

Impacto das medidas de conservação de energia em
projeto na redução da intensidade de utilização de
matérias-primas na construção de um edifício

Sérgio Miguel Moreira Monteiro Ramos

Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica do ramo de Energia

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



20 de julho de 2015

Relatório da Unidade Curricular de Tese/Dissertação do Mestrado em Engenharia
Mecânica do ramo de Energia

Candidato: Sérgio Miguel Moreira Monteiro Ramos, N° 1070313, 1070313@isep.ipp.pt

Orientação científica: Isabel Maria Garcia Sarmiento Pereira, Professor adjunto,
isp@isep.ipp.pt

Empresa: ECOTERMOLAB, Instituto Soldadura e Qualidade

Orientação Empresa: Paulo Oliveira, j.paulo.r.oliveira@gmail.com

Mestrado em Engenharia Mecânica
Departamento de Engenharia Mecânica
Área de Especialização em Energia
Instituto Superior de Engenharia do Porto



2015

Aos meus pais
Aos meus irmãos

Agradecimentos

São muitas as pessoas que me ajudaram ao longo da tese. Quero deixar um agradecimento especial:

À Eng^a Isabel Sarmiento pela sua orientação, por todo o tempo e meios disponibilizados para que esta dissertação pudesse ser elaborada.

Ao Eng. Paulo Oliveira pela orientação e por me ter dado a oportunidade de desenvolver este trabalho no Instituto Soldadura e Qualidade.

Ao Dr. Fernando Fonseca pela disponibilidade para o fornecimento de dados e alguns esclarecimentos.

Ao Eng. Marcos Silva pela ajuda na utilização do programa de simulação *EnergyPlus*.

Ao Eng. José Azeredo da *Grundfos* pela disponibilidade para realizar e disponibilizar um orçamento das bombas de circulação de água.

Ao Eng. José Lameirinhas da *Wolf* pela disponibilidade para realizar e disponibilizar um orçamento das UTAN's.

À minha família, em especial aos meus pais e irmão, pelo apoio dado ao longo de toda a minha formação e em especial no decorrer desta dissertação.

À Joana por toda a paciência e apoio demonstrados, indispensável para a elaboração desta dissertação.

Resumo

O presente trabalho pretende mostrar que a aplicação de medidas de conservação de energia (MCE) pode representar uma redução da intensidade de utilização de matérias-primas na construção de um edifício. Mais concretamente, pode representar uma redução da utilização de materiais e equipamentos, e como consequência, uma redução no esforço económico ao primeiro investimento. Podendo posteriormente representar uma redução na utilização de energia durante o período de funcionamento do edifício.

A aplicação de MCE no sector da construção tem vindo a ser uma prática corrente nos novos edifícios e edifícios sujeitos a grandes intervenções de reabilitação. Esta prática deve-se à obrigatoriedade de cumprimento de requisitos regulamentares aplicados à otimização do desempenho energético dos edifícios e dos seus sistemas técnicos, nomeadamente, o RCCTE e o RSECE, entretanto revogados pelo REH e pelo RECS, respetivamente. A implementação de MCE apresenta, na maioria dos casos, benefícios económicos para o promotor do edifício, uma vez que se traduz muitas vezes, na otimização do dimensionamento dos sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC). Esta otimização permite reduzir os custos associados ao primeiro investimento, bem como na utilização de energia por parte do utilizador, logo na redução dos custos de exploração. No entanto, a falta de quantificação dos impactos do dimensionamento dos sistemas AVAC, da redução de utilização de energia e da análise do custo-benefício da sua aplicação pode condicionar o interesse na sua implementação.

Neste contexto, surge a presente dissertação, por iniciativa do Instituto Soldadura e Qualidade (ISQ), aplicado a um caso prático de um edifício já construído e propriedade daquela empresa. Com este trabalho pretende-se avaliar o contributo efetivo das MCE implementadas na fase de projeto e na fase de construção, quer na otimização da dimensão de sistemas e equipamentos AVAC, por via da redução das necessidades energéticas, quer na redução de utilização de energia, permitindo, de seguida, uma avaliação custo-benefício.

Na base do caso de estudo está o ECOTERMOLAB, o edifício acima referido, adquirido pelo ISQ para instalação de um laboratório de formação, investigação e desenvolvimento na área da energia. Após aquisição pelo ISQ, o edifício sofreu várias alterações/beneficiações, entre as quais a implementação de MCE, tais como, a aplicação de isolamento térmico na envolvente opaca (paredes, pavimentos e coberturas), duplicação dos vãos envidraçados simples, conferindo-lhes melhores características térmicas, e pela aplicação de proteções solar. Foram ainda adotadas MCE aos sistemas AVAC, designadamente, pela adoção de recuperadores de calor nas Unidades de Tratamento de Ar Novo (UTAN's) e de variadores de velocidade nas bombas de circulação de água e nos ventiladores de ar das UTAN's.

Pretendia o ISQ concluir se a aplicação de todas as MCE contribuiu de forma efetiva para o dimensionamento de sistemas e equipamentos AVAC de menor capacidade e, conseqüentemente, numa redução de utilização de energia. Em sequência, pretendia avaliar a viabilidade económica da aplicação de todas as MCE, estimando o sobrecusto inicial e o tempo necessário para o retorno financeiro daquele investimento.

Para alcançar os objetivos propostos, procedeu-se à simulação energética dinâmica do ECOTERMOLAB, utilizando o programa *EnergyPlus*. Primeiro foi simulada uma situação base do edifício, sem quaisquer MCE. Posteriormente foi caracterizada cada uma das situações de aplicação das MCE, com o objetivo de avaliar o respetivo impacto individual na utilização de energia pelos sistemas AVAC. Por último foram assumidas todas as soluções em conjunto para avaliar o impacto final de todas as MCE na utilização de energia dos sistemas AVAC, bem como no seu dimensionamento.

Das simulações dinâmicas foram obtidos os valores das necessidades de aquecimento e arrefecimento, de energia utilizada pelos sistemas AVAC e de caudais de água aquecida e arrefecida circulada. Com estes valores foi feita uma estimativa de dimensionamento dos equipamentos e componentes AVAC para as situações da aplicação de todas as MCE no ECOTERMOLAB e a sua ausência. A partir da diferença dos custos de aquisição dos respetivos equipamentos e dos valores de poupança em energia foi realizado o estudo da viabilidade económica da implementação das MCE neste edifício.

Este estudo permitiu concluir que a aplicação das MCE no ECOTERMOLAB levou à redução da dimensão na generalidade dos equipamentos e componentes AVAC.

Permitiu, ainda, concluir que houve uma diminuição de utilização de energia por parte destes sistemas e equipamentos para o aquecimento e arrefecimento. Conclui-se ainda que o período de retorno (*Payback*) do sobrecusto inicial, estimado em 37.822€ é de, aproximadamente, onze anos e meio, para um valor atual líquido (VAL) de 8.061€ e à taxa interna de rentabilidade (TIR) de 7,03%.

Palavras-Chave

Medidas de conservação de energia (MCE), AVAC, Isolamento térmico, Vão envidraçado, Proteções solares, Recuperadores de calor, Variadores de velocidade.

Abstract

The present work aims to show that the application of energy conservation measures (ECM) may represent a reduction in the raw material intensity use during building construction. More specifically it may represent a reduction in the material and equipment use, and hence, a reduction in the economic effort to the first investment. Represent and thereafter an energy use reduction during the building operating period.

The ECM application in the construction sector has been a practice in new buildings and in buildings undergoing major rehabilitation interventions. This practice is due to the mandatory compliance regulations requisites applied to the energy performance optimization of the buildings and their technical systems, namely, the RCCTE and the RSECE, meanwhile revoked to the REH and the RECS. In most of cases, the ECM implementation presents economic benefits to the building promoter, since it often leads to the Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) sizing systems optimization. This optimization allows reducing the cost associated to the first investment, as well as the use of energy by the building user, then a reduction in the exploration costs. However, the lack of impacts quantification of the HVAC systems sizing, the energy use reduction and the cost-benefits analysis of their application may constrain their implementation.

In this context, this thesis emerges by the initiative of Instituto Soldadura e Qualidade (ISQ), applied to a case of a building already built and owned by that company. This work intend to evaluate the implemented ECM effective contribution in design and construction, both in the HVAC systems and equipment size optimization, through the reduction of energy needs, as well as in the energy use reduction, which allows a cost-benefit assessment.

On the basis of the study case is the ECOTERMOLAB, the building referred above, acquired by the ISQ for the installation of a forming, research and development laboratory in the energy sector. After acquisition by the ISQ, the building has undergone several changes / beneficiations, including the ECM implementation, such as the thermal insulation application in opaque envelope (walls, floors and roofs), duplication of simple glazed, giving them better thermal characteristics, and the application of solar protections.

ECM were also adopted to HVAC systems, in particular, by the adoption of heat recovery in the New Air Handling Units (NAHU's) and variable speed drives on water circulation pumps and air blowers of NAHU's.

ISQ intended to conclude whether all ECM implementation contributed effectively to the sizing of HVAC systems and equipment of lesser capacity and consequently to energy use reduction. In sequence, they intended to evaluate the economic viability of all ECM application, by estimating the initial extra cost and the time required for the financial return from that investment.

To achieve the proposed aims, a dynamic energy simulation of ECOTERMOLAB using the software EnergyPlus was performed. First it was simulated a building base situation without any ECM. Later it was characterized each situation of ECM application, in order to evaluate their individual impact in HVAC systems energy use. Ultimately all solutions were assumed together to evaluate the final impact of all ECM in HVAC systems energy use and sizing.

The dynamic simulations provided the values of the heating and cooling needs, the energy used by HVAC systems and the heated and chilled water flows circulated. With these values a sizing estimate of the HVAC equipment and components was performed for the situations with all applied ECM in the ECOTERMOLAB and in their absence. From the difference between the equipment acquisition costs and energy saving values a study of the economic viability of the ECM implementation in this building was performed.

This study allowed concluding that the ECM application in the ECOTERMOLAB led to size reduction in most of HVAC equipment and components. It also enables to conclude the existence of a decrease in energy use for heating and cooling by these systems and equipment's. It is also concluded that the payback period of the initial extra cost, estimated at € 37,822 is approximately eleven and a half years, for a net present value (NPV) of € 8,061 and the internal rate of return (IRR) of 7.03%.

Keywords

Energy conservation measures (ECM), HVAC, thermic isolation, glazing, sun protection, heat exchangers, variable speed drives

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABELAS	XV
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XVII
ACRÓNIMOS	XIX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.3. CALENDARIZAÇÃO	4
2. ESTADO DA ARTE	7
2.1. CONTEXTO HISTÓRICO DA SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA	7
2.1.1. <i>Processo Operativo do Planeamento Urbano Sustentável</i>	8
2.1.2. <i>Construção Sustentável</i>	9
2.1.3. <i>O protocolo de Quioto</i>	13
2.1.4. <i>Regulamentos de Desempenho Energético dos Edifícios</i>	14
2.1.5. <i>Sistemas de Avaliação da Construção Sustentável</i>	18
2.2. DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS	22
2.2.1. <i>Soluções Passivas</i>	22
2.2.2. <i>Soluções Ativas</i>	35
3. CASO DE ESTUDO	39
3.1. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO EDIFÍCIO	41
3.1.1. <i>Construção do Modelo Computacional</i>	42
3.2. MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA	42

3.3. ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR	43
3.4. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO	44
3.4.1. <i>Caraterização Térmica da Envolvente</i>	<i>47</i>
3.5. CARACTERIZAÇÃO DOS GANHOS INTERNOS	53
3.5.1. <i>Ocupação.....</i>	<i>53</i>
3.5.2. <i>Iluminação.....</i>	<i>53</i>
3.5.3. <i>Equipamentos</i>	<i>54</i>
3.6. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO	55
3.6.1. <i>Produção de Energia Térmica.....</i>	<i>55</i>
3.6.2. <i>Distribuição de Energia Térmica</i>	<i>57</i>
3.6.3. <i>Difusão da Energia Térmica.....</i>	<i>58</i>
3.7. CONTROLO.....	61
3.8. CARACTERIZAÇÃO DOS VETORES ENERGÉTICOS	62
3.8.1. <i>Vetores Energéticos do Edifício.....</i>	<i>62</i>
3.9. ANÁLISE AO DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS E COMPONENTES.....	64
3.9.1. <i>Potência da Caldeira e do Chiller.....</i>	<i>65</i>
3.9.2. <i>Distribuição de Energia Térmica</i>	<i>66</i>
3.10. ANÁLISE DA ENERGIA UTILIZADA EM CLIMATIZAÇÃO	73
3.10.1. <i>Análise das Necessidades de Aquecimento.....</i>	<i>73</i>
3.10.2. <i>Análise das Necessidades de Arrefecimento</i>	<i>75</i>
3.10.3. <i>Recuperadores de calor.....</i>	<i>78</i>
3.10.4. <i>Ventilação</i>	<i>79</i>
3.10.5. <i>Bombagem</i>	<i>79</i>
3.11. ANÁLISE ECONÓMICA.....	80
3.11.1. <i>Custo Energético.....</i>	<i>80</i>
3.11.2. <i>Estimativa do-Investimento.....</i>	<i>82</i>
3.11.3. <i>Avaliação Económica do Investimento</i>	<i>83</i>
4. CONCLUSÕES.....	87
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....	91

ANEXO A. FALHAS VERIFICADAS NA INSTALAÇÃO AQS NA FASE CONSTRUÇÃO DE UM EDIFÍCIO	95
• SOBREDIMENSIONAMENTO.....	95
• EXCESSO DE AUTOMATISMOS.....	95
• FALTA DE COMISSONAMENTO	96
ANEXO B. CÁLCULO DA INÉRCIA TÉRMICA DO ECOTERMOLAB	99
ANEXO C. CONSTITUIÇÃO DA ENVOLVENTE	101
ANEXO D. PREÇO DA CALDEIRA E CHILLER.....	105
ANEXO E. DEFINIÇÃO DOS GRUPOS DO ENERGYPLUS	107
ANEXO F. CUSTO DA ENERGIA	119

Índice de Figuras

Figura 1 - Evolução das preocupações no sector da construção civil (PINHEIRO, 2006), (BOURDEAU, 1998) Avanço de uma construção tradicional, focada nos prazos de realização, na qualidade e nos custos, para um modelo de construção sustentável que se pondera também as emissões, saúde, biodiversidade e o consumo dos recursos, que representam os fatores sociais e ambientais, integrados na construção sustentável	11
Figura 2 - Impactes Ambientais no ciclo de actividades da construção (PINHEIRO, 2006), (CICA - Confederation of International Contractor's Associations, 2002; Parlamento Europeu e do Conselho, 2003) 4 fases do ciclo de vida da construção e os impactos por ela causados nos três pilares do desenvolvimento sustentável (social, económico e ambiental)	12
Figura 3 - Níveis de desempenho do sistema LiderA (PINHEIRO, 2011)	22
Figura 4 - Constituição das paredes ao longo dos anos (PEIXOTO DE FREITAS, et al., 2005)	24
Figura 5 - Pavimento com isolamento	25
Figura 6 - Cobertura com isolamento	26
Figura 7 - Vão envidraçado com caixilho em PVC e vidro triplo	27
Figura 8 - Sombreamento com estore veneziano	30
Figura 9 - Parede de Trombe com aquecimento por convecção	32
Figura 10 - Arrefecimento pelo Solo (método indirecto)	34
Figura 11 - Arrefecimento Evaporativa (método directo)	35
Figura 12 - Fachada frontal do ECOTERMOLAB	39
Figura 13 - Altimetria da distância do ECOTERMOLAB à costa	40
Figura 14 - Coordenadas e distancia à costa do ECOTERMOLAB	40
Figura 15 - Desenho do ECOTERMOLAB no <i>ENERGYPLUS</i>	41
Figura 16 - Planta do piso 1 do ECOTERMOLAB	44

Figura 17 - Planta do piso 0 do ECOTERMOLAB	45
Figura 18 - Planta da cave do ECOTERMOLAB	46
Figura 19 - Esquema da distribuição da água aquecida e arrefecida	57
Figura 20 - Esquema de principio de distribuição da água aquecida e arrefecida	66
Figura 21 - Esquema de demonstração da instalação	96

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Calendarização do projeto	5
Tabela 2 - Processo Operativo do Planeamento Urbano Sustentável, (AMADO, 2007)	9
Tabela 3 - Principais parâmetros de avaliação dos sistemas BREEAM, LEED e GBToos (PINHEIRO, 2003)	19
Tabela 4 - Ponderação para os 6 vertentes divididos nas 22 áreas do Sistema LiderA (V2.00 em percentagem)	21
Tabela 5 - Fatores solares máximos admissíveis pelo RCCTE	28
Tabela 6 - Distribuição das áreas do piso 1 do ECOTERMOLAB	45
Tabela 7 - Distribuição das áreas do piso 0 do ECOTERMOLAB	46
Tabela 8 - Distribuição das áreas da cave do ECOTERMOLAB	47
Tabela 9 - Coeficientes de transmissão térmica originais e atuais de cada envolvente e os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis e de referência pelo RCCTE	50
Tabela 10 - Coeficientes de transmissão térmica originais e atuais de cada envolvente e os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis e de referência pelo RCCTE	50
Tabela 11 - Coeficientes de transmissão térmica originais e atuais de cada envolvente e os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis e de referência pelo RCCTE	51
Tabela 12 - Coeficientes de transmissão térmica originais e atuais de cada envolvente e os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis e de referência pelo RCCTE	51
Tabela 13 – Fatores solares originais e atuais, fatores solares máximos e de referência admissíveis pelo RCCTE e coeficientes de transmissão térmica originais e atuais	52
Tabela 14 - Distribuição da ocupação por piso	53

Tabela 15 - Distribuição da potência da iluminação por piso	54
Tabela 16 - Distribuição da potência dos equipamentos por piso	55
Tabela 17 – Dados técnicos do <i>chiller</i> e da caldeira	56
Tabela 18 – Danos técnico da torre de arrefecimento seca	56
Tabela 19 – Dados técnicos das UTAN's	59
Tabela 20 - Dados técnicos de arrefecimento dos ventiloconvectores	60
Tabela 21 - Dados técnicos de aquecimento dos ventiloconvectores	60
Tabela 22 - Descrição dos Ventiladores de extração	61
Tabela 23 - Potência da caldeira e do <i>chiller</i> com e sem a aplicação das MCE	65
Tabela 24 - Caudal de água aquecida e arrefecida circulada pela rede de tubagem do ECOTERMOLAB	67
Tabela 25 - Distribuição das bombas de água para o ventiloconvectores	68
Tabela 26 - Potência das bombas de circulação de água sem a aplicação das MCE	69
Tabela 27 - Potência das bombas de circulação de água com a aplicação das MCE	70
Tabela 28 - Diferença na potência requirida com e sem a aplicação de todas as MCE	70
Tabela 29 - Diâmetro necessário para os tubos com e sem a aplicação das MCE	72
Tabela 30 - Energia utilizada para climatização sem e com todas as MCE aplicadas	78
Tabela 31 - Utilização de energia na ventilação do ECOTERMOLAB sem e com todas as MCE	79
Tabela 32 - Utilização de energia na bombagem do ECOTERMOLAB sem e com todas as MCE	80
Tabela 33 - Redução da utilização de energia dos equipamentos	81
Tabela 34 - Custo energético por setor e respectiva redução	81
Tabela 35 - Custo de aplicação de MCE na construção	82
Tabela 36 - Custo de aquisição de equipamentos e respetivas reduções	83

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Utilização de energia dividida por vetor energético [kWh] no ano 2012	63
Gráfico 2 - Custo da energia [€] no ano 2012	63
Gráfico 3 - Potências das caldeiras para as diferentes simulações dinâmicas	74
Gráfico 4 - Energia utilizada pela caldeira para as diferentes simulações dinâmicas	75
Gráfico 5 - Potências dos <i>chillers</i> para as diferentes simulações dinâmicas	76
Gráfico 6 - Energia utilizada pelos <i>chillers</i> para as diferentes simulações dinâmicas	77

Acrónimos

AQS	-	Água Quente Sanitária
AVAC	-	Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado
MCE	-	Medidas de Conservação de Energia
QAI	-	Qualidade do Ar Interior
<i>Payback</i>	-	Período de retorno do investimento
TIR	-	Taxa Interna de Rentabilidade
VAL	-	Valor Atual Líquido
CE	-	Comissão Europeia
UE	-	União Europeia
SCE	-	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
RCCTE	-	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	-	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
PTP	-	Ponte Térmica Plana
PTL	-	Ponte Térmica Linear
RECS	-	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
REH	-	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
SGTC	-	Sistema de Gestão Técnica Centralizada
U	-	Coeficiente de Transmissão Térmica
BREEAM	-	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
LEED	-	<i>Leadership in Energy & Environment Design</i>
GBTtools	-	<i>Green Building Challenge</i>

1.Introdução

1.1. Contextualização

A ocupação de terra e o uso dos recursos naturais em excesso levou a uma recente preocupação dos governantes com o futuro do planeta. Surge então o conceito de desenvolvimento sustentável, que de início assenta apenas num pilar ambiental, mas que com o passar dos anos acaba também por incluir outros dois pilares importantes, a sociedade e a economia.

O tema do desenvolvimento sustentável tem vindo a adquirir relevância na agenda política internacional e para o qual, a população dos países, ditos, desenvolvidos tem vindo a adquirir particular interesse. Dada a importância em construir um futuro mais sustentável, em 1987, a Comissão Mundial do Ambiente e do Desenvolvimento publica o Relatório de Brundtland, intitulado *Nosso Futuro Comum (Our Common Future)*, com o objetivo de desenvolver medidas necessárias à construção de um futuro sustentável e da sensibilização da população mundial, em especial a dos países desenvolvidos e em vias de desenvolvimento. É no Relatório de Brundtland que foram dados os primeiros passos relevantes para a definição de desenvolvimento sustentável. Este relatório defende a ideia de que “Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades” (BRUNDTLAND, 1987).

Ao longo das últimas décadas tem-se verificado um constante aumento da utilização de energia por parte da humanidade, o que se reflete no aumento do consumo de produtos petrolíferos, tendo como consequência o aumento do preço dos mesmos, das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e de todos os malefícios que daí advêm. Deste modo, o aumento da utilização de energia tem uma influência direta na sustentabilidade, nas alterações climáticas e na economia, havendo necessidade de criar sistemas eficientes de modo a promover o uso racional da energia para contrariar o contínuo aumento do consumo de produtos petrolíferos. No sentido de baixar as emissões tanto de CO₂, como de outros gases com efeito de estufa prejudiciais para o ambiente, surge o Protocolo de Quioto. Neste protocolo os países desenvolvidos comprometeram-se a reduzir cerca de 5% das emissões de gases com efeito de estufa, entre o período de 2008 a 2012 tendo como ano de referência 1990. Os gases considerados de efeito de estufa são os 6 seguintes: o

dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), os hidrocarbonetos fluorados (HFC), os hidrocarbonetos perfluorados (PFC) e o hexafluoreto de enxofre (SF₆).

Segundo dados da União Europeia cerca de 40% da energia utilizada é referente aos edifícios o que torna fundamental alterar o método de construção de forma a tornar os edifícios mais eficientes energeticamente. Com o objetivo de definir parâmetros mínimos no desempenho dos novos edifícios e de identificar e avaliar potenciais de poupança energética nos edifícios existentes, foi publicada a Diretiva 2002/91/CE que obriga os estados-membro a criar um sistema nacional de certificação de desempenho energético. Com esta medida as normas de construção foram revistas tendo de adotar medidas de controlo e melhoria da eficiência (Parlamento Europeu e do Conselho, 2003). Com o objetivo de clarificar alguns princípios do texto inicial da Diretiva 2002/91/CE e de introduzir novas disposições de modo a reforçar o quadro de promoção do desempenho energético nos edifícios, para que seja possível atingir as metas acordadas com os Estados-Membro para 2020, em 2010, o Parlamento Europeu publica a Diretiva 2010/31/UE. As metas a atingir até 2020 surgem no Pacote clima-energia “três vintes”, e consistem, em reduzir 20% as emissões dos gases com efeito de estufa, aumentar em 20% o recurso a fontes renováveis e aumentar em 20% a eficiência energética tendo como dados de referência os valores de 1990.

Após a publicação da Diretiva 2002/91/CE da União Europeia, o Estado Português foi obrigado a implementar um sistema de certificação energética, ou seja, um sistema que indique a eficiência energética de um edifício. Surge então, em 2006, o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) pelo Decreto-Lei n.º78/2006, o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) pelo Decreto-Lei n.º79/2006 e o Regulamento das Características de Comportamento Térmica dos Edifícios (RCCTE) pelo Decreto-Lei n.º80/2006.

O SCE é aplicado a todos os novos edifícios e edifícios que sofram grandes intervenções, fornecendo a informação aos futuros utentes da utilização real de energia. Este sistema, obriga a aplicação de sistemas de energias renováveis de elevada eficiência, assim como inspeções às caldeiras e instalações de ar condicionado. As inspeções centram-se, também, na garantia de uma boa qualidade do ar interior (QAI) sem risco para a saúde pública. No caso de edifícios existentes, a certificação energética proporciona ainda informação sobre as medidas de melhoria de desempenho a aplicar.

O RSECE é aplicado a todos os edifícios ou frações autónomas não residenciais existentes com uma área útil superior a 1000 m², ou uma potência de climatização instalada superior a 25 kW, ou a novos edifícios residenciais ou cada uma das suas frações autónomas dotados de sistemas de climatização com potência superior a 25kW, ou a edifícios sujeitos a grandes intervenções de reabilitação com área útil superior a 1000 m², ou dotados de sistemas de climatização com potência superior a 25 kW. Uma vez abrangidos pelo RSECE, estes edifícios ficam obrigados a cumprir requisitos mínimos de qualidade térmica da envolvente, a garantir as renovações do ar interior e extração de agentes poluentes, bem como a fixar valores máximos de potência de climatização e de utilização de energia global.

O RCCTE é aplicado a cada uma das frações de todos os novos edifícios de habitação ou de serviços sem sistemas de climatização centralizado, ou sujeitos grandes intervenções de remodelação ou alterações na envolvente ou nas instalações de preparação de água quente sanitária. Uma vez abrangidos pelo RCCTE, estes edifícios ficam obrigados a cumprir requisitos de limites nas necessidades de energia útil para aquecimento, arrefecimento e produção de água quente sanitária, limites nas necessidades globais de energia primária e valores mínimos de qualidade térmica da envolvente.

1.2. Objetivos

O ECOTERMOLAB é um Laboratório de Formação e de Investigação e Desenvolvimento (ID&I) na área da energia, pretendendo ter um importante papel no estudo dos sistemas de climatização e de utilização racional de energia térmica e elétrica. A criação do ECOTERMOLAB teve como motivação a contribuição para o desenvolvimento das competências profissionais e tecnológicas, através de atividades de formação, investigação, desenvolvimento e suporte técnico, tanto das empresas portuguesas do setor da energia como dos seus colaboradores.

O ECOTERMOLAB teve como ponto de partida um edifício já existente, que foi sujeito a uma grande remodelação e adaptação nas quais foram aplicadas MCE, de acordo com os requisitos do RSECE e do RCCTE.

Face ao carácter pedagógico do edifício, surge a necessidade de avaliar o impacto real daquelas MCE na redução da intensidade de utilização de matérias-primas na

construção de um edifício, isto é, na redução da utilização de materiais e equipamentos e, consequentemente, na utilização de energia durante o período de utilização do edifício. Em complemento, pretende-se estimar o sobrecusto associado à aplicação das MCE e a diminuição dos custos associados à utilização de energia, com vista a determinar o período de retorno financeiro do sobre-investimento inicial.

Assim, com este trabalho, pretende-se avaliar, recorrendo à simulação energética dinâmica de edifícios, se a aplicação de medidas de melhoria na envolvente do edifício e o recurso a sistemas AVAC mais eficientes permitem, não só, reduzir o dimensionamento dos equipamentos utilizados pelos sistemas técnicos de AVAC, como também, reduzir a utilização de energia. Para este edifício em concreto, pretende-se demonstrar se a aplicação de MCE na envolvente, que inclui o isolamento térmico na envolvente opaca, a adoção de envidraçados com uma melhor qualidade térmica e sombreamentos móveis, juntamente com a utilização de MCE nos sistemas AVAC, tais como o recurso a recuperadores de calor nas Unidades de Tratamento de Ar Novo (UTAN's) e a variadores de velocidade nas bombas de circulação de água e nos ventiladores de ar, permitiu reduzir as potências dos equipamentos produtores de energia térmica, a potência das bombas de circulação e o diâmetro das tubagens, assim como, reduzir a fatura energética.

Para tal, o presente trabalho assentou nas seguintes tarefas:

- 1) Identificação preliminar das medidas aplicadas ao edifício e ao sistema AVAC com vista à melhoria do seu desempenho energético;
- 2) Elaboração do modelo de simulação energética dinâmica do edifício;
- 3) Avaliação do impacto da aplicação das medidas no dimensionamento dos sistemas e equipamentos AVAC, no desempenho energético do edifício e na redução da respetiva fatura energética, quer isoladamente, quer no seu conjunto;
- 4) Análise dos resultados;
- 5) Avaliação económica.

1.3. Calendarização

O decorrer dos trabalhos objetivados resultou da calendarização da Tabela 1.

Tabela 1 - Calendarização do projeto

Atividades a desenvolver	Ma r	Ab r	Ma i	Ju n	Ju l	Ag o	Se t	Ou t	No v	De z	Ja n	Fe v	Ma r	Ab r	Ma i	Ju n	Ju l
1. Início dos trabalhos - planeamento																	
2. Estado da arte.																	
3. Construção do edifício no programa de simulação dinâmica e realização das simulações - <i>SketchUp/EnergyPlus</i>																	
4. Análise dos dados obtidos nas simulações e verificação do custo/benefício																	
5. Elaboração do relatório - tese																	
6. Entrega do relatório																	

2.Estado da Arte

2.1. Contexto histórico da sustentabilidade energética

O desenvolvimento sustentável visa procurar um ponto de equilíbrio entre o uso de recursos naturais e os níveis de desenvolvimento. Quando os governantes tomaram consciência que as sociedades tinham uma pegada ecológica (quantidade de terra produtiva e mar necessários para fornecer os recursos que a população consome e assimilar os resíduos adjacentes) superior à devida, o caminho que as sociedades estavam a seguir começou a ser repensado. No sentido de alterar este percurso e alertar para o crescimento do problema, em 1987, é publicado o Relatório de Brundtland, pela Comissão Mundial do Ambiente e do Desenvolvimento, onde se define pela primeira vez o conceito de desenvolvimento sustentável: “Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades” (BRUNDTLAND, 1987). A elaboração do Relatório de Brundtland teve como ideias primordiais a necessidade de organização do modo de desenvolvimento da sociedade e a preservação dos recursos existentes (PINHEIRO, 2006).

Apesar do contributo do Relatório de Brundtland para o desenvolvimento sustentável, este não refere as medidas a serem executadas pelos estados, nem as metas a serem cumpridas a nível internacional. Estas medidas foram referidas pela primeira vez, na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada em 1992 no Rio de Janeiro onde se criou a Agenda 21. Nesta conferência estabeleceu-se as ações a realizar, quer a nível local quer a nível global, pelos governantes, organizações não-governamentais, empresas e outros sectores da sociedade, no que diz respeito ao estudo de soluções para o desenvolvimento sustentável. Cada país ou região ficou encarregue de estabelecer as suas medidas de aplicação, para atingir um desenvolvimento sustentável, tendo como ponto de partida os princípios da Agenda 21, cada país deveria preparar e aplicar um plano estratégico de ação a longo prazo. É também de realçar que a Agenda 21 veio também alterar o conceito de desenvolvimento sustentável, não tendo como preocupação apenas o pilar ambiental, mas passando também a ter em conta os pilares económicos e sociais (CIB, 1999).

Na segunda conferência das Nações Unidas para os acordos humanos, decorrida em Istambul, em 1996, foi criada a Agenda *Habitat II*. Esta agenda tem como temas:

- 1) Uma "Adequate shelter for all" ("habitação adequada para todos"), dando relevância à necessidade básica de acesso a uma casa segura e com condições de higiene, uma vez que uma grande parte da população mundial não tem casa ou casa com saneamento;
- 2) "Sustainable human settlements development in an urbanizing world" ("o desenvolvimento sustentável de povoadamentos humanos num mundo em urbanização") dando ênfase ao direito ao desenvolvimento para todos sendo a democracia, o respeito pelos direitos humanos, os governos e todos os sectores da sociedade indispensáveis para a realização de um desenvolvimento sustentável (UNITED NATIONS, 1996):

Assim, os objetivos delineados pela Agenda *Habitat II* são:

- 1) Igualdade de acesso para todas as pessoas às habitações, infraestruturas, serviços de saúde, água e alimentos, educação e espaços abertos, bem como a igualdade de direitos para todos independentemente da sua raça, cor, sexo, língua, religião ou qualquer outra condição;
- 2) Irradicação da pobreza baseada no desenvolvimento sustentável;
- 3) A importância na qualidade de vida das condições físicas e locais característicos das cidades, vilas e aldeias;
- 4) Necessidade de reforçar a família como célula fundamental da sociedade;
- 5) Os direitos e responsabilidades cívicas;
- 6) Parcerias entre países e parcerias dentro dos próprios países;
- 7) Solidariedade com os desfavorecidos e frágeis;
- 8) Aumento dos recursos financeiros;
- 9) Aumentos dos cuidados com a saúde para melhorar a qualidade de vida.

2.1.1. Processo Operativo do Planeamento Urbano Sustentável

O processo operativo do planeamento urbano sustentável foi estabelecido com o objetivo de se aplicarem os princípios do desenvolvimento sustentável ao planeamento urbano, deixando este de ser ditado exclusivamente pela componente económica e passando a integrar as componentes sociais e ambientais. Estes princípios devem ser aplicados no planeamento de novas áreas urbanas ou já existentes de modo a reconvertê-las (AMADO, 2007).

O processo de planeamento urbano sustentável divide-se em 4 etapas (Tabela 2):

- 1) Objetivos da intervenção;
- 2) Situação de referência;
- 3) Conceção;
- 4) Implementação.

Cada uma destas etapas tem um número variável de ações que devem ser combinadas de forma adequada tendo em conta o problema a abordar em função dos níveis ambientais, económicos e sociais a atingir.

Tabela 2 - Processo Operativo do Planeamento Urbano Sustentável, (AMADO, 2007)

Fases do Processo	Pontos a analisar
Objetivos da intervenção	<ul style="list-style-type: none"> • Definição de objetivos e ações estratégicas em conjunto com a população.
Situação de referência	<ul style="list-style-type: none"> • Análise ambiental; • Análise económica; • Análise social e urbanística; • Condicionantes e potencialidades; • Definição de critérios específicos.
Conceção	<ul style="list-style-type: none"> • Cadastro fundiário; • Condicionantes; • Estratégias e fatores de sustentabilidade; • Localização de equipamentos e espaços livres; • Traçado de vias; • Implementação de lotes; • Elaboração de proposta; • Avaliação.
Implementação	<ul style="list-style-type: none"> • Ficha de implementação.

Com o Processo Operativo do Planeamento Urbano Sustentável pretende-se então criar um instrumento operacional que serve de apoio à comunicação dos princípios do desenvolvimento sustentável para o planeamento urbano (AMADO, 2007).

2.1.2. Construção Sustentável

Com a necessidade de adaptar o desenvolvimento sustentável ao sector da construção, na década de 90 surge o conceito de construção sustentável. Na realização da Primeira Conferência Internacional sobre Construção Sustentável, em 1994, na Florida, Charles Kibert referiu como preocupações para a construção sustentável a adequada

utilização do solo, da energia, da água, da seleção de materiais e dos métodos de construção, incluindo os métodos de análise de ciclo de vida e a desconstrução, garantindo sempre a qualidade do ambiente interior e exterior. Como resposta a estes problemas, Kibert propôs os seguintes objetivos para atingir uma construção sustentável (KIBERT, 1994):

- Diminuir o consumo de recursos naturais;
- Aumentar a reutilização dos recursos;
- Utilizar recursos renováveis e recicláveis;
- Proteger o ambiente natural;
- Criar um ambiente saudável e não tóxico;
- Potenciar a qualidade ao criar o ambiente construído.

Um estudo efetuado pelas Nações Unidas realizado em 2012 previu que a meio de 2013 o número esperado de habitantes no mundo seria de 7200 milhões, com uma projeção de 8100 milhões de habitantes para 2025, 9600 milhões para 2050 e 10900 milhões de habitantes esperados para o ano de 2100 (NATIONS, 2013). Conciliando estes números com o facto de as pessoas passarem cerca de 90% do tempo dentro de edifícios, quer para habitação, quer para trabalho, é importante que estes proporcionem comodidade (PINHEIRO, 2006). Com este acentuado crescimento da população mundial torna-se óbvio o aumento das necessidades de habitações, energia e água, transportes e comunicações. Como consequência, os sectores mais influenciados foram os da construção e da gestão do ambiente edificado, o que faz com que estes sectores adquirissem um papel fundamental no alcance do desenvolvimento sustentável (CIB, 1999). Para que a construção civil se tornasse mais sustentável, em 1999, adequaram-se os conteúdos da Agenda 21 à construção (Figura 1) (BOURDEAU, 1998) (CIB, 1999).

Sustentabilidade e construção

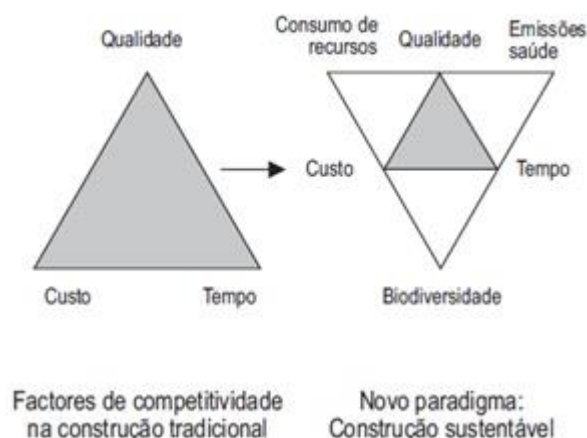


Figura 1 - Evolução das preocupações no sector da construção civil (PINHEIRO, 2006), (BOURDEAU, 1998) Avanço de uma construção tradicional, focada nos prazos de realização, na qualidade e nos custos, para um modelo de construção sustentável que se pondera também as emissões, saúde, biodiversidade e o consumo dos recursos, que representam os fatores sociais e ambientais, integrados na construção sustentável

Na evolução para construção sustentável é essencial criar regras e procedimentos na construção baseados nos princípios de desenvolvimento sustentável, propondo reduzir a utilização de energia, o uso de recursos naturais e a criação excessiva de resíduos. Estes princípios de desenvolvimento sustentável devem ser aplicados em todo o ciclo de vida de um edifício, começando pela fase de conceção, passando pela construção e operação, acabando na desativação (CIB, 1999).

O ciclo de vida de um edifício passa por 4 fases:

- 1) Conceção, onde surge a ideia, se toma a decisão e realiza o projeto;
- 2) Construção, onde é efetuada a construção do edifício e as renovações;
- 3) Operação, representado pelo desempenho do edifício e a sua manutenção;
- 4) Desativação, quando se executa a demolição.

Cada uma das fases tem uma contribuição diferente ao nível social, económico e ambiental (Figura 2).

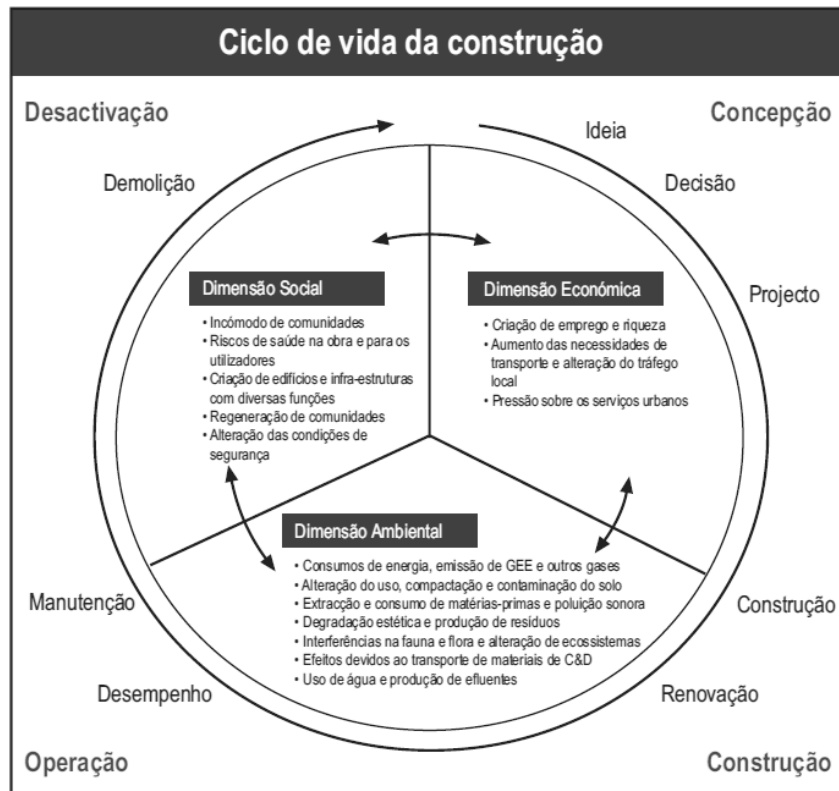


Figura 2 - Impactes Ambientais no ciclo de actividades da construção (PINHEIRO, 2006), (CICA - Confederation of International Contractor's Associations, 2002; Parlamento Europeu e do Conselho, 2003) 4 fases do ciclo de vida da construção e os impactos por ela causados nos três pilares do desenvolvimento sustentável (social, económico e ambiental)

A fase de concepção talvez seja a fase mais importante no ciclo de vida do edifício. Apesar de esta fase ser a que menos impactes ambientais provoca, visto só ser necessário gastos com operações no escritório, materiais consumíveis, transporte e emissões associadas, terá parte influente tanto na localização, orientação e tecnologias a incorporar, como nas matérias-primas, utilização de energia e de água. Estas decisões terão uma grande responsabilidade nos impactes ambientais futuros desse edifício (PINHEIRO, 2006).

A fase de construção corresponde à realização da obra. Os principais problemas nesta fase do ciclo de vida, relativamente a impactos ambientais, são causados pelos recursos naturais usados na construção, a utilização de água e energia e ainda os resíduos produzidos. Esta fase é a que mais impacto provoca no ambiente, levando a alterações em ecossistemas, ocupação de solo e alteração da envolvente (PINHEIRO, 2006).

A fase de operação é a fase mais longa de todas, que vai desde a aquisição do imóvel finalizado até à sua desactivação ou demolição. Durante esta fase podem ocorrer

processos intermédios incluindo atividades de requalificação, renovação ou manutenção. Relativamente às fases de conceção e construção, em que a sua duração pode ir de alguns meses a poucos anos, a fase de operação perdura durante vários anos. A maior parte das infraestruturas e edifícios projetados atualmente têm um tempo de vida superior a 40 anos o que significa que estes edifícios e estruturas têm impactes muito prolongados ao nível de utilização de energia e água, de acumulação de resíduos, de emissões e cargas poluentes (PINHEIRO, 2006).

A fase de desativação é a última fase e mais curta do ciclo de vida do edifício. O grande impacte causado por esta fase corresponde à produção de resíduos, no entanto existem outros fatores com contribuições bastante menores, mas não desprezáveis, como as emissões de vibrações e ruído e utilização de energia e materiais (PINHEIRO, 2006).

A construção sustentável, pressupõe adotar metodologias que reduzam o consumo, de modo a preservar ao máximo os recursos naturais e aumente a eficiência energética (CIB, 1999).

2.1.3. O protocolo de Quioto

O crescimento económico e o desenvolvimento industrial levaram à emissão em grande escala de gases de estufa com efeitos prejudiciais para o ambiente. Assim, na tentativa de diminuir os efeitos causados surge o Protocolo de Quioto, que entra em vigor no ano de 2005 tendo como preocupação as emissões de gases com efeito de estufa que estavam a provocar o aquecimento global. Com o Protocolo de Quioto, os países desenvolvidos comprometem-se a reduzir cerca de 5% das emissões de gases com efeito de estufa, entre o período de 2008 a 2012 tendo como ano de referência 1990. Portugal comprometeu-se a reduzir em 8% as emissões dos seguintes 6 gases: o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), os hidrocarbonetos fluorados (HFC), os hidrocarbonetos perfluorados (PFC) e o hexafluoreto de enxofre (SF_6) (EUROPA, 2011).

Após a entrada em vigor do Protocolo de Quioto, o Parlamento Europeu aprovou o Pacote clima-energia “três vintes” objetivando que os países da união europeia atinjam até 2020 três metas tendo como base os valores de referência do ano 1990:

- 1) Reduzir em 20% as emissões de gases com efeito de estufa;
- 2) Aumentar em 20% o recurso a fontes de energia renovável;

- 3) Aumentar em 20% a eficiência energética.

Para além destas três metas, o pacote clima-energia procura também fixar em 10% o uso de energias renováveis no sector dos transportes, com data de conclusão igualmente 2020 (EUROPARL, 2008).

2.1.4. Regulamentos de Desempenho Energético dos Edifícios

A União Europeia (UE) tem um papel importante no apoio para melhorar a eficiência energética dos estados membro, sendo decisiva para o cumprimento dos compromissos acordados no protocolo de Quioto. Alguns dos principais objetivos da UE consiste em efetuar uma redução na utilização de energia eliminando os desperdícios. Segundo dados da UE, 40% da energia utilizada nos países da UE está associada aos edifícios, e havendo a possibilidade de reduzir o consumo potencial com medidas de baixo custo, é introduzido pela UE uma legislação de forma a garantir que os edifícios utilizem menos energia (EPBD, 2014).

2.1.4.1. Legislação Europeia

Tendo em vista uma redução da utilização de energia pelos edifícios, a UE publicou a Diretiva 2002/91/CE, que obriga os Estados Membro da União Europeia a implementar no seu país um sistema de certificação energética de edifícios, com o objetivo de fomentar a melhoria do desempenho energético dos mesmos, prestando particular atenção às condições locais e às condições climáticas exteriores, às exigências das temperaturas interiores e à rentabilidade económica (ADENE, 2012). Na Diretiva 2002/91/CE foram estabelecidos vários requisitos, tais como (ADENE, 2012):

- Aplicação de uma metodologia de cálculo do desempenho energético;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energéticos no caso dos edifícios novos e edifícios sujeitos a grandes intervenções;
- Inspeção regular das caldeiras e às instalações de ar condicionada;
- Certificação energética dos edifícios.

De forma a clarificar alguns princípios do texto inicial da Diretiva 2002/91/CE, o Parlamento Europeu publica, em 2010, a Diretiva 2010/31/UE. Esta Diretiva, aparece também com o intuito de introduzir novas disposições de modo a reforçar o quadro de

promoções do desempenho energético nos edifícios, para que seja possível atingir as metas acordadas com os Estados Membro para 2020. Com esta nova Diretiva aos requisitos estabelecidos na Diretiva 2002/91/CE foram acrescentados os seguintes requisitos (Diretiva 2010/31/UE, 2010):

- a) Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos:
 - i) Edifícios existentes, frações autónomas e componentes de edifícios sujeitos a grandes renovações;
 - ii) Elementos construtivos da envolvente dos edifícios com impacto significativo no desempenho energéticos da envolvente quando forem renovados ou substituídos;
 - iii) Sistemas técnicos dos edifícios quando for instalado um novo sistema ou quando o sistema existente for substituído ou melhorado.
- b) “*Nearly Zero Energy Buildings*” (NZEBC – custos energéticos nos edifícios perto de zero) que pretende obrigar os novos edifícios, a partir 2020, a terem gastos energéticos perto de zero. Os edifícios públicos têm como prazo de aplicação o ano de 2018;
- c) Sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeções.

2.1.4.2. Legislação Nacional

A transposição para o direito português da Diretiva 2002/91/CE deu origem aos Decretos-Lei n.º78/2006, n.º79/2006 e n.º80/2006, que correspondem ao Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), ao Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e ao Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), respetivamente, revogando na íntegra os anteriores regulamentos. A implementação do SCE teve três objetivos (Decreto-Lei 78/2006, 2006):

- 1) Assegurar que o RCCTE e o RSECE eram aplicados no que diz respeito às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energia renováveis, bem como, garantir as condições da qualidade do ar interior (QAI);
- 2) Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior dos edifícios abrangidos;
- 3) Identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho possível de aplicar aos edifícios e respetivos sistemas energéticos, relativamente a caldeiras e equipamentos de ar condicionado, no sentido de melhorar o desempenho energético e a qualidade do ar interior.

A implementação do SCE, segundo estipulado, seria feita de forma gradual, começando pelos edifícios mais consumidores de energia e de maior dimensão e mais tarde alargada a sua aplicação para todos os edifícios com sistemas de climatização.

O SCE abrangeu os novos edifícios e os existentes que sofressem grandes intervenções de reabilitação identificados no RSECE e RCCTE, edifícios de serviços existentes sujeitos a auditorias periódicas, como especifica o RSECE e os edifícios existentes de habitação e serviços aquando da celebração de um contrato de venda ou arrendamento.

O RSECE surge com os seguintes objetivos (Decreto-Lei 79/2006, 2006):

- Definir as condições de conforto térmico e de higiene que devem ser exigidas nos diferentes espaços dos edifícios, concordantes com as respetivas funções;
- Melhorar a eficiência energética global dos edifícios, tanto nos consumos para climatização como em todos os tipos de utilização de energia que neles ocorrem, de forma a promover uma limitação efetiva para padrões aceitáveis, quer para novas construções quer para edifícios existentes ou grandes reabilitações;
- Impor regras de eficiência aos sistemas de climatização e de qualidade da envolvente de forma a melhorar o seu desempenho energético efetivo e garantir os meios para a manutenção de uma boa qualidade do ar interior, ao nível de projeto, instalação e bom acesso para se efetuar a manutenção;
- Monitorizar, regularmente, as práticas da manutenção dos sistemas de climatização com o objetivo de manter a eficiência energética do equipamento e a qualidade do ar interior nos edifícios.
- Impor mecanismos mais efetivos para comprovar a conformidade regulamentar e aumentar as penalizações;
- Impor mecanismos de auditoria periódicos dos edifícios.

A aplicação do RSECE destina-se a todos os grandes edifícios de serviços existentes com uma área útil superior a 1000 m², no entanto no caso de edifícios existentes do tipo centros comerciais, supermercados, hipermercados e piscinas aquecidas cobertas, o limite anterior é reduzido para 500 m². O RSECE destina-se ainda a todos os novos edifícios que possuam uma potência instalada superior a 25 kW para climatização (Decreto-Lei 79/2006, 2006).

O primeiro Regulamento a ser implementado como instrumento legal em Portugal na promoção da eficiência energética dos edifícios foi o RCCTE aprovado pelo Decreto-

Lei n.º40/90, de 6 de Fevereiro. Este regulamento impôs, pela primeira vez, requisitos a todos os projetos de novos edifícios e grandes remodelações, tendo como objetivo garantir o conforto térmico nos edifícios sem que houvesse uma utilização excessiva de energia para aquecimento ou arrefecimento. Outro objetivo do RCCTE era garantir a minimização de efeitos patológicos na construção, resultado de condensações superficiais na envolvente interior dos edifícios. Com a última revisão do RCCTE passa-se obrigatoriamente a:

- Contabilizar as necessidades para preparação das águas quentes sanitárias (AQS), por forma a contabilizar todos os consumos de utilização de energia importantes;
- Instalar painéis solares para produção de AQS, com vista a ampliar o mercado da energia solar renovável;
- Aplicar isolamentos térmicos nos edifícios;
- Impor mecanismos mais efetivos para comprovar a conformidade regulamentar.

Com a aplicação destas medidas espera-se reduzir a energia em excesso utilizada para garantir as necessidades de aquecimento, arrefecimento, ventilação, qualidade do ar interior e de AQS, para além de minimizar as situações patológicas nos elementos de construção.

O âmbito de aplicação do RCCTE destina-se a cada fração autónoma de todos os novos edifícios de habitação e de serviços, edifícios existentes que sofressem grandes intervenções de reabilitação ou alterações nas envolventes ou nas instalações de preparação de AQS dos edifícios de habitação ou de serviços, sem sistemas de climatização centralizados, com exceção das seguintes situações (Decreto-Lei 80/2006, 2006):

- Edifícios ou frações autónomas destinados a serviços que se destinem a permanecer constantemente abertos em contacto com o exterior e que não sejam climatizados;
- Edifícios utilizados como locais de culto, edifícios com a finalidade de indústria destinados ao processo de produção, bem como garagens, armazéns, oficinas e edifícios agrícolas não residenciais;
- Intervenções de remodelação, recuperação e ampliação de edifícios em zonas históricas ou edifícios classificados, sempre que se verifiquem incompatibilidades com as exigências deste Regulamento;
- Infraestruturas militares e imóveis ligados ao sistema de informação ou a forças de segurança que se encontrem sujeitos a regras de controlo e confidencialidade.

Na sequência da imposição da transposição da Diretiva 2010/31/UE o SCE é revogado pelo Decreto-Lei n.º118/2013 e demais legislação complementar, tendo também

sido revogados o RCCTE mediante a publicação do REH (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação) e o RSECE mediante a publicação do RECS (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços).

Os atuais regulamentos SCE, REH e RECS encontram-se agora dispostos num único diploma, ao contrário dos seus antecessores que eram divididos em três, promovendo uma melhor harmonia conceptual e terminológica. Outra alteração é o facto de se ter definido que o âmbito de aplicação de REH é exclusiva para edifícios de habitação e o RECS para edifícios de comércio e serviços. Os requisitos e avaliação de desempenho energético dos edifícios sofrem também alterações passando a fundamentar-se nos seguintes pilares: para os edifícios de habitação destaca-se o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas, ao passo que para os edifícios de comércio e serviço a estes pilares acresce ainda a instalação, condução e manutenção dos sistemas técnicos (Decreto-Lei 118/2013, 2013).

Pelo facto de o edifício e as suas instalações terem sido projetados e construídos durante o período de vigência do RSECE e RCCTE, sempre que a abordagem deste trabalho o justificar, serão tidos em consideração aqueles regulamentos.

2.1.5. Sistemas de Avaliação da Construção Sustentável

Inicialmente, os sistemas de avaliação de mérito ambiental, eram um exercício de estruturação de um conjunto de considerações e conhecimentos de forma prática. Na década de 90, com o aumento da importância atribuída ao ambiente e ao conceito de sustentabilidade na construção, surgiu o conceito de construção sustentável e as diretrizes para o seu reconhecimento, implementação e avaliação das características ambientais da construção com especial atenção nos edifícios (PINHEIRO, 2006).

Grande parte dos sistemas de avaliação e reconhecimento de edifícios sustentáveis baseiam-se em legislações e regulamentos locais, em que a importância de cada indicador e parâmetro na avaliação e as soluções construtivas convencionais é estabelecido de acordo com a situação ambiental, económica e sócio-cultural do local em que se insere. Por este motivo a maior parte destes sistemas só podem ser executados a nível local ou regional, no entanto existem alguns métodos que podem ser utilizados à escala global. (BRAGANÇA, et al., 2006).

O primeiro método de análise global a aparecer, remete a 1990, no Reino Unido, onde surge o sistema conhecido como BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) (PINHEIRO, 2006). Atualmente existem mais tipos de sistemas de avaliação e reconhecimento global do que o BREEAM, mas só vai ser feita uma breve referência neste trabalho dos que são considerados mais relevantes, nomeadamente o BREEAM, o LEED (*Leadership in Energy & Environment Design*) por diferenciarem os tipos de uso, como residencial, escritório, comercial entre outros, para os quais se definem critérios e formas de reconhecimento específicos. É ainda de destacar o GBTool (*Green Building Challenge*) por dar um forte contributo na participação e colaboração entre diversas iniciativas internacionais (PINHEIRO, 2003)

Nos sistemas BREEAM e LEED a avaliação é efetuada através da elaboração de uma *checklist* com os pré-requisitos e uma pontuação que lhes é atribuída. Esta *checklist* permite verificar se o projeto cumpre com os pré-requisitos necessários para cada fase do projeto. A metodologia utilizada no GBTool baseia-se na comparação do desempenho de um edifício com casos de referência dividido por parâmetros. Em cada parâmetro é preciso criar os casos de referência dependendo do tipo de edifício. Este procedimento leva a que sejam consumidos mais recursos (BRAGANÇA, et al., 2006). Os principais parâmetros de avaliação dos sistemas BREEAM, LEED e GBTool estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Principais parâmetros de avaliação dos sistemas BREEAM, LEED e GBToos (PINHEIRO, 2003)

Sistemas de avaliação			
	BREEAM	LEED	GBTool
Principais parâmetros de avaliação	<ul style="list-style-type: none"> • Energia; • Saúde e bem-estar; • Utilização do solo e ecologia; • Materiais; • Poluição; • Utilização eficiente da água; • Transportes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Energia e atmosfera; • Materiais e recursos; • Qualidade do ar interior; • Utilização eficiente da água; • Locais Sustentáveis; • Inovação e desenho; • Projeto global. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de recursos; • Cargas Ambientais; • Qualidade do ar interior; • Qualidade do serviço; • Economia; • Gestão pré operações; • Transporte...

Outro sistema de avaliação relevante, é o LiderA por ser executado em Portugal. O sistema LiderA assume-se como um sistema para liderar pelo ambiente. Este sistema

organiza-se em vertentes que incorporam áreas de intervenção, que são empregues através de critérios que possibilitam a orientação e a avaliação do nível de procura da sustentabilidade. Estas vertentes procuram a sustentabilidade nos ambientes construídos onde se inserem em seis princípios (PINHEIRO, 2011):

- Valorizar a dinâmica local e promover uma adequada integração;
- Fomentar a eficiência no uso dos recursos;
- Reduzir o impacto das cargas (quer em valor, quer em toxicidade);
- Assegurar a qualidade do ambiente, focado no conforto ambiental;
- Fomentar as vivências socioeconómicas sustentáveis;
- Assegurar a melhor utilização sustentável dos ambientes construídos, através da gestão ambiental e da inovação.

Cada uma destas seis vertentes tem uma percentagem ponderada, uma vez que cada uma delas tem um peso diferente no cálculo para a atribuição do certificado. A subdivisão das seis vertentes é indicada na Tabela 4, onde também são apresentadas percentagens ponderadas a cada parâmetro (PINHEIRO, 2011):

Tabela 4 - Ponderação para os 6 vertentes divididos nas 22 áreas do Sistema LiderA (V2.00 em percentagem)

	%		%
Uso Sustentável	8	Inovação	2
		Gestão Ambiental	6
Vivência Socioeconómica	19	Custo no Ciclo de Vidas	3
		Participação e Controlo	4
		Amenidades e Interação Social	4
		Diversidade Económica	4
		Acesso para Todos	5
Conforto Ambiental	15	Iluminação e Acústica	5
		Conforto Térmico	5
		Qualidade do Ar	5
Cargas Ambientais	12	Poluição Ilumino-Térmica	1
		Ruído Exterior	3
		Resíduos	3
		Emissões Atmosféricas	2
		Efluentes	3
Recursos	32	Produção Alimentar	2
		Materiais	5
		Água	8
		Energia	17
Integração Local	14	Paisagem e Património	2
		Ecosistemas Naturais	5
		Solo	7

Dentro de cada parâmetro existe uma série de critérios a considerar pelo sistema de avaliação. Destes os mais importantes, são a energia com uma ponderação de 17%, a água com 8%, o solo com 7% e a gestão ambiental com 6% (PINHEIRO, 2011). Segundo o LiderA o desempenho do edifício ou fração autónoma é atribuído por classes entre G e A+++ (Figura 3). Para que seja atribuída a classe A+++, é necessário que o caso em avaliação contenha, para além de outros requisitos fundamentais, uma situação regenerativa. A classe maioritariamente atribuída é a classe E. No entanto em construções novas a classe mínima que é possível atribuir é B-.



Figura 3 - Níveis de desempenho do sistema LiderA (PINHEIRO, 2011)

2.2. Desempenho Energético dos Edifícios

Como reflexo da legislação, tem-se vindo a registar alterações nas práticas construtivas em Portugal, ao nível das edificações mas, também, dos sistemas AVAC com o objetivo de melhorar as condições interiores e o desempenho energético dos edifícios. A adoção de soluções passivas e ativas na envolvente e nos sistemas AVAC dos edifícios têm como principais vantagens a redução da dependência energética e das emissões de CO₂ (GANHÃO, et al., 2011).

2.2.1. Soluções Passivas

As características construtivas dos edifícios em conjunto com os níveis de exposição solar determinam as necessidades de aquecimento e arrefecimento. Com o objetivo de reduzir a utilização de energia e de aproveitar as características do clima mediterrânico, como é o caso de Portugal, a arquitetura bioclimática demonstra ser bastante atrativa. As estratégias bioclimáticas são regras gerais que têm como objetivo orientar o processo de conceção dos edifícios aproveitando as condições climáticas de cada local (GONÇALVES, et al., 2004).

Para implementação deste tipo de soluções, é importante o conhecimento das temperaturas exteriores durante o ano e da amplitude térmica para o estabelecimento dos fluxos energéticos tais como perdas e ganhos térmicos e aproveitar as potencialidades da ventilação natural (GONÇALVES, et al., 2004). Deste modo, as estratégias bioclimáticas

diferenciam-se um pouco dependendo em que período se encontra (aquecimento ou arrefecimento).

Relativamente ao aquecimento é importante (GONÇALVES, et al., 2004):

- Restringir perdas por condução, aplicar materiais isolantes nas construções em paredes, pavimentos, coberturas e envidraçados;
- Restringir as perdas por infiltração e o efeito da ação do vento no exterior dos edifícios, através da aplicação de uma boa vedação nos caixilhos das janelas, proteção dos ventos predominantes com vegetação e a escolha de uma boa localização;
- Promover os ganhos solares na época de aquecimento, aplicando sistemas solares passivos para aquecimento.

Quanto ao arrefecimento é importante (GONÇALVES, et al., 2004):

- Promover a ventilação natural, como é aplicado na arquitetura vernácula (nas zonas tropicais) e o *free cooling* nos sistemas de arrefecimento por ventilação;
- Restringir ganhos solares, com a aplicação de isolamento nas paredes e sombreamentos nos vãos envidraçados;
- Promover o arrefecimento por evaporação, aplicando lagos no exterior dos edifícios.

É de notar que a utilização de boas envolventes não é suficiente para garantir as condições de conforto interior do edifício durante todo o ano, sendo necessário o recurso a sistemas mecânicos de climatização quando as condições exteriores começam a ser bastante adversas acabando por interferir com o interior. Nestas situações é importante a resistência térmica oferecida pelo edifício, sendo possível aumentar essa resistência térmica através de melhorias nas envolventes (CANHA DA PIEDADE, et al., 2003).

2.2.1.1. Envoltente Opaca

A espessura de isolamento a aplicar deverá ser estipulada pelo cálculo térmico (PEIXOTO DE FREITAS, et al., 2005). Os coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos ($U_{máximo}$) admissíveis nas zonas opacas verticais são de $1.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ para a zona climática I1, $1.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ para a zona climática I2 e $1.45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ para a zona I3 (Decreto-Lei 80/2006, 2006). Os coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis nas zonas opacas horizontais são de $1.25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ para a zona climática I1, $1.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ para a zona climática I2 e $0.90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ para a zona climática I3 (Decreto-Lei 80/2006, 2006).

2.2.1.1.1. Paredes exteriores

A construção em Portugal tem vindo a sofrer algumas alterações e a constituição das fachadas não é exceção. Só na década de 80 é que se começou a utilizar isolamento nas paredes, como demonstra Figura 4 (PEIXOTO DE FREITAS, et al., 2005).

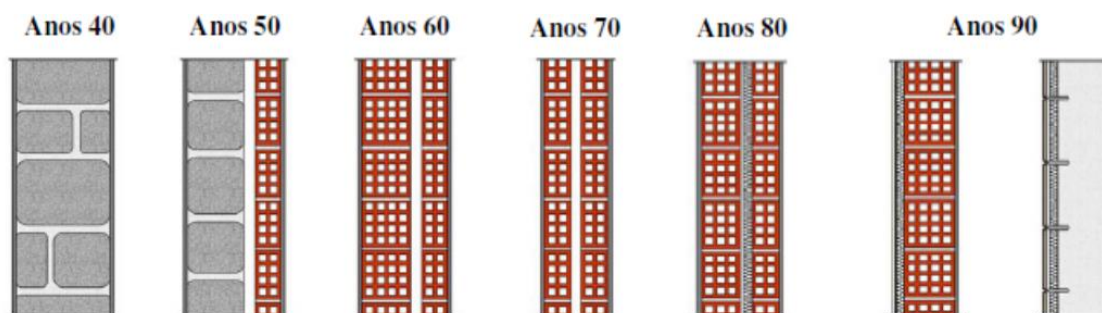


Figura 4 - Constituição das paredes ao longo dos anos (PEIXOTO DE FREITAS, et al., 2005)

A aplicação do isolamento térmico vai contribuir para a diminuição das perdas de calor para o exterior, no inverno e para a diminuição dos ganhos de calor vindos do exterior para o interior no verão. Com isto reduzem-se as necessidades quer de aquecimento quer de arrefecimento, aumentando a eficiência energética do edifício ao mesmo tempo que se baixam a utilização de energia. Para além de se poderem instalar equipamentos que sejam menos consumidores de energia dado que não é exigido um grande esforço no processo de climatização, podendo-se, também, reduzir na potência contratada à rede de distribuição de eletricidade.

Cerca de 60% da energia consumida pelos sistemas de climatização é desperdiçada ao escapar por zonas com pobre isolamento, estas zonas podem obter um melhor isolamento de forma que deixem de ocorrer essas perdas (EDP, 2012).

O método de aplicação do isolamento térmico pode ser feito de três formas:

- Isolamento aplicado pelo interior;
- Isolamento aplicado no interior da parede (só no caso de paredes duplas);
- Isolamento aplicado pelo exterior.

Os materiais com maior capacidade de resistência térmica, e que se recomendam utilizar como isolante térmico, são a lã mineral (MW), o poliestireno expandido moldado (EPS), o poliestireno expandido extrudado (XPS) e a espuma rígida de poliuretano (PUR) ou poli-isocianurato (PIR) (PINA DOS SANTOS, et al., 2006).

2.2.1.1.2. Pavimentos

Uma vez que se estima que 20% das perdas de calor totais de um edifício sejam devidas a perdas pelo pavimento torna-se também necessário isolar adequadamente o pavimento, principalmente em situações em que ele está em contacto com o terreno, sobre espaços não uteis ou exterior (Dow, 2006).

É possível aplicar o isolamento no pavimento de três formas: sobre ou sob a laje de pavimento e sobre o terreno (no caso em que o pavimento está em contacto com o solo) em que neste ultimo caso o mais recomendado é o XPS (Dow, 2006).

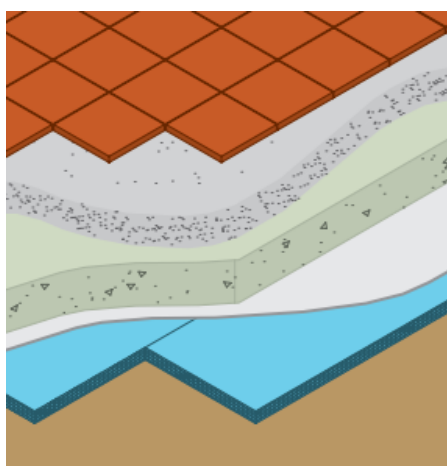


Figura 5 - Pavimento com isolamento

2.2.1.1.3. Coberturas

As coberturas são os elementos construtivos de um edifício que mais contribuem para as perdas de energia, por ser o elemento mais exposto ao exterior. Grande parte destas perdas devem-se ao fraco isolamento da cobertura, sendo possível isolar estes elementos para minimizar as perdas energéticas. Atualmente há dois tipos de coberturas, inclinadas ou planas (Dow, 2006).



Figura 6 - Cobertura com isolamento

2.2.1.1.3.1. Coberturas Inclinadas

Em cobertura inclinadas é possível aplicar a camada de isolamento em três posições, em que cada uma tem um desempenho associado: no topo da cobertura do último piso (com a desvantagem do desvão permanecer não isolado), no lado interior da estrutura que suporta a cobertura ou no lado exterior da estrutura que suporta a cobertura (Dow, 2006).

A opção que parece ser mais vantajosa é a cobertura do lado exterior visto poder tirar partido da inercia térmica da estrutura, protege a estrutura da variação da temperatura e torna possível a habitabilidade no desvão (Dow, 2006).

2.2.1.1.3.2. Coberturas planas

O método de aplicação do isolamento na cobertura plana pode ser do tipo tradicional ou invertido. No método tradicional o sistema de impermeabilização é aplicado por cima do isolamento térmico ficando exposto ao choque térmico, a danos mecânicos durante a fase de obra, a degradação por radiação e degradação devido à humidade que possa ocorrer na parte inferior do sistema de impermeabilização. O método invertido salvaguarda estas ocorrências ao aplicar o isolamento sobre o sistema de impermeabilização. Tem ainda como vantagens no caso do sistema de impermeabilização desempenhar a função de barreira pára-vapor, o isolamento pode ser aplicado sobre

qualquer condição meteorológica, fácil e rapidamente aplicável e bom acesso no caso de reparação (Dow, 2006).

Existe ainda outra variante do isolamento em cobertura plana que é a cobertura ajardinada, que tem como objetivo reduzir a pegada ecológica causada pela construção do edifício. Este tipo de cobertura tem algumas vantagens tais como: aumentar a eficiência energética e redução dos custos com energia, isolamento térmico, redução de 90% da ação térmica dos raios solares, aumento da produção de oxigénio, diminuição do efeito de estufa, redução do efeito de ilha de calor, entre outras (PtViS, 2013).

2.2.1.2. Vãos Envidraçados

Os vãos envidraçados são fundamentais nos edifícios porque possibilitam a entrada de radiação solar baixando os custos da iluminação do espaço interior, permitindo também a visualização da área exterior.

Durante o período de aquecimento os vãos envidraçados permitem usufruir dos ganhos da radiação solar. Outra mais-valia dos vãos envidraçados é o facto de permitir a ventilação natural reduzindo os custos da ventilação mecânica. Em contrapartida são fracos isolantes térmicos dos edifícios. No período de aquecimento são responsáveis pela perda de calor por condução através do vidro devido à sua reduzida espessura. No período de arrefecimento é responsável pelo ganho de calor por efeito radiativo através do vidro (RODRIGUES, et al., 2010). Os vãos envidraçados são constituídos pelo envidraçado e pelo caixilho.



Figura 7 - Vão envidraçado com caixilho em PVC e vidro triplo

Os fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados com mais de 5% da área útil do espaço que servem, com as proteções 100% ativas e dependendo da zona climática e da classe de inércia térmica, não podem exceder os valores indicados na Tabela 5.

Tabela 5 - Fatores solares máximos admissíveis pelo RCCTE

Classe de inércia térmica	Zona Climática		
	V ₁	V ₂	V ₃
Fraca	0,15	0,15	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

2.2.1.2.1. Vidro

Inicialmente os vãos envidraçados eram constituídos por um único vidro, comumente designado por pano único, cujo rendimento térmico era fraco. Com o passar do tempo começou-se a estudar e implementar formas de reduzir a perda térmica através dos vãos envidraçados. Para tal começou-se a utilizar vãos envidraçados com vários panos. Ao incluir-se mais um pano no vão envidraçado o coeficiente de transmissão térmica (U) do vidro é reduzido para metade. Existem ainda opções com 3 ou 4 panos mas apesar de reduzir o U já não o faz de forma proporcional (RODRIGUES, et al., 2010). De forma a não se exagerar na quantidade de panos passou-se a aplicar outra estratégia que passa pela introdução de películas plásticas. Estas películas plásticas têm a vantagem de ter propriedades de baixa emissividade (RODRIGUES, et al., 2010).

Uma outra opção para reduzir a transmissão de calor consiste no recurso a gases menos condutores do que o ar (mais viscosos), que são aplicados na caixa de ar dos envidraçados com múltiplos panos. Os gases mais utilizados para este efeito são o argon e o cripton. Estes gases são inertes, não tóxicos, não reativos, incolores e sem odor (RODRIGUES, et al., 2010).

Outra opção válida neste sentido é o recurso a envidraçados coloridos (vidro com controlo solar). Inicialmente era mais utilizado em escritórios mas com o passar do tempo passou a ser usual nas habitações. Estes envidraçados estão disponíveis em várias cores, sendo as cores mais recorrentes o cinzento, bronze, azul e verde uma vez que estas são as que menos alteram as cores na vista para o exterior. Este tipo de vidros tem os ganhos solares mais reduzidos quando comparados com o vidro normal. Contudo, a utilização de

envidraçados coloridos não demonstra ser muito vantajosa no inverno uma vez que impede os ganhos solares para o interior do edifício aumentando as necessidades de aquecimento (RODRIGUES, et al., 2010).

2.2.1.2.2. Caixilho

A caixilharia tem a função de garantir a estanquicidade e manter o vão operacional. Na construção de um caixilho as principais preocupações são a espessura do caixilho, peso, durabilidade e preocupações estruturais. Como forma de melhorar o isolamento começou-se a utilizar caixilhos que combinam dois ou mais materiais (RODRIGUES, et al., 2010). Os materiais mais comuns utilizar é o alumínio. Quando são obras de reabilitação o mais comum é a madeira e nas novas construções começa-se também a recorrer mais ao PVC.

Caixilhos em alumínio – Os caixilhos em alumínio são leves, fortes, duráveis, fácil de fabricar e podem ter dimensões reduzidas. Tem como desvantagem a elevada condutibilidade térmica.

Caixilhos em alumínio com corte térmico – O recurso a caixilharia em alumínio com corte térmico não só melhora o desempenho térmico do vão envidraçado como também reduz a probabilidade de condensação no interior do caixilho.

Caixilhos em madeira – Os caixilhos em madeira são pesados, fraca durabilidade e elevada manutenção. Têm baixa condutibilidade térmica o que a tornava atrativa. Uma forma de a tornar mais durável é revestindo-a com PVC ou alumínio.

Caixilhos em PVC – Atualmente os caixilhos em PVC são duráveis, leves, fácil de fabricar, resistentes e com baixa condutibilidade térmica. No caso de ter dimensões elevadas pode precisar de reforços em metal ou madeira devido ao risco de perder rigidez estrutural.

Existem mais tipos de caixilhos, mas estes são os mais utilizados (RODRIGUES, et al., 2010).

2.2.1.3. Sombreamentos

O meio de sombreamento exerce um papel fundamental a nível energético nos edifícios. Energeticamente, minimiza os ganhos solares evitando gastos desnecessário no

arrefecimento. Para além disso permite controlar a luminosidade no interior e não permite que se visualize o que está a decorrer no interior do edifício. As proteções solares devem ter uma grande capacidade de refletir a radiação e absorver o mínimo possível da mesma. Uma forma de contribuir para este efeito é a escolha de cores claras (RODRIGUES, et al., 2010).



Figura 8 - Sombreamento com estore veneziano

Pode-se escolher alguns tipos de sombreamento, desde dispositivos fixos horizontais e verticais até sombreamentos móveis.

2.2.1.3.1. Dispositivos Fixos Exteriores

O recurso a palas fixas horizontais ou verticais garantem bom sombreamento no vão envidraçado durante o verão mas prejudica os ganhos solares no inverno. Por vezes estas palas são camufladas não sendo reconhecidas instantaneamente como uma pala, como é o caso de uma varanda (RODRIGUES, et al., 2010). Uma das vantagens das palas é o facto de estar distanciado do vão envidraçado que faz com que não envie o calor acumulado derivado da radiação para o interior do edifício.

2.2.1.3.2. Estores

O recurso a estores é um dos sombreamentos mais usuais. Com este sistema pode-se regular a quantidade de luz, visto ser um sistema retráctil (não fixo), a entrar no edifício

para além de ser capaz de refletir cerca de 80% da radiação solar. É possível escolher a cor dos estores que existe com alguma variedade bem como o mecanismo que os aciona podendo ser manual ou eletrónico (RODRIGUES, et al., 2010).

2.2.1.3.3. Telas

O recurso a telas representa uma boa solução de sombreamento uma vez que podem ser aplicadas quer no exterior quer no interior. Outra vantagem deste sistema é o facto de ser retráctil (RODRIGUES, et al., 2010). Assim sombreia o vão envidraçado no verão e permite os ganhos solares no inverno.

2.2.1.3.4. Portadas

As portadas como sistema de sombreamento são compostas por características refletoras. As mais comuns de se encontrar são as de madeira, alumínio e PVC. Comparando com os estores as portadas têm a vantagem por eliminar a caixa de estores deixando de haver pontes térmicas derivadas da mesma (RODRIGUES, et al., 2010).

2.2.1.3.5. Vegetação

É possível utilizar a vegetação como sombreamento recorrendo a plantas de folha caduca. Assim impede a entrada dos raios solares na estação de arrefecimento e permite ganhos solares na estação de aquecimento (RODRIGUES, et al., 2010).

2.2.1.4. Paredes de Trombe

A parede de Trombe é uma estrutura que tem como objetivo contribuir para o aquecimento do espaço interior do edifício de forma gratuita. Estas paredes têm maior interesse de aplicação em zonas com muita exposição solar durante o dia e com uma grande amplitude térmica dia/noite como é o caso dos desertos e áreas montanhosas.

A parede de trombe pode funcionar através de dois sistemas. Num sistema predomina o aquecimento por efeito de estufa em que o calor é armazenado entre o vidro e a parede maciça, e é libertado para a divisão por convecção através das aberturas existentes na parede, promovendo a troca de ar entre o espaço que recebe a radiação solar e o espaço

que se pretende aquecer. No entanto, neste sistema a energia que é armazenada na parede é reduzida. Existem algumas tecnologias que permitem pré-aquecer o ar exterior ao colocar orifícios na divisão entre o exterior e o espaço da parede de Trombe (Figura 9) (GONÇALVES, et al., 2004). No outro sistema, o aquecimento ocorre devido à radiação solar incidente na parede. Durante o dia a parede aquece devido à radiação solar e por condução através da mesma aquece a divisão que se pretende aquecer. Neste sistema o aquecimento não é imediato uma vez que é necessário que a energia calorífica atravesse a parede, que tem como condicionante a espessura, quanto mais espessa mais tempo leva a começar a aquecer o espaço (GONÇALVES, et al., 2004).

A parede de Trombe é um sistema composto por um envidraçado com espessura entre 2 e 5 cm e uma parede maciça com uma espessura entre 10 a 41 cm, pintada de cor escura para promover a absorção da radiação solar, orientados a Sul (TORCELLINI, et al., 2004).

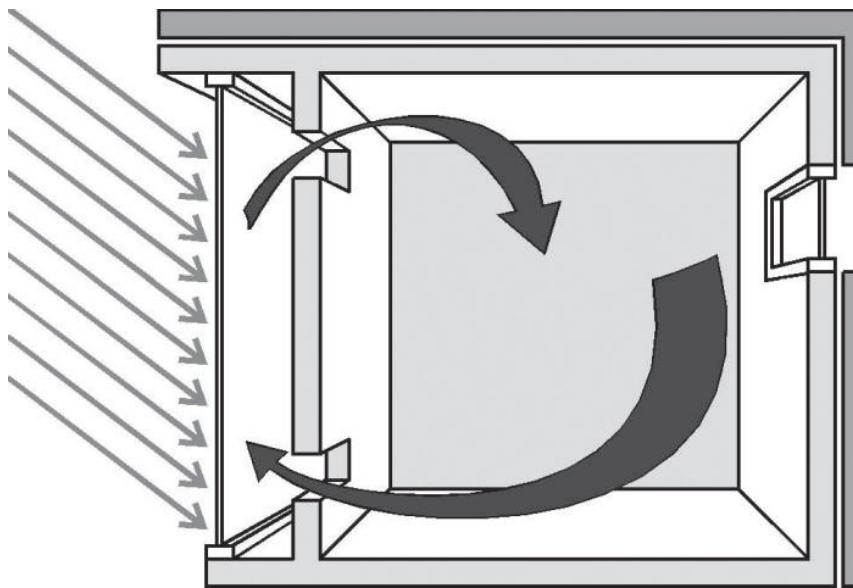


Figura 9 - Parede de Trombe com aquecimento por convecção

O maior cuidado a ter com a aplicação desta parede é impedir que ocorram ganhos solares na estação de arrefecimento. Para que esta situação não se verifique pode-se aplicar sombreamentos fixos na construção do edifício de modo a permitir a incidência de radiação solar na estação de aquecimento e o sombreamento da parede na estação de arrefecimento. Pode se recorrer ao sombreamento através do telhado caso seja corretamente dimensionado (TORCELLINI, et al., 2004) ou sistemas móveis

(GONÇALVES, et al., 2004). Outra solução possível é o recurso a sombreamento por vegetação como já foi explicado anteriormente.

2.2.1.5. Ventilação Natural

A ventilação natural é uma das formas de arrefecer o espaço e de renovar o ar no interior, sem custos associados. No verão deve-se promover a ventilação natural (como por exemplo abrindo as janelas) no período noturno ou durante a manhã que é quando a temperatura exterior é inferior à temperatura interior, caso contrário pode significar custos mais elevados para remover a temperatura em excesso do interior (GONÇALVES, et al., 2004). Já no inverno se permitir a passagem de caudal excessivo pode implicar que se aumente as necessidades de climatização, dado que o exterior se encontra a uma temperatura inferior à de conforto térmico (GANHÃO, et al., 2011).

Um dos objetivos da ventilação é a renovação do ar interior de forma que se mantenha com boa qualidade em termos de higiene e conforto. Para tal é necessário remover do interior dos edifícios dióxido de carbono, gases resultantes de combustão, vapores de água resultante de processos evaporativos e outros odores (GANHÃO, et al., 2011).

A ventilação natural ocorrer devido à diferença de pressões a que os dois lados das envolventes (janelas, portas, frinchas nas construções e chaminés) estão sujeitos. Estas diferenças de pressão podem ser causadas pela diferença de temperatura entre o interior e o exterior ou através da incidência do vento nos edifícios (GONÇALVES, et al., 2004).

A ventilação natural só oferece uma ventilação eficaz quando a diferença de temperatura entre o interior e exterior é superior a 8°C. Quando o diferencial de temperatura é inferior a 8°C só ocorre ventilação natural por interferência do vento ou pela abertura de janelas ou portas. Um dos grandes problemas da ventilação natural é o facto de não garantir as renovações do ar interior necessárias (VIEGAS).

O RSECE estipula como valor mínimo de caudal de ar novo, para grande parte dos espaços, um valor entre 30 a 35 m³/(h.ocupante) (Decreto-Lei 79/2006, 2006).

2.2.1.6. Arrefecimento pelo Solo

O arrefecimento pelo solo é uma solução utilizada durante o verão que permite usufruir das temperaturas inferiores a que o solo se encontra comparativamente com a temperatura do ar exterior, promovendo assim uma forma de arrefecimento mais económica e baixando o recurso a sistemas mecânicos de climatização.

Existem duas formas de se conseguir este tipo de arrefecimento, uma direta e outra indireta. No método direto as envolventes encontram-se em contacto direto com o solo (pavimentos, paredes e eventualmente coberturas). No método indireto o interior do edifício está associado a um permutador no solo, em que as condutas de circulação de ar estão entre 1 a 3 m de profundidade e o ar arrefecido pelo solo é depois circulado pela casa (Figura 10). O desempenho destes métodos está dependente da temperatura do solo, sendo que o método indireto está ainda dependente da velocidade do ar que circula na conduta (GONÇALVES, et al., 2004).

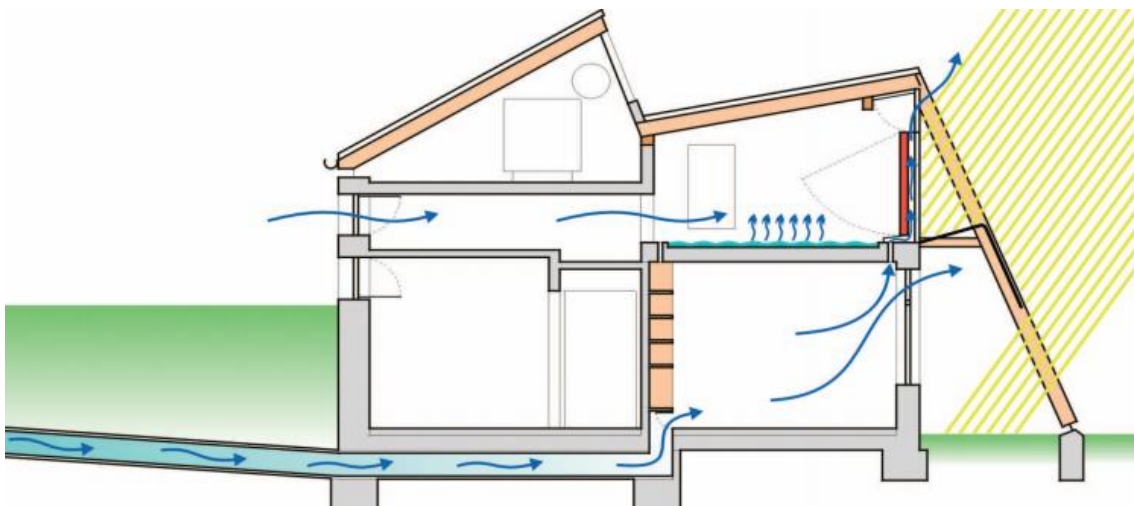


Figura 10 - Arrefecimento pelo Solo (método indirecto)

2.2.1.7. Arrefecimento Evaporativo

O arrefecimento evaporativo está associado ao arrefecimento a partir de lagos ou fontes localizados no exterior do edifício (MELO, et al., 2009). O arrefecimento evaporativo pode ocorrer por um processo direto ou indireto. No processo direto há um decréscimo da temperatura do ar exterior devido ao aumento da quantidade de vapor de água, o que resulta no arrefecimento do ar antes da sua entrada no edifício (Figura 11) (GONÇALVES, et al., 2004). O processo indireto promove o arrefecimento das superfícies

exteriores através da evaporação de água, diminuindo a temperatura do ar interior sem que aumente os níveis de humidade dentro do edifício (GONÇALVES, et al., 2004).

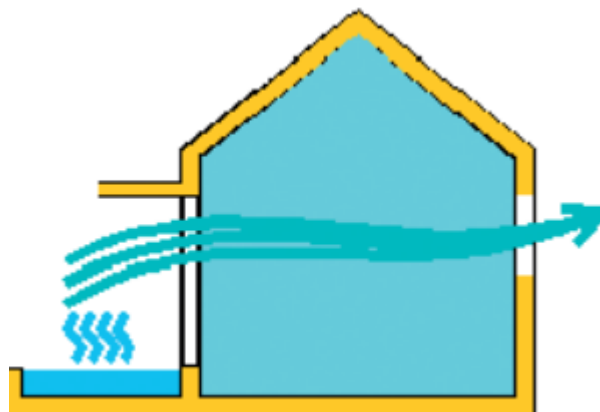


Figura 11 - Arrefecimento Evaporativa (método directo)

2.2.2. Soluções Ativas

Compreende-se por soluções ativas aqueles equipamentos capazes de contribuir na redução da utilização energética do consumidor final. Cada equipamento tem um objetivo específico no contributo para a redução da utilização de energia, como por exemplo, os coletores solares ajudam a reduzir os custos de aquecimento de água, os recuperadores de calor ajudam a reduzir os custos associados aos equipamentos de produção de energia térmica e os bancos de gelo evitam que os equipamentos de produção de água gelada funcionem num período em que os custos da energia elétrica são mais elevados, entre outras soluções com objetivos distintos.

Das diversas soluções existentes, distingo as seguintes pelo contacto que tive com as mesmas e que considero ser mais recorrentes caracterizando-as de seguida e sumariamente.

2.2.2.1. Coletores solares

Com o objetivo de aproveitar as características mediterrânicas e baixar a utilização de energias esgotáveis e poluentes no processo de água quente sanitária (AQS), o SCE passou a obrigar a implementação de coletores solares.

Um painel solar (coletor solar) é um dispositivo que converte a energia solar em energia térmica. O método de funcionamento deste sistema consiste na utilização de um

painel que recolhe a radiação solar, um permutador com o fluido de aquecimento que circula dentro do permutador e um depósito para a água quente. A água é aquecida para valores entre os 50 e os 90 °C (ISOLANI, 2008).

É fundamental dimensionar corretamente o coletor solar. Estima-se que na estação de inverno o coletor solar só seja capaz de satisfazer 70% das necessidades de AQS. Para que fosse possível preencher as necessidades totais de AQS sem recorrer a outro sistema de aquecimento de água na estação de verão o coletor solar captaria energia solar em excesso. Assim sendo os coletores solares precisam de um sistema de apoio ao aquecimento de água tais como caldeiras a gás ou gasóleo, entre outros.

É possível adquirir dois tipos de coletores solares. Os com termossifão ou os de circulação forçada.

Na circulação em termossifão o depósito deve-se situar no topo do coletor solar. A razão para que isto aconteça deve-se ao facto do fluido em toda a extensão do permutador não se encontrar à mesma temperatura o que força o fluido mais quente a subir. Na permuta entre o fluido que circula no coletor e a água a ser aquecida, o fluido é arrefecido e volta para o permutador do coletor (PER, 2009). Na circulação forçada a circulação do fluido térmico é feita através de eletrobombas circuladoras acionadas automaticamente quando a diferença de temperatura entre o coletor e o depósito atinge um valor pré-definido (PER, 2009).

De modo a que se retire o máximo partido em termos de eficiência o coletor solar deve ser instalado numa zona com captação solar orientado a Sul com uma rotação máxima de 45° para Este ou Oeste, em relação ao Sul. O ângulo que este deve fazer com a linha do horizonte deve ser igual à latitude do local. As tubagens desde a saída do coletor até ao ponto de utilização devem ser isoladas para que se minimizem as perdas de calor. O acesso para manutenção e limpeza deve também ser facilitado (ISOLANI, 2008).

2.2.2.2. Recuperadores de Calor

Os recuperadores de calor são equipamentos utilizados nas Unidades de tratamento de Ar (UTA's) e Unidades de Tratamento de Ar Novo (UTAN's). Estes equipamentos têm como objetivo pré-aquecer (no período de aquecimento) ou pré-arrefecer (no período de arrefecimento) o ar novo que entra no sistema de climatização. O pré-aquecimento/pré-

arrefecimento efetua a permuta de calor entre o ar novo e o ar extraído das zonas climatizadas, em que esta troca de calor está dependente das condições ambiente exteriores, isto é, quanto maior for a diferença entre as temperaturas do ar novo e ar extraído das salas mais energia térmica é recuperada. Existem muitos tipos de recuperadores de calor dos quais faz-se referência aos dois seguintes:

- 1) Fluxos cruzados, consiste nos fluxos de ar se cruzarem entre as placas, sem que haja mistura do ar novo com o ar de exaustão, e o calor transferido do fluxo de ar de um lado da placa para o fluxo de ar do outro lado da placa;
- 2) Roda térmica, consiste numa roda metálica em rotação lenta que recebe a transferência de calor do ar de exaustão na primeira semi-rotação e liberta-o para o ar novo na segunda semi-rotação.

Com o recurso aos recuperadores de calor é possível reduzir a utilização de energia nos equipamentos de produção de energia térmica, sendo possível reduzir o custo do investimento inicial (VIEIRA, et al., 2011).

2.2.2.3. Sistemas de Gestão Técnica Centralizada

O Sistema de Gestão Técnica Centralizada (SGTC) é um elemento bastante benéfico para o aumento da eficiência energética e automatização de processos de um edifício. Este sistema é capaz de supervisionar, controlar e gerir, em tempo real, os sistemas de climatização, contagem de energia, iluminação, segurança, entre outras funcionalidades. Para que seja possível executar este sistema é necessário que os equipamentos sejam capazes de comunicar através de protocolos padrão.

2.2.2.4. Variadores de Velocidade

Os variadores de velocidade nos sistemas AVAC estão associados aos ventiladores, às bombas e aos compressores. Este equipamento faz com que os ventiladores, as bombas e os compressores não estejam sempre que em funcionamento na potência máxima, ajustando para os níveis necessários. Algumas das vantagens dos variadores de velocidade são a poupança de energia, arranques mais suaves, paragem controlado evitando o golpe de ariete e menor manutenção mecânica devido à redução do *stress* mecânico. Este tipo de equipamentos têm algumas desvantagens tais como o aquecimento do motor a baixa velocidade e provocar vibrações quando entra em ressonância.

2.2.2.5. Banco de Gelo

O banco de gelo é um equipamento que armazena a água arrefecida, à temperatura desejada, num depósito. Este equipamento tem a vantagem de evitar que o equipamento produtor de água arrefecida, como por exemplo o *chiller* elétrico, entre em funcionamento nas horas consideradas cheias ou de ponta que é nesse período que o custo da eletricidade é mais elevado, deixando a produção de água arrefecida para o período noturno, armazenando-a para ser utilizada quando pretendida. Outra das vantagens deste equipamento é o de permitir que o *chiller* não entre em funcionamento num período em que existem mais equipamentos elétricos ligados, baixando a potência na linha utilizada, permitindo assim baixar a potência contratada. O banco de gelo permite ainda reduzir na potência dos equipamentos de arrefecimento de água auxiliando esse equipamento no pico da utilização da água arrefecida.

3.Caso de Estudo

O presente trabalho, tem como objetivo avaliar, através de simulação energética dinâmica de edifícios, se a aplicação de MCE ao edifício ECOTERMOLAB resultou na redução das necessidades em climatização (aquecimento e arrefecimento) e se, conseqüentemente, permitiu o dimensionamento de equipamentos da instalação AVAC de menor capacidade.

O ECOTERMOLAB teve como ponto de partida um armazém já existente, tendo sido sujeito a uma grande remodelação e melhorias, incluindo a aplicação de MCE.



Figura 12 - Fachada frontal do ECOTERMOLAB

O edifício ECOTERMOLAB localiza-se na Zona Industrial de Feiteira na Rua da Saibreira, n.º 159, na freguesia de Grijó, no concelho de Vila Nova de Gaia e distrito do Porto. Tem uma cota de 174 m e uma distância à costa de 7,1 km (Coordenadas GPS N 41.044104, W 8.565959).



Figura 13 - Altimetria da distância do ECOTERMOLAB à costa

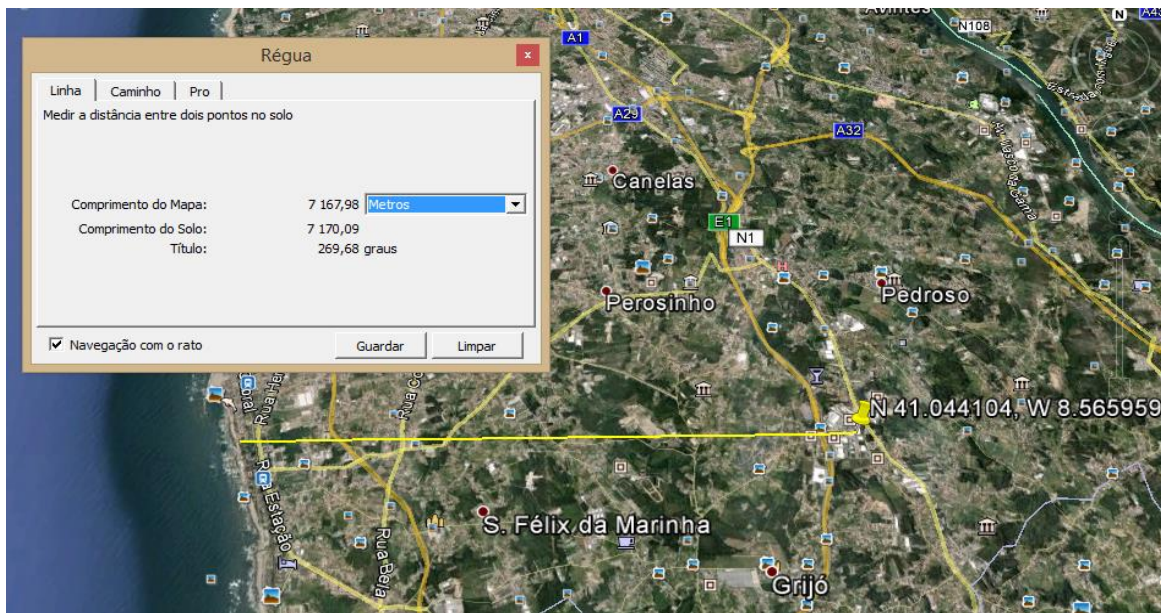


Figura 14 - Coordenadas e distancia à costa do ECOTERMOLAB

Conforme pode ser consultado no quadro III.1 do RCCTE, o edifício do ECOTERMOLAB localiza-se numa zona climática I_2 e V_1 .

A análise e avaliação do impacto da aplicação de MCE têm como base a simulação energética dinâmica de edifícios, suportada por um programa conforme os requisitos da ASHRAE 140, o *EnergyPlus*. Este programa permitiu a obtenção, para cada MCE aplicada individualmente e para a sua aplicação conjunta, dos valores de utilização de energia no edifício e a sua desagregação por principal utilizador, bem como, o dimensionamento dos respetivos equipamentos AVAC.

Conhecidos os valores das necessidades energéticas e da utilização de energia do edifício é feita a análise do investimento da aplicação de MCE na construção, com a aplicação de melhorias na envolvente opaca e não opaca do edifício, bem como nos equipamentos AVAC, designadamente, os equipamentos de produção de energia térmica

(caldeira e *chiller*), os sistemas de climatização do edifício (UTAN's), as bombas e as tubagens de circulação de água para a climatização do edifício.

3.1. Simulação Computacional do Edifício

Para a realização da simulação do modelo computacional do caso de estudo recorreu-se ao programa *EnergyPlus*, versão 8.1, com o recurso ao programa *SketchUp* 8 para realizar o desenho do modelo do edifício. Este programa permite fazer uma análise energética e fazer uma simulação de carga térmica de um edifício. Usa como base a descrição do edifício dada pelo utilizador, ou seja a descrição da perspetiva física dos edifícios, dos sistemas mecânicos e outros associados.

O *EnergyPlus* permite, entre outros, o cálculo das cargas térmicas necessárias para manter os pontos de funcionamento (*setpoints*) de controlo de aquecimento e arrefecimento e as condições de utilização de energia no edifício.

Os dados climáticos relativos a um ano tipo do local onde o edifício se localiza foram introduzidos no programa através de um ficheiro climático da base de dados do INETI, disponível no programa SOLTERM, para o concelho de Vila Nova de Gaia.

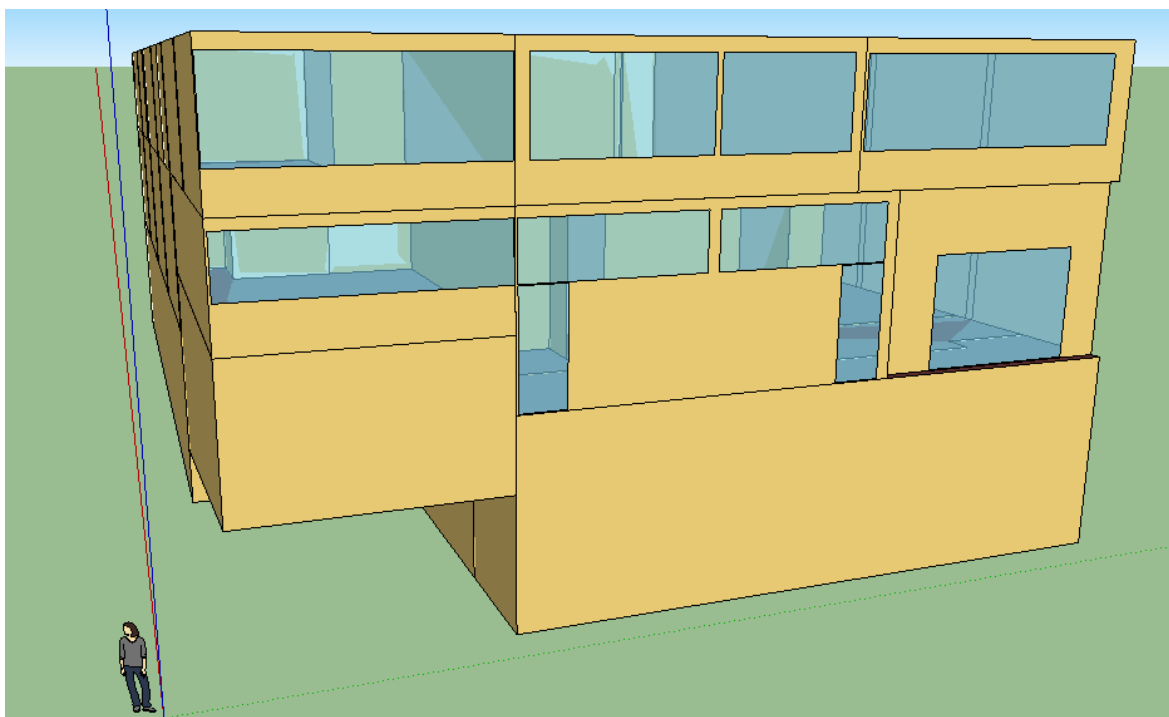


Figura 15 - Desenho do ECOTERMOLAB no *ENERGYPLUS*

3.1.1. Construção do Modelo Computacional

Para a construção do modelo computacional é necessário introduzir os dados da caracterização do edifício, através do interface *IDF Editor*, tais como a localização, características da envolvente, padrões de utilização e equipamentos de climatização, no programa de simulação para obter os dados do desempenho energético do edifício.

Todos os dados da envolvente do edifício foram introduzidos no *EnergyPlus* conforme definido no ponto 3.

Para realização das simulações, é então necessária a introdução no programa os dados que se seguem. Estes dados são introduzidos por grupos que incluem: 1) Parâmetros de simulação, 2) Localização e clima, 3) Horários, 4) Elementos de construção da superfície, 5) Zonas térmicas e superfícies, 6) Ganhos internos, 7) Zonas de fluxo de ar, 8) Equipamentos Exteriores, 9) Planta dos objetos AVAC, 10) Controlos e termostatos das zonas AVAC, 11) Unidades de ar forçado das zonas AVAC, 12) Unidades terminais do circuito de ar das zonas AVAC, 13) Ligações dos equipamentos das zonas AVAC, 14) Ventiladores, 15) Baterias de água, 16) Recuperadores de calor, 17) Controladores, 18) Distribuição de ar, 19) Gestão dos nós e dos ramos, 20) Bombas, 21) Central de aquecimento e arrefecimento, 22) Equipamentos de condensados e permutadores de calor.

Após a realização dos cálculos de simulação são devolvidos vários dados referentes aos outputs pré selecionados para uma folha de cálculo.

Pode-se consultar os objetos selecionados para a realização da simulação no Anexo E.

3.2. Medidas de Conservação de Energia

Como referido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o impacto da aplicação de MCE nos edifícios e nos respetivos sistemas de climatização (aquecimento e arrefecimento), sendo aquela avaliação realizada a um caso específico, designadamente, o laboratório ECOTEMOLAB propriedade do ISQ.

As MCE adotadas na construção e nos equipamentos de climatização do ECOTERMOLAB consistem em:

- Isolamento térmico na envolvente opaca (paredes, pavimento e cobertura);
- Duplicação dos vãos envidraçados (caixilhos duplos);
- Sombreamentos móveis (do tipo estores venezianos) dos vãos envidraçados;
- Recuperadores de calor do tipo roda térmica e fluxos cruzados nos sistemas de ventilação do edifício;
- Variadores de velocidade nas bombas de água e nos ventiladores do ar de insuflação e extração;
- Sistema de Gestão Técnica Centralizado (tema já abordado numa tese anterior (GONÇALVES, 2013)).

3.3. Enquadramento Regulamentar

Os regulamentos em vigor para novos edifícios ou edifícios sujeitos a grandes intervenções de reabilitação à data da reabilitação e certificação do edifício que deu lugar ao ECOTERMOLAB eram o RSECE e RCCTE. Apesar destes regulamentos terem sido posteriormente revogados pelo RECS e pelo REH, atualmente utilizados, uma vez que o RSECE e o RCCTE eram os regulamentos em vigor à data de reabilitação do ECOTERMOLAB, é com base nestes regulamentos que se procede ao enquadramento regulamentar do edifício e à análise da qualidade térmica da envolvente e dos sistemas técnicos, sempre que aplicável.

Por ter uma potência térmica instalada superior a 25 kW e por possuir mais de 1000 m² o enquadramento regulamentar do ECOTERMOLAB é feito ao abrigo do RSECE. Uma vez abrangido pelo RSECE fica obrigado a cumprir certos requisitos, entre os quais se destacam:

- Propriedades térmicas das envolventes com requisitos mínimos de qualidade;
- Ser dotado de meio de ventilação naturais, mecânicos ou híbridos (ventilação natural e mecânica) capazes de cumprir os valores mínimos de renovações do ar interior e não permitir que atinja os valores máximos das concentrações de algumas substâncias poluentes do ar interior;
- Limites máximos de utilização de energia global em condições normais de funcionamento;
- Limites máximos de potência instalada nos sistemas de climatização.

3.4. Caracterização do Edifício

O ECOTERMOLAB é um Laboratório de Formação e de Investigação e Desenvolvimento (ID&I) na área da energia, criado em 2010 pelo Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ), que tem como área de atividade o estudo dos sistemas de climatização e de utilização racional de energia térmica e elétrica em edifícios.

O edifício é constituído por 3 pisos (piso 1, piso 0 e piso -1 ou cave) com uma área total de 1831,6 m², dos quais 1168 m² são climatizados. As fachadas Este e Oeste são exteriores, enquanto as fachadas Norte e Sul são adjacentes a outros edifícios.

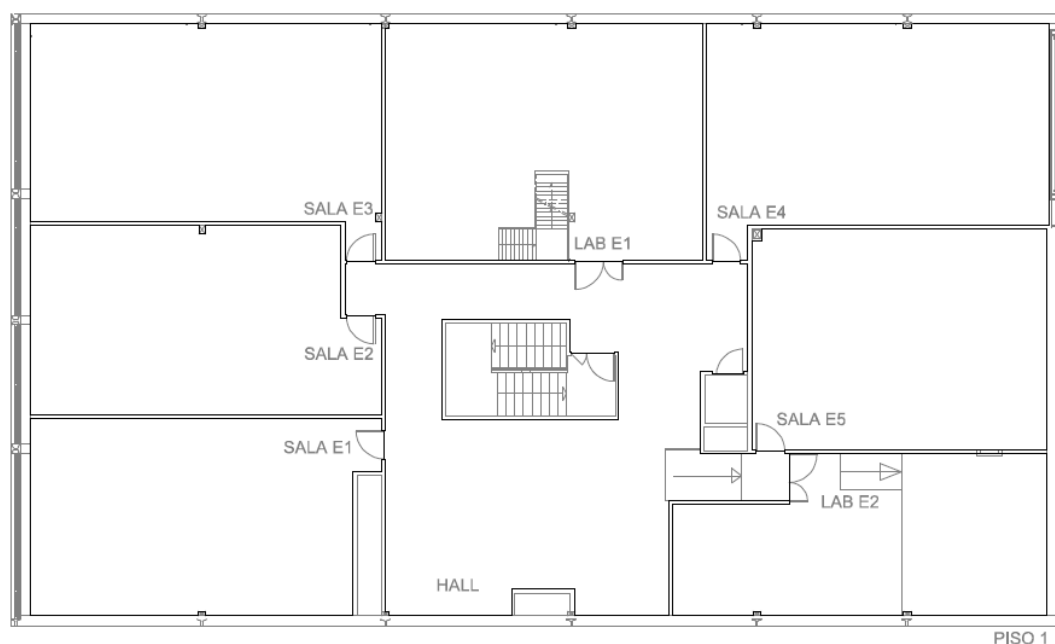


Figura 16 - Planta do piso 1 do ECOTERMOLAB

O piso 1 é constituído por uma área de circulação/estar, cinco salas de formação (E1 a 5) e dois laboratórios (Lab E1 e Lab E2). A sala E1 é destinada para desenho, as salas E2 e E3 para formação teórica, a sala E4 para a formação de conteúdo de eletrónica e a sala E5 para a atividade de informática, os laboratórios Lab E1 e Lab E2 são destinados para áreas técnicas de ventilação. As áreas de cada divisão são apresentadas na Tabela 6:

Tabela 6 - Distribuição das áreas do piso 1 do ECOTERMOLAB

Secção	Área [m ²]
Área de circulação/estar	108
Sala de formação E1	68,4
Sala de formação E2	66,2
Sala de formação E3	74,7
Sala de formação E4	75,0
Sala de formação E5	69,4
Lab E1	79,6
Lab E2	58,4
Área total do piso 1	599,7

No piso 1 os espaços climatizados são as salas de formação e área de circulação/estar.

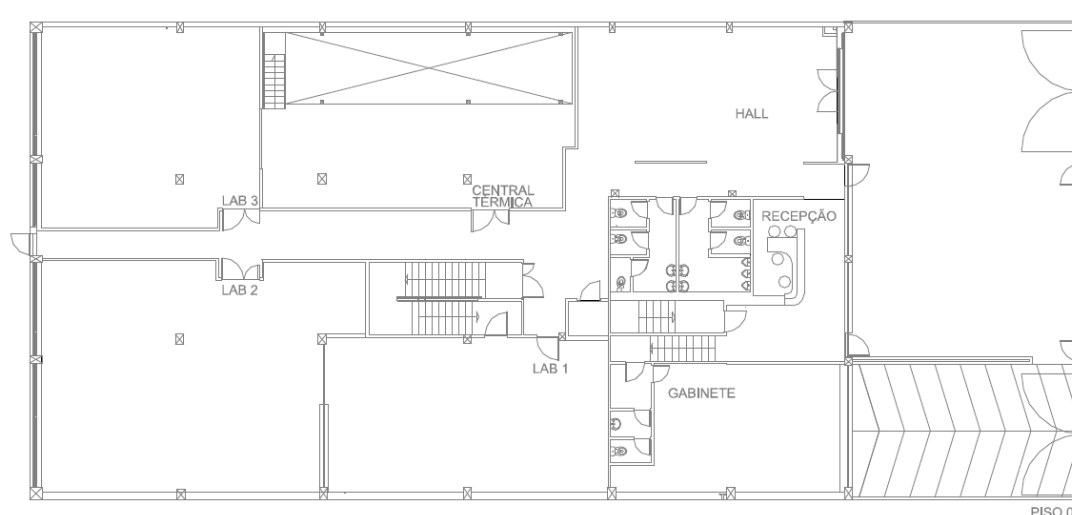


Figura 17 - Planta do piso 0 do ECOTERMOLAB

O piso 0 é constituído pela recepção, área de circulação/estar, central térmica, um gabinete com instalação sanitária, três laboratórios (Lab 1 a 3) e instalações sanitárias masculina e feminina. As áreas de cada divisão são apresentadas na Tabela 7:

Tabela 7 - Distribuição das áreas do piso 0 do ECOTERMOLAB

Secção	Área [m ²]
Recepção	32,9
Área de circulação/estar	131,3
Central Térmica	97,8
Gabinete	50,2
Lab 1	75,5
Lab 2	116,6
Lab 3	75,1
WC masculino	11,3
WC feminino	10,1
Área total do piso 0	600,8

No piso 0 os espaços climatizados são a recepção, a área de circulação/estar, a central térmica, o gabinete, os laboratórios e as instalações sanitárias feminino e masculino.

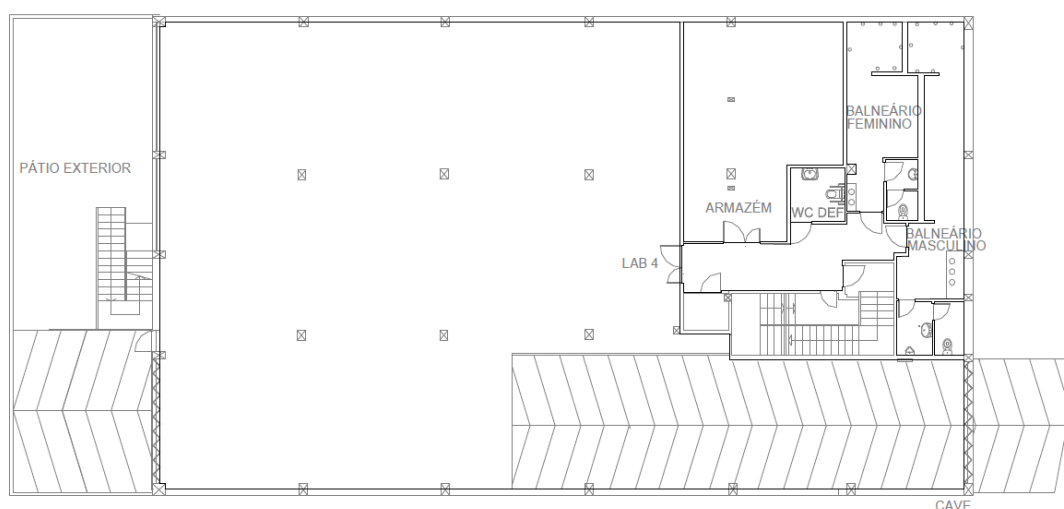


Figura 18 - Planta da cave do ECOTERMOLAB

A cave é constituída por uma área de circulação, um armazém, o laboratório Lab4 (área técnica de ventilação e laboratório de ensaios), um balneário masculino e outro feminino, uma instalação sanitária masculina, outra feminina e uma outra para deficientes. As áreas de cada divisão são apresentadas na Tabela 8:

Tabela 8 - Distribuição das áreas da cave do ECOTERMOLAB

Secção	Área [m ²]
Área de circulação	19,8
Armazém	53,8
Lab 4	489,7
Balneário masculino	30,0
Balneário feminino	21,7
WC masculino	7,0
WC feminino	4,0
WC deficientes	5,1
Área total do piso -1	631,1

Na cave os espaços climatizados são o armazém e os balneários femininos e masculinos.

3.4.1. Caracterização Térmica da Envolvente

A envolvente do edifício, opaca ou não opaca, divide-se em envolvente exterior e envolvente interior. A envolvente exterior estabelece a fronteira entre o espaço interior e o ambiente exterior. A envolvente interior estabelece a fronteira entre o espaço interior e espaços, também eles interiores, mas não destinados à ocupação humana em permanência e, por tal, não climatizados, designados por espaços-não úteis.

Este subcapítulo apresenta a descrição sumária da constituição da envolvente do edifício com vista à sua caracterização térmica (U [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] e g^\perp) da solução base, isto é, do edifício original, e da solução do edifício atual, ou seja, após a aplicação das MCE identificadas para a envolvente opaca e não opaca.

A avaliação da qualidade térmica da envolvente é feita de acordo com os materiais utilizados que conferem maior ou menor resistência térmica a cada solução construtiva. Cada material tem uma resistência térmica (R) específica que quando aplicada a expressão 1 [Exp.1] obtém-se o coeficiente de transmissão térmica (U) de cada tipo de envolvente.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad [\text{Exp.1}]$$

Em que o R_{si} e o R_{se} são as resistências térmicas superficiais interior e exterior em $m^2 \cdot ^\circ C/W$ possíveis de encontrar no Anexo VII do RCCTE e o $\sum_j R_j$ é o somatório das resistências de todos os materiais que constituem cada envolvente também em $m^2 \cdot ^\circ C/W$.

O RSECE, por via do RCCTE, impõe requisitos mínimos para a qualidade térmica da envolvente opaca, estabelecendo valores máximos dos coeficientes de transmissão térmica ($U_{máximo}$) para a envolvente opaca exterior e interior dos edifícios, em função da zona climática onde aqueles se inserem, de modo a manter a qualidade térmica da envolvente mínima exigida para que os valores de energia utilizada na climatização não sejam excessivos. São, ainda, estabelecidos valores de referência ($U_{referência}$) para aqueles coeficientes que refletem uma base de qualidade a alcançar na criação das soluções a aplicar nas envoltentes dos edifícios. Os valores do $U_{máximo}$ e do $U_{referência}$ podem ser consultados no Anexo IX do RCCTE, valores esses que diferem com a zona climática do edifício (I_2 / V_1).

A envolvente não opaca corresponde aos vãos envidraçados. A qualidade térmica do vão envidraçado é avaliada pelo U do conjunto “caixilho + vidro” e pelo fator solar (g_{\perp}). O fator solar do vão envidraçado representa a relação entre energia solar transmitida para o espaço interior através do vidro e a quantidade de radiação solar que incide na direção normal ao vidro.

Os requisitos mínimos impostos aos vãos envidraçados aplicam-se àqueles que apresentam uma área superficial no mínimo 5% da área útil do espaço que servem e desde que não orientados no quadrante Norte. Como requisito mínimo, o RSECE, por via do RCCTE, estabelece valores de fator solar máximo ($g_{100\%}$) para o conjunto do “vidro + proteção solar totalmente ativada”. Os valores do fator solar máximo admissíveis podem ser consultados no Anexo IX do RCCTE, que diferem em função da zona climática de verão e da classe de inércia térmica do edifício ($V_2 /$ inércia média)

A inércia térmica corresponde à capacidade de armazenamento de calor da solução adotada em cada uma das envoltentes opacas, que se traduz na sua capacidade térmica. Na construção, a inércia térmica tem a função de estabilizar a temperatura nos espaços interiores, evitando que as temperaturas interiores acompanhem as oscilações das temperaturas diárias exteriores. Pelo cálculo da inércia térmica feito no Anexo B, verifica-se que o ECOTERMOLAB tem uma inércia térmica média.

Das MCE já abordadas nas soluções passivas, seguem-se as que foram aplicadas na envolvente do edifício ECOTERMOLAB:

- Isolamento térmico XPS, bloco de betão/tijolo e reboco interior nas paredes e nas pontes térmicas planas, a aplicação isolamento térmico XPS na cobertura e no pavimento;
- Caixilhos duplos (vidro simples + vidro simples);
- Proteções solar móveis do tipo estores venezianos.

A constituição pormenorizada da envolvente do ECOTERMOLAB antes e depois da aplicação das MCE é descrita no Anexo C.

3.4.1.1. Envolvente Opaca

A envolvente opaca de um edifício corresponde às paredes, coberturas e pavimentos. Na envolvente opaca exterior ou envolvente opaca interior em contacto com espaços não úteis podem ser encontradas pontes térmicas planas (PTP) que correspondem a descontinuidades nas zonas correntes (paredes, pavimentos e tetos), tais como pilares, talões de viga e caixa de estores. Na envolvente opaca exterior ou em contacto com espaço não útil pode-se ainda encontrar, pontes térmicas lineares (PTL) que correspondem a ligações entre dois elementos construtivos (ligação entre duas paredes, ligação entre parede e pavimento, ligação entre parede e cobertura, etc). No entanto, apenas são contabilizadas as PTL dos elementos em contacto com espaço não útil cujo $\tau > 0,7$. Sendo τ um parâmetro adimensional, que varia entre 0 e 1, e que traduz a menor ou maior relação entre o espaço não útil e o ambiente exterior de modo a identificar qual o tipo de envolvente a aplicar na separação entre o espaço útil e o espaço não útil. Considera-se envolvente interior com requisitos de exterior para os espaços que possuem um $\tau > 0,7$. Para os espaços que o $\tau \leq 0,7$ considera-se envolvente interior com requisitos de interior. O valor de τ obtém-se a partir da tabela IV.1 do RCCTE.

As paredes interiores em contacto com os edifícios adjacentes são consideradas pelo RCCTE envolventes com requisitos de interior por apresentar um valor de $\tau = 0,6$.

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica (valores U originais, atuais, máximos e de referência) da envolvente opaca são apresentados nas Tabela 9, Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12.

3.4.1.1.1. Paredes

Tabela 9 - Coeficientes de transmissão térmica originais e atuais de cada envolvente e os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis e de referência pelo RCCTE

Envolvente	Tipo	U original [W/m ² °C]	U atual [W/m ² °C]	Umáx. [W/m ² °C]	Uref. [W/m ² °C]
Paredes exteriores	Parede exterior Este tipo 1	1,87	0,40	1,60	0,60
	Parede exterior Oeste tipo 2	1,35	0,37	1,60	0,60
	Parede exterior Oeste tipo 3	1,35	0,39	1,60	0,60
Paredes interiores	Parede interior em contacto com os edifícios adjacentes	1,67	1,67	2,00	1,20
Paredes em contacto com o solo	Parede em contacto com o solo tipo 1	2,10	2,10	SR ¹	SR
	Parede em contacto com o solo tipo 2	2,10	1,95	SR	SR

Todas as paredes do ECOTERMOLAB têm o U em cumprimento com os valores de $U_{\text{máximo}}$ admitido pelo RCCTE. Nas paredes exteriores foi-lhes conferida valores abaixo do $U_{\text{referência}}$ na ordem dos 33% nas paredes do tipo 1, 38% nas paredes do tipo 2 e 35% nas paredes do tipo 3. Nas paredes interiores em contacto com os edifícios adjacentes foi-lhe conferida um valor de U na ordem dos 39% acima do $U_{\text{referência}}$.

3.4.1.1.2. Ponte Térmica Plana Exterior (PTP)

De acordo com o RCCTE coeficiente de transmissão térmica máximo admissível $U_{\text{máximo}}$ das PTP de um edifício corresponde ao valor do dobro do U da envolvente em que as PTP se encontram inseridas, desde que não exceda o valor do $U_{\text{máximo}}$ dessa envolvente.

Tabela 10 - Coeficientes de transmissão térmica originais e atuais de cada envolvente e os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis e de referência pelo RCCTE

Envolvente	Tipo	U original [W/m ² °C]	U atual [W/m ² °C]	Umáx. [W/m ² °C]	Uref. [W/m ² °C]
Ponte térmica plana	Ponte térmica plana exterior	1,97	0,43	0,80	0,80
	Ponte térmica plana interior	1,67	0,41	2,00	1,20

¹ SR – Sem Requisitos

Todas as PTP do ECOTERMOLAB têm o U em cumprimento com os valores de $U_{\text{máximo}}$ admitido pelo RCCTE. Nas PTP foi-lhes conferida valores abaixo do $U_{\text{referência}}$ na ordem dos 46% nas PTP exteriores e de 66% nas PTP interiores.

3.4.1.1.3. Pavimento Interior

De modo a determinar se o teto do laboratório 4 no piso -1 (pavimento do piso 0) é do tipo de envolvente interior com requisitos de interior ou de exterior é necessário determinar o valor de τ do Lab4. Este valor é consultado na tabela IV.1 do RCCTE após determinação da razão entre a área do elemento que separa o espaço útil do espaço não útil no ECOTERMOLAB ($A_i=631 \text{ m}^2$) e a área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior neste edifício ($A_u=489,7 \text{ m}^2$). Considerando o Lab4 um armazém, devido à reduzida utilização, e sabendo o valor da razão A_i/A_u obtém-se $\tau=0,7$. Isto significa que a envolvente do teto do Lab4 é uma envolvente interior com requisitos de interior.

Tabela 11 - Coeficientes de transmissão térmica originais e atuais de cada envolvente e os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis e de referência pelo RCCTE

Envolvente	Tipo	U original [W/m ² °C]	U atual [W/m ² °C]	Umáx. [W/m ² °C]	Uref. [W/m ² °C]
Pavimento interior	Separação entre piso 0 e 1	0,95	0,95	SR	SR
	Separação entre o piso -1 e 0	0,95	0,31	1,30	0,90

O pavimento interior sobre um espaço não útil do ECOTERMOLAB tem o U em cumprimento com os valores de $U_{\text{máximo}}$ admitido pelo RCCTE. No pavimento interior sobre um espaço não útil foi-lhe conferido um U 66% abaixo do $U_{\text{referência}}$.

3.4.1.1.4. Cobertura

Tabela 12 - Coeficientes de transmissão térmica originais e atuais de cada envolvente e os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis e de referência pelo RCCTE

Envolvente	U original [W/m ² °C]	U atual [W/m ² °C]	Umáx. [W/m ² °C]	Uref. [W/m ² °C]
Cobertura	1,05	0,29	1,00	0,45

A cobertura do ECOTERMOLAB tem o U em cumprimento com os valores $U_{\text{máximo}}$ admitido pelo RCCTE. Na cobertura foi-lhe conferida um U 36% abaixo do $U_{\text{referência}}$.

3.4.1.2. Envidraçados e Proteções Solares

Para reduzir as perdas de energia e impedir os ganhos solares, foram feitas alterações ao nível dos envidraçados e proteções solar. De modo a reduzir as perdas de energia nos envidraçados, aos envidraçados simples já existentes no edifício (vão envidraçado 1 ao 3) foram adicionados novos envidraçados simples passando a existir caixilhos duplos com vidros simples nos vãos envidraçados. Os vãos envidraçados das portas foram substituídos por vãos simples de caixilharia metálica com corte térmico e vidro duplo. Para impedir os ganhos solares indesejados foram aplicadas proteções solar móveis interiores do tipo estores venezianos no vão envidraçado 1, 2 e das portas e proteções solar móveis exteriores do tipo estores venezianos no vão envidraçado 3.

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica (originais e atuais) e os fatores solares (originais, atuais, máximos e de referência) dos vãos envidraçados são os da Tabela 13.

Tabela 13 – Fatores solares originais e atuais, fatores solares máximos e de referência admissíveis pelo RCCTE e coeficientes de transmissão térmica originais e atuais

Envolvente Envidraçado	g_{\perp} original	U original [W/m ² °C]	$g_{100\%}$	U atual [W/m ² °C]	$g_{\text{máximo}}$ admissível	g referência
Vão Envidraçado 1 (Alçado Este)	0,88	6,0	0,41	3,1	0,56	0,25
Vão Envidraçado 2 (Alçado Oeste)	0,88	6,0	0,41	3,1	0,56	0,25
Vão Envidraçado 3 (Alçado Oeste)	0,88	6,0	0,12	3,1	0,56	0,25
Vão Envidraçado Portas (Alçado Oeste)	0,88	6,0	0,47	3,3	0,56	0,25

Todos os vãos envidraçados do ECOTERMOLAB têm o seu fator solar em cumprimento com os valores máximos admitidos pelo RCCTE. Nos vãos envidraçados 1 e 2 foi-lhes conferido um g_{\perp} acima do g_{\perp} de referência, na ordem dos 64% e de 88% nos vãos envidraçados das portas. Nos vãos envidraçados do tipo 3 foi-lhe conferido um g_{\perp} 52% abaixo do g_{\perp} de referência.

3.5. Caracterização dos Ganhos Internos

Os ganhos internos de um edifício consistem na ocupação, na iluminação e nos equipamentos elétricos que fornecem calor ao espaço interior em análise, estando os ganhos internos de iluminação e dos equipamentos elétricos dependentes das potências instaladas. Os ganhos internos são favoráveis no inverno permitindo baixar as necessidades de aquecimento, mas por outro lado penalizam as necessidades de arrefecimento no verão. Deste modo, dada a sua importância no período de arrefecimento, os ganhos internos devem ser cuidadosamente avaliados.

3.5.1. Ocupação

O edifício ECOTERMOLAB é um estabelecimento de ensino e formação com uma ocupação variável ao longo do ano e de ano para ano em função da oferta formativa e da procura, pelo que, não é possível obter um número exato de ocupantes. Sabe-se no entanto que em média estão 104 pessoas no edifício, distribuídas por piso segundo a Tabela 14:

Tabela 14 - Distribuição da ocupação por piso

Piso	Ocupação	%
Piso -1	0	0%
Piso 0	32	31%
Piso 1	72	69%
Total	104	100%

3.5.2. Iluminação

O edifício é dotado de sistemas de iluminação interior e exterior, sendo a potência total instalada no edifício para iluminação de aproximadamente 11,7 kW.

3.5.2.1. Iluminação Interior

O edifício encontra-se equipado com três tipos de tecnologia para a iluminação interior que incluem:

- Lâmpadas fluorescentes tubulares, a mais recorrente, encontra-se nos sistemas de iluminação do edifício. No tipo de luminárias tubulares encontra-se inserido um tipo de lâmpada mais eficiente (fluorescentes tubulares T5);

- Lâmpadas fluorescentes compactas;
- Lâmpadas LED.

A distribuição de potência de iluminação instalada pelos pisos do edifício está indicada na Tabela 15 a partir da qual é possível verificar que os pisos 0 e 1 têm maiores necessidades desta potência, 38,3% para o piso 0 e 36,1% para o piso 1. O valor da potência instalada por área de cada piso é de 4,45 W/m² para o piso -1, de 7,01 W/m² para o piso 0 e de 6,62 W/m² para o piso 1, tendo sido determinado pelo rácio entre a potência de iluminação e a área de cada piso.

Tabela 15 - Distribuição da potência da iluminação por piso

Piso	Potência Instalada [W]	%
Piso -1	2.811	25,6%
Piso 0	4.209	38,3%
Piso 1	3.969	36,1%
Total	10.989	100%

3.5.2.2. Iluminação Exterior

A iluminação exterior do edifício é tomada a cabo por três luminárias, duas com lâmpadas de vapor de sódio com uma potência unitária de 150 W e uma com uma potência unitária de 400 W, o que perfaz uma potência instalada para iluminação exterior de 700 W.

3.5.3. Equipamentos

Tal como o ocorrido com a iluminação, os equipamentos elétricos também contribuem para os ganhos internos de calor. No edifício estão instalados cerca de 9,4 kW de potência para os equipamentos. Esta potência encontra-se distribuída pelo edifício, sendo 26,9% para o piso 1, 69,9 % para o piso 0 e 3,2% para o piso -1.

Tabela 16 - Distribuição da potência dos equipamentos por piso

Piso	Potência Instalada [W]	%
Piso -1	300	3,2%
Piso 0	6.590	69,9%
Piso 1	2.535	26,9%
Total	9.425	100%

Após a análise dos dados da Tabela 16 verifica-se que o piso 0 tem a maior percentagem de potência instalada (69,9%).

3.6. Caracterização do Sistema de Climatização

O sistema de climatização do ECOTERMOLAB é do tipo centralizado. A produção de energia térmica, água arrefecida e água aquecida, é assegurada por um *chiller* elétrico para a produção de água arrefecida e uma caldeira a gás natural para produção de água aquecida.

A distribuição da energia térmica é realizada por um sistema primário/secundário a quatro tubos, com circulação forçada pelas bombas de circulação de água. A água do *chiller* e da caldeira é circulada através de tubos de aço com isolamento térmico até aos respetivos coletores de distribuição, sendo aí, estabelecidos seis circuitos que os interligam às respetivas baterias de arrefecimento e aquecimento das UTAN's, bem como às unidades locais do tipo ventiloconvectores.

A ventilação dos espaços com ar novo é assegurada pelas UTAN's, enquanto o tratamento térmico é realizado não só pelas UTAN's mas também pelos ventiloconvectores, nas salas em que estes se encontram instalados.

Em complemento à ventilação, para os espaços que têm necessidades de extração de ar viciado aquela é assegurada por ventiladores de extração específicos.

3.6.1. Produção de Energia Térmica

A produção de energia térmica para aquecimento ambiente dos diferentes espaços é feita através de uma caldeira de condensação, com queimador modulante a gás natural com

uma potência de 75kW e uma eficiência de 107%. A modulação da potência é efetuada num intervalo entre os 20% e os 100%. As temperaturas de funcionamento da água na caldeira são de 60°C na entrada e 80°C na saída.

Para arrefecimento ambiente, a produção de energia térmica é assegurada por um *chiller* água/água com uma potência de 60,1 kW, com uma eficiência EER=2,7 e com condensação por um *Dry Cooler* (torre de arrefecimento seca). A potência do *chiller* é repartida em dois escalões de funcionamento (50% ou 100%). As temperaturas de funcionamento da água no *chiller* são de 12°C na entrada e 7°C na saída.

São apresentados na Tabela 17 os dados técnicos da caldeira e do *chiller* e na Tabela 18 os dados técnicos da torre de arrefecimento seca.

Tabela 17 – Dados técnicos do *chiller* e da caldeira

Unidade	Marca	Modelo	Combustível	Potência [kW]	Eficiência
<i>Chiller</i>	Daikin	EWWP065KAW 1N	Eletricidade	60,1	EER = 2,7
Caldeira	Wolf	CGB-75	Gás Natural	75	107%

Tabela 18 – Danos técnico da torre de arrefecimento seca

Unidade	Marca	Modelo	Número Ventiladores	Potência do Motor Ventilador [W]	Volume Interior fluido [dm ³]
<i>Dry Cooler</i>	Lennox	FC SN 08Y L02	2	990	49,0

3.6.2. Distribuição de Energia Térmica

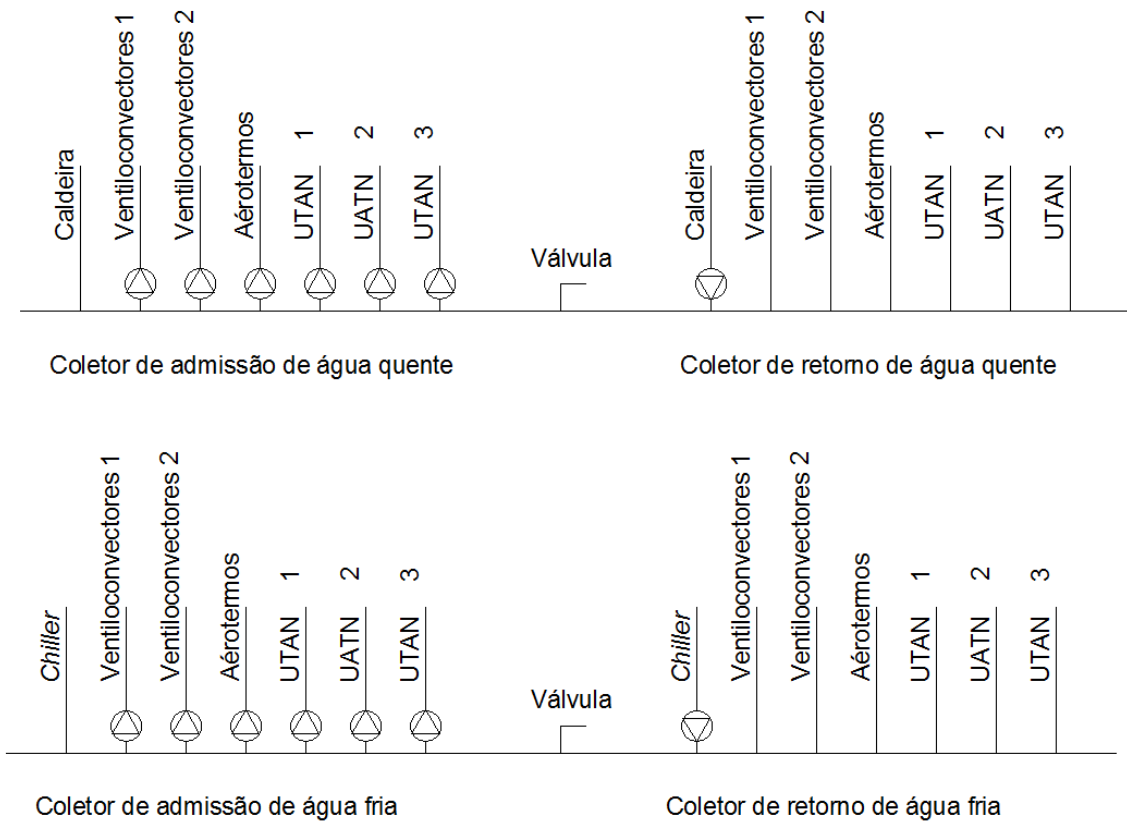


Figura 19 - Esquema da distribuição da água aquecida e arrefecida

O sistema de distribuição de energia térmica (Figura 19) está inserido num sistema com primário e secundário. Este tipo de sistema é definido por uma distribuição de energia térmica a quatro tubos. O primário corresponde à circulação de água entre o *chiller* ou a caldeira e os respetivos coletores de distribuição e o secundário corresponde à circulação de água dos coletores de distribuição para as unidades terminais difusoras de energia térmica (UTAN's e ventiloconvectores).

A circulação da energia térmica é realizada com o recurso a bombas centrífugas do tipo *in-line* em ferro fundido, de rotor imerso no caso das bombas de água aquecida e de rotor seco no caso das bombas de água arrefecida.

No sentido de tornar mais eficiente o sistema de distribuição de energia térmica foi adotada uma MCE caracterizada pela instalação de variadores de velocidade ao funcionamento das bombas circuladoras dos circuitos primário e secundário, permitindo o ajuste do caudal de água em circulação às reais necessidades da instalação em cada momento.

3.6.3. Difusão da Energia Térmica

O ECOTERMOLAB está equipado com três UTAN's e cinco ventiloconvectores responsáveis pelas renovações e tratamento térmico do ar difundido nas zonas climatizadas do edifício.

As temperaturas que se consideram de conforto térmico são de 20°C para o período de aquecimento e 25°C para o período de arrefecimento.

3.6.3.1. Unidades de Tratamento de Ar Novo (UTAN)

As três UTAN's do edifício ECOTERMOLAB são responsáveis pela ventilação (renovação do ar) e climatização dos espaços. O ar novo é filtrado e termicamente tratado (aquecido ou arrefecido) sendo, posteriormente, difundido nas zonas climatizadas do edifício. As UTAN's são designadas de 1 a 3 e são constituídas por várias secções:

- Secções de filtragem;
- Secção de recuperação de energia térmica, onde é feita a troca de calor entre o ar extraído das zonas climatizadas e o ar novo;
- Secções de arrefecimento e aquecimento, que são constituídas por baterias de água arrefecida e água aquecida;
- Secções de ventilação de insuflação e extração, que integram os respetivos ventiladores.

O recuperador de calor da UTAN 1 é do tipo roda térmica (roda entálpica) e os recuperadores de calor das UTAN's 2 e 3 são do tipo fluxos cruzados.

As UTAN's estão inseridas num sistema de distribuição de energia térmica a quatro tubos (dois para a bateria de arrefecimento e dois para a bateria de aquecimento) com controlo de caudal de água fornecido às baterias realizado por válvulas de três vias modulantes.

Os motores dos ventiladores são de alto rendimento e alcançam níveis de eficiência elevados, com classe energética EFF1 (à data da construção do edifício, a eficiência EFF1 era a melhor eficiência possível de obter, atualmente é possível ser atribuída eficiência melhor para além do escalonamento ser diferente) e ajuste de caudal de ar requerido por via da instalação de variadores de velocidade.

Com o intuito de reduzir a utilização de energia na correção da temperatura do ar de insuflação foi aplicada uma MCE nas UTAN's que passa pela instalação de

recuperadores de calor do tipo roda térmica na UTAN 1 e do tipo fluxos cruzados na UTAN 2 e 3. Estes equipamentos são responsáveis pela permuta de calor entre o ar extraído das zonas climatizadas e o ar novo, pré-aquecendo ou pré-arrefecendo, consoante se encontre no período de aquecimento ou arrefecimento. Desta forma é possível reduzir as necessidades de energia térmica circuladas nas baterias das UTAN's.

No sentido de tornar mais eficiente o sistema de ventilação do edifício foi adotada uma MCE caracterizada pela instalação de variadores de velocidade ao funcionamento dos ventiladores de insuflação e extração nas UTAN's permitindo o ajuste do caudal de ar em circulação às reais necessidades da instalação em cada momento. Associados aos variadores de velocidade foram instaladas sondas de CO₂ que monitorizam as concentrações de CO₂ dos espaços onde estas se encontram instaladas, permitindo, assim, regular o caudal de ar novo insuflado nesses espaços, de modo a que os níveis máximos de concentração de CO₂ não sejam excedidos.

São apresentados na Tabela 19 os dados técnicos das UTAN's.

Tabela 19 – Dados técnicos das UTAN's

Referência	UTAN 1	UTAN 2	UTAN 3
Marca	Wolf	Wolf	Wolf
Modelo	Top 96/96	Top 130/130	Top 43/43
Caudal de insuflação [m³/h]	7.090	9.541	2.200
Potência Ventilador [kW]	5,5	7,5	1,5
Caudal de extração [m³/h]	6.985	9.570	1.750
Potência Ventilador [kW]	4	5,5	1,1
Tipo Recuperador (Eficiência aquecimento/Eficiência arrefecimento)	Roda Entálpica (78%/78%)	Fluxos cruzados (64%/61%)	Fluxos cruzados (56%/65%)
Potência Bateria Permutador Frio [kW]	51,3	69,4	16,0
Potência Bateria Permutador Quente [kW]	45,2	60,8	14,0
Tipo de pré-filtro	G4	G4	-
Tipo filtros	F5/F9	F5/F9	F5/F9+H13

3.6.3.2. Ventiloconvectores

Os ventiloconvectores têm como função tratar termicamente o ar dos espaços em que estes estão inseridos. As zonas servidas pelos ventiloconvectores são as salas de

formação do piso 1 e são a dois (FWB) ou a quatro tubos (FWM, FWC e FWF) para o aquecimento e/ou arrefecimento. Os dados técnicos dos ventiloconvectores estão apresentados na Tabela 20 e na Tabela 21.

Tabela 20 - Dados técnicos de arrefecimento dos ventiloconvectores

Modelo	Capacidade Arrefecimento Total [W]	Caudal Água [l/h]	Queda Pressão Água [Pa]	Caudal Ar [m ³ /h]	Potência Absorvida [W]
FWM04CTV	1690	289	2370	263	61
FWC04AT	1690	289	2370	1210	113
FWB10	3710	637	5210	763	193
FWF02AT	2930	402	61900	594	46
FWC07AT	51100	1140	24800	1070	102

Tabela 21 - Dados técnicos de aquecimento dos ventiloconvectores

Modelo	Capacidade Aquecimento Total [W]	Caudal Água [l/h]	Queda Pressão Água [Pa]	Caudal Ar [m ³ /h]	Potência Absorvida [W]
FWM04CTV	2080	362	2920	263	61
FWC04AT	2080	362	2920	1210	113
FWB10	5180	900	7960	763	193
FWF02AT	2030	402	67300	594	46
FWC07AT	6400	1140	21400	1070	102

3.6.3.3. Ventiladores de Extração (VEx)

O edifício conta ainda com ventiladores de extração com a função de extrair o ar viciado do interior do edifício. O ventilador de extração 0 (VEx 0) retira o ar viciado dos laboratórios 1 e 2 do piso 0, enquanto o ventilador de extração 1 (VEx 1) retira o ar das diversas instalações sanitárias.

Tabela 22 - Descrição dos Ventiladores de extração

Designação	Marca	Tipo	Modelo	Caudal [m³/h]	Potência [W]	RPM
VEx 0	Wolf	Caixa de ventilação	KGSE 40	720	180	1500
VEx 1	Systemair	Caixa de ventilação	KVK 160	375	93	1950

O VEx 0 não é um equipamento que esteja sempre ligado, sendo unicamente utilizado para ensaios, nos laboratórios 1 e 2, em contexto de formação o que não representa uma utilização de energia relevante.

3.6.3.4. Circulação do Ar Tratado

O ar novo filtrado, termicamente tratado nas UTAN's é distribuído pelos diferentes espaços mediante uma rede de condutas, montadas e testadas segundo as normas DIN 24914, DIN 18379 e DIN 24190. As dimensões, tolerâncias, espessuras, atravancamentos e transposições das mesmas estão de acordo com as normas ISO 7807 – 1983E, EUROVENT – 827206, DIN 24145/47:24190 e 24191 e NFP 50-401. As condutas estão dotadas de portas de visita nas derivações, registos, bem como noutros locais previstos na norma EN 12097. As condutas são termicamente isoladas, com 30 mm de espessura de isolamento de manta de lã de rocha dotado de barreira anti-vapor.

As condutas responsáveis pela circulação do ar de extração dos espaços foram executadas segundo as mesmas normas que as condutas do ar novo. As condutas são termicamente isoladas, com 20 mm de espessura de isolamento de manta de lã de rocha dotado de barreira anti-vapor.

As condutas responsáveis pela exaustão do ar foram executadas segundo as mesmas normas que as condutas do ar novo. As condutas são termicamente isoladas, com 40 mm de espessura de isolamento de manta de lã de rocha dotado de barreira anti-vapor.

Os isolamentos das condutas instaladas no exterior do edifício, zonas técnicas e à vista foram recobertos com chapa de alumínio com 0,8 mm de espessura.

3.7. Controlo

O ECOTERMOLAB está equipado com um Sistema de Gestão Técnica Centralizada (SGTC). Este sistema é capaz de supervisionar, controlar e gerir, em tempo

real, os equipamentos do edifício a ele ligados. No ECOTEMOLAB o SGTC é responsável por controlar:

- As UTAN's - os variadores de velocidade dos ventiladores (conforme os registos abertos e as temperaturas dos espaços), as sondas de temperatura (ar exterior, ar de retorno e ar insuflado), as válvulas de três vias de alimentação às baterias e as sondas de temperatura da água aquecida e arrefecida de alimentação às baterias;
- A rede hidráulica – os variadores de caudal das bombas de circulação de água, das sondas de temperatura existentes na rede hidráulica e as válvulas modulantes;
- As sondas de temperatura e níveis de CO₂ das salas com o objetivo de controlar a qualidade do ar interior;
- Os contadores de energia do quadro AVAC, das UTAN's, do *chiller* e de entalpia do edifício;
- A iluminação.

O controlo de abertura e fecho dos registos das condutas de ar das salas de formação do piso 1 é realizado por ação humana, através de interruptores situados na receção. Os registos são abertos no período em que as salas se encontram ocupadas e fechados nos restantes períodos. A SGTC está configurada para que a abertura dos registos de cada sala de formação contabilize o caudal de ar novo necessário para treze pessoas (um formador e doze formandos), ajustando os variadores de velocidade dos ventiladores com a abertura ou fecho dos registos.

3.8. Caracterização dos Vetores Energéticos

Neste subcapítulo é apresentada, de um modo geral, a análise à energia utilizada no edifício.

3.8.1. Vetores Energéticos do Edifício

As fontes de energia utilizadas neste edifício são o gás natural e a energia elétrica. A análise energética efetuada neste trabalho tem como referência os dados de 2012 do ECOTERMOLAB, uma vez que os responsáveis do edifício considerarem este ano um ano em que o edifício teve uma ocupação tipo.

Por consulta da faturação energética do ano de 2012, conclui-se que a utilização energética real do ECOTERMOLAB foi de 39.200 kWh de Gás Natural, o que representa um custo de 2.505€ e de 38.100 kWh Energia Elétrica, o que se traduz num custo de 6.967€.

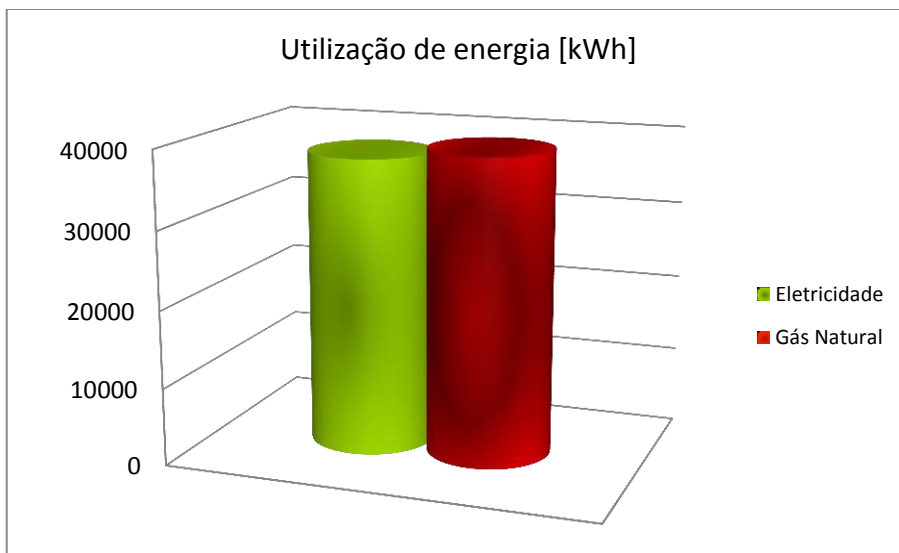


Gráfico 1 - Utilização de energia dividida por vetor energético [kWh] no ano 2012

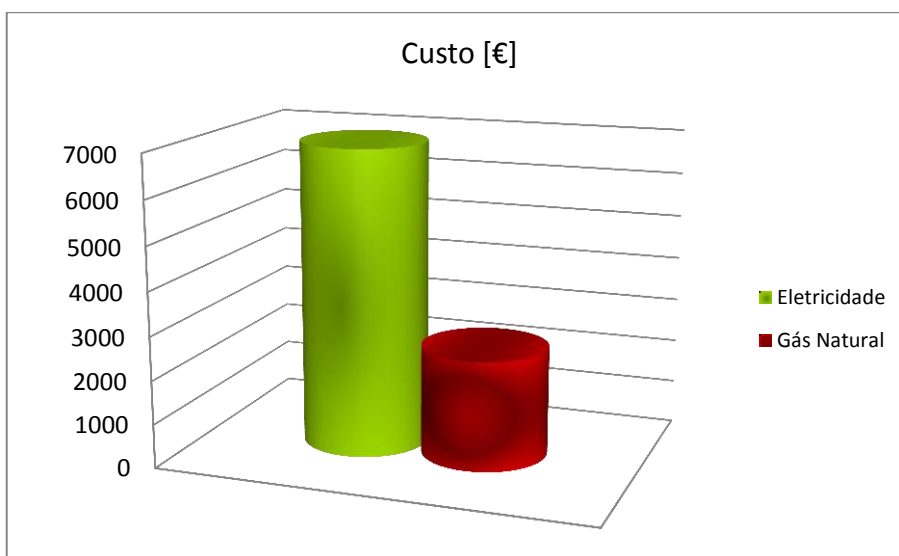


Gráfico 2 - Custo da energia [€] no ano 2012

Pela análise do Gráfico 1 e do Gráfico 2 é possível verificar que, em termos energéticos (kWh), a quantidade de gás natural utilizada é ligeiramente superior à de eletricidade. No entanto, comparando o custo por kWh de cada uma das fontes energéticas

é possível constatar que a eletricidade tem um preço 3 vezes superior ao do gás natural (0,06€/kWh de gás natural e 0,18€/kWh de eletricidade).

3.9. Análise ao Dimensionamento dos Equipamentos e Componentes

Neste subcapítulo é apresentada a análise de otimização do dimensionamento dos equipamentos e componentes AVAC conforme a aplicação das MCE no ECOTERMOLAB. Uma vez que este trabalho se centra na otimização do dimensionamento dos sistemas e equipamentos AVAC no ECOTERMOLAB, foi feita uma análise para avaliar o impacto no dimensionamento dos equipamentos e componentes da instalação AVAC tendo em conta a aplicação das MCE e a sua ausência. A otimização do dimensionamento dos sistemas e equipamentos AVAC tem um importante reflexo quer a nível energético, quer a nível económico, uma vez que a sua diminuição, traduz-se na redução da quantidade de energia utilizada, bem como, e desde logo, na diminuição do custo na aquisição destes equipamentos e componentes. Esta otimização é conseguida através da implementação de MCE que levam à diminuição das necessidades energéticas na climatização do edifício.

Para identificar se há diminuição no dimensionamento dos equipamentos e componentes AVAC e na utilização de energia para a climatização, após a implementação das MCE, foram realizadas simulações dinâmicas do edifício. Numa primeira fase foi concebido um modelo de simulação dinâmica padrão (*baseline*) no *EnergyPlus*, referente ao edifício sem a aplicação das MCE, isto é, o edifício adaptado às novas funções, mas sem a implementação das MCE identificadas para a envolvente. Ainda relativo à situação do modelo padrão a instalação AVAC inclui uma caldeira e um *chiller* dimensionados para o edifício com as necessidades de climatização de base, três UTAN's sem recuperadores de calor e sem os variadores de velocidade nas bombas e nos ventiladores, cinco ventiloconvectores e todos os restantes equipamentos necessários para o funcionamento de uma instalação AVAC.

A partir do modelo padrão, foram realizadas sucessivas simulações que refletem a aplicação individual das MCE, ou seja, aplicação de isolamento térmico na envolvente opaca como descrito no ponto 3.4.1.1, aplicação das melhorias nos envidraçados como

descrito no ponto 3.4.1.2, aplicação dos sombreamentos como descrito no ponto 3.4.1.2, a utilização dos recuperadores de calor nas UTAN's como descrito no ponto 3.6.3.1 e utilização dos variadores de velocidade nas bombas e nos ventiladores como descrito no ponto 3.6.2 e no ponto 3.6.3.1.

Por último, foi realizada uma simulação com a aplicação simultânea de todas as MCE identificadas como válidas para o edifício, permitindo avaliar o impacto conjunto da sua implementação.

Em todas as simulações foram utilizados os perfis reais de ocupação e de funcionamento do edifício.

3.9.1. Potência da Caldeira e do *Chiller*

Com os valores das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento fornecidos através das simulações dinâmicas, obtêm-se aos valores das potências da caldeira e do *chiller*. Assim, os valores das potências da caldeira e do *chiller* com e sem a aplicação de todas as MCE são os da Tabela 23.

Tabela 23 - Potência da caldeira e do *chiller* com e sem a aplicação das MCE

	Potência [kW]	
	Sem MCE	Com MCE
Caldeira	62,000	52,000
<i>Chiller</i>	92,000	64,000

Como é possível constatar a partir destes valores, a aplicação de todas as MCE leva a uma redução de 16% e 30% nas potências da caldeira e do *chiller*, respetivamente, relativamente à não aplicação das MCE. Deste modo, transpondo os dados das necessidades das potências da caldeira e do *chiller* para as opções de mercado verifica-se uma redução de gama nos dois equipamentos, permitindo assim, uma redução no custo de aquisição quer da caldeira quer do *chiller*. O processo de seleção da caldeira e do *chiller* está detalhado no Anexo D.

3.9.2. Distribuição de Energia Térmica

A distribuição da energia térmica é feita por ação de bombas de circulação de água através de redes de tubagens. Para o correto dimensionamento das bombas e dos tubos é essencial saber qual o caudal máximo de água necessário circular.

3.9.2.1. Caudais de água aquecida/arrefecida

Com a alteração das cargas térmicas e da capacidade dos equipamentos produtores de energia térmica ocorrem alterações nos valores máximos de caudal de água aquecida/arrefecida circulada pela rede de tubagem de distribuição daquela energia. Os valores máximos de caudal de água em circulação nos principais equipamentos da instalação AVAC com e sem aplicação de todas as MCE, obtidos pelos resultados das simulações do *EnergyPlus*, são os da Tabela 24.

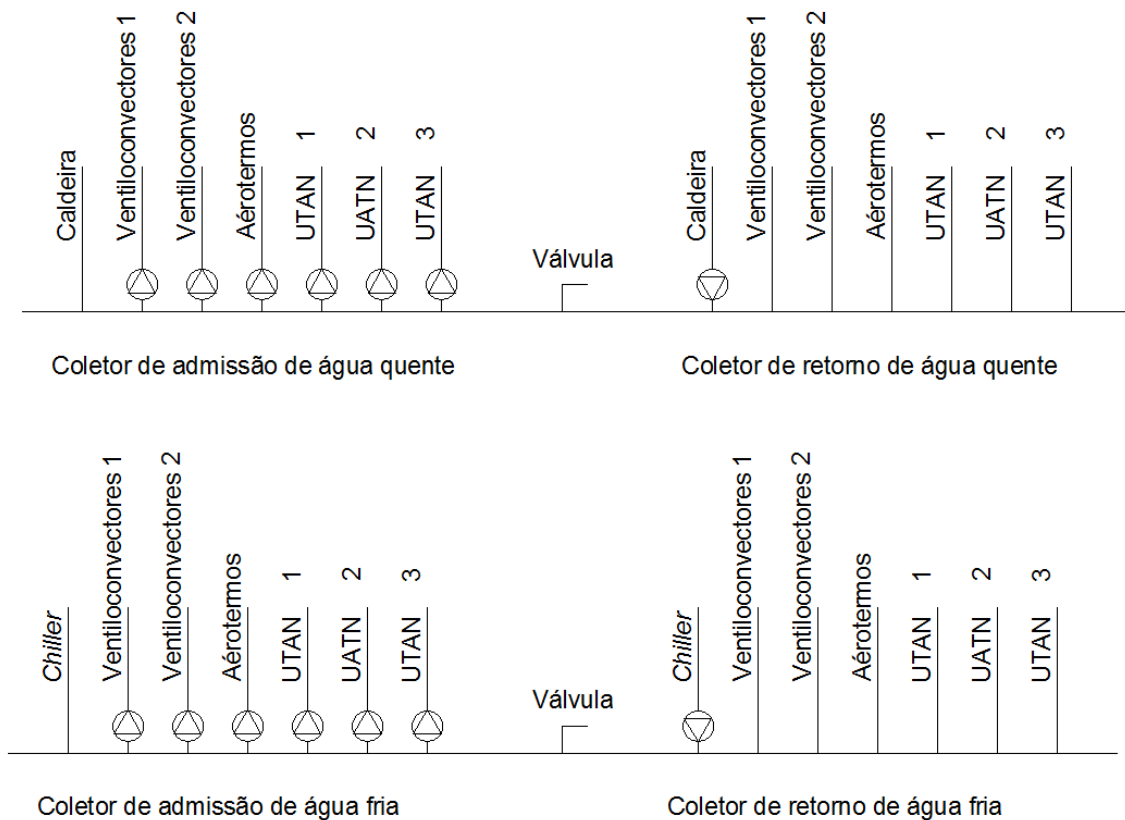


Figura 20 - Esquema de principio de distribuição da água aquecida e arrefecida

Tabela 24 - Caudal de água aquecida e arrefecida circulada pela rede de tubagem do ECOTERMOLAB

	Sem MCE	Com MCE	Unidades
Circulação Caldeira	4,69E-04	2,73E-04	m ³ /s
Circulação Chiller	9,76E-04	6,57E-04	
Circulação Torre	5,36E-03	3,72E-03	
UTAN 1 Bateria Arrefecimento	2,54E-04	2,25E-04	
UTAN 1 Bateria Aquecimento	2,21E-04	1,05E-04	
UTAN 2 Bateria Arrefecimento	2,14E-04	1,93E-04	
UTAN 2 Bateria Aquecimento	1,75E-04	1,27E-04	
UTAN 3 Bateria Arrefecimento	1,00E-04	1,00E-04	
UTAN 3 Bateria Aquecimento	1,80E-05	1,50E-05	
Ventilo Sala Desenho Bateria Arrefecimento	2,13E-04	8,50E-05	
Ventilo Sala Desenho Bateria Aquecimento	5,50E-05	5,50E-05	
Ventilo Sala Formação 1 Bateria Arrefecimento	8,80E-05	8,50E-05	
Ventilo Sala Formação 1 Bateria Aquecimento	5,50E-05	5,50E-05	
Ventilo Sala Formação 2 Bateria Arrefecimento	1,51E-04	8,50E-05	
Ventilo Sala Formação 2 Bateria Aquecimento	4,40E-05	1,70E-05	
Ventilo Sala Formação 3 Bateria Arrefecimento	9,90E-05	8,50E-05	
Ventilo Sala Formação 3 Bateria Aquecimento	5,50E-05	5,50E-05	
Ventilo Sala Formação 4 Bateria Arrefecimento	1,65E-04	9,20E-05	
Ventilo Sala Formação 4 Bateria Aquecimento	4,50E-05	3,20E-05	

A partir destes valores é possível verificar que houve uma redução de quinze caudais volúmicos máximos de água necessários para a climatização do edifício, em que apenas quatro se mantiveram iguais. Com a redução dos caudais volúmicos máximos é possível reduzir a potência das bombas e o diâmetro das tubagens de circulação de água como demonstram o ponto 3.9.2.2 e o ponto 3.9.2.3.

3.9.2.2. Potência das Bombas Circuladoras

Utilizando os valores da Tabela 24 para o caudal volúmico e sabendo a perda de carga da rede de tubagem em que a bomba está inserida, com a aplicação da expressão 2 [Exp.2] é possível obter o valor da potência da bomba necessária para executar a circulação no circuito de água. A Exp.2 estabelece uma relação entre a potência da bomba, o caudal e a perda de carga do circuito de água.

$$P = \dot{V} * \Delta P \quad [Exp.2]$$

Em que P é a potência da bomba em W, \dot{V} é o caudal volúmico em m³/s e ΔP é a perda de carga do circuito de água em Pa. Admitindo que a alteração dos caudais é diretamente proporcional à alteração dos diâmetros dos tubos considera-se que ΔP é constante.

A distribuição das bombas de circulação de água dos ventiloconvectores para os respetivos equipamentos é realizada como indica a Tabela 25.

Tabela 25 - Distribuição das bombas de água para o ventiloconvectores

Bombas dos ventiloconvectores	Ventiloconvector da sala:
Ventiloconvector 1	Desenho
	Formação nº 4
Ventiloconvector 2	Formação nº 1
	Formação nº 2
	Formação nº 3

Com recurso a um orçamento fornecido pela Grundfos obtém-se as potências das bombas sem (Tabela 26) e com (Tabela 27) a aplicação de todas as MCE.

Tabela 26 - Potência das bombas de circulação de água sem a aplicação das MCE

	Caudal [m³/s]	ΔP [Pa]	Potência Real da Bomba [kW]
Bomba da caldeira	4,69E-04	6,0	0,176
Bomba do chiller	9,76E-04	11,9	1,100
Bomba da Torre	5,36E-03	8,0	2,200
Bomba UTAN 1 Bateria Arrefecimento	2,54E-04	10,5	0,188
Bomba UTAN 1 Bateria Aquecimento	2,21E-04	4,0	0,032
Bomba UTAN 2 Bateria Arrefecimento	2,14E-04	4,4	0,045
Bomba UTAN 2 Bateria Aquecimento	1,75E-04	6,0	0,087
Bomba UTAN 3 Bateria Arrefecimento	1,00E-04	8,1	0,051
Bomba UTAN 3 Bateria Aquecimento	1,80E-05	2,4	0,022
Bomba Ventilconvector 1 Arrefecimento	3,78E-04	7,0	0,119
Bomba Ventilconvector 1 Aquecimento	1,00E-04	7,0	0,119
Bomba Ventilconvector 2 Arrefecimento	3,38E-04	6,0	0,119
Bomba Ventilconvector 2 Arrefecimento	1,54E-04	6,0	0,119

Tabela 27 - Potência das bombas de circulação de água com a aplicação das MCE

	Caudal [m³/s]	ΔP [Pa]	Potência Real da Bomba [kW]
Bomba da caldeira	2,73E-04	6,0	0,091
Bomba do chiller	6,57E-04	11,9	0,193
Bomba da Torre	3,72E-03	8,0	0,608
Bomba UTAN 1 Bateria Arrefecimento	2,25E-04	10,5	0,193
Bomba UTAN 1 Bateria Aquecimento	1,05E-04	4,0	0,056
Bomba UTAN 2 Bateria Arrefecimento	1,93E-04	4,4	0,091
Bomba UTAN 2 Bateria Aquecimento	1,27E-04	6,0	0,091
Bomba UTAN 3 Bateria Arrefecimento	1,00E-04	8,1	0,163
Bomba UTAN 3 Bateria Aquecimento	1,50E-05	2,4	0,056
Bomba Ventilconvetor 1 Arrefecimento	1,77E-04	7,0	0,124
Bomba Ventilconvetor 1 Aquecimento	8,70E-05	7,0	0,124
Bomba Ventilconvetor 2 Arrefecimento	2,55E-04	6,0	0,091
Bomba Ventilconvetor 2 Arrefecimento	1,27E-04	6,0	0,091

O valor total das potências com e sem a aplicação de todas as MCE apresentado na Tabela 28 consiste no somatório das potências de todas as bombas indicadas na Tabela 26 e na Tabela 27. Assim, a redução total da potência disponível pelas bombas é apresentada na Tabela 28.

Tabela 28 - Diferença na potência requerida com e sem a aplicação de todas as MCE

	Sem MCE	Com MCE	Redução	Redução [%]
Potência [kW]	4,377	1,972	2,405	54,9%

Como é possível verificar, com a redução dos caudais volúmicos de água, existe uma redução na potência das bombas na ordem dos 55%. Após uma análise de mercado descrita no subcapítulo 3.11.2.2, verificou-se que é possível reduzir cerca de 3.092€ na aquisição das bombas, o que em valores relativos representa uma redução no esforço financeiro em cerca de 21%.

3.9.2.3. Diâmetro das Tubagens

Utilizando os valores de caudal volúmico da Tabela 24 e admitindo que a velocidade da água na rede de tubagem em que os tubos estão inseridos é constante, com a manipulação matemática da expressão 3 [Exp.3] é possível obter uma razão de multiplicação entre os diâmetros dos tubos com e sem a aplicação de todas as MCE.

$$\dot{V} = \frac{\pi * D^2}{4} * v \quad [\text{Exp.3}]$$

Em que \dot{V} é o caudal volúmico em m^3/s , D é o diâmetro do tubo em m e v é a velocidade da água circulada em m/s .

$$v = \frac{4 * \dot{V}}{\pi * D^2}$$

Igualando as duas expressões chega-se à seguinte equação:

$$D_{sm} = \sqrt{\frac{\dot{V}_{sm}}{\dot{V}_{cm}}} * D_{cm}$$

Em que sm é a indicação de sem MCE e cm é a indicação de com MCE. Os diâmetros dos tubos de referência são os da instalação real do edifício onde já estão aplicadas todas as MCE. Estes diâmetros são multiplicados pelo valor obtido para a razão de multiplicação, obtendo assim o diâmetro dos tubos sem as MCE. Deste modo, obtém-se os valores da Tabela 29 resultantes da comparação dos diâmetros entre a aplicação de todas as MCE e a sua ausência.

Tabela 29 - Diâmetro necessário para os tubos com e sem a aplicação das MCE

	Razão de Multiplicação	Com MCE	Sem MCE	Tubos Requeridos Com MCE	Tubos Requeridos Sem MCE
Circulação Caldeira	Dsm=1,311*Dcm	0,0761	0,0997	DN80	DN100
Circulação Chiller	Dsm=1,219*Dcm	0,0603	0,0735	DN50	DN80
Circulação Torre	Dsm=1,201*Dcm	0,0761	0,0914	DN65	DN80
UTAN 1 Bateria Arrefecimento	Dsm=1,062*Dcm	0,0603	0,0641	DN50	DN50
UTAN 1 Bateria Aquecimento	Dsm=1,451*Dcm	0,0603	0,0875	DN50	DN80
UTAN 2 Bateria Arrefecimento	Dsm=1,053*Dcm	0,0603	0,0635	DN50	DN50
UTAN 2 Bateria Aquecimento	Dsm=1,174*Dcm	0,0483	0,0567	DN40	DN50
UTAN 3 Bateria Arrefecimento	Dsm=1,000*Dcm	0,0424	0,0424	DN40	DN40
UTAN 3 Bateria Aquecimento	Dsm=1,095*Dcm	0,0424	0,0464	DN40	DN40
Ventilo Sala Desenho Bateria Arrefecimento	Dsm=1,583*Dcm	0,0269	0,0426	DN32	DN40
Ventilo Sala Desenho Bateria Aquecimento	Dsm=1,000*Dcm	0,0213	0,0213	DN25	DN25
Ventilo Sala Formação 1 Bateria Arrefecimento	Dsm=1,017*Dcm	0,0269	0,0274	DN32	DN32
Ventilo Sala Formação 1 Bateria Aquecimento	Dsm=1,000*Dcm	0,0213	0,0213	DN25	DN25
Ventilo Sala Formação 2 Bateria Arrefecimento	Dsm=1,333*Dcm	0,0269	0,0359	DN25	DN32
Ventilo Sala Formação 2 Bateria Aquecimento	Dsm=1,609*Dcm	0,0213	0,0343	DN25	DN32
Ventilo Sala Formação 3 Bateria Arrefecimento	Dsm=1,079*Dcm	0,0269	0,0290	DN25	DN32
Ventilo Sala Formação 3 Bateria Aquecimento	Dsm=1,000*Dcm	0,0213	0,0213	DN25	DN25
Ventilo Sala Formação 4 Bateria Arrefecimento	Dsm=1,339*Dcm	0,0269	0,0360	DN25	DN32
Ventilo Sala Formação 4 Bateria Aquecimento	Dsm=1,186*Dcm	0,0213	0,0253	DN25	DN25

Com estes dados é possível verificar que existem dez diâmetros de tubos (em dezanove) que sofrem alterações, permitindo, assim, uma redução no custo de aquisição

das tubagens na ordem dos 15%, segundo o estudo desenvolvido no subcapítulo 3.11.2.2. Desta mudança de diâmetros dos tubos regista-se igualmente alterações em todos os componentes associados a essas tubagens bem como o isolamento dos tubos.

3.10. Análise da Energia Utilizada em Climatização

Os sistemas AVAC têm de assegurar as necessidades energéticas do edifício, de modo a manter o ar interior nas condições de temperatura e humidade desejadas. A quantificação e análise às necessidades energéticas para o aquecimento e arrefecimento ambiente do ECOTERMOLAB é efetuada de modo a verificar o contributo que cada MCE oferece na utilização de energia para aquecimento e arrefecimento do edifício.

As necessidades de aquecimento e arrefecimento, para os diferentes cenários de não aplicação e aplicação individual ou conjunta de todas as MCE identificadas, vão ser apresentados através dos valores das cargas térmicas e da utilização de energia em aquecimento e em arrefecimento resultante das respetivas simulações energéticas realizadas no *EnergyPlus*.

3.10.1. Análise das Necessidades de Aquecimento

Mediante as simulações do *EnergyPlus* referentes às cargas térmicas de aquecimento do edifício para cada uma das diferentes situações em estudo, isto é, sem a aplicação de MCE, com a aplicação individual de cada MCE identificada e, por fim, com a aplicação conjunta das diversas MCE, foram obtidos os seguintes resultados: cerca de 62 kW sem MCE, 58 kW com a aplicação de isolamento térmico na envolvente opaca, 59 kW com a duplicação dos envidraçados e 52 kW perante a aplicação de todas as MCE (Gráfico 3).

Não foi realizada a simulação para a aplicação dos sombreamentos no período de aquecimento, visto que a aplicação dos mesmos não tem qualquer impacto, quer no valor da carga térmica, quer no valor de energia, para o aquecimento, já que aqueles sombreamentos são móveis e não impõem qualquer sombreamento adicional quando recolhidos (o que acontece no período em análise). No que respeita à aplicação de recuperadores de calor nas UTAN's o seu impacto apenas é refletido ao nível das

necessidades energéticas em aquecimento e não ao nível da carga térmica, uma vez que a potência a disponibilizar para o aquecimento do ar na situação de projeto se mantém.

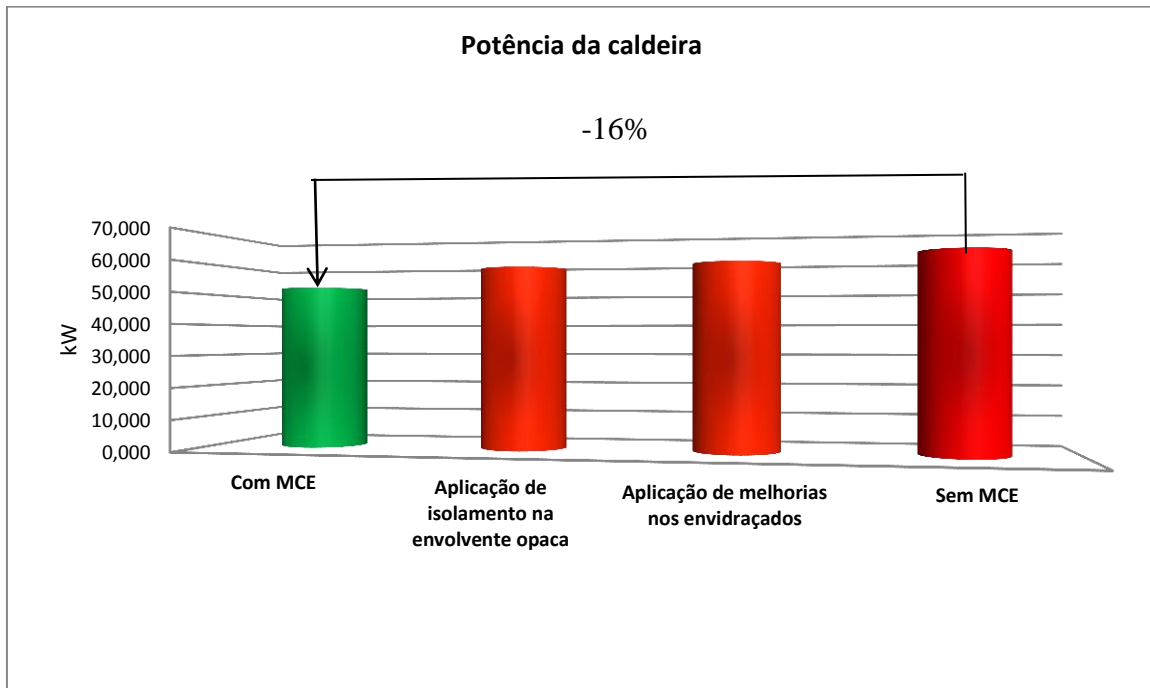


Gráfico 3 - Potências das caldeiras para as diferentes simulações dinâmicas

Estes valores mostram que a aplicação conjunta das MCE identificadas resulta numa redução efetiva em cerca de 16% da carga térmica de aquecimento, e que ambas as medidas em análise, a aplicação de isolamento térmico na envolvente opaca e a duplicação dos envidraçados, têm um impacto equivalente (6% e 5%, respetivamente)

No que se refere às necessidades energéticas de aquecimento estas contabilizaram cerca de 46.250 kWh para o edifício sem MCE, tendo o seu valor reduzido para 24.100 kWh mediante a aplicação conjunta das MCE identificadas. Individualmente, a aplicação de isolamento térmico na envolvente opaca permite reduzir o valor das necessidades em aquecimento para 43.100 kWh, a duplicação dos envidraçados para 46.200 kWh e, finalmente, a aplicação dos recuperadores de calor permite reduzir aquelas necessidades para um valor de 29.000 kWh (Gráfico 4).

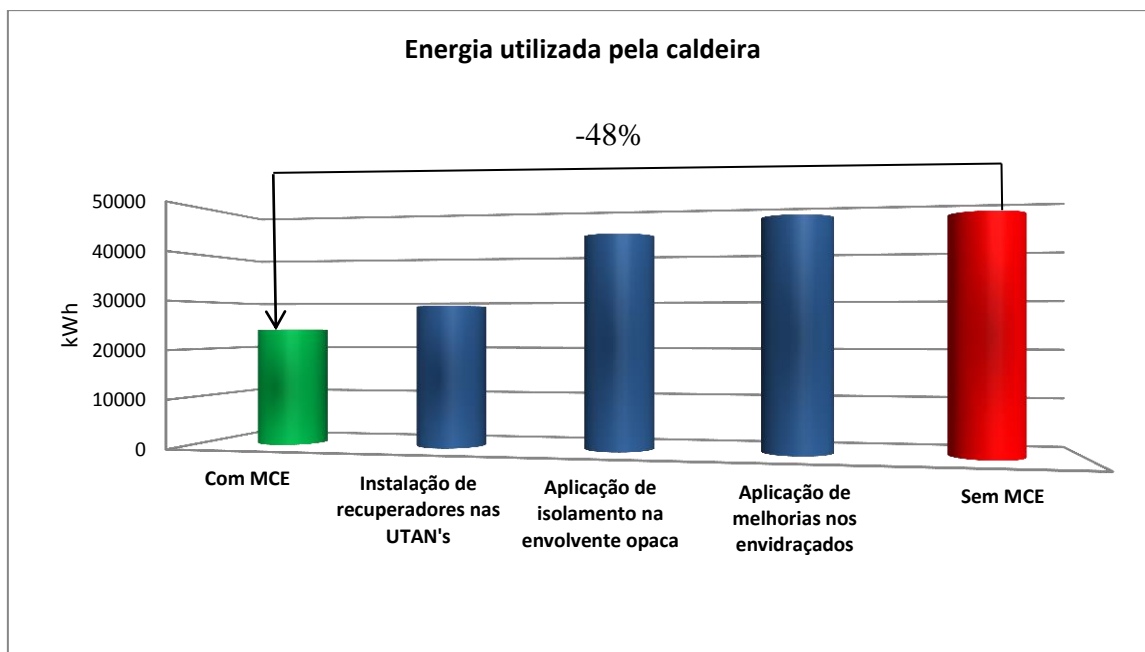


Gráfico 4 - Energia utilizada pela caldeira para as diferentes simulações dinâmicas

Estes valores mostram que a aplicação de MCE resulta numa redução efetiva em cerca de 48% na utilização de energia para o aquecimento, sendo as medidas com maior impacto a instalação de recuperadores de calor nas UTAN's (aproximadamente -37%) e a aplicação de isolamento térmico na envolvente opaca (aproximadamente -7%).

Importa ainda avaliar que a duplicação dos envidraçados, com uma redução de 0,1%, praticamente não apresenta benefício relativamente à energia utilizada para o aquecimento. Este impacto praticamente nulo, prende-se com o facto de apesar da duplicação dos vãos envidraçados reduzir as perdas de calor por via da diminuição do coeficiente de transmissão térmica, tal é contrabalançado pela penalização dos ganhos solares por via da diminuição inevitável do valor do fator solar dos envidraçados.

3.10.2. Análise das Necessidades de Arrefecimento

Mediante as simulações do *EnergyPlus* referentes às cargas térmicas de arrefecimento do edifício para cada uma das diferentes situações em estudo foram determinados os seguintes valores: cerca de 92 kW sem MCE, 78 kW com a aplicação do isolamento térmico na envolvente opaca, 88 kW com a duplicação dos envidraçados, 80

kW com a aplicação dos sombreamentos móveis e, finalmente, 64 kW com a aplicação conjunta das MCE identificadas (Gráfico 5).

No que respeita à aplicação de recuperadores de calor nas UTAN's o seu impacto apenas é refletido ao nível das necessidades energéticas em arrefecimento e não ao nível da carga térmica, uma vez que a potência a disponibilizar para arrefecimento do ar na situação de projeto se mantém.

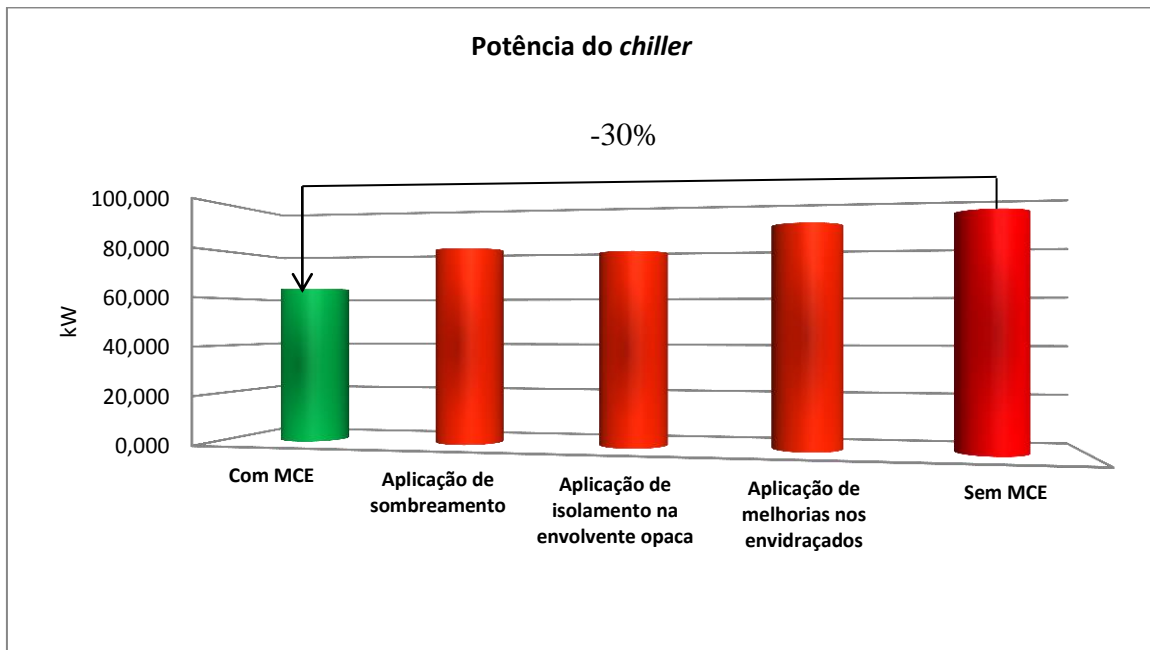


Gráfico 5 - Potências dos chillers para as diferentes simulações dinâmicas

Estes valores mostram que a aplicação conjunta das MCE identificadas resulta numa redução efetiva em cerca de 30% da carga térmica de arrefecimento, sendo as medidas com maior impacto a aplicação de isolamento térmico na envolvente opaca (aproximadamente -15%), a aplicação de sombreamentos móveis (aproximadamente -13%) e a duplicação dos envidraçados (aproximadamente -4%).

No que se refere às necessidades em arrefecimento estas contabilizaram cerca de 11.100 kWh para o edifício sem MCE, tendo o seu valor reduzido para 7.800 kWh mediante a aplicação conjunta das MCE identificadas. Individualmente, a duplicação dos envidraçados permite reduzir as necessidades em arrefecimento para 10.400 kWh e com a aplicação dos sombreamentos móveis para 8.700 kWh. Já a aplicação de isolamento térmico na envolvente opaca induz a um aumento marginal do valor das necessidades em arrefecimento para um valor de 11.150 kWh, enquanto que a aplicação dos recuperadores não representa qualquer impacto (Gráfico 6).

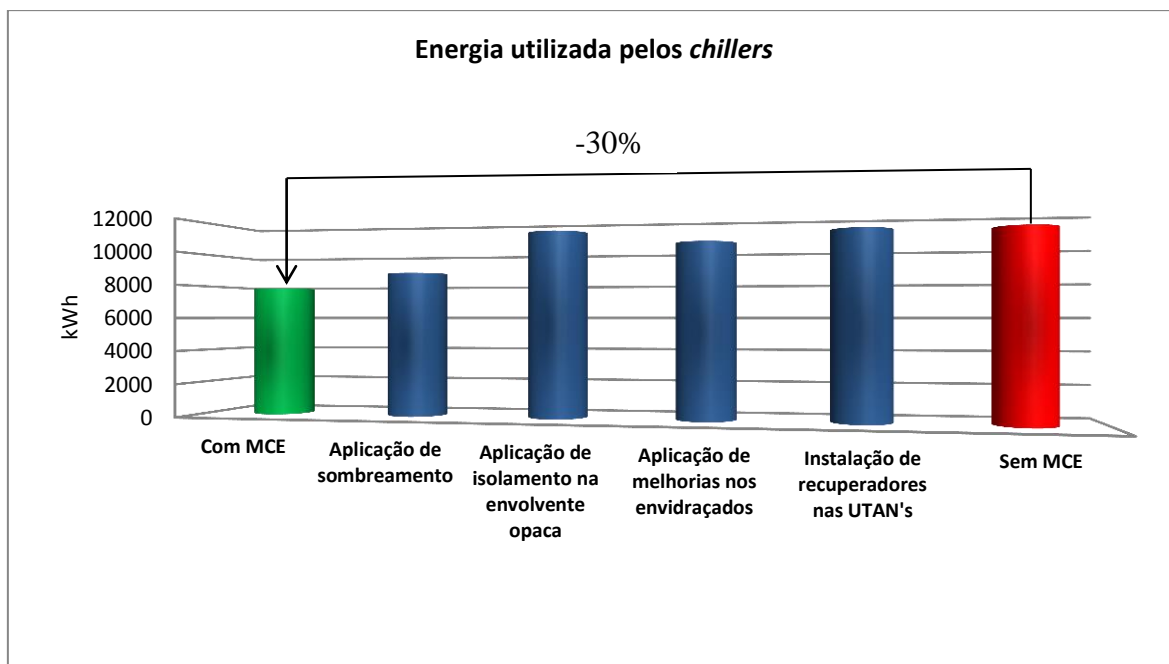


Gráfico 6 - Energia utilizada pelos chillers para as diferentes simulações dinâmicas

Estes valores mostram que a aplicação de MCE resulta numa redução efetiva em cerca de 30% na utilização de energia para o arrefecimento, sendo as medidas com maior impacto a aplicação de sombreamentos móveis (aproximadamente -21%) e a duplicação dos envidraçados (aproximadamente -6%).

Como referido, a aplicação de isolamento térmico na envolvente opaca penaliza ligeiramente o arrefecimento (aproximadamente 1%). Uma possível justificação para este aumento prende-se com o aumento da resistência térmica da envolvente opaca o que se traduz numa maior dificuldade em o edifício se libertar de um modo natural (durante a noite quando o edifício está desocupado e a temperatura exterior atinge valores mais baixos que a temperatura interior) dos ganhos internos acumulados ao longo do dia (provenientes da ocupação, iluminação, equipamentos, entre outros), exigindo, por tal, um maior esforço por parte do sistema de climatização para efetuar a remoção daqueles ganhos.

Por outro lado, o facto da instalação de recuperadores de calor nas UTAN's não ter qualquer impacto na redução de energia utilizada para arrefecimento advém das características climáticas de Vila Nova de Gaia que, segundo os dados do ficheiro climático do INETI, apresenta poucas horas com temperaturas exteriores no verão a exceder as temperaturas do ar de exaustão do edifício, o que limita a poupança energética (- 5 kWh/ano) por via da transferência de calor do ar novo para o ar de exaustão, ganho este

que, depois, é anulado pelo aumento de energia utilizada na instalação por via do aumento de perda de carga imposta pela instalação dos recuperadores de calor.

3.10.3. Recuperadores de calor

Os recuperadores de calor têm a função de aproveitar a energia calorífica do ar extraído dos espaços climatizados, pré-aquecendo no período de aquecimento ou pré-arrefecendo no período de arrefecimento, reduzindo, assim, a energia necessária utilizar nas baterias de aquecimento e arrefecimento para que o ar atinja a temperatura de insuflação desejada.

O recuperador da UTAN 1 é do tipo roda térmica com uma eficiência de aquecimento e arrefecimento de 78%. Os recuperadores das UTAN's 2 e 3 são do tipo fluxos cruzados e com eficiências de 64% para o aquecimento e de 61% para o arrefecimento na UTAN 2 e de 56% para o aquecimento e de 65% para o arrefecimento na UTAN 3.

Tabela 30 - Energia utilizada para climatização sem e com todas as MCE aplicadas

	Sem recuperadores de calor [kWh]	Com recuperadores de calor [kWh]	Redução [kWh]	Redução [%]
Aquecimento	46.250	29.000	17.250	37%
Arrefecimento	11.100	11.100	0	0%

Como é possível constatar pelos dados da Tabela 30, no aquecimento foi possível reduzir 17.250 kWh do consumo de gás natural para aquecimento, o que permite concluir que a aplicação dos recuperadores de calor induziu a uma redução de 37% de energia com origem no gás natural.

Como referido acima, segundo os dados do ficheiro climático utilizado, no período de arrefecimento o diferencial de temperatura entre o ar extraído e o ar exterior raramente permite a utilização dos recuperadores de calor. Para um diferencial de temperaturas superior, ou seja, para zonas climáticas que apresentem temperaturas do ar exterior mais elevadas, é expectável que a aplicação dos recuperadores de calor signifique uma redução de energia utilizada para o arrefecimento.

3.10.4. Ventilação

De modo a reduzir a energia utilizada na ventilação do edifício, foram instalados variadores de velocidade nos ventiladores das UTAN's. Os variadores de velocidade são MCE utilizadas com dois propósitos, o de reduzir a energia utilizada pelos equipamentos e o de diminuir o desgaste destes. Quanto à redução de energia utilizada, os variadores de velocidade permitem ajustar a velocidade de rotação dos motores às necessidades reais da instalação, em vez destes estarem sempre em funcionamento à máxima carga, permitindo, assim, uma redução na energia utilizada pelos motores. Os variadores de velocidade permitem ainda efetuar arranques e paragens dos motores de forma gradual reduzindo o desgaste das peças destes equipamentos.

Os dados da Tabela 31 são relativos à comparação da utilização de energia na ventilação do edifício sem e com todas as MCE implementadas.

Tabela 31 - Utilização de energia na ventilação do ECOTERMOLAB sem e com todas as MCE

	Sem MCE [kWh]	Com MCE [kWh]	Redução [kWh]	Redução [%]
Ventilação	10.470	9.250	1.220	11,7%

Como é possível constatar pelos dados da Tabela 31 a energia utilizada na ventilação do edifício representa uma redução de 1.220 kWh em relação à ventilação sem a aplicação das MCE, o que significa uma redução efetiva na ordem dos 12%.

3.10.5. Bombagem

A aplicação de MCE, tais como, a aplicação de isolamento térmico, duplicação dos vãos envidraçados, aplicação de sombreamentos moveis e a instalação de recuperadores de calor, levam a uma redução do caudal de água necessária circular na instalação, por via da redução das necessidades energéticas quer em aquecimento, quer em arrefecimento. Aquela redução resulta na diminuição da potência das bombas e conseqüentemente na redução de energia utilizada.

Adicionalmente, foi prevista a implementação de variadores de velocidade nas bombas de água que permitem potenciar a diminuição da energia utilizada na bombagem de água do edifício. Por outro lado, permitem ainda reduzir o desgaste das bombas à semelhança do que se sucede nos variadores de velocidade dos ventiladores.

A comparação entre a energia utilizada na bombagem, com a aplicação de todas as MCE e a sua ausência, é a indicada na Tabela 32.

Tabela 32 - Utilização de energia na bombagem do ECOTERMOLAB sem e com todas as MCE

	Sem MCE [kWh]	Com MCE [kWh]	Redução [kWh]	Redução [%]
Bombagem	2.240	1.275	965	43,0%

Como é possível constatar pelos dados da Tabela 32 a energia utilizada na bombagem do edifício após a aplicação de todas as MCE traduz-se numa redução de 965 kWh, ou seja uma redução de 43%, em comparação com o edifício sem a aplicação das MCE.

3.11. Análise Económica

Neste subcapítulo é realizada a análise de viabilidade económica da aplicação das MCE no ECOTERMOLAB.

Após determinação do impacto que as MCE aplicadas ao edifício podem representar na utilização de energia, torna-se necessário determinar se a aplicação dessas medidas é economicamente viável. Posto isto, neste subcapítulo é elaborada uma avaliação económica com o objetivo de conhecer a redução do valor da fatura energética, o sobrecusto da aplicação de todas as MCE e qual o período de retorno financeiro (*Payback*) do investimento inicial.

3.11.1. Custo Energético

As reduções na utilização de energia verificadas após a aplicação das MCE anteriormente apresentadas podem ser consultadas na Tabela 33.

Tabela 33 - Redução da utilização de energia dos equipamentos

	Sem MCE [kWh]	Com MCE [kWh]	Redução [kWh]	Redução [%]
Aquecimento	46.250	24.100	22.150	47,9%
Arrefecimento	11.100	7.800	3.300	29,7%
Bombagem	2.240	1.275	965	43,0%
Ventilação	10.470	9.250	1.220	11,7%

Para se obter o custo total de aquisição de energia é necessário saber o valor total de energia utilizada e o custo de cada kWh nos dois vetores energéticos utilizados no edifício.

No vetor energético do gás natural o custo energético é de 0,06€/kWh e mantém-se constante, independentemente da aplicação das MCE.

No vetor energético da eletricidade o custo da eletricidade é de 0,22€/kWh sem a aplicação das MCE e de 0,18€/kWh com a aplicação de todas as MCE. Este decréscimo no valor do custo energético, deve-se à diminuição da potência contratada à rede elétrica o que leva a uma mudança no tarifário contratado.

Os valores da Tabela 34 representam os custos na aquisição anual da energia utilizada para a climatização do edifício.

Tabela 34 - Custo energético por setor e respectiva redução

	Sem MCE [€]	Com MCE [€]	Redução [€]	Redução [%]
Aquecimento	2.774,76€	1.446,60€	1.328,16€	47,9%
Arrefecimento	2.436,28€	1.410,66€	1.025,62€	42,1%
Bombagem	492,80€	229,50€	263,30€	53,4%
Ventilação	2.303,40€	1.665,00€	638,40€	27,7%
Total	8.007,24€	4.751,76€	3.255,48€	40,7%

A aplicação de todas as MCE permite uma redução anual dos custos energéticos na ordem dos 41%.

Sabendo que o gás natural é apenas utilizado na caldeira que garante o aquecimento, é possível concluir que este vetor energético apresenta uma redução aos

custos na ordem dos 48 %, o que equivale a uma redução na ordem dos 1.328€ na respetiva fatura.

O vetor energético eletricidade apresenta uma redução de 36,8% o que equivale a uma redução na ordem dos 1.927€ na respetiva fatura.

3.11.2. Estimativa do-Investimento

3.11.2.1. Estimativa do custo de Aplicação das Medidas na Construção

O valor do investimento resultante da aplicação das MCE na construção, que correspondem, de um modo geral, à aplicação de isolamento térmico na envolvente opaca (paredes, cobertura e pavimento), à duplicação dos vãos envidraçados e à aplicação de sombreamentos, são os valores da Tabela 35 a partir da qual se pode verificar que a implementação das MCE na envolvente exigiu um sobre-investimento de 33.139,71€.

Tabela 35 - Custo de aplicação de MCE na construção

Implementação	Custo da aplicação das MCE implementadas
Isolamento Parede	1.528,86€
Isolamento Cobertura	10.200,00€
Isolamento Pavimento	5.564,43€
Vãos Envidraçados	10.956,30€
Sombreamentos	4.890,12€
Total	33.139,71€

3.11.2.2. Estimativa do custo de Aquisição dos Equipamentos

O valor do investimento na aquisição da caldeira, do *chiller*, das UTAN's, das bombas circuladoras e das tubagens, sem e com a aplicação de todas as MCE, segundo foi possível apurar, resultam nos valores da Tabela 36.

Tabela 36 - Custo de aquisição de equipamentos e respetivas reduções

Tipo	Sem MCE	Com MCE	Redução [€]	Redução [%]
Caldeira	7.380,00€	5.895,00€	1.485,00€	20,1%
Chiller	22.281,00€	14.975,00€	7.306,00€	32,8%
UTAN's	52.563,52€	74.504,43€	-21.940,91€	-41,7%
Bombas	14.913,00€	11.821,00€	3.092,00€	20,7%
Tubagens	36.684,00€	31.308,00€	5.376,00€	14,7%
Total	133.821,52€	138.503,43€	-4681,91€	-3,5%

A potências da caldeira, do *chiller* e das bombas circuladoras, bem como os diâmetros das tubagens são inferiores com a aplicação das MCE do que sem a sua aplicação, o que resulta num menor investimento associado.

Em contrapartida, dado que é necessária a incorporação de recuperadores de calor e de variadores de velocidade nos ventiladores das UTAN's, o preço destas torna-se superior após a aplicação das MCE.

Em suma, verifica-se um aumento no custo de aquisição global dos equipamentos na ordem de 3,5%.

No decorrer da presente dissertação não foi possível recolher o preço dos restantes equipamentos e componentes afetados pela redução de caudais de água e das potências dos equipamentos, nomeadamente, válvulas e acessórios diversos, mas é aceitável concluir que os custos identificados são os mais representativos para a análise em causa.

3.11.3. Avaliação Económica do Investimento

A avaliação económica do investimento é elaborada a partir da determinação de três indicadores:

1. *Payback*,
2. Valor Atual Líquido (VAL)
3. Taxa Interna de Rentabilidade (TIR).

Para a realização do cálculo destes indicadores é necessário averiguar a alteração no custo energético (sem e com todas as MCE), o custo da aplicação das medidas e o custo da aquisição dos equipamentos e materiais, para assim se poder determinar o valor do

investimento (I), o valor das receitas anuais (R), que neste caso corresponde ao valor da poupança nos custos energéticos, os custos de manutenção anuais (C=0€), a taxa de atualização do investimento (a=5%) e o período de vida útil dos equipamentos (n=25 anos).

3.11.3.1. Payback

A aplicação de todas as MCE no ECOTERMOLAB apresenta um *Payback* de, aproximadamente, onze anos e meio.

A determinação do valor do *Payback* foi realizada a partir da expressão 4 [Exp.4] e representa o número de anos necessários para obter o retorno do investimento financeiro. Para se determinar o valor de I ao custo da aplicação das MCE na envolvente soma-se a diferença no custo da aquisição dos equipamentos.

$$\text{Payback} = \frac{I}{R-C} \quad [\text{Exp.4}]$$

$$\text{Payback} = \frac{37.821,62}{3.255,48} = 11,62$$

3.11.3.2. VAL

Por sua vez, o VAL apresenta um valor de 8.060,93€.

A determinação do VAL é realizada a partir da expressão 5 [Exp.5] e representa o lucro financeiro no final do tempo de vida útil dos equipamentos.

$$\text{VAL} = -I + (R-C) + \left(\frac{(1+a)^n - 1}{a * (1-a)^n} \right) \quad [\text{Exp.5}]$$

$$\text{VAL} = -37.821,62 + (3.255,48) + \left(\frac{(1 + 0,05)^{25} - 1}{0,05 * (1 - 0,05)^{25}} \right)$$

3.11.3.3. TIR

Para que o investimento seja rentável o valor da TIR terá de ser superior ao valor da taxa de atualização do investimento (a). A TIR deste caso de estudo é de 7,03%, superior

aos 5% do valor de “a”, revelando que o investimento nas MCE é economicamente rentável.

Para determinar a TIR iguala-se a Exp.5 a zero de modo a obter o valor de “a”.

4. Conclusões

A partir do presente estudo aplicado ao edifício ECOTERMOLAB foi possível verificar que a aplicação das MCE ao nível da envolvente e dos sistemas AVAC do edifício tem um importante papel na redução do dimensionamento dos sistemas e equipamentos AVAC, bem como, na redução da utilização de energia para a climatização do edifício.

O estudo realizado permitiu comparar o comportamento do edifício, com e sem a aplicação de todas as MCE, e concluir que houve uma redução na dimensão de todos os sistemas e equipamentos AVAC e uma diminuição na utilização de energia por parte destes sistemas e equipamentos para o aquecimento e arrefecimento e, consequentemente, a redução das emissões de CO₂.

A implementação das MCE na envolvente do ECOTERMOLAB representa uma redução nas perdas/ganhos de calor do edifício permitindo, assim, uma diminuição nas necessidades de climatização. Por sua vez, menores necessidades de climatização do edifício permitem a otimização do dimensionamento dos equipamentos e componentes AVAC e a consequente aquisição de equipamentos com potências inferiores e, assim, também reduzir, a energia utilizada pelos mesmos.

Foi possível verificar que a aplicação das MCE resulta na redução das cargas térmicas necessárias para aquecimento e arrefecimento traduzidas na redução das potências da caldeira em 16% e do *chiller* em 30%. No caso das bombas de circulação de água foi possível obter uma redução de 55% na potência das bombas. Relativamente aos diâmetros das tubagens de circulação de água verificou-se dez reduções nos diâmetros (em dezanove diâmetros analisados), o que demonstra ser um valor significativo.

Relativamente à energia utilizada na climatização, é possível concluir que, com a implementação das MCE, houve uma redução efetiva tanto na necessidade de aquecimento (48%) como de arrefecimento (30%).

As MCE que mais contribuíram para a redução da necessidade de aquecimento foram a instalação de os recuperadores de calor nas UTAN's e a aplicação de isolamento na envolvente opaca. Quanto à importância das MCE no arrefecimento, verificou-se que foram os sombreamentos e a duplicação dos envidraçados que melhores reduções

representaram nas necessidades de arrefecimento. Na comparação dos valores da utilização de energia com a aplicação de todas as MCE, quer no aquecimento, quer no arrefecimento, concluiu-se que as MCE surtem mais efeito quando utilizadas em conjunto, do que somados os resultados da aplicação das MCE individualmente.

Realizado o estudo das diferenças no dimensionamento dos equipamentos e componentes AVAC e na utilização de energia, com e sem a aplicação de todas as MCE, importa perceber se a aplicação das mesmas são de facto atrativas para o promotor do edifício.

A avaliação económica do investimento foi realizada para a aplicação das MCE na envolvente, bem como, para os principais componentes da instalação, ou seja, para a aquisição da caldeira, do *chiller*, das bombas, das UTAN's e das tubagens. A aplicação das MCE na envolvente teve um custo de 33.140€, que somados aos 4.682€ do aumento no custo global de aquisição dos equipamentos, perfaz um total no investimento inicial de 37.822€. No entanto, é importante realizar futuramente a avaliação aos demais equipamentos e componentes da instalação que são afetados por esta otimização do dimensionamento.

A diferença entre a aplicação de todas as MCE e a sua ausência originou uma poupança anual aproximada de 41% em energia, refletindo uma poupança anual de 3.256€.

Posteriormente, foi realizada uma avaliação económica do investimento, com todos os valores a revelarem-se positivos, obtendo-se como período de retorno (*Payback*) aproximadamente onze anos e meio, um valor atual líquido (VAL) de 8.061€ e uma taxa interna de rentabilidade (TIR) superior à taxa do custo do capital com um valor igual a 7,03%. Contudo, é de salientar que para o cálculo destes três indicadores não foram consideradas as variações do custo energético, da inflação e do custo do dinheiro, que se alteram de ano para ano.

Devido às pequenas dimensões do edifício os valores absolutos de poupança são, aparentemente, pequenos (3.256€), mas ao se verificar que a poupança relativa é cerca de 41% e extrapolando para um edifício de maiores dimensões, os valores absolutos de poupança seriam mais significativos.

Em síntese, é possível afirmar que os objetivos propostos para a presente dissertação foram alcançados e que este trabalho contribuiu para o conhecimento dos

impactos causados pelas MCE no ECOTERMOLAB, mostrando os vários benefícios da aplicação das MCE, quer ao nível de dimensionamento de sistemas e componentes AVAC, quer ao nível de utilização de energia. Assim, a aposta nas MCE representam um bom contributo para que seja possível atingir as metas acordadas para o horizonte 2020.

Referências Documentais

- ADENE EPBD** (recast) e as implicações para Portugal [Relatório]. - Lisboa : ADENE, 2012.
- AMADO M.** Planeamento Urbano Sustentável - Processo Operativo [Relatório]. - [s.l.] : Revista Universidade Autônoma 2, 2007.
- BOURDEAU L.** Sustainable Development and the Future of Construction: A comparison of visions from various countries [Relatório]. - [s.l.] : CIB W82, 1998.
- BRAGANÇA L. e MATEUS R.** Sustentabilidade de Soluções Construtivas [Conferência] // Congresso Sobre Construção Sustentável: Actas. - Porto : Ordem dos Engenheiros, 2006.
- BRUNDTLAND G. H** Report of the World Commission on Environment and Development: "Our Common Future" [Relatório]. - Oxford/ New York : Oxford University Press, 1987.
- CANHA DA PIEDADE A., MORET RODRIGUES A. e RORIZ L. F.** Climatização em Edifícios - Envolvente e Comportamento Térmico [Relatório]. - Alfragide : Orion, 2003.
- CIB** Agenda 21 on Sustainable Construction [Relatório]. - Rotterdam : Conseil International du Bâtiment, 1999.
- CICA - Confederation of International Contractor's Associations** Industry as a Partner For Sustainable Development [Relatório]. - [s.l.] : The Beacon Press, 2002.
- Decreto-Lei 118/2013** Decreto Lei n.º 118/2013 [Relatório]. - [s.l.] : Diário da República, 1.ª série — N.º 159, 2013.
- Decreto-Lei 78/2006** Decreto-Lei n.º 78/2006 [Relatório]. - [s.l.] : Diário da República - I Série - A, 2006.
- Decreto-Lei 79/2006** Decreto-Lei n.º 79/2006 [Relatório]. - [s.l.] : Diário da República - I Série - A, 2006.
- Decreto-Lei 80/2006** Decreto-Lei n.º 80/2006 [Relatório]. - [s.l.] : Diário da República - I Série - A, 2006.
- Directiva 2010/31/UE** Directiva 2010/31/UE [Relatório]. - [s.l.] : União Europeia, 2010.
- DL118/2013** Decreto Lei n.º 118/2013 [Relatório]. - [s.l.] : Diário da República, 1.ª série — N.º 159, 2013.
- DL78/2006** Decreto-Lei n.º 78/2006 [Relatório]. - [s.l.] : Diário da República - I Série - A, 2006.

DL79/2006 Decreto-Lei n.º 79/2006 [Relatório]. - [s.l.] : Diário da República - I Série - A, 2006.

DL80/2006 Decreto-Lei n.º 80/2006 [Relatório]. - [s.l.] : Diário da República - I Série - A, 2006.

Dow Isolamento Térmico [Online] // Dow Building Solutions. - 2006. - 27 de 03 de 2014. - <http://building.dow.com/europe/pt/insulate/thermal/>.

EDP Dicas de Eficiência Energética - Viva a Sua Casa Com Uma Energia Mais Sustentável [Relatório]. - Odivelas : ECO EDP, 2012.

EPBD Concerted Action <http://www.epbd-ca.eu/> [Online] // <http://www.epbd-ca.eu/>. - 01 de 09 de 2014. - 14 de 10 de 2014. - <http://www.epbd-ca.eu/>.

EUROPA Protocolo de Quioto relativo às alterações climáticas [Online] // Sínteses da legislação da UE. - <http://europa.eu>, 04 de 04 de 2011. - 25 de 03 de 2014. - http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/128060_pt.htm.

EUROPARL Pacote clima-energia: "três vintes" até 2020 [Online] // Parlamento Europeu. - <http://www.europarl.europa.eu/>, 17 de 12 de 2008. - 25 de 03 de 2014. - <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=IM-PRESS&reference=20081208BKG44004&language=PT>.

GANHÃO A. M. e AMADO M. Construção Sustentável - Proposta de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação [Relatório]. - Lisboa : Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2011.

GONÇALVES DANIEL FILIPE PEREIRA Impacto da influência de um Sistema de Gestão Técnica Centralizada na redução dos custos de exploração de um edifício [Relatório]. - Porto : ISEP, 2013.

GONÇALVES H. e GRAÇA J. M. Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal [Relatório]. - Lisboa : Direcção Geral de Energia e Geologia, 2004.

Grundfos WebCAPS [Online] // Grundfos. - 07 de 01 de 2015. - <http://net.grundfos.com/Apl/WebCAPS/custom?userid=GMAinternal&lang=PTG>.

ISOLANI Eficiência Energética nos Edifícios Residenciais [Relatório]. - Lisboa : Intelligent Energy Europe, 2008.

KIBERT CHARLES J. Establish Principles and a Model for Sustainable Construction [Conferência] // First International Conference on Sustainable Construction. - Tampa, Florida : CIB Publications TG 16, 1994.

MELO J. J. e FERREIRA M. A. A Eficiência Energética na Reabilitação de Edifícios [Relatório]. - Lisboa : Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, 2009.

NATIONS UNITED World Population Prospects The 2012 Revision [Relatório]. - New York : Department of Economic and Social Affairs, 2013.

Parlamento Europeu e do Conselho Directiva 2002/91/CE [Relatório]. - [s.l.] : Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 2003.

PEIXOTO DE FREITAS V. e GONÇALVES P. F. Isolamento Térmico de Fachadas Pelo Exterior - Reboco Gelgado Armado Sobre Poliestireno Expandido [Relatório]. - Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.

PER Solar [Online] // Portal das Energias Renováveis. - 2009. - 29 de 03 de 2014. - http://www.energiasrenovaveis.com/DetalleConceitos.asp?ID_conteudo=42&ID_area=8&ID_sub_are.

PINA DOS SANTOS C. A. e MATIAS L. ITE 50 - Coeficiente de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios [Relatório]. - Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.

PINHEIRO M. D. Ambiente e Construção Sustentável [Livro]. - Amadora : Instituto do Ambiente, 2006.

PINHEIRO M. D. Construção Sustentável - Mito ou Realidade? [Conferência] // Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente. - Lisboa : Manuel Duarte Pinheiro, 2003. - Vol. VII.

PINHEIRO M. D. LiderA - Sistemas Voluntários para a Sustentabilidade dos Ambientes Construídos [Relatório]. - Lisboa : Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2011.

PtViS Cobertura Ajardinada - cobertura verde [Online] // PtViS - EngenharArquitectura. - 2013. - 27 de 03 de 2014. - <http://www.ptvis.com/cobertura-ajardinada-cobertura-verde/>.

RODRIGUES A. H. e SIRGADO J. F. Análise do Impacto dos Vãos Envidraçados no Desempenho Térmico dos Edifícios [Relatório]. - Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2010.

TORCELLINI P. e PLESS S. Trombe Walls in Low-Energy Building: Practical Experiences [Conferência] // To be presented at the World Renewable Energy Congress VIII and Expo. - Denver, Colorado : National Renewable Energy Laboratory, 2004. - Vol. VIII.

UNITED NATIONS The Habitat Agenda Goals and Principles, Commitments and the Global Plan of Action [Relatório]. - Istanbul : [s.n.], 1996.

VIEGAS J. C. Ventilação Natural em Edifícios de Habitação [Relatório]. - Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

VIEIRA M. V. R., SARMENTO I e ALEXANDRE J. L. Influência das recuperações térmicas (ar e água) no dimensionamento de sistemas energéticos centralizados em Grandes Edifícios de Serviço [Relatório]. - Porto : FEUP, 2011.

Anexo A. Falhas Verificadas na Instalação AQS na Fase Construção de um Edifício

No decorrer do estágio no ECOTERMOLAB foi realizada uma visita a uma instalação AQS, de modo a tomar conhecimento de alguns erros possíveis de encontrar. Estes erros foram identificados numa visita a um hospital na região do Minho e vão ser detalhados neste capítulo. Os erros encontrados naquele edifício são, essencialmente, relacionados com sobredimensionamento em fase de projeto, recurso a automatismos desnecessários e, ainda, à falta de comissionamento.

• Sobredimensionamento

No Hospital acima referido, alguns dos erros encontrados são devidos à utilização de equipamentos em excesso, nomeadamente, devido ao sobredimensionamento da quantidade de AQS estimada em fase de projeto.

Um dos erros possíveis de encontrar numa instalação térmica advém do sobredimensionamento dos equipamentos na fase do projeto devido à falta de dados ou a existência desses dados mas com valores incorretos sobre os requisitos de produção de AQS e de energia térmica para a climatização do edifício. Estes erros de sobredimensionamento são frequentes em edifícios de comércio ou serviços dada a incerteza, por falta de informação, quanto, por exemplo, à quantidade de AQS necessária no dia-a-dia. Assim, foi verificada, a instalação de equipamentos de produção e acumulação (depósitos) de água quente sobredimensionados em relação às necessidades reais do edifício.

• Excesso de Automatismos

Por outro lado, na fase de construção de um edifício é possível a instalação de vários componentes automatizados cujo objetivo é o de facilitar o funcionamento dos sistemas na fase de operação do edifício. No entanto, o recurso, por vezes, desnecessário a automatismos nem sempre é benéfico podendo levar a erros de operação.

Como foi possível verificar no local, a instalação de uma válvula de seccionamento das tubagens de AQS, controlado eletronicamente, cuja única função é interromper o circuito de água para se realizar o tratamento da legionella, quando esta poderia ser substituída por um controlo de estado manual, visto raramente se proceder à alteração do estado da válvula. É possível que por falta de uma verificação da posição (aberto/fechado) da válvula automatizada por parte do instalador ocorrem leituras erradas da posição do mesmo. Uma leitura errada do estado da válvula pode levar a que quando a válvula esteja fechada e as bombas em funcionamento, levando a que aumente a pressão dentro da tubagem o que pode levar à danificação dos componentes da instalação de água. É de salientar que a correta utilização de automatismos exige uma formação adequada de operadores, o que por vezes não se verifica. Deste modo, na ocorrência de um erro no funcionamento da instalação, por falta de formação, o operador pode não detetar o erro resultando no mau funcionamento do sistema.

- **Falta de comissionamento**

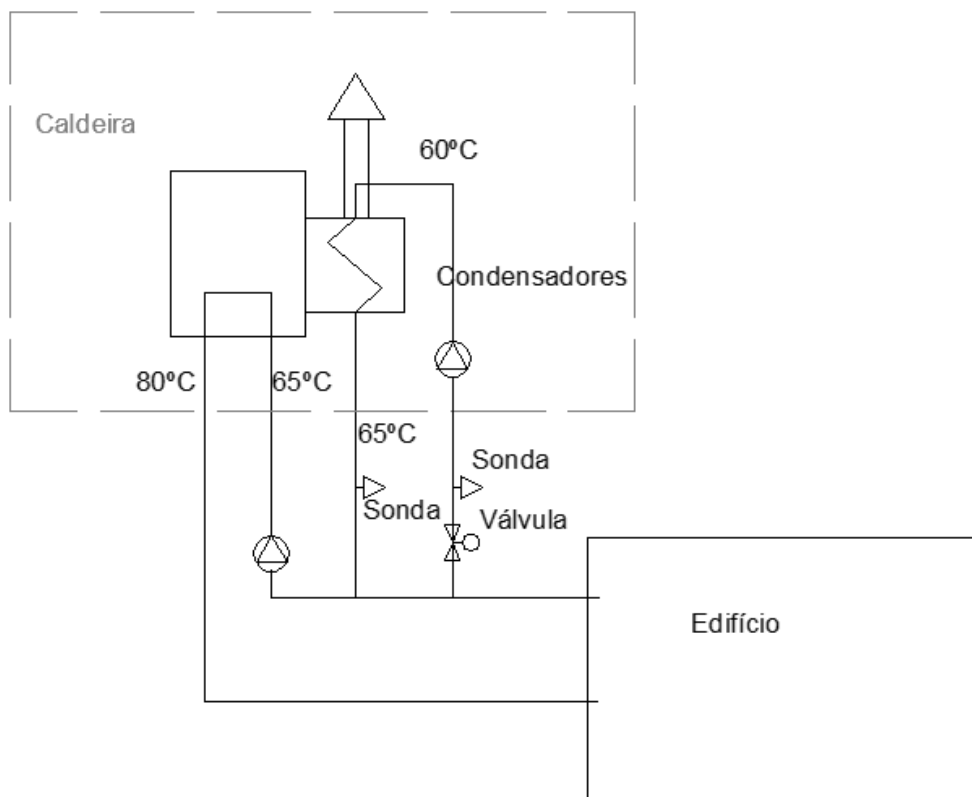


Figura 21 - Esquema de demonstração da instalação

Após o fim da construção do edifício, a correta aplicação do projeto deveria ser verificada por equipas especializadas não relacionadas com as partes intervenientes nas fases de projeto, construção e operação, de modo a que não se permita a interferência entre o profissionalismo e as relações pessoais. O sistema consiste no aproveitamento da energia calorífica resultante dos gases de combustão, transmitida para os condensadores de modo a permutar o calor dos gases e pré-aquecer a água antes de esta entrar na caldeira, reduzindo assim o esforço exigido pela caldeira no aquecimento da água. Por falta deste comissionamento, ou seja, por falta de verificação da conformidade entre o projeto e o produto final da instalação, é possível observar falhas na aplicação do sistema de aproveitamento de calor da água quente no hospital. Neste caso, no projeto estava definida a instalação de duas sondas, uma na circulação de água antes dos condensadores e outra após os condensadores, que avaliam a temperatura da água e controlam o funcionamento da bomba da circulação de água e da válvula. Contudo estas sondas não foram instaladas. Caso não exista um controlo da bomba que impeça a circulação da água pelos condensadores quando a caldeira não se encontra em funcionamento acaba-se por perder energia calorífica da água para o ar da chaminé da caldeira. É de notar que este tipo de recuperação de energia pelos condensadores não é comumente utilizado nos edifícios, deste modo, dada a inexperiência neste tipo de instalação, as sondas não foram aplicadas e por falta de comissionamento esta falha não foi retificada.

Anexo B. Cálculo da Inércia Térmica do ECOTERMOLAB

Elemento de Construção	M_{si} Kg/m ²	r_i	S_i m ²	$M_{si} \times S_i \times r_i$ Kg
Teto	0	1	504,12	0,00
Parede Este isolada	150	1	236,68	35502,45
Paredes Este não isolada	150	1	76,70	11505,00
PTP Este isolada	150	1	6,84	1026,00
PTP Este não isolada	150	1	4,05	607,50
Paredes Adjacentes	150	1	664,52	99678,08
PTP Adjacentes isoladas	127	1	15,30	1943,10
PTP Adjacentes não isoladas	150	1	7,88	1181,25
Parede Oeste Piso 1	150	1	30,08	4512,45
Parede Oeste Piso 0	85	1	35,73	3037,13
Parede Oeste Piso -1	150	1	149,76	22464,00
Parede em contacto com solo	150	1	27,60	4140,23
Pavimento isolado	150	1	435,57	65335,50
Pavimento não isolado	150	0,75	613,85	69058,13
Pavimento em contacto com solo	150	1	109,73	16459,50
Parede Pladur espaço não útil	2,4	1	148,63	356,71
Parede Pladur	2,4	0,5	192,18	230,61
Parede interior tijolo	195	0,75	558,69	81708,85
Parede tijolo espaço não útil	150	1	41,13	6169,50
Porta corta fogo	7,92	1	1,85	14,61
Total				424930,60

$$\frac{424930,60}{1168} = 363,81$$

Área útil de Pavimento

=

Massa superficial útil por m² de Ap, IT

Classe de inércia	IT (Kg/m ²)
Fraca	$It < 150$
Média	$150 \leq It \leq 400$
Forte	$It > 400$

Classe de inércia

MÉDIA

Anexo C. Constituição da envolvente

A envolvente do edifício antes da aplicação das MCE é constituída por:

- Paredes exteriores da fachada Este (com 2,5cm de reboco exterior com uma resistência térmica de $0,019 \text{ m}^2\text{C/W}$, 25cm de bloco de betão com uma resistência térmica de $0,330 \text{ m}^2\text{C/W}$ e 2cm de reboco interior com uma resistência térmica de $0,015 \text{ m}^2\text{C/W}$);
- Paredes exteriores da fachada Oeste (com 1cm de painel fenólico com uma resistência térmica de $0,033 \text{ m}^2\text{C/W}$, 5cm de caixa-de-ar com uma resistência térmica de $0,18 \text{ m}^2\text{C/W}$, 1,5cm de reboco exterior com uma resistência térmica de $0,0125 \text{ m}^2\text{C/W}$, 25cm de bloco de betão com uma resistência térmica de $0,330 \text{ m}^2\text{C/W}$, 2cm de reboco com uma resistência térmica de $0,0154 \text{ m}^2\text{C/W}$);
- Paredes interiores em contacto com edifícios adjacentes (com 2,5cm de reboco exterior com uma resistência térmica de $0,019 \text{ m}^2\text{C/W}$, 20cm de bloco de betão com uma resistência térmica de $0,30 \text{ m}^2\text{C/W}$ e 2,5cm de reboco interior com uma resistência térmica de $0,019 \text{ m}^2\text{C/W}$);
- Paredes em contacto com o solo (com 25cm de bloco de betão com uma resistência térmica de $0,33 \text{ m}^2\text{C/W}$ e 2cm de reboco com uma resistência térmica de $0,0154 \text{ m}^2\text{C/W}$);
- Pontes térmicas planas (com 2,5cm de reboco exterior com uma resistência térmica $0,019 \text{ m}^2\text{C/W}$, 20cm de bloco de betão com uma resistência térmica de $0,30 \text{ m}^2\text{C/W}$, 30cm de viga de aço com uma resistência térmica de $0,0006 \text{ m}^2\text{C/W}$, 2,5cm de reboco com uma resistência térmica de $0,019 \text{ m}^2\text{C/W}$);
- Pavimentos (com 35cm de laje aligeirada com uma resistência térmica de $0,714 \text{ m}^2\text{C/W}$);
- Cobertura (com 3cm de painel sanduíche com uma resistência térmica de $0,811 \text{ m}^2\text{C/W}$);
- Vidros simples (com fator solar do vidro de 0,88).

Após a aplicação das MCE na envolvente passaram a existir três tipos de paredes exteriores com a seguinte constituição.

- Parede exterior tipo 1 na fachada Este - com 2,5cm de reboco exterior com uma resistência térmica de $0,19 \text{ m}^2\text{C/W}$, 25cm de bloco de betão com uma resistência

térmica de $0,330 \text{ m}^2\text{C/W}$ e 2cm de reboco interior com uma resistência térmica de $0,015 \text{ m}^2\text{C/W}$, 6cm de poliestireno expandido extrudido (XPS) com uma resistência térmica de $1,622 \text{ m}^2\text{C/W}$, 25cm de bloco de betão com uma resistência térmica de $0,33 \text{ m}^2\text{C/W}$ e 2cm de reboco interior com uma resistência térmica de $0,015 \text{ m}^2\text{C/W}$;

- Parede exterior tipo 2 na fachada Oeste - 1cm de painel fenólico com uma resistência térmica de $0,033 \text{ m}^2\text{C/W}$, 5cm de caixa-de-ar com uma resistência térmica de $0,18 \text{ m}^2\text{C/W}$, 1,5cm de reboco exterior com uma resistência térmica de $0,0125 \text{ m}^2\text{C/W}$, 25cm de bloco de betão com uma resistência térmica de $0,330 \text{ m}^2\text{C/W}$, 2cm de reboco com uma resistência térmica de $0,0154 \text{ m}^2\text{C/W}$, 6cm de poliestireno expandido extrudido (XPS) com uma resistência térmica de $1,622 \text{ m}^2\text{C/W}$, 25cm de bloco de betão com uma resistência térmica de $0,33 \text{ m}^2\text{C/W}$ e 2cm de reboco interior com uma resistência térmica de $0,015 \text{ m}^2\text{C/W}$;
- Parede exterior tipo 3 na fachada Oeste - 1cm de painel fenólico com uma resistência térmica de $0,033 \text{ m}^2\text{C/W}$, 5cm de caixa-de-ar com uma resistência térmica de $0,18 \text{ m}^2\text{C/W}$, 1,5cm de reboco exterior com uma resistência térmica de $0,0125 \text{ m}^2\text{C/W}$, 25cm de bloco de betão com uma resistência térmica de $0,330 \text{ m}^2\text{C/W}$, 2cm de reboco com uma resistência térmica de $0,0154 \text{ m}^2\text{C/W}$, 6cm de poliestireno expandido extrudido (XPS) com uma resistência térmica de $1,622 \text{ m}^2\text{C/W}$, 7cm de pano de alvenaria de tijolo furado normal com uma resistência térmica de $0,19 \text{ m}^2\text{C/W}$ e 2cm de reboco interior com uma resistência térmica de $0,015 \text{ m}^2\text{C/W}$.

As paredes interiores em contacto com edifícios adjacentes permaneceram intactas.

Passaram a existir dois tipos de paredes em contacto com o solo, as do tipo 1 que permaneceram intactas e as do tipo 2 que se adicionaram mosaico cerâmico com resistência térmica de $0,0385 \text{ m}^2\text{C/W}$.

Passaram a existir dois tipos de pontes térmicas distinguindo-as por:

- Pontes térmicas planas exteriores - 2,5cm de reboco exterior com uma resistência térmica $0,019 \text{ m}^2\text{C/W}$, 20cm de bloco de betão com uma resistência térmica de $0,30 \text{ m}^2\text{C/W}$, 30cm de viga de aço com uma resistência térmica de $0,0006 \text{ m}^2\text{C/W}$, 2,5cm de reboco com uma resistência térmica de $0,019 \text{ m}^2\text{C/W}$, 6cm de poliestireno expandido extrudido (XPS) com uma resistência térmica de $1,622$

$\text{m}^2\text{C}/\text{W}$, 10cm de bloco de betão com uma resistência térmica de $0,16 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$ e 2cm de reboco interior com uma resistência térmica de $0,015 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$;

- Pontes térmicas planas interiores - 2,5cm de reboco exterior com uma resistência térmica $0,019 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$, 20cm de bloco de betão com uma resistência térmica de $0,30 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$, 30cm de viga de aço com uma resistência térmica de $0,0006 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$, 2,5cm de reboco com uma resistência térmica de $0,019 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$, 6cm de poliestireno expandido extrudido (XPS) com uma resistência térmica de $1,622 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$, 7cm de pano de alvenaria de tijolo furado normal com uma resistência térmica de $0,19 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$ e 2cm de reboco interior com uma resistência térmica de $0,015 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$.

Passaram a existir dois tipos de pavimento interior. O pavimento interior de separação entre o piso 0 e o piso 1 que permaneceu intacto. O pavimento interior sobre espaços não uteis de separação entre o piso -1 e o piso 0 (com é constituído por 35cm de laje aligeirada com uma resistência térmica de $0,714 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$ e 8cm de poliestireno expandido extrudido (XPS) com uma resistência térmica de $2,162 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$).

A cobertura passou a ser constituída por 3cm de painel sanduíche com uma resistência térmica de $0,811 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$ 12cm de poliestireno expandido extrudido (XPS) com uma resistência térmica de $3,243 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$.

Passaram a existir quatro tipos de vãos envidraçados.

- Vão Envidraçado 1 (Alçado Este) - vão de caixilharia metálica com vidro simples incolor de 4 mm e dupla janela sem corte térmico. A proteção solar é interior do tipo estore veneziano de lâminas metálicas cor clara. O fator solar do vidro é de $0,77$ ($g_{\text{vidro}} = 0,88 \times 0,88 = 0,77$);
- Vão Envidraçado 2 (Alçado Oeste) - vão de caixilharia metálica com vidro simples incolor de 4 mm e dupla janela sem corte térmico. A proteção solar é interior do tipo estore veneziano de lâminas metálicas cor clara. O fator solar do vidro é de $0,77$ ($g_{\text{vidro}} = 0,88 \times 0,88 = 0,77$);
- Vão Envidraçado 3 (Alçado Oeste) - vão de caixilharia metálica com vidro simples incolor de 4 mm e dupla janela sem corte térmico. A proteção solar é exterior do tipo estore veneziano de lâminas metálicas. O fator solar do vidro é de $0,72$ ($g_{\text{vidro}} = 0,85 \times 0,85 = 0,72$);

- Vão Envidraçado Portas (Alçado Oeste) - vão de caixilharia metálica com vidro duplo incolor de 4+8 mm espessura da lâmina 16 mm com corte térmico. A proteção solar é interior do tipo estore veneziano de lâminas metálicas cor clara. O fator solar do vidro é de 0,75.

Anexo D. Preço da caldeira e chiller

O ECOTERMOLAB tem uma necessidade aquecimento de 52 kW e encontra-se equipado com uma caldeira com 75 kW de capacidade de térmica de aquecimento, em que a restante capacidade térmica da caldeira serve de apoio ao sistema de AQS do edifício. Ao aumentar 10 kW às necessidades de aquecimento do ECOTERMOLAB faria com que a caldeira que deveria ser adquirida aumentasse de gama, caso não tivessem sido aplicadas as MCE, passaria a ser com uma capacidade, segundo valores existente no mercado, de 100 kW. Os preços das duas caldeiras da marca WOLF são os da figura.



WOLF

Rebate groups:
Wall mounted boiler = 07
Control systems / accessories = 07

ComfortLine
Wall-mounted gas condensing boiler
for connection to air/flue gas chimney
or for air/flue gas ducts
suitable for natural gas E, LL and liquefied petroleum gas P

CGB-75/100

TYP	CGB	75	100
Power range of heating at 80/60°C	kW	18 - 70	18 - 92
Power range of heating at 50/30°C	kW	20 - 76	20 - 99
Power range of hot water generation	kW	18 - 70	18 - 92
Dimensions H x W x D	mm	1020 x 565 x 548	1020 x 565 x 548
Weight	kg	93	93
EC ID no.		CE-0085BR0164	CE-0085BR0164
<ul style="list-style-type: none"> • High standard efficiency up to 110% (Hi) / 99% (Hs) for the best possible energy utilisation • Premix burner for natural gas E, LL and LPG • Optional cascade operation with positive pressure for up to four wall mounted gas fired condensing boilers and an output 	Art. no.	86 13 626	86 13 628
	€	5.895,-	7.380,-

 → Preço da caldeira com todas as MCE aplicadas ao edifício;

 → Preço da caldeira sem as MCE aplicadas ao edifício;

O ECOTERMOLAB tem uma necessidade arrefecimento de 64 kW e encontra-se equipado com um *chiller* com 65 kW de capacidade de térmica de arrefecimento. Ao aumentar 28 kW às necessidades de aquecimento do ECOTERMOLAB faria com que o *chiller* que deveria ser adquirido aumentasse de gama, caso não tivessem sido aplicadas as MCE, passaria a ser com uma capacidade, segundo valores existente no mercado, de 100 kW. Os preços dos dois *chiller* da marca Daikin são os da figura.

Preise + Zubehör

EWWP-KAW 1N		014	022	028	035	045	055	065
Gerätepreis brutto (zzgl. MwSt.)	€	5.968,00	7.301,00	8.394,00	9.777,00	11.981,00	14.234,00	14.975,00
Optionen								
OP ZH: Glykolbetrieb bis -5°C	€		109,00				218,00	
OP ZL: Glykolbetrieb bis -10°C	€		109,00				218,00	
Zubehör (als KIT lose mitgeliefert)								
EK LS1: Schallschutzhaube 5 PS Verdichter	€	241,00	-	-	-	-	-	-
EK LS2: Schallschutzhaube 8-12 PS Verdichter	€	-		241,00			482,00	
EK SS: Sanftanlauf	€		481,00				-	
EK RUMC: Externes Bedientableau*	€				192,00			
EK AC10B: BMS-Karte	€				183,00			
EK BMS MBA: BMS-Gateway MODBUS	€				814,00			
EK BMS BNA: BMS-Gateway BACnet	€				814,00			

*Achtung: Für die Verwendung des externen Bedientableaus ist das Zubehör EK AC10B erforderlich.

EWWP-KAW		090	100	110	120	130	145	155	165	175	185	195
Chiller-Module EWWP-KAW 1M		2 x 045	045 + 055	2 x 055	055 + 065	2 x 065	2 x 045 + 055	045 + 2 x 055	3 x 055	2 x 055 + 065	055 + 2 x 065	3 x 065
Regler-Modul		ECB 2 MUW	ECB 2 MUW	ECB 2 MUW	ECB 2 MUW	ECB 2 MUW	ECB 3 MUW	ECB 3 MUW	ECB 3 MUW	ECB 3 MUW	ECB 3 MUW	ECB 3 MUW
Gerätepreis brutto (zzgl. MwSt.)	€	20.136,00	22.281,00	24.426,00	25.129,00	25.832,00	30.966,00	33.111,00	35.256,00	35.959,00	36.662,00	37.365,00
Optionen												
OP ZH: Glykolbetrieb bis -5°C	€			436,00						654,00		
OP ZL: Glykolbetrieb bis -10°C	€			436,00						654,00		
Zubehör (als KIT lose mitgeliefert)												
EK LS2: Schallschutzhaube 8-12 PS Verdichter	€			964,00					1.446,00			
EK AC200A: BMS-Karte	€						384,00					
EK BMS MBA: BMS-Gateway MODBUS	€						814,00					
EK BMS BNA: BMS-Gateway BACnet	€						814,00					

14.975,00 → Preço do *chiller* com todas as MCE aplicadas ao edifício;

22.281,00 → Preço do *chiller* sem as MCE aplicadas ao edifício;

Anexo E. Definição dos grupos do EnergyPlus

Neste anexo são descritos alguns dos pormenores do desenvolvimento e testes efetuados.

• Parâmetros de Simulação (*Simulation Parameters*)

Neste grupo são inseridos os dados necessários para a definição do processo de simulação.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *Version* – Versão 8.1;
- *SimulationControl* – a simulação foi efetuada com base no ficheiro climático, com o cálculo de dimensionamento de zona, sistema e instalação ativados;
- *Building* – as alterações que se registam neste campo são o ângulo do edifício em relação ao eixo norte (90°), o terreno (cidade) e os valores das tolerâncias de convergência de cargas e temperaturas (0,04 e 0,4, respetivamente);
- *ShadowCalculation* – corresponde ao período do intervalo de dias para cálculo do movimento solar (28 dias);
- *HeatBalanceAlgorithm* – qual o tipo de algoritmo para efeitos de simulação para a transferência de calor para a envolvente do edifício (*ConductionTransferFunction*);
- *Timestep* – o intervalo de tempo das simulações (6).

• Localização e Clima (*Location and Climate*)

Neste grupo define-se os dados relativos ao edifício tais como a localização, o clima e os dias em que decorrerá a simulação. O processo de simulação por parte do programa recorre a um ficheiro climático sendo os dados da localização do edifício obtidos através do ficheiro.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *SizingPeriod:DesignDay* – corresponde aos típicos dias de inverno e de verão, necessário para o cálculo no dimensionamento de zonas, sistemas e instalação;
- *RunPeriod* – é o intervalo da simulação, isto é, a data de início e de fim da simulação;
- *RunPeriodControl:SpecialDays* – é neste objeto que se indica os feriados;
- *RunPeriodControl:DaylightSavingTime* – é neste objeto que se indica o dia de troca de horário de inverno e de verão.

- **Horários (*Schedules*)**

Este grupo destina-se à introdução dos calendários de funcionamento do edifício relacionado com vários dados tais como a ocupação (numero de pessoas), equipamentos, iluminação, o intervalo das temperaturas para a climatização entre outros.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *ScheduleTypeLimits* – é neste objeto que se define os valores máximos e mínimos das diferentes variáveis utilizadas na definição dos calendários.
- *Schedule:Compact* – foi considerada esta opção devido ao facto de poder concentrar os horários num único comando. É neste objeto que se pode definir os calendários de utilização do edifício;
- *Schedule:File* – este objeto permite criar um calendário por zona, através de um ficheiro complementar, onde se pode indicar os perfis de utilização mais pormenorizado da zona durante o ano.

- **Elementos de Construção da Superfície (*Surface Construction Elements*)**

Este grupo destina-se à introdução dos elementos construtivos das superfícies exteriores e interiores do edifício.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *Material* – é neste objeto que se define os materiais da envolvente bem como as características mais importantes para a simulação, tais como a rugosidade, a espessura, a condutibilidade térmica e a densidade. Os valores referentes a estes dois últimos são obtidos através do ITE 50;
- *WindowMaterial:SimpleGlazingSystem* – neste objeto são definidos os vários tipos de vidro e os dados mais relevantes para a simulação como a transmissão térmica e o fator solar do vidro;
- *WindowMaterial:Blind* – este objeto serve para definir os sombreamentos como por exemplo estores venezianos. Os dados mais relevantes são a largura da lâmina, o espaçamento entre as lâminas, a espessura da lâmina, a orientação da lâmina e a condutibilidade térmica da lâmina;

- *Construction* – neste objeto é onde se define a constituição da envolvente, indicando de que cada parede, teto, pavimento, etc, é composta.

- **Zonas Térmicas e Superfícies (*Thermal Zones and Surface*)**

Neste grupo são inseridos os dados referentes às zonas térmicas bem como as suas geometrias, através da introdução de todas as superfícies do edifício.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *GlobalGeometryRules* – neste objeto foi utilizado como vértice de partida para definir a geometria de cada superfície o canto superior esquerdo, com o sentido de introdução de vértices contrário ao sentido dos ponteiros do relógio e o sistema de coordenadas relativo;
- *Zone* – é neste objeto define-se os parâmetros das zonas do edifício;
- *ZoneList* – neste objeto insere-se os grupos de zonas. Apenas foi considerada um grupo de zonas referente às zonas do ventilador de extração das instalações sanitárias e balneários;
- *BuildingSurface:Detailed* – neste objeto são definidas as superfícies. É inserido o tipo de superfície (parede, pavimento, teto ou telhado), qual o tipo de construção (previamente inserido no campo *Construction*), em que zona está inserida a superfície, exposição ao sol e ao vento e as coordenadas dos vértices da superfície;
- *FenestrationSurface:Detailed* – neste objeto são inseridos os dados referentes as vãos envidraçados. É indicado qual o tipo de vidro (previamente inserido no campo *Construction*), o controlo do sombreamento (caso exista) e as coordenadas dos vértices;
- *WindowProperty:ShadingControl* – neste objeto define-se o tipo de controlo dos estores. É indicado o tipo de estore e a sua posição (interior, exterior ou entre os vãos envidraçados) em que o edifício apresenta três tipos de vãos envidraçados com sombreamento interior (VE1, VE2 e VE4) e um com sombreamento exterior (VE3). O tipo de controlo utilizado na simulação foi ativar os sombreamentos quando detetar 300 W/m^2 nos vãos.

- **Ganhos Internos (*Internal Gains*)**

Nem toda a utilização de energia do edifício se deve à envolvente e às condições ambientais. Neste grupo são contabilizados os ganhos internos do edifício, tais como a ocupação, a iluminação e os equipamentos elétricos. Para o cálculo dos ganhos internos é necessário criar calendários de utilização para cada tipo de ganho.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *People* - para o cálculo dos ganhos internos devido à ocupação é necessário definir, por zona, o calendário de utilização, o método de cálculo, em que na simulação foram calculados pelo número de pessoas e indicar a ocupação;
- *Lights* – para o cálculo dos ganhos internos devido à iluminação é necessário definir, por zona, o calendário de utilização, o método de cálculo, em que na simulação foram calculados pela potência utilizada;
- *ElectricEquipment* - para o cálculo dos ganhos internos devido aos equipamentos elétricos é necessário definir, por zona, o calendário de utilização, o método de cálculo, em que na simulação foram calculados pela potência utilizada.

- **Zonas de Fluxo de Ar (*Zone Airflow*)**

É neste grupo que se configuram os ventiladores de extração, ventilação natural, etc, que possam existir num edifício.

O objeto introduzido deste grupo foi:

- *ZoneVentilation:DesignFlowRate* – este objeto serve para configurar os ventiladores de extração, em que se insere como principais dados a zona ou lista de zonas a extrair, o calendário de funcionamento, o método de cálculo do caudal de extração, que para a simulação foi selecionado fluxo por zona e o devido caudal, o tipo de ventilação, que para a simulação foi selecionada a extração e os dados do ventilador.

- **Equipamentos Exteriores (*Exterior Equipment*)**

Neste grupo são referidos os equipamentos instalados no exterior do edifício.

O objeto introduzido deste grupo foi:

- *Exterior:Lights* – este objeto serve para configurar a iluminação exterior, em que os únicos dados necessários são indicar o calendário de funcionamento e a potência.

- **Planta dos Objetos AVAC (*HVAC Design Objects*)**

É neste grupo que se definem as zonas a climatizar, as temperaturas interiores, os sistemas de climatização e as unidades de produção de energia térmica.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *DesignSpecification:OutdoorAir* – este objeto define um lugar-comum para o uso de outros objetos relativamente aos requisitos de ar exterior, podendo ser referido noutros objetos como a quantidade de ar exterior necessário. Para a simulação foi descrito, por zona, como método de cálculo e fluxo de ar novo 0,00944 m³/s por ocupante, com este objeto sendo unicamente referido no objeto *Sizing:Zone*;
- *DesignSpecification:ZoneAirDistribution* – neste objeto descreve-se, por zona, a eficácia de distribuição de ar e a fração de recirculação secundária essencial para o objeto *Sizing:Zone*. Os valores para a eficiência estão na página 495 do manual do programa;
- *Sizing:Zone* – neste objeto especifica-se, por zona, os dados necessários para o realizar o cálculo do fluxo de ar projetado. São realizados os cálculos quer para a estação de aquecimento quer para a estação de arrefecimento;
- *Sizing:System* – neste objeto especifica-se os dados necessários para realizar o cálculo de dimensionamento do sistema de climatização centralizado que serve uma ou mais zonas. As informações necessárias consistem nas condições ambientais exteriores, as temperaturas do ar de insuflação projetadas, a taxa de fluxo de ar exterior e a taxa mínima de ar no sistema;
- *Sizing:Plant* - neste objeto especifica-se os dados necessários para auto dimensionar o circuito de fluxo de água e as capacidades dos equipamentos.

- **Controlos e Termostatos das Zonas AVAC (*Zone HVAC Controls and Thermostats*)**

É neste grupo que se define o tipo de controlo das zonas e os pontos de funcionamento dos controladores.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *ZoneControl:Thermostat* – neste objeto define-se que o controlo é feito através de termostato, dividido por zona a climatizar, através da temperatura, em que os principais campos são o calendário de climatização, o tipo de controlo de funcionamento (*setpoint* de aquecimento, arrefecimento ou duplo) e os valores para as duas situações configurados no objeto *ThermostatSetpoint:DualSetpoint*;

- *ThermostatSetpoint: DualSetpoint* – neste objeto define-se os calendários do período de tempo em que os termostatos de aquecimento e arrefecimento estão ativos (os sistemas estão a funcionar).

Unidades de Ar Forçado das Zonas AVAC (*Zone HVAC Forced Air Units*)

É neste grupo que se define os equipamentos independentes de ar forçado das instalações AVAC.

O objeto introduzido deste grupo foi;

- *ZoneHVAC: FourPipeFanCoil* – neste objeto define-se os ventiloconvectores nas instalações AVAC. Na descrição pode ser referenciado o calendário de funcionamento, o método de controlo, as velocidades de funcionamento do sistema, entre outros dados.

- **Unidades Terminais do Circuito de Ar das Zonas AVAC (*Zone HVAC Air Loop Terminal Units*)**

É neste grupo que se define o tipo de condutas e das grelhas de saída da rede de distribuição de ar pelas zonas climatizadas.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *AirTerminal: SingleDuct: VAV: NoReheat* – neste objeto define-se qual o tipo de conduta utilizada, se uma ou duas condutas (neste ultimo caso uma conduta de aquecimento e outra de arrefecimento), com caudal de ar variável ou constante e se com reaquecimento do ar à saída da conduta ou sem;
- *ZoneHVAC: AirDistributionUnit* – este objeto corresponde à parte do sistema que é fornecida de uma comum simulação de alimentação de ar principal no circuito de ar, que inclui o equipamento que controla ou tempera o ar que é insuflado para cada zona de acordo com o controlado pelo termostato.

- **Ligações dos Equipamentos das Zonas AVAC (*Zone HVAC Equipment Connections*)**

É neste grupo que se define a lista de equipamentos e ligações das zonas.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *ZoneHVAC:EquipmentList* – neste objeto lista-se os equipamentos AVAC inseridos nas zonas, sendo necessário previamente configurar o objeto *ZoneHVAC:AirDistributionUnit* ou o objeto *AirTerminal:SingleDuct:Uncontrolled* caso exista recurso a sistemas de ar forçado;
- *ZoneHVAC:EquipmentConnections* – neste objeto define-se os restantes detalhes sobre cada zona térmica da perspetiva AVAC para além dos controladores descritos no objeto *ZoneHVAC:EquipmentList*.

- **Ventiladores (*Fans*)**

É neste grupo que se define o tipo de ventilador e as suas configurações. Os ventiladores das UTAN'S estão dotados com variadores de velocidade, para tal definiu-se na simulação que os ventiladores eram de caudal volúmico variável.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *Fan:ConstantVolume* – neste objeto define-se os dados dos ventiladores com caudal constante utilizados. Na descrição pode ser referenciado o calendário de funcionamento, a eficiência da ventoinha e do motor, a pressão e o caudal volúmico a insuflar, entre outros dados;
- *Fan:VariableVolume* – neste objeto define-se os dados dos ventiladores com caudal variável utilizados. Na descrição pode ser referenciado o calendário de funcionamento, a eficiência da ventoinha e do motor, a pressão e o caudal volúmico a insuflar, entre outros dados.

- **Baterias de Água (*Coils*)**

É neste grupo que se define os permutadores de calor de água aquecida e refrigerada.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *Coil:Cooling:Water* – é neste objeto que se define todos os permutadores de calor de água refrigerada da instalação. De acordo com o edifício apenas existe um permutador de calor de água refrigerada no interior de cada UTAN;
- *Coil:Heating:Water* – é neste objeto que se define todos os permutadores de calor de água aquecida da instalação. De acordo com o edifício apenas existe um permutador de calor de água aquecida no interior de cada UTAN.

- **Recuperadores de Calor (*Heat Recovery*)**

É neste grupo que se define os recuperadores de calor instalados nas UTAN'S, caso existam, e se descreve qual o tipo de recuperador.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *HeatExchanger:AirToAir:SensibleAndLatent* – é neste objeto que se define a eficiência do recuperador de calor para um fluxo a 100% e a 75%, tanto para aquecimento como para arrefecimento fazendo também a distinção entre calor sensível e latente.

- **Controladores (*Controllers*)**

Neste grupo define-se os controladores dos circuitos da água aquecida e refrigerada, bem como o fluxo de ar novo.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *Controller:WaterCoil* – é neste objeto que se define o controlo da água aquecida e refrigerada que circula nos permutadores de calor das UTAN'S. Esse controlo é feito através de um medidor de temperatura do ar após o permutador de calor de aquecimento ou arrefecimento, dependendo do caso, e atua no fluxo de água que circula no dentro desse permutador;
- *Controller:OutdoorAir* – o propósito deste objeto é garantir a ventilação do ar exterior bem como o recurso a *free cooling* sempre que possível;
- *AirLoopHVAC:ControllerList* – neste objeto lista-se os controladores de forma sequencial de controlo.

- **Distribuição de Ar (*Air Distribution*)**

É neste grupo que se define parte da constituição das UTAN'S e as zonas que cada UTAN insufla e extrai ar.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *AirLoopHVAC* – é neste objeto que se define os sistemas centrais de aquecimento e arrefecimento do ar forçado;
- *AirLoopHVAC:OutdoorAirSystem:EquipmentList* – é neste objeto que se define por que equipamentos o ar exterior passa até aos permutadores de calor;
- *AirLoopHVAC:OutdoorAirSystem* – este objeto é um subsistema do *AirLoopHVAC* e consiste em agrupar os controladores, a lista de equipamentos e a lista da gestão da disponibilidade (posteriormente configurada);
- *OutdoorAir:Mixer* – neste objeto configura-se a caixa de mistura de ar;
- *AirLoopHVAC:ZoneSplitter* – neste objeto indica-se as divergências do ar com uma entrada e múltiplas saídas para insuflar nas zonas a climatizar;
- *AirLoopHVAC:SupplyPath* – este objeto lista um ou mais componentes dos objetos *AirLoopHVAC:ZoneSplitter* e *AirLoopHVAC:SupplyPlenum* e identifica o caminho de insuflação;
- *AirLoopHVAC:ZoneMixer* - neste objeto indica-se as contrações de ar com múltiplas entradas e uma saída para a extração das zonas climatizadas;
- *AirLoopHVAC:ReturnPath* - este objeto lista um ou mais componentes dos objetos *AirLoopHVAC:ZoneMixer* e *AirLoopHVAC:ReturnPlenum* e identifica o caminho de extração.

- **Gestão dos Nós e dos Ramos (*Node-Branch Managment*)**

É neste grupo que se definem os ramos, ligações e nós dos circuitos de água que define o esquemático das ligações AVAC.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *Branch* – neste objeto lista-se os componentes que corresponde a cada circuito diferente de água;
- *BranchList* – neste objeto lista-se a sequência dos ramos que cada circuito de água;
- *Connector:Splitter* – neste objeto lista-se as divergências existentes nos circuitos de água;
- *Connector:Mixer* – neste objeto lista-se as contrações existentes nos circuitos de água;

- *ConnectorList* – este objeto resume-se à ligação entre os objetos *Connector:Mixer* e *Connector:Splitter*;
- *NodeList* – este objeto é utilizado para identificar todos os nós para um certo uso, relacionados com os objetos *OutdoorAir:NodeList* e *SetpointManager*;
- *OutdoorAir:Node* – este objeto declara no sistema AVAC as condições do ar exterior;
- *OutdoorAir:NodeList* – neste objeto define-se os nós do ar exterior insuflado nos sistemas AVAC'S;
- *Pipe:Adiabatic* – todos os componentes são ligados através de tubagens ou condutas. Neste objeto define-se essas ligações dos tubos entre os equipamentos.

- **Bombas (*Pumps*)**

É neste grupo que se definem todas as bombas do circuito de água.

O objeto introduzido deste grupo foi:

- *Pump:VariableSpeed* – neste objeto define-se as bombas de circulação de água existentes na instalação com caudal variável. Para a simulação as bombas necessárias referir são as da circulação da água dos equipamentos de produção de energia térmica e de condensados para as UTAN'S.

- **Central de Aquecimento e Arrefecimento (*Plant Heating and Cooling Equipment*)**

É neste grupo que se definem os equipamentos de produção de energia térmica tais como caldeiras e *chiller*.

Os objetos introduzidos deste grupo foram:

- *Boiler:HotWater* – neste objeto define-se as características da caldeira, ou das caldeiras caso exista mais do que uma, tais como o combustível, a potência e a eficiência da caldeira e a temperatura da água de saída da caldeira;
- *Chiller:Electric:EIR* – neste objeto define-se as características do *chiller*, ou dos *chiller* caso exista mais do que um, tais como a potência e eficiência (COP) do *chiller* e a temperatura da água de saída do *chiller*.

- **Equipamentos de Condensados e Permutadores de Calor (Condenser Equipment and Heat Exchangers)**

Neste grupo definem-se as características da torre de arrefecimento acoplada ao *chiller*.

O objeto introduzido deste grupo foi:

- *CoolingTower:SingleSpeed* – neste objeto define-se a torre de arrefecimento de velocidade constante. Este tipo de objeto é atribuído a circuitos de condensado.

Anexo F. Custo da energia

Estimativa do custo da eletricidade sem a aplicação de todas as MCE.

		Utilização	€/Utilização	Fator	
E A	Cheias	14715	0,1004	1	1 477,39 €
	Cheias	11330	0,1030	1	1 166,99 €
	Ponta	3125	0,1287	1	402,19 €
	Ponta	2725	0,1316	1	358,61 €
	Super Vazio	1632	0,0604	1	98,57 €
	Super Vazio	1749	0,0677	1	118,41 €
	Vazio	3405	0,0708	1	241,07 €
	Vazio	3873	0,0735	1	284,67 €
R E A	Cheias	21590	0,0324	1	699,52 €
	Ponta	5850	0,0348	1	203,58 €
	Super Vazio	3381	0,0262	1	88,58 €
	Vazio	7278	0,0284	1	206,70 €
	Reativa	2270	0,0246	1	55,84 €
	Escalão 1 Reativo	419	0,0246	1	10,31 €
	Contratada	879,49	1,4680	1	1 291,09 €
	Horas ponta	70,34184	9,5950	1	674,93 €
	ISCE	42554	0,0010	1	42,55 €
	Taxa DGEG	12	0,3500	1	4,20 €
Total s/ IVA					7 425,19 €
IVA					1 707,79 €
Taxa audiovisual (TA)					27,00 €
IVA TA					1,62 €
Total					9 161,61 €
€/kWh					0,22 €

Custo da eletricidade com a aplicação de todas as MCE.

		Utilização	€/Utilização	Fator	
E A	Cheias	10260	0,0738	1	757,19 €
	Cheias	11330	0,0705	1	798,77 €
	Ponta	3125	0,0770	1	240,63 €
	Ponta	2725	0,0735	1	200,29 €
	Super Vazio	1632	0,0594	1	96,94 €
	Super Vazio	1749	0,0567	1	99,17 €
	Vazio	3405	0,0608	1	207,02 €
	Vazio	3873	0,0580	1	224,63 €
R E A	Cheias	21590	0,0324	1	699,52 €
	Ponta	5850	0,0348	1	203,58 €
	Super Vazio	3381	0,0262	1	88,58 €
	Vazio	7278	0,0284	1	206,70 €
	Reativa	2270	0,0195	1	44,27 €
	Escalão 1 Reativo	419	0,0084	1	3,52 €
	Contratada	499,566	0,9540	1	476,59 €
	Horas ponta	70,34184	17,7980	1	1 251,94 €
	ISCE	38099	0,0010	1	38,10 €
	Taxa DGEG	12	0,3500	1	4,20 €
Total s/ IVA					5 641,62 €
IVA					1 297,57 €
Taxa audiovisual (TA)					27,00 €
IVA TA					1,62 €
Total					6 967,81 €
€/kWh					0,18 €

Custo do gás natural sem e com a aplicação de todas as MCE

	Energia [kWh]	Custo	€/kWh
Gás Natural	39.238	2.505,00€	0,06€