,2	5,8
8 9	80	0,10	100,5	100,9	74,8	18,7	67,6	93,5
9 10	85	0,10	106,8	107,2	79,4	19,9	71,8	99,3
10 11	100	0,12	125,6	126,1	93,5	23,4	84,5	116,8
11 12	95	0,12	119,3	119,8	88,8	22,2	80,3	111,0
12 13	45	0,05	56,5	56,8	42,1	10,5	38,0	52,6
13 14	70	0,08	87,9	88,3	65,4	16,4	59,2	81,8
14 15	95	0,12	119,3	119,8	88,8	22,2	80,3	111,0
15 16	100	0,12	125,6	126,1	93,5	23,4	84,5	116,8
16 17	90	0,11	113,0	113,5	84,1	21,0	76,1	105,1
17 18	50	0,06	62,8	63,1	46,7	11,7	42,3	58,4
18 19	10	0,01	12,6	12,6	9,3	2,3	8,5	11,7
Total	825	1	1036,1	1040,4	771,1	192,8	697,2	963,9

Apêndice B – Dimensionamento sistemas solares térmicos

Como foi mencionado anteriormente, o dimensionamento dos sistemas solares térmicos teve como base trabalhos passados que de alguma já se debruçaram sobre este assunto ([42] e [43]). As características específicas como o diâmetro interno das tubagens e o caudal que circula no primário foram definidos tendo em conta as recomendações do *software*.

Componentes comuns a todos os sistemas	
Permutador	<ul style="list-style-type: none">• Interno ao depósito, tipo serpentina;• Eficácia de 55%.
Depósito (2 conjuntos)	<ul style="list-style-type: none">• Modelo: CV800;• Volume: 1600 l, área externa: 13,88 m²;• Coeficiente de perdas térmicas: 5,16 W/k;• Material: médio condutor de calor, posição vertical com defletores interiores.
Tubagens	<ul style="list-style-type: none">• Comprimento total: 231 m;• Percurso no exterior: 231 m com proteção mecânica;• Espessura do tubo metálico: 1 mm, condutividade térmica metal: 380 W/m/K;• Espessura do isolamento: 30 mm, condutividade térmica: 0,040 W/m/K.
Fluído circulante	<ul style="list-style-type: none">• Anticongelante com fração na mistura de 15%.
Sistema de apoio	<ul style="list-style-type: none">• A gás propano com rendimento global de 75%;• Poder calorífico inferior: 47 MJ/kg.
Características específicas a cada sistema solar térmico	
F3-1	<ul style="list-style-type: none">• Caudal no grupo painel/permutador: 35,8 l/m² por hora (=1,13 l/s);• Diâmetro interno: 52 mm.
CRK - 12	<ul style="list-style-type: none">• Caudal no grupo painel/permutador: 8,8 l/m² por hora (=0,28 l/s);• Diâmetro interno: 26 mm.
IS PRO 2000 TINOX	<ul style="list-style-type: none">• Caudal no grupo painel/permutador: 41,7 l/m² por hora (=1,23 l/s);• Diâmetro interno: 52 mm.

➤ Sistema solar térmico IS PRO 2000 TINOX

Localização, posição e envolvente do sistema

Concelho de Almada
Coordenadas nominais: 38,6°N, 9,2°W
TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (LNEG (2009) www.lneg.pt solterm.suporte@lneg.pt)

Obstruções do horizonte: por defeito

Orientação do painel: inclinação 47° - azimute 0°

Balanço energético mensal e anual

	Rad.Horiz. kWh/m ²	Rad.Inclin. kWh/m ²	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	63	108		6909	32123	25213
Fevereiro	81	120		7707	29134	21427
Março	118	142		9489	23904	14416
Abril	156	160		0	0	0
Maio	198	177		0	0	0
Junho	206	173		0	0	0
Julho	229	199		0	0	0
Agosto	208	203		0	0	0
Setembro	146	169		0	0	0
Outubro	107	148	58	5499	5980	481
Novembro	72	121		8297	20919	12622
Dezembro	60	110		7491	29878	22387
Anual	1643	1829	58	45392	141938	96546

Fração solar: 32,0%

Rendimento global anual do sistema: 23% Produtividade: 426 kWh/[m² coletor]

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)

() | 16/01/2019 17:59:02 |

Síntese de resultados da análise

Opção: aplicação num sistema solar	Opção: aplicação financeira segura (com o mesmo risco)
Investimento: -53238 €	Investimento de capital: -53238 €
Manutenção: -2028 €	Gastos com energia: -1515336 €
Reparações: -676 €	Restituição do capital: 53238 €
Gastos com energia: -1034059 €	Rendimentos obtidos: 58432 €
Proveniente de reinvestimentos*: 178794 €	
(*) custos energéticos evitados disponíveis para reinvestimentos = 481277 €	
Valor residual em fim-de-vida: 0 €	

Comparação dos resultados finais dos investimentos

Sistema solar	Aplicação financeira
no fim do período: -1090001 €	-1456904 €
(a preços atuais: -697342 €	-932072 €)
-----	-----
VAL: 272113 €	37383 €

Vantagem ao investir em energia solar: 234730 € (a valores atuais)

Instalação de sistema solar compensadora (nestas condições).

Recuperação do capital ao 7º ano

Apêndice D – Equações

Carga térmica	
Contrib. mensal para a carga total da estação (CCT _{mês})	$\frac{\Delta T_{mês}}{\sum \Delta T_{mês}}$
Valor de carga para cada mês (C _m)	$C_{aquecimento} \times CCT_{mês}$
Valor de carga para cada dia (C _d)	$\frac{C_m}{N_{dias/mês}}$
Contrib. horária para a carga diária (CCD _{hora})	$\frac{Ocupação_{hora}}{\sum Ocupação_{hora}}$
Carga por hora (C _{hora})	$C_d \times CCD_{hora}$
Iluminação	
Consumo	$\left(\frac{\frac{Duração}{60} \times acionamentos \times 365 \times n^o \text{ lâmp.} \times \text{Watts lâmp.}}{1000} \right) \times \text{Preço kW/h}$
Nº de lâmpadas substituídas	$\left(\frac{\frac{Duração}{60} \times acionamentos \times 365}{Duração \text{ lâmp.}} \right) \times \text{Preço lâmp.}$
Quantidade de carbono libertado	$\text{Consumo} \times \text{kg de carbono por kW/h}$
Envolvente exterior	
Custo económico associado às paredes exteriores	$0,024 \times U \times A \times GD \times C_e$
Indicadores contabilísticos	
VAL	$\sum_{t=0}^n FC_t (1+i)^{-t}$
TIR	$\sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+IRR)^t} = 0$
Payback	$N^o \text{ anos até recuperar invest. total} + \frac{\text{Custos no início do último ano de prejuízo}}{\text{Fluxo de caixa do ano seguinte}}$

Apêndice E – Análise financeira

➤ Sistema solar térmico

Sistema solar térmico F3-1				
Ano	Fluxo	Saldo	Fluxo com desconto	Saldo com desconto
0	- 56 715 €	- 56 715 €	- 56 715 €	- 56 715 €
1	12 403 €	- 44 312 €	11 984 €	- 44 731 €
2	24 446 €	- 32 269 €	22 821 €	- 33 894 €
3	36 912 €	- 19 803 €	33 293 €	- 23 422 €
4	49 815 €	- 6 900 €	43 411 €	- 13 304 €
5	63 171 €	6 456 €	53 188 €	- 3 527 €
Taxa de desconto		3,5%		
Retorno a partir do 1º ano		Variável		
VAL		107.981 €		
TIR		42,19%		
Payback (simples)		4,11 anos		
Payback (descontado)		5,06 anos		

Sistema solar térmico CRK-12				
Ano	Fluxo	Saldo	Fluxo com desconto	Saldo com desconto
0	- 57 000 €	- 57 000 €	- 57 000 €	- 57 000 €
1	9 984 €	- 47 016 €	9 646 €	- 47 354 €
2	19 968 €	- 37 032 €	18 640 €	- 38 360 €
3	30 303 €	- 26 697 €	27 332 €	- 29 668 €
4	41 000 €	- 16 000 €	35 729 €	- 21 271 €
5	52 073 €	- 4 927 €	43 844 €	- 13 156 €
Taxa de desconto		3,5%		
Retorno a partir do 1º ano		Variável		
VAL		78.191 €		
TIR		33,21%		
Payback (simples)		5,08 anos		
Payback (descontado)		6,10 anos		

Sistema solar térmico Tinox				
Ano	Fluxo	Saldo	Fluxo com desconto	Saldo com desconto
0	- 53 238 €	- 53 238 €	- 53 238 €	- 53 238 €
1	11 471 €	- 41 767 €	11 083 €	- 42 155 €
2	22 942 €	- 30 296 €	21 417 €	- 31 821 €
3	34 413 €	- 18 825 €	31 039 €	- 22 199 €
4	45 884 €	- 7 354 €	39 985 €	- 13 253 €
5	57 355 €	4 117 €	48 291 €	- 4 947 €
Taxa de desconto				
		3,5%		
Retorno a partir do 1º ano				
		Variável		
VAL				
		98.577 €		
TIR				
		41,53%		
Payback (simples)				
		4,13 anos		
Payback (descontado)				
		5,09 anos		

➤ Sistema de climatização

Substituição do combustível da caldeira				
Ano	Fluxo	Saldo	Fluxo com desconto	Saldo com desconto
0	- 50 000 €	- 50 000 €	-5 0 000 €	- 50 000 €
1	27 430 €	- 22 570 €	26 502 €	- 23 498 €
2	54 860 €	4 860 €	51 212 €	1 212 €
3	82 290 €	32 290 €	74 221 €	24 221 €
4	109 720 €	59 720 €	95 615 €	45 615 €
5	137 150 €	87 150 €	115 477 €	65 477 €
Taxa de desconto				
		3,5%		
Retorno a partir do 1º ano				
		27.430 €		
VAL				
		313.027 €		
TIR				
		98,15%		
Payback (simples)				
		1,41 anos		
Payback (descontado)				
		1,46 anos		

➤ Sistema de iluminação

Substituição das lâmpadas e sensores de ocupação				
Ano	Fluxo	Saldo	Fluxo com desconto	Saldo com desconto
0	- 4 149 €	- 4 149 €	- 4 149 €	- 4 149 €
1	2 756 €	- 1 393 €	2 663 €	- 1 486 €
2	5 332 €	1 363 €	4 977 €	828 €
3	7 908 €	4 119 €	7 133 €	2 984 €
4	10 484 €	6 875 €	9 136 €	4 987 €
5	13 060 €	9 631 €	10 996 €	6 847 €
Taxa de desconto				
		3,5%		
Retorno a partir do 1º ano				
		2.576 €		
VAL				
		30.756 €		
TIR				
		111,81%		
Payback (simples)				
		1,26 anos		
Payback (descontado)				
		1,30 anos		

Substituição das lâmpadas e sensores de duplo funcionamento				
Ano	Fluxo	Saldo	Fluxo com desconto	Saldo com desconto
0	- 3 908 €	- 3 908 €	- 3 908 €	- 3 908 €
1	2 756 €	- 1 152 €	2 663 €	- 1 245 €
2	5 332 €	1 604 €	4 977 €	1 069 €
3	7 908 €	4 360 €	7 133 €	3 225 €
4	10 484 €	7 116 €	9 136 €	5 228 €
5	13 060 €	9 872 €	10 996 €	7 088 €
Taxa de desconto				
		3,5%		
Retorno no 1º ano				
		5%		
VAL				
		30.997 €		
TIR				
		117,30%		
Payback (simples)				
		1,22 anos		
Payback (descontado)				
		1,25 anos		

Substituição das lâmpadas e sensores de regulação de luz solar				
Ano	Fluxo	Saldo	Fluxo com desconto	Saldo com desconto
0	- 4 095 €	- 4 095 €	- 4 095 €	- 4 095 €
1	2 756 €	- 1 339 €	2 663 €	- 1 432 €
2	5 332 €	1 417 €	4 977 €	882 €
3	7 908 €	4 173 €	7 133 €	3 038 €
4	10 484 €	6 929 €	9 136 €	5 041 €
5	13 060 €	9 685 €	10 996 €	6 901 €
Taxa de desconto				
		3,5%		
Retorno a partir do 1º ano				
		2.576 €		
VAL				
		30.810 €		
TIR				
		113%		
Payback (simples)				
		1,25 anos		
Payback (descontado)				
		1,29 anos		

➤ Envolvente exterior

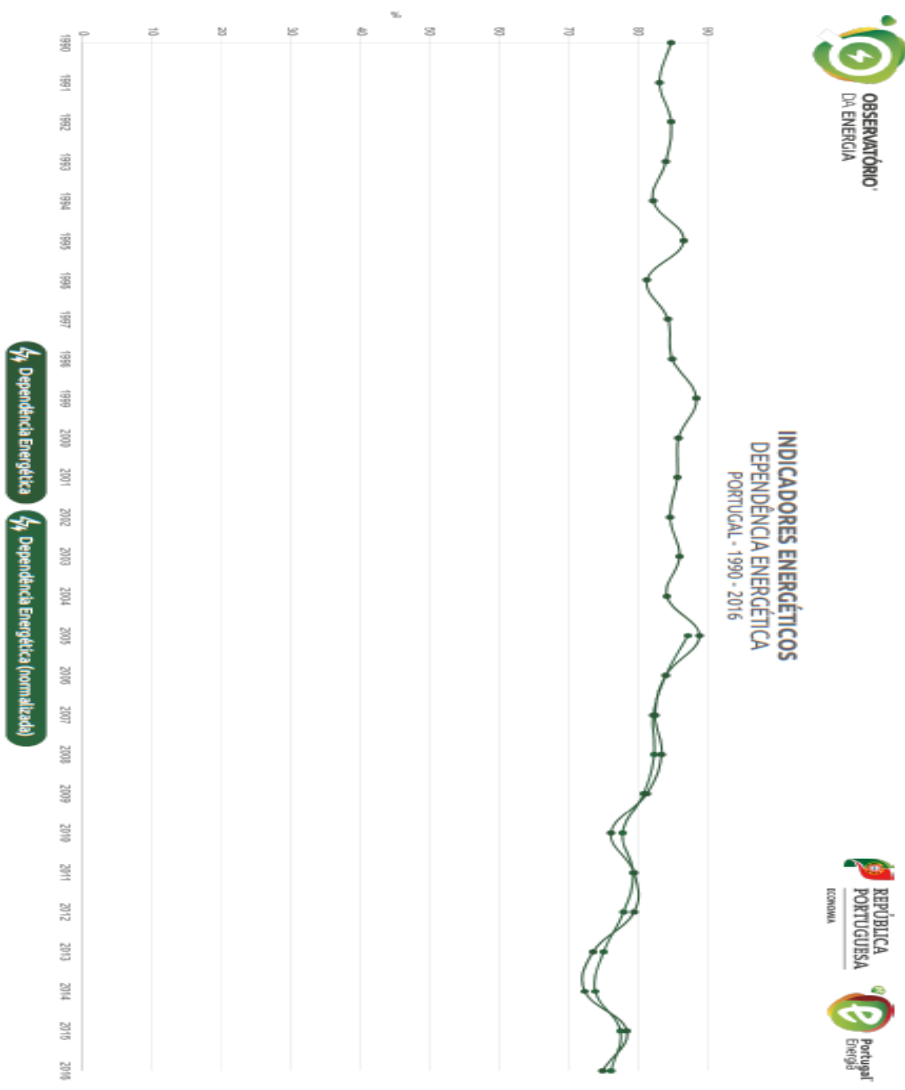
Aplicação ETICS (3 cm)				
Ano	Fluxo	Saldo	Fluxo com desconto	Saldo com desconto
0	- 18 250 €	- 18 250 €	- 18 250 €	- 18 250 €
1	88 €	- 18 162 €	85 €	- 18 165 €
2	177 €	- 18 073 €	165 €	- 18 085 €
3	265 €	- 17 985 €	239 €	- 18 011 €
4	354 €	- 17 896 €	308 €	- 17 942 €
5	442 €	- 17 808 €	372 €	- 17 878 €
6	530 €	- 17 720 €	431 €	- 17 819 €
7	619 €	- 17 631 €	486 €	- 17 764 €
8	707 €	- 17 543 €	537 €	- 17 713 €
9	796 €	- 17 454 €	584 €	- 17 666 €
10	884 €	- 17 366 €	627 €	- 17 623 €
Taxa de desconto				
		3,5%		
Retorno a partir do 1º ano				
		88,40 €		
VAL				
		- 14.415 €		
TIR				
		-16,20 %		
Payback (simples e descontado)				
		Demasiado extenso para o estudo		

Aplicação ETICS (6 cm)				
Ano	Fluxo	Saldo	Fluxo com desconto	Saldo com desconto
0	- 18 250 €	- 18 250 €	- 18 250 €	- 18 250 €
1	442 €	- 17 808 €	427 €	- 17 823 €
2	884 €	- 17 366 €	825 €	- 17 425 €
3	1 326 €	- 16 924 €	1 196 €	- 17 054 €
4	1 768 €	- 16 482 €	1 541 €	- 16 709 €
5	2 210 €	- 16 040 €	1 861 €	- 16 389 €
6	2 652 €	- 15 598 €	2 157 €	- 16 093 €
7	3 094 €	- 15 156 €	2 432 €	- 15 818 €
8	3 536 €	- 14 714 €	2 685 €	- 15 565 €
9	3 978 €	- 14 272 €	2 919 €	- 15 331 €
10	4 420 €	- 13 830 €	3 133 €	- 15 117 €
Taxa de desconto				
		3,5%		
Retorno a partir do 1º ano				
		442 €		
VAL				
		926 €		
TIR				
		4,26%		
Payback (simples e descontado)				
		Demasiado extenso para o estudo		

Aplicação ETICS (10 cm)				
Ano	Fluxo	Saldo	Fluxo com desconto	Saldo com desconto
0	- 18 250 €	- 18 250 €	- 18 250 €	- 18 250 €
1	654 €	- 17 596 €	632 €	- 17 618 €
2	1 308 €	- 16 942 €	1 221 €	- 17 029 €
3	1 963 €	- 16 287 €	1 770 €	- 16 480 €
4	2 617 €	- 15 633 €	2 280 €	- 15 970 €
5	3 271 €	- 14 979 €	2 754 €	- 15 496 €
6	3 925 €	- 14 325 €	3 193 €	- 15 057 €
7	4 579 €	- 13 671 €	3 599 €	- 14 651 €
8	5 234 €	- 13 016 €	3 974 €	- 14 276 €
9	5 888 €	- 12 362 €	4 320 €	- 13 930 €
10	6 542 €	- 11 708 €	4 638 €	- 13 612 €
Taxa de desconto				
		3,5%		
Retorno a partir do 1º ano				
		654,2 €		
VAL				
		10.133 €		
TIR				
		10,69%		
Payback (simples)				
		27,03 anos		

Anexos

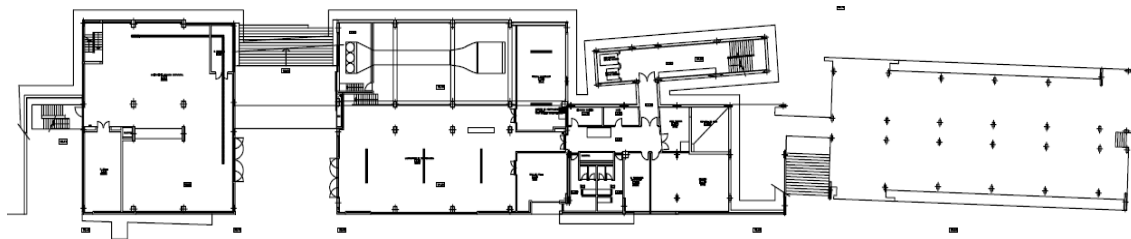
Anexo I – Dependência energética



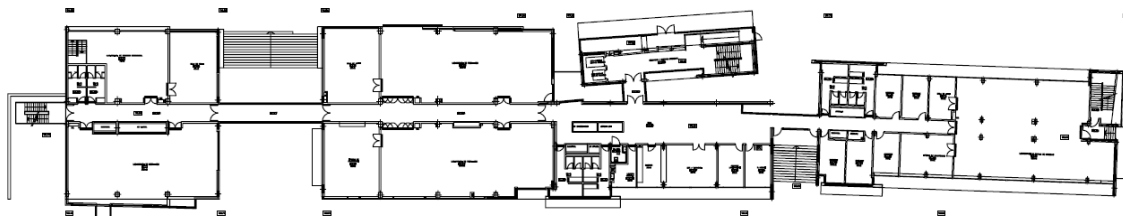
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
⚡ Dependência Energética	84,70	83,10	84,70	83,90	82,10	86,50	81,20	84,30	84,90
⚡ Dependência Energética (normalizada)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
⚡ Dependência Energética	88,30	85,70	85,60	84,60	85,90	84,10	88,80	83,90	82,50
⚡ Dependência Energética (normalizada)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	87,20	83,90	82,20
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
⚡ Dependência Energética	83,30	81,20	76,10	79,40	79,40	73,60	72,40	78,30	74,90
⚡ Dependência Energética (normalizada)	82,30	80,80	77,70	79,30	77,90	75	73,80	77,50	76,10

Valores em: %
 Fonte: DCEG, Indicadores Energéticos
 Atualizado em: 04/04/2018

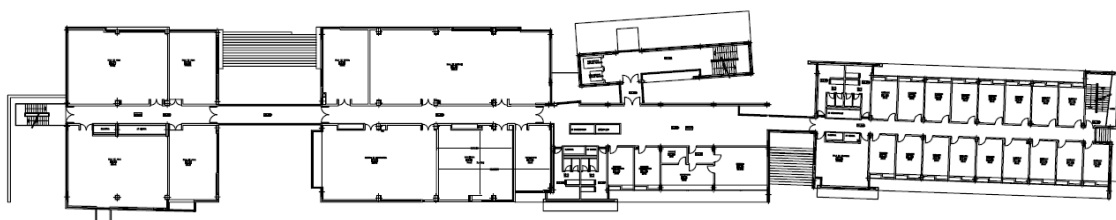
Anexo II – Plantas do edifício



Piso nº 1



Piso nº 2



Piso nº 3



Piso nº 4

Anexo III – Fichas do edifício

FICHA DE EDIFÍCIO

Dados Gerais	
Edifício	Edifício VIII
Departamento	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial
Ano Construção	1999
Localização	Monte da Caparica, Almada
Área Bruta Total (m ²)	7530
Área Útil Total (m ²)	6800
Área Tratada (m ²)	4263
Pé Direito Médio (m)	3,8
Nº Pisos	4
Salas	Gabinets, salas de aulas, laboratórios, bibliotecas e áreas de apoio.
Descrição	O ar condicionado representa apenas uma pequena parcela dos sistemas, assumindo-se o aquecimento como componente e factor principal a considerar, o que obriga a uma centralização de produção térmica. O ar condicionado é caracterizado por unidades centrais autónomas. Assim, os espaços que seriam destinados à biblioteca estão dotados de ar condicionado, e os gabinetes, salas de aula e laboratórios em geral estão dotados de aquecimento. Existe uma central térmica e, na sua dependência e a ela interligada, equipamentos centrais de tratamento de ar. Um rede de tubagem de distribuição de fluido térmico percorre em anel o conjunto de coberturas que compõem o edifício que são utilizadas pelos equipamentos centrais de distribuição de ar pelos pisos, incorporando as redes de condutas de insuflação e recirculação/extracção.
Sistema Central de Aquecimento	
Quantidade	2
Identificação	Caldeira
Marca	IGNIS
Modelo	NAR 200
Potência Útil (kW)	232,6
Combustível	Gás Propano
Localização	Casa das máquinas no terraço
Tipo de Sistema	2 tubos a ar/água
Temperatura da água (saida/retorno) (°C)	80/70
Queimador	BALTUR SPARKGAS
Rendimento (%)	85
Inclui AQS	Não
Zona Associada	Todo o edifício excepto zonas de circulação e a suposta biblioteca
Descrição	Possue um depósito colector de água de 1000 l associado, que assegura o bom funcionamento do sistema de produção de água quente evitando arranques sucessivos de cada caldeira, garantindo o tempo mínimo entre arranque de caldeira e o volume mínimo de água em circulação.
Bombas Circuladoras	
Quantidade	1 2 1 1 1
Identificação	B1 B2 BC 1 BC 2 BC 3
Marca	Grundfos
Modelo	TP50-120/2 TP50-120/2 TP40-100/2 TP65-180/2 TP65-180/2 A-F-A BUBE A-F-A BUBE A-F-A BUBE A-F-A BUBE A-F-A BUBE
Tipo	Centrífugo
Localização	Casa das máquinas Cobertura
Caudal (l/h)	17 200 17 200 5 500 12 500 9500
Potência (kW)	
Equipamento Associado	Caldeira 1 Caldeira 2 UTV 1, 2 e 3 UTV 4, 5, 6, 7 e 8 UTV 9, 10, 11 e 12
Descrição	São do tipo compacto, de montagem em linha, situam-se junto à caldeira e possibilitam a circulação de água quente

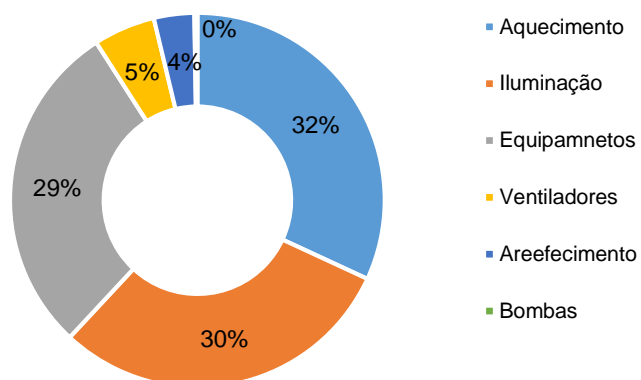
Unidades Condicionadoras Autónomas (UCA)												
Quantidade	2											
Identificação	UCA 1						UCA 2					
Marca	Ciatesa						Ciatesa					
Modelo	IPB-041						IPB-046					
Caudal Insuflação (m ³ /h)	1500						1750					
Caudal de Ar Novo (m ³ /h)	500						625					
Potência de Arrefecimento Total (kW)	8,8						11					
Potência de Arrefecimento Sensível (kW)	6,3						8					
Potência de Aquecimento (kW)	6,8						8,1					
Função	Aquecimento e Arrefecimento											
Tipo	Roof top						Roof top					
Zona Associada	Biblioteca Ala Esquerda Piso 4						Biblioteca Ala Esquerda Piso 3					
Localização	Cobertura Corpo Central						Cobertura Corpo Central					
Descrição	São de modelo compacto, do tipo "Roof top". Expansão directa, com inversão do ciclo frigorífico (bomba de calor) e condensação a ar. A produção de frio ou calor é feita em função da temperatura do ambiente interior da sala que servem.											
Ventiladores de Extração (VE)												
Quantidade	7											
Identificação	VE 1	VE 2	VE 3	VE 4	VE 5	VE 6	VE 7					
Marca	LUFTUNGSTECHNIK LTI											
Modelo	DVS 450 A1	DV- DVS 355 A1	DV- DVS 400 A1	DV- DVS 450 A1	DV- DVS 311 A1	DVS 400 DV-A1	DVS 110 DVA1					
Tipo	Cobertura	Cobertura	Cobertura	Cobertura	Cobertura	Cobertura	Cobertura					
Função	Extração	Extração	Extração	Extração	Extração	Extração	Extração					
Caudal de Ar (m ³ /h)	2100	3800	3200	3750	1200	2500	400					
Potência (kW)	0,69	0,28	0,43	0,69	0,13	0,43	0,11					
Zona Associada	I.S.	Laboratório piso 2	I.S.	Armazém e Bar- piso 1 e piso 2	I.S. e Armazém - piso 2 e 4	Cúpula Bar	Tecnologia - piso 2					
Localização	Corpo Norte	Corpo Norte	Corpo Central	Corpo Central	Corpo Sul	Corpo Central	Corpo Central					
Descrição:	Sistemas de extração forçada de ar, independentes, que estão associados a instalações sanitárias, áreas técnicas, repografia, armazéns, bar,....											
Unidades de Tratamento de Ar (UTA)												
Quantidade	12											
Identificação	UTA 1	UTA 2	UTA 3	UTA 4	UTA 5	UTA 6	UTA 7	UTA 8	UTA 9	UTA 10	UTA 11	UTA 12
Marca	Evac	Evac	Evac	Evac	Evac	Evac	Evac	Evac	Evac	Evac	Evac	Evac
Modelo	Size 20	Size 20	Size 30	Size 30	Size 30	Size 20	Size 30	Size 30	Size 20	Size 30	Size 20	Size 20
Caudal Insuflação (m ³ /h)	5000	5000	6000	6500	6270	5000	6500	6500	5400	6050	4950	4500
Caudal Ar Novo (m ³ /h)	625	625	1000	1875	4500	1750	1750	1750	1625	4500	1500	1500
Potência Aquecimento (kW)	33,4	33,4	31,1	49,3	52,1	33,4	49,3	49,3	34,4	52,3	33,3	32,1
Função	free cooling	free cooling	free cooling	free cooling	recuperação térmica	free cooling	free cooling	free cooling	free cooling	recuperação térmica	free cooling	free cooling
Localização	Cobertura Corpo Norte	Cobertura Corpo Norte	Cobertura Corpo Norte	Cobertura Corpo Central	Cobertura Corpo Norte	Cobertura Corpo Central	Cobertura Corpo Central	Cobertura Corpo Central	Cobertura Corpo Sul	Cobertura Corpo Sul	Cobertura Corpo Sul	Cobertura Corpo Sul
Zona Associada	Gabinetes Piso 4	Gabinetes Piso 3	Laboratórios e Gabinetes Piso 2	Ala Direita Piso 1, 2, 3 e 4	Ala Esquerda Piso 4	Ala Esquerda Piso 3	Ala Esquerda Piso 2	Ala Esquerda Piso 1	Piso 4	Piso 3	Piso 2	Piso 1
Descrição	A água quente é encaminhada até junto das UTA's através de rede de tubagem desenvolvida em traçado horizontal. No tratamento ambiente de cada um dos diferentes pisos que constituem cada corpo do edifício, utilizam-se as UTA's, associadas a rede de condutas, permitindo a ventilação, renovação e filtragem de ar, e troca térmica com o local, garantindo no período de Inverno a fixação da temperatura de acordo com o exigido. No período de Verão existe ventilação ambiente, recorrendo-se sempre que as condições exteriores o permitam, ao arrefecimento do tipo "free cooling", por introdução de ar exterior entre o mínimo de renovação e 100%.											

Anexo IV – Consumo anual de energia do edifício

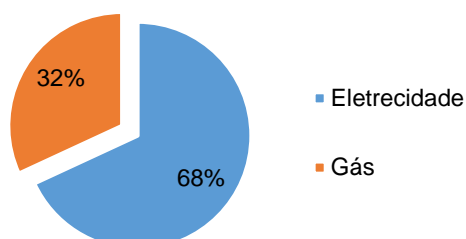
Consumo anual nominal de energia no edifício VIII							
	Aquecimento	Iluminação	Equipamentos	Ventiladores	Arrefecimento	Bombas	Total
Eletricidade (MWh/ano)	-	130,46	125,93	23,15	15,16	1,11	295,81
Gás (MWh/ano)	138,55	-	-	-	-	-	138,55
Potência mínima necessária para a estação de aquecimento - 267,66 kW							

Os dados apresentados referentes ao consumo energético anual do edifício VIII dizem respeito ao ano de 2012 e são retirados de [36], uma vez que no momento em que o presente trabalho foi desenvolvido, não existiam licenças válidas para a utilização dos *softwares* de análise energética que permitissem realizar estas simulações.

Consumo anual desagregado de energia no edifício



Consumo energético anual



Anexo V – Consumo de eletricidade na faculdade

(2008 – 2016)

Edifício	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Consumo total em 2016 (%)	Diminuição 2008 – 2012 (%)	Diminuição 2013 – 2016 (%)
Edifício I	657	574	802	758	625	609	635	677	634	12	5	-4
Edifício II	563	558	599	583	514	446	417	434	435	8	9	3
Edifício III	303	278	400	328	249	249	231	111	241	5	18	3
Edifício V	11	n.d.	19	16	11	10	8	1	5	0	0	50
Edifício VI	78	n.d.	61	62	42	53	44	52	51	1	46	4
Edifício VII	471	226	428	428	350	325	252	278	229	4	26	30
Edifício VIII	376	318	357	286	171	184	203	285	192	4	55	-4
Edifício IX	461	480	466	492	440	444	345	287	271	5	5	39
Edifício X	328	328	288	286	274	301	262	281	238	5	16	21
Ed. Dep. Química	3 066	2 888	2 068	2 169	1 910	1 917	1 753	29 785	1 708	33	14	11
Ed. Dep. Ambiente			988	918	723	913	822	984	613	12		33
Biblioteca	390	401	392	366	280	252	244	292	243	5	28	4
Hangar I	70	55	55	50	34	27	16	13	12	0	51	56
Hangar II	72	39	47	41	25	28	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	65	n.d.
Hangar III	62	55	81	73	75	75	72	65	47	1	-21	37
Edifício da Cantina	255	n.d.	228	220	183	166	167	189	157	3	28	5,4
CENIMAT	177	168	185	195	215	77	23	23	25	0	-21	68
CEMOP	398	370	406	400	397	387	83	92	90	2	0	77
UNINOVA	93	88	90	90	n.d.	16	49	52	50	1	n.d.	-213
Campo de Jogos	16	n.d.	21	14	7	7	8	4	3	0	56	57
Creche	4	9	8	9	11	10	9	9	10	0	-175	0
Total	7 852	6 835	7 990	7 784	6 536	6 496	5 643	33 914	5 254	100	17	19

		2018												Análise	
		Período I			Período II			Período III			Período IV		Média	Total	
Período de Faturação		01/01-31/01	01/02-28/02	01/03-31/03	01/04-30/04	0/05-31/05	01/06-30/06	01/07-31/07	01/08-31/08	01/09-30/09	01/10-31/10				
Meses		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro				
Nº de dias		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	304		
Termo de energia variável (KWh)	Vazio (P3)	131.715	121.486	137.438	139.053	136.362	121.724	128.367	110.634	137.369	130.937	129.569	1.295.685		
	Super Vazio (P4)	76.498	71.096	75.277	72.326	71.256	70.900	74.270	63.422	74.444	75.469	72.444	724.958		
	Ponta (P1)	100.637	91.023	90.691	71.578	69.217	69.813	73.296	47.294	73.602	79.237	79.237	766.398		
	Cheta (P2)	315.269	289.505	308.550	280.116	272.693	277.210	283.564	203.215	281.492	296.663	280.826	2.808.257		
	Total	624.119	572.910	611.936	563.073	549.728	539.647	560.097	424.565	566.907	582.306	559.529	5.595.288		
	Custo Energia variável (€)	56.540,66	51.844,03	55.129,63	50.180,42	48.548,12	48.346,43	50.100,45	37.335,73	50.554,36	60.184,72	50.916,45	509.164,55		
Potência horas de ponta	KWh	100.637	91.023	90.691	71.578	69.217	69.813	73.296	47.294	73.602	79.237	75.70	766.388,00		
	Horas	110	100	97	60	63	63	66	66	60	72	72	757,00		
	Total Potência horas ponta (€)	6.089,18	5.471,94	6.222,81	7.689,90	7.312,50	7.137,55	7.391,46	4.769,31	7.901,17	7.324,69	6.730,45	67.304,51		
Potência contratada (KWh)	KWh	1.728	1.728	1.728	1.728	1.728	1.728	1.728	1.728	1.728	1.728	1.728	17.280,00		
	Total Potência contratada (€)	1.869,52	1.688,60	1.869,52	1.809,22	1.869,52	1.809,22	1.869,52	1.869,52	1.809,22	1.869,52	1.833,34	18.333,39		
Energia Reativa fora Vazio (kVAch)	Cons. Fora Vazio Escalço 1 (TR1)	33.523	35.173	38.349	34.304	32.834	32.405	34.596	11.467	34.048	36.171,2	32.286,93	322.869,30		
	Cons. Fora Vazio Escalço 2 (TR2)	1.630	4.680	7.056	11.072	8.886	8.485	11.526	1.007	3.813	17.470,0	7.562,42	75.624,20		
	Cons. Fora Vazio Escalço 3 (TR3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0,00		
	Total Reativa	35.153	39.853	45.405	45.375	41.720	40.890	46.122	12.474	37.860	53.641	39.849,35	398.493,50		
	Custo Reativa (€)	352,85	452,78	547,98	622,49	548,25	533,18	637,80	133,19	418,34	817,50	506,44	5.064,36		
Taxa Auditorial (€)		2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	28,50		
Imposto sobre electricidade (KWh)	KWh	624.119	572.910	611.936	563.073	549.728	539.647	560.097	424.565	566.907	582.306	559.528,80	5.595.288,00		
	Total Imposto (€)	624,12	572,91	611,94	563,07	549,73	539,65	560,10	424,57	566,91	582,31	559,53	5.595,29		
IIVA	PT Normal	15.059,55	13.806,96	14.807,83	13.997,59	13.622,47	13.424,18	13.928,65	10.242,43	14.087,50	16.279,11	13.925,63	139.256,28		
	PT Reduzida	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	1,71		
	Total IVA (€)	15.059,73	13.807,13	14.808,00	13.997,76	13.622,64	13.424,35	13.928,82	10.242,60	14.087,67	16.279,28	13.925,80	139.257,99		
	Total Faturado (€)	80.536,05	73.487,39	79.189,88	74.856,87	72.850,76	71.790,37	74.488,15	54.774,93	75.337,67	87.058,02	74.472,01	744.720,07		
	Emissões de CO2 [t]	238,15	275,13	293,88	270,41	264,00	259,16	268,98	203,89	272,25	279,65	262,55	2.625,51		
Tarifa Endesa 2018		Sem contrato													
	Ponta (P1)	0,109265 €	0,124474												
	Cheta (P2)	0,097925 €	0,112119												
	Vazio (P3)	0,072818 €	0,08551												
	Super Vazio (P4)	0,066415 €	0,077698												
	Potência Horas de Ponta	0,214700 €	0,2147												
	Potência Contratada	0,034900 €	0,0349												
	Reativa Fora Vazio														
	TR1	0,027800 €	0,0278												
	TR2	0,027800 €	0,0278												
	TR3	0,027800 €	0,0278												
	Taxa auditorial	2,850000 €	2,85												
	Imposto sobre electricidade	0,001000 €	0,001000 €												
	PT Normal	23%	23%												
	PT Reduzido	6%	6%												

Anexo VI – Comparação entre o consumo de gás natural e propano

Consumo de gás propano										
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun. e Jul.	Set.	Out. e Nov.	Dez.	Total
kWh	34250	36905	37803	38112	38112	38112	38112	38685	39618	339749
€	5 480	5 904	6 048	6 098	6 098	6 098	6 098	6 190	6 339	54 355
Consumo de gás natural										
kWh	38779	41785	42802	43151	43163	43151	43151	43800	44856	384639
€	2 715	2 925	2 996	3 021	3 021	3 021	3 021	3 066	3 140	26 924
Valor poupado										
€	2 765	2 980	3 052	3 077	3 077	3 077	3 077	3 124	3 199	27 430

Fatores de conversão e dados relevantes:

- Preço gás natural: 0,07 €/kWh;
- Preço gás propano: 0,16 €/kWh;
- 1 kg gás propano = 1,16 m³ gás natural;
- 1 kg gás propano = 12,53 kWh gás propano;
- Fator de conversão entre kWh e m³: 12,3.

Não sendo possível obter as faturas referentes ao consumo de gás no edifício, foi considerado um fator de conversão entre kWh e m³ de 12,3. Valor esse que foi obtido através do valor médio dos fatores de correção calculados num trabalho anterior que analisou os custos económicos associados à faculdade [58].