



FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Eficiência Energética em Edifícios da Lipor I

Hélder Filipe Novais Alves

Dissertação submetida para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE – RAMO DE PROJECTO

Presidente do Júri: Manuel Afonso Magalhães da Fonseca Almeida
(Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de
Materiais da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador académico: Fernando Gomes Martins
(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da
Universidade do Porto)

Orientador na empresa: Filipe Manuel Castro Carneiro
(Engenheiro Responsável pela Gestão Ambiental na Lipor I, Serviço Intermunicipalizado de
Gestão de Resíduos do Grande Porto)

Porto, Julho de 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2010/2011

Editado por:

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
Rua Dr. Roberto Frias
4200-465 PORTO
Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

Correio electrónico: feup@fe.up.pt

Endereço electrónico: <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente – 2010/2011 – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Doutor Fernando Gomes Martins, pela confiança depositada, transmissão de conhecimento, apoio, total disponibilidade e motivação.

Ao Engenheiro Filipe Manuel Castro Carneiro e aos colaboradores da Lipor I pelo apoio prestado ao longo do estágio.

Aos meus pais, que com esforço, dedicação e incentivo investiram em mim e na minha formação.

Aos meus padrinhos, pelo apoio incondicional.

À minha namorada, Margarida, por toda a ajuda, compreensão, paciência e incentivo.

Aos meus verdadeiros amigos, que sempre me apoiaram e ajudaram ao longo do meu percurso de vida e académico.

O meu muito obrigado a todos...

Resumo

Nos últimos anos a temática do aumento das emissões de gases de efeito de estufa para a atmosfera, com conseqüente aumento do aquecimento global, tem sido uma grande preocupação para todos os cidadãos. O aumento dos consumos de energia e a sua dependência da utilização de combustíveis fósseis são a principal razão do aumento dos gases de efeito de estufa. A energia transformou-se num bem escasso, tornando urgente a necessidade de intervir, tanto investindo em energias alternativas como na eficiência do consumo da energia.

Actualmente, o sector dos edifícios é responsável pelo consumo de cerca de 40% da energia final na Europa, sendo que mais de metade deste consumo pode ser reduzido através da implementação de medidas de eficiência energética. O consumo energético dos edifícios provém essencialmente do uso intensivo das instalações (climatização, iluminação, equipamentos, etc.) e do comportamento dissipativo dos edifícios (material, isolamento, inércia térmica, etc.)

Neste trabalho avalia-se o desempenho energético de quatro edifícios da Lipor I através da determinação e comparação do indicador de eficiência energética real (IEE_{real}) sem e com correcção climática e do indicador de eficiência energética nominal (IEE_{nom}) com o indicador de eficiência energética de referência (IEE_{ref}) através da realização da simulação dinâmica energética. Com base nos resultados identificam-se os principais sectores de consumo e propõem-se medidas e soluções de melhoria da eficiência energética.

Na obtenção dos dados necessários, efectuou-se o levantamento das plantas existentes, medições directas, instalação de contadores eléctricos individuais nos edifícios e simulação dinâmica através de um programa de simulação térmica de edifícios.

Verificou-se que o desempenho energético destes edifícios é fortemente influenciado por vários factores, sendo que os mais importantes são o isolamento térmico da envolvente, a inércia térmica e o tipo de vãos envidraçados. Deste modo, optou-se por melhorar o isolamento da envolvente exterior, nomeadamente das paredes, coberturas e vãos envidraçados, assim como actuar ao nível do aproveitamento da luz solar através da instalação de controladores de fluxo luminoso.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Edifícios, Energia

Abstract

For the past few years, the issue of increased emissions of greenhouse gases into the atmosphere with consequent increase of global warming has been a major concern for all citizens. The increase of energy consumption and its dependence of fossil fuel utilization is the main reason for the increase of greenhouse gases. The energy has become a scarce commodity, making it urgent to intervene, by investing in alternative energy and the efficiency of energy consumption.

Currently, the building sector is responsible for consuming about 40% of final energy in Europe, being more than half of this consumption can be reduced by implementing energy efficiency measures. The energy consumption of buildings comes mainly from intensive use of equipment (HVAC, lighting, appliances, etc.), and of dissipative behavior of the buildings (materials, insulation, thermal inertia, etc.)

In this work, the energy performance was evaluated in four buildings of the Lipor I. The study was based on the determination and comparison of actual energy efficiency indicator (IEE_{real}) with and without correction of climate. The energy efficiency indicator rating (IEE_{nom}) was calculated through dynamic simulation and compared with the energy efficiency indicator reference (IEE_{ref}). Based on the results, the main sectors of consumption were identified and some measures and solutions were proposed for improving energetic efficiency.

Necessary data was obtained by examination of existing building design, direct measurements, and installation of individual electric meters in the buildings and dynamic simulation software for thermal simulation of buildings.

It was found that the energy performance of buildings is strongly influenced by several factors, of which, the most important are the thermal insulation, the thermal inertia and the type of glazed. Thus, it was decided to improve the insulation outside including the walls, roofs and glazed, as well as acting on the level of utilization of sunlight by installing a light flow controller.

Keywords: Energy Efficiency, Buildings, Energy

Índice

Agradecimentos	I
Resumo	III
Abstract	V
Índice	VII
Índice de Figuras	XI
Índice de Tabelas.....	XIII
Notação e Glossário	XV
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento e Apresentação da Dissertação	1
1.2 Organização da Dissertação	2
2 Enquadramento Contextual.....	3
2.1. Os Edifícios em Portugal	3
2.1.1. O sistema energético nacional	3
2.1.2. Caracterização energética dos edifícios residenciais	4
2.1.3. Caracterização energética dos edifícios de serviços	4
2.2. A Eficiência Energética em Edifícios	5
2.2.1. Forma e localização do edifício	5
2.2.2. Orientação e captação da energia solar	6
2.2.3. Qualidade e características construtivas	7
2.2.4. Características interiores dos edifícios	8
2.3. Estratégias Político-Legais	8
2.3.1. A Directiva Europeia 2002/91/CE.....	8
2.3.2. O SCE.....	10
2.3.3. O RSECE.....	11
2.3.4. O RCCTE	11
2.4. A Certificação Energética dos Edifícios	12
2.4.1. Etapas de certificação	12

2.4.2. Classes de desempenho energético.....	14
3 O caso de Estudo da Lipor I	17
3.1 Introdução	17
3.2 Caracterização dos Edifícios	18
3.2.1. Edifício A	18
3.2.2. Edifício B	19
3.2.3. Edifício C	21
3.2.4. Edifício D	22
3.3 Considerações Sobre o Estudo Realizado	23
3.3.1. Método de cálculo do IEE.....	23
3.3.2. Método do estudo energético dos edifícios	24
3.4 Auditoria Energética e Abordagem aos Consumos Reais	25
3.4.1. Auditoria energética	25
3.4.2. IEE_{real} sem correcção climática.....	29
3.4.3. IEE_{real} com correcção climática	31
3.5 Simulação Dinâmica Energética	34
3.5.1. Introdução	34
3.5.2. O funcionamento do RCCTE-STE	35
3.5.3. Envolvente exterior	36
3.5.4. Perdas térmicas pelas paredes exteriores e pela cobertura	37
3.5.5. Perdas térmicas pelas pontes térmicas lineares	38
3.5.6. Perdas térmicas pelas pontes térmicas planas	39
3.5.7. Perdas térmicas pelo pavimento.....	39
3.5.8. Perdas térmicas pelos vãos envidraçados	39
3.5.9. Perdas térmicas pela renovação do ar	40
3.5.10. Ganhos solares pela envolvente opaca	41
3.5.11. Ganhos úteis através dos vãos envidraçados.....	42
3.5.12. Sistemas de aquecimento e de arrefecimento	44
3.5.13. Inércia térmica	45

3.5.14.	Necessidades nominais de aquecimento, arrefecimento, AQS e energia primária.....	45
3.5.15.	Classificação energética dos edifícios	47
3.6	Medidas de Melhoria da Eficiência Energética.....	48
3.6.1.	Plano de racionalização energética (PRE).....	48
3.6.2.	Identificação das soluções	49
3.6.3.	Análise energética e medidas de melhoria para o edifício A	50
3.6.4.	Análise energética e medidas de melhoria para os edifícios B e D	52
3.6.5.	Análise energética e medidas de melhoria para o edifício C	55
3.6.6.	Considerações finais.....	57
4	Conclusões	59
4.1	Limitações e Trabalho Futuro	60
5	Referências Bibliográficas.....	61
	Anexo A - Características dos sistemas de climatização	63
	Anexo B - Plantas dos edifícios.....	65
	Anexo C - Resultados da Simulação Energética	69

Índice de Figuras

<i>Figura 1 - Distribuição do consumo de energia final por sector de actividade (INE, 2011).</i>	3
<i>Figura 2 - Evolução do consumo de energia eléctrica em Portugal e na UE (Eurostat, 2011).</i>	4
<i>Figura 3 - Zonas climáticas (RCCTE, 2006).</i>	6
<i>Figura 4 - Percursos do Sol ao longo do ano (Gonçalves e Graça, 2004).</i>	7
<i>Figura 5 - Os três pilares sobre os quais assenta a nova legislação (Caixiave, 2010).</i>	10
<i>Figura 6 - Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior.</i>	13
<i>Figura 7 - Fases de intervenção do perito.</i>	13
<i>Figura 8 - Escala de classificação energética do RSECE (SCG, 2009).</i>	14
<i>Figura 9 - Escala de classificação energética do RCCTE (SCG, 2009).</i>	15
<i>Figura 10 - Edifício A.</i>	19
<i>Figura 11 - Edifício B.</i>	20
<i>Figura 12 - Edifício C.</i>	22
<i>Figura 13 - Edifício D.</i>	23
<i>Figura 14 - Etapas para verificação do cumprimento dos requisitos energéticos (ADENE, 2008).</i>	25
<i>Figura 15 - Valores reais de consumo de electricidade no edifício A.</i>	26
<i>Figura 16 - Distribuição dos consumos de energia eléctrica no edifício C.</i>	27
<i>Figura 17 - Distribuição dos consumos de energia eléctrica no edifício D.</i>	28
<i>Figura 18 - Valores reais de consumo de gás natural para o edifício D.</i>	28
<i>Figura 19 - Circuito de analogia reo-eléctrica do funcionamento do RCCTE-STE (RSECE, 2006).</i>	35
<i>Figura 20 - Revestimento independente descontínuo com isolante térmico na caixa-de-ar (DGGE, 2004).</i>	51
<i>Figura 21 - Cobertura invertida sobre a impermeabilização existente (DGGE, 2004).</i>	52
<i>Figura 22 - Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) (DGGE, 2004).</i>	54
<i>Figura 23 - Solução de isolamento interior (DGGE, 2004).</i>	54
<i>Figura 24 - Funcionamento do regulador do fluxo luminoso (Building technologies, 2011).</i>	56

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1 - Consumo final de energia por sector de actividade (INE, 2011).....</i>	<i>3</i>
<i>Tabela 2 - Identificação dos edifícios.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 3 - Características da zona climática onde se situam os edifícios (RCCTE, 2006).....</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 4 - Factores de conversão para energia primária (ADENE, 2011).....</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 5 - Tipos de IEE (ADENE, 2008).....</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 6 - Valores do consumo eléctrico de cada edifício.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabela 7 - Distribuição dos consumos de energia eléctrica ao longo do ano para o edifício A.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabela 8 - Área útil de cada edifício.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 9 - Valores do IEE_{real} para os vários edifícios.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabela 10 - IEE_{ref exist} para os edifícios estudados.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabela 11 - Emissões de CO₂ dos edifícios.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabela 12 - Factor de forma para vários tipos de edifício (Isolani, 2008b).....</i>	<i>32</i>
<i>Tabela 13 - Resultados dos parâmetros (FF, N_{vi}, N_{vt}, N_{li} e N_{lt}, F_{cl} e F_{cv}).....</i>	<i>32</i>
<i>Tabela 14 - Consumos de energia para aquecimento e arrefecimento.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 15 - Valores do IEE_{real} com correcção climática para os vários edifícios.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 16 - Perdas térmicas pelas paredes e cobertura do edifício A.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 17 - Perdas térmicas pelas paredes e cobertura do edifício B.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 18 - Perdas térmicas pelas paredes e cobertura do edifício D.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 19 - Perdas pelo pavimento dos edifícios.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 20 - Perdas pelos vãos envidraçados no edifício A.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 21 - Perdas pelos vãos envidraçados no edifício B.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 22 - Perdas pelos vãos envidraçados no edifício C.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 23 - Perdas pelos vãos envidraçados no edifício D.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 24 - Perdas térmicas associadas à renovação de ar dos edifícios.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 25 - Perdas térmicas totais de cada edifício.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 26 - Ganhos solares totais pela envolvente opaca.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 27 - Ganhos térmicos totais úteis na estação de aquecimento para cada edifício.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 28 - Factores solares dos vãos envidraçados com protecção 100% activa (g_{100%}).....</i>	<i>43</i>

Tabela 29 - Parâmetros relativos aos sistemas de climatização de cada edifício 44

Tabela 30 - Necessidades nominais de energia do edifício A 46

Tabela 31 - Necessidades nominais de energia do edifício B 46

Tabela 32 - Necessidades nominais de energia do edifício D 46

Tabela 33 - IEE e classificação energética dos edifícios 48

*Tabela 34 - Soluções bioclimáticas para os edifícios da zona climática I2-V1 (Gonçalves e Graça, 2004)
..... 50*

Notação e Glossário

Lista de Siglas e Símbolos

ADENE	Agência para a Energia
AE	Auditoria Energética
AQS	Águas Quentes Sanitárias
A_e	Área efectiva
A_p	Área útil de pavimento
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado
CE	Certificado Energético
DCR	Declaração de Conformidade Regulamentar
DGEG	Direcção Geral de Energia e Geologia
FF	Factor de Forma
F_h	Factor de sombreamento do horizonte
F_0	Factor de sombreamento por elementos horizontais
F_f	Factor de sombreamento por elementos verticais
F_s	Factor de obstrução
F_g	Fracção envidraçada
F_w	Factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados
g_L	Factor solar do vidro
GEE	Gases de Efeito de Estufa
IEE	Indicador de Eficiência Energética
IEE_{nom}	Indicador de Eficiência Energética nominal
IEE_{real}	Indicador de Eficiência Energética real sem correcção climática
$IEE_{real\ simulado}$	Indicador de Eficiência Energética real com correcção climática
IEE_{ref}	Indicador de Eficiência Energética de referência
INE	Instituto Nacional de Estatística
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
I_t	Inércia térmica
M_{si}	Massa superficial útil do elemento
N_{ic}	Necessidades nominais de energia útil de aquecimento
N_{vc}	Necessidades nominais de energia útil de arrefecimento
N_{ac}	Necessidades nominais de energia útil para a produção de AQS
N_{tc}	Necessidades nominais globais de energia primária
N_i	Valor limite das necessidades nominais de energia útil de aquecimento

Nv	Valor limite das necessidades nominais de energia útil de arrefecimento
Na	Valor limite das necessidades nominais de energia útil para preparação de AQS
Nt	Valor limite das necessidades nominais globais de energia primária
η	Factor de utilização dos ganhos térmicos
PNAC	Programa Nacional para as Alterações Climáticas
PNAEE	Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética
PQ	Perito Qualificado
PRE	Plano de Racionalização Energética
PRS	Período de Retorno Simples
Q_i	Ganhos internos brutos
Q_t	Perdas de calor por condução através da envolvente do edifício
Q_v	Perdas de calor resultantes da renovação de ar
Q_{gu}	Ganhos de calor úteis
Q_g	Ganhos totais brutos do edifício
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios
R_{ph}	Número de renovações horárias do ar interior
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior
UE	União Europeia
U	Coefficiente de transferência de calor
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
X	Factor de orientação
Ψ	Coefficiente de transmissão térmica linear

Lista de Símbolos e Unidades

cm	Centímetro
°C	Graus Celcius
CO ₂	Dióxido de Carbono
kg _{ep}	Quilogramas equivalentes de petróleo
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
m	Metro
Mtep	Milhões de toneladas equivalentes de petróleo
Tep	Tonelada equivalente de petróleo
t	Tonelada

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação da Dissertação

Nas últimas décadas, e a par da evolução e do desenvolvimento das sociedades, tem-se vindo a assistir a um aumento das emissões de gases de efeito de estufa (GEE) para a atmosfera, provenientes maioritariamente da utilização de combustíveis fósseis usados para satisfazer as crescentes necessidades energéticas a nível global. Esse aumento do consumo de energia está a provocar alterações climáticas perigosas para o ambiente, de modo que é urgente intervir.

Nos últimos anos, a temática do aquecimento global tornou-se uma preocupação crescente para os governos, empresas e para todos os cidadãos. A energia transformou-se num bem escasso, tornando-se necessário actuar através do investimento em energias alternativas e da adopção de medidas de eficiência energética.

Em 1988 foi estabelecido o Protocolo de Quioto onde foram estabelecidos compromissos para reduzir as emissões de todos os sectores consumidores de energia, nomeadamente o sector dos edifícios.

Em 2008 foi aprovado pela União Europeia o Pacote Energia-Clima 20/20/20 que instou os estados membros a adoptarem as medidas necessárias para que até 2020 fosse alcançado uma redução das emissões de GEE de 20% face aos níveis de 1990, 20% do uso de fontes de energia renováveis e uma poupança energética de 20% face aos níveis de consumo actuais (*Isolani, 2008b*).

O sector dos edifícios é responsável pelo consumo de mais de 40% da energia final na Europa, sendo que mais de metade deste consumo pode ser reduzido através da implementação de medidas de eficiência energética, o que poderá traduzir-se numa redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂ (*SGC, 2009*).

Existe actualmente o conhecimento e tecnologia necessária para reduzir a utilização de energia nos edifícios, enquanto ao mesmo tempo se melhora os níveis de conforto. É provável que o lucro da eficiência em edifícios seja capaz de proporcionar grandes reduções no consumo de energia e na maioria dos casos é a opção mais económica (*BCSD, 2007*).

Em 1993 foi publicado o regulamento térmico de edifícios através da Directiva 93/76/CEE de 13 de Setembro, tinha como objectivo essencialmente limitar as emissões de CO₂, aumentando assim a eficiência energética através da limitação do consumo. Em Portugal, o primeiro regulamento térmico era focado na limitação de potências e com alguns requisitos sobre os sistemas, verificando-se que o seu crescimento em termos de intensidade energética

apresentava-se em contraciclo com a União Europeia, sendo que em 2000 já tinha atingido a meta de 2010 para as emissões de GEE (Coimbra et al., 2008).

Em 2001 a Comissão Europeia propôs uma directiva sobre o Desempenho Energético dos Edifícios, sendo esta aprovada em 16 de Dezembro de 2002, 2002/91/CE. Esta directiva impunha aos estados membros a introdução obrigatória da certificação de edifícios, para os novos edifícios e para grandes reabilitações de edifícios existentes (Coimbra et al., 2008).

Em Portugal, foi aprovado em 2006 o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE), englobando um conjunto alargado de programas e medidas, dos quais fazia parte o Programa de Certificação Energética de Edifícios. Este programa foi criado através da transposição da Directiva 2002/91/CE onde se implementou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar interior (SCE). O SCE (Decreto Lei nº78/2006) é constituído pelo RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (Decreto Lei nº79/2006) e pelo RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (Decreto Lei nº80/2006).

Neste trabalho pretendeu-se estudar a eficiência energética dos edifícios administrativos da Lipor I, analisando os seus consumos energéticos e encontrando soluções para o aumento da sua eficiência energética.

1.2 Organização da Dissertação

O trabalho realizado neste estudo encontra-se dividido em 4 capítulos:

No Capítulo 1 apresenta-se o enquadramento do tema em estudo, onde é caracterizada a evolução da eficiência energética de edifícios em Portugal e na União Europeia. São também apresentados os objectivos e a organização da tese.

No Capítulo 2 analisa-se o comportamento energético dos edifícios em Portugal, assim como os factores que contribuem directamente para o seu desempenho energético. Faz-se um enquadramento da legislação, nomeadamente a europeia e a portuguesa. É também analisado o funcionamento da certificação energética em edifícios.

No Capítulo 3 efectua-se o estudo do caso da Lipor I, onde é realizada uma caracterização dos seus principais edifícios administrativos, assim como a quantificação dos consumos energéticos reais e nominais de cada um deles. Qualifica-se também do ponto de vista energético cada um dos edifícios e propõem-se medidas a tomar para o aumento da sua eficiência energética.

No Capítulo 4 enumeram-se as principais conclusões resultantes da elaboração deste estudo, assim como as limitações do estudo e propostas de trabalho futuro.

2 Enquadramento Contextual

2.1. Os Edifícios em Portugal

2.1.1. O sistema energético nacional

As características de utilização energética dos equipamentos, assim como as características construtivas dos edifícios, estão directamente relacionadas com o seu consumo energético.

Em Portugal há cerca de 3,7 milhões de edifícios, correspondendo a um conjunto de actividades de grande importância económica para o país. Os dados mais recentes disponíveis sobre o balanço energético nacional (2009) dizem que o consumo energético nos edifícios representa cerca de 29% do consumo de energia final do país (o sector doméstico com 17% e o sector dos serviços com 12%) como se pode observar na Figura 1, representando um consumo total de 5,4 Mtep como está apresentado na Tabela 1 (INE, 2011).

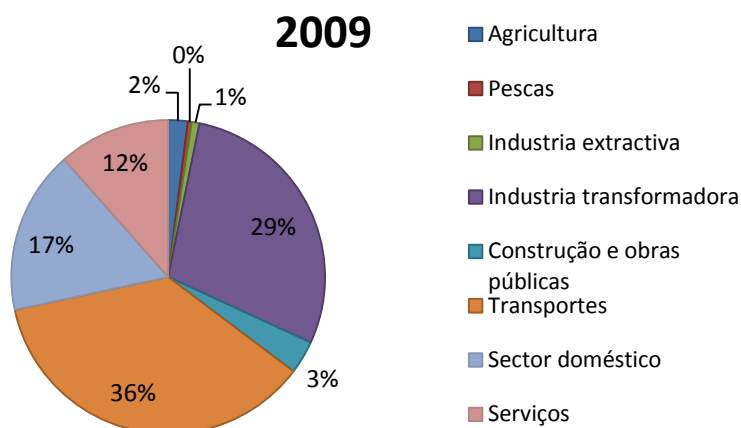


Figura 1 - Distribuição do consumo de energia final por sector de actividade (INE, 2011).

Tabela 1 - Consumo final de energia por sector de actividade (INE, 2011)

Sector de actividade económica	Consumo final de energia (tep)
Agricultura	347873
Pescas	76218
Indústria extractiva	153418
Industria transformadora	4740193
Construção e obras públicas	656651
Transportes	6770632
Sector doméstico	3200737
Serviços	2152461

2.1.2. Caracterização energética dos edifícios residenciais

Ao longo do tempo, a qualidade e conforto dos edifícios têm vindo a aumentar, particularmente nos últimos anos. As necessidades higiénicas, básicas e de conforto, e ainda o uso de equipamentos de entretenimento e apoios eléctricos de apoio às tarefas pessoais, foram sendo cada vez mais disponíveis para os utilizadores dos edifícios de habitação. Para além dos custos de investimento, estas comodidades traduzem-se num aumento do consumo de energia e conseqüentemente o aumento da emissão de GEE (DGE, 2002).

Os edifícios de habitação obtiveram em 2009 um consumo de 17% dos consumos de energia final em Portugal correspondendo a cerca de 3,2 Mtep. Em termos de consumo de energia eléctrica, o sector doméstico representa um consumo de 27% do total nacional como se pode observar na Figura 2 (Eurostat, 2011).

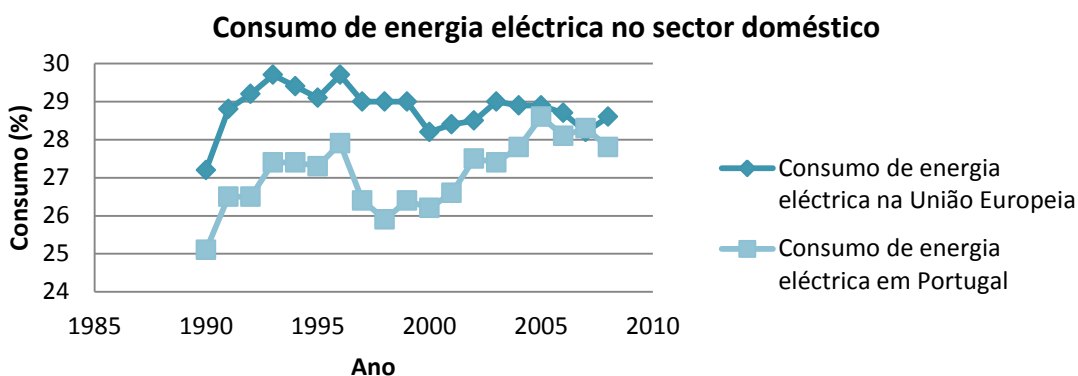


Figura 2 - Evolução do consumo de energia eléctrica em Portugal e na UE (Eurostat, 2011).

Esta percentagem de consumo é bastante significativa o que evidencia a necessidade de uma atenção particular à eficiência energética dos equipamentos consumidores de electricidade, assim como aos procedimentos e hábitos de utilização desses equipamentos.

Em termos de utilização final de energia nos edifícios residenciais, as cozinhas e a preparação de águas quentes sanitárias (AQS) utilizam aproximadamente 50%, a iluminação e equipamentos, 25% e a climatização 25% dos consumos totais. No entanto, esta distribuição de consumos tem variado nos últimos anos, aumentando a fatia correspondente à climatização, pelo facto de as exigências de conforto continuarem a aumentar a par do aumento do nível de vida em Portugal. (DGE, 2002).

2.1.3. Caracterização energética dos edifícios de serviços

O sector dos serviços consome cerca de 12% do total de utilização de energia final em Portugal, correspondendo a cerca de 2,2 Mtep em 2009 (INE, 2011). No entanto, existe uma grande heterogeneidade uma vez que o consumo depende também do tipo de actividade,

assim a intervenção ao nível energético com vista a melhoria do seu desempenho tem de ser distinta em função do tipo de serviço.

A distribuição e tipo de consumos dos edifícios dependem também do tipo de serviço, sendo que por exemplo em hotéis metade dos consumos de energia provém da electricidade e a maior fatia corresponde aos gastos com a climatização, já em supermercados os consumos são quase exclusivamente de origem eléctrica, sendo que a maior parte são gastos com a climatização (DGE, 2002).

Tanto em edifícios residenciais como em edifícios de serviços, há aqueles que são mais eficientes e os que são menos eficientes, tendo estes últimos um elevado potencial de melhoria. É portanto necessário construir edifícios menos consumidores e melhorar a eficiência energética daqueles já existentes.

2.2. A Eficiência Energética em Edifícios

Como já foi referido anteriormente, o sector dos edifícios é responsável por uma grande fatia do consumo total de energia primária e uma fatia ainda maior dos consumos totais de energia eléctrica consumida em Portugal.

Existem diversos factores que interferem directamente com as condições de conforto proporcionadas por um edifício, como a forma e localização do edifício, a orientação e captação de energia solar, as características e a qualidade da construção da envolvente exterior e a eficiência energética dos aparelhos que fazem parte do uso habitual do edifício (Isolani, 2008b).

2.2.1. Forma e localização do edifício

O calor que é gerado no interior de um edifício é transmitido para o exterior essencialmente através das paredes, coberturas e vãos envidraçados. Quanto maior for a superfície externa do edifício maior é a transferência de calor entre o seu interior e o exterior. Deste modo, um edifício com um volume (V) é mais eficiente quanto menor for a sua superfície (S). Quanto maior for a relação (S/V) menor é a eficiência energética do edifício.

A localização do edifício é também de elevada importância no que diz respeito às necessidades de aquecimento e arrefecimento, uma vez que estas variam de acordo com a zona onde está situado o edifício. O RCCTE divide o país em zona climáticas de Verão e de Inverno como se pode observar na Figura 3. Os Açores e a Madeira correspondem às zonas I1 e V1.

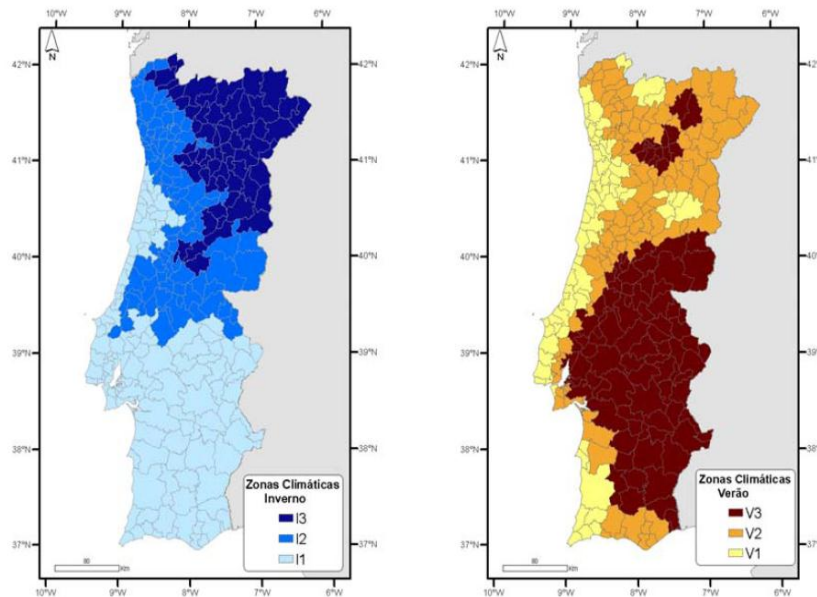


Figura 3 - Zonas climáticas (RCCTE, 2006).

Os edifícios situados em zonas climáticas classificadas com I1 têm menos necessidades de aquecimento no Inverno ao contrário dos situados em zonas I3. Igualmente, as zonas climáticas de Verão classificadas com V3 terão maiores necessidades de arrefecimento nos períodos mais quentes ao contrário das zonas V1.

Para além das zonas climáticas, é também importante verificar se o edifício se encontra numa área com boa ventilação e se está sombreado ou não.

2.2.2. Orientação e captação da energia solar

A capacidade de um edifício em captar a radiação solar nos períodos em que existe uma maior necessidade de aquecimento do próprio edifício, e de ter a menor superfície possível exposta à luz do sol quando existe a necessidade de refrigeração, determina o grau de conforto do edifício e o seu consumo energético (Isolani, 2008b).

Em termos de transferência de calor nos edifícios, as variáveis mais importantes são a temperatura do ar exterior e a radiação solar. A temperatura do ar exterior estabelece o sentido do fluxo energético, no Inverno ocorre fundamentalmente do interior para o exterior, tratando-se nesse caso de perdas térmicas, enquanto no Verão o sentido é o oposto, estando-se numa situação de ganhos térmicos. A radiação é também determinante, uma vez que constitui uma fonte de calor, contribui para o aumento da temperatura interior, sendo portanto importante no Inverno e algo a evitar no Verão.

De modo a obter o melhor equilíbrio de eficiência térmica, independentemente da localização, o edifício deve estar orientado para Sul, uma vez que permite um ganho elevado

de energia no Inverno e pode ser facilmente protegido da radiação no Verão como se pode observar na Figura 4. As exposições tanto para Este como para Oeste devem ser reduzidas, uma vez que estas são irradiadas principalmente no Verão, a entrada de radiação é quase perpendicular aos envidraçados maximizando a captação da energia solar e dificultando o seu controlo. As paredes e janelas orientadas para Norte devem ser evitadas uma vez que originam grandes perdas térmicas na estação mais fria e não permite a entrada de radiação directa nesse período (Gonçalves e Graça, 2004).

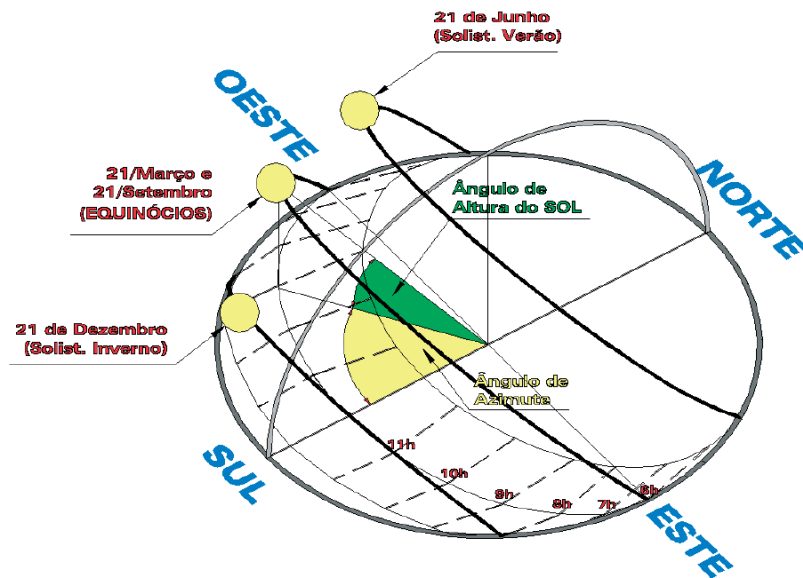


Figura 4 - Percursos do Sol ao longo do ano (Gonçalves e Graça, 2004).

No Verão, a protecção das janelas deve ser realizada através de telheiros, palas, varandas, toldos ou estores. Pode-se também utilizar para o mesmo efeito árvores de folha caduca de forma a permitirem a entrada da luz do sol durante o Inverno.

2.2.3. Qualidade e características construtivas

Como já foi referido, a transferência de calor entre o edifício e o meio ambiente dá-se a partir das superfícies externas, sendo por isso importante a utilização de materiais isolantes e de elevada inércia térmica.

Os materiais de elevada inércia térmica funcionam como reservatórios de calor e amortecedores térmicos, contribuindo significativamente para que a temperatura no interior do edifício seja constante. Importante é também o poder isolante dos materiais, uma vez que quanto maior for, menor é a transferência de calor entre o interior e o exterior do edifício (Isolani, 2008b).

Para o edifício estar bem isolado, além da utilização de materiais com elevado poder isolante, deve-se ter o cuidado de eliminar as pontes térmicas, ou seja descontinuidades do

isolamento, devendo-se também cobrir totalmente a superfície a ser isolada. Estas pontes térmicas, sendo pontos frágeis na envolvente, aumentam a transferência de calor entre o interior e o exterior do edifício, contribuindo assim para o aumento do consumo de energia. Além disso podem causar infiltrações e condensações, reduzindo a sua durabilidade (*Jardim, 2009*).

O isolamento térmico das paredes exteriores pode ser feito pelo exterior através da aplicação de placas de material isolante, deste modo elimina-se quase totalmente as pontes térmicas. Pode ser também realizado pelo interior do edifício, que tem o inconveniente de deixar de se poder aproveitar a inércia térmica das paredes. Existe também o isolamento através da colocação de uma caixa-de-ar entre as paredes proporcionando um isolamento eficaz (*Isolani, 2008b*).

A resistência térmica do edifício é influenciada também pelo isolamento da cobertura e do pavimento, cor dos revestimentos, vãos envidraçados, nomeadamente a área, orientação, qualidade e tipo de caixilho e vidro e existência persiana.

2.2.4. Características interiores dos edifícios

No interior dos edifícios produzem-se elevadas quantidades de vapor de água, deste modo é importante que o edifício tenha uma ventilação adequada de modo a que o excesso de vapor de água não fique condensado nas superfícies mais frias, podendo dar origem a fungos e bolores que podem ser prejudiciais à saúde. Assim, a ventilação está relacionada com a qualidade do ar interior de um edifício (*Jardim, 2009*).

A ventilação pode ser natural ou mecânica, na ventilação natural as trocas de massa de ar entre o interior e o exterior dão-se de acordo com as diferenças de temperatura e pressão, na ventilação mecânica é utilizado um equipamento mecânico. Segundo o RCCTE a velocidade do ar no interior de um edifício não deve ser superior a 0,2 m/s.

Os sistemas de aquecimento, arrefecimento e aquecimento de AQS são os que têm mais impacto no conforto ambiente, sendo também uma fonte elevada de consumo energético.

2.3. Estratégias Político-Legais

2.3.1. A Directiva Europeia 2002/91/CE

Em 1998 foi assinado o Protocolo de Quioto, sendo o início do estabelecimento do compromisso de Portugal em reduzir os seus consumos de energia e as correspondentes emissões de GEE. Deste modo, e conseqüentemente foram estabelecidos compromissos para

reduzir as emissões em todos os sectores consumidores de energia, nomeadamente o sector dos edifícios (Coimbra et al., 2008).

Em 1993 foi publicado o RCCTE (Decreto Lei 40/90) através da Directiva 93/76/CE de 13 de Setembro que tinha como objectivo aumentar a eficiência energética dos edifícios, limitando a emissão de CO₂ através da limitação dos consumos.

Em 2001 a Comissão Europeia propôs uma directiva sobre o Desempenho Energético dos edifícios, 2002/91/CE, tendo sido publicada em 2003 e onde foi introduzida a certificação obrigatória de edifícios.

Em 2006 foi estabelecido o SCE através da transposição da Directiva 2002/91/CE que inclui o RCCTE e o RSECE.

A Directiva 2002/91/CE foi publicada com o objectivo de melhorar o desempenho energético dos edifícios, impondo aos estados membros requisitos mínimos como a obrigatoriedade da certificação energética para novos edifícios e para reabilitações de edifícios existentes com mais de 1000 m². Impôs também aos estados membros a qualificação de técnicos para a certificação, a revisão periódica de 5 em 5 anos dos requisitos nacionais e a garantia que os edifícios cumprissem os requisitos mínimos antes da concessão da licença para a sua utilização (Coimbra et al., 2008).

Os objectivos principais desta directiva são:

- Informar os consumidores (quem compra, aluga, arrenda, etc., um edifício) sobre a qualidade térmica desse edifício;
- Fazer recomendações sobre medidas com viabilidade económica que possam contribuir para a melhoria do desempenho energético dos edifícios;
- Pressionar os promotores, criando condições favoráveis à melhoria da qualidade térmica dos edifícios que entram no mercado imobiliário;
- Promover a reabilitação dos edifícios mais antigos, melhorando o seu desempenho energético aquando do seu arrendamento ou venda;
- Garantir que os novos edifícios cumpram a legislação de eficiência energética em vigor;
- Aumentar a eficiência média do sector dos edifícios, reduzindo a sua fatia de consumo energético, contribuindo para a independência da UE em termos de energias fósseis e para o cumprimento dos objectivos do protocolo de Quioto.

Esta directiva determina ainda a obrigatoriedade dos estados membros implementarem um sistema de certificação energética que assegure a melhoria do desempenho energético e da qualidade do ar interior nos edifícios e que garanta que estes passem a deter um Certificado de Desempenho Energético.

2.3.2. O SCE

Em 2006 a Directiva 2002/91/CE foi transposta para a ordem jurídica nacional através de um pacote legislativo constituído por três Decretos-lei: o SCE (Decreto Lei 78/2006), o RSECE (Decreto-Lei 79/2006) e o RCCTE (Decreto-Lei 80/2006), estando apresentados na Figura 5.

O objectivo do SCE é de assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e à garantia da qualidade do ar interior dos edifícios (QAI) de acordo com o RCCTE e RSECE. Pretende assegurar a certificação do desempenho energético e da qualidade interior dos edifícios e identificar as medidas correctivas ou de melhoria do desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.

Para os edifícios já existentes, a certificação energética pretende proporcionar informação acerca das medidas de melhoria do desempenho, com viabilidade económica que o proprietário pode implementar para reduzir a despesa energética e consequentemente aumentar a eficiência do edifício. Nos edifícios novos e nos edifícios existentes que foram sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, a sua certificação permite comprovar a correcta aplicação da regulamentação térmica em vigor.

O SCE abrange os novos edifícios, edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, edifícios de serviços existentes e edifícios existentes para venda ou arrendamento. A gestão do SCE é da competência da ADENE e a Direcção-Geral de Geologia e Energia é responsável pela sua supervisão no que respeita à certificação e eficiência energética e o Instituto do Ambiente no que respeita à qualidade do ar interior.



Figura 5 - Os três pilares sobre os quais assenta a nova legislação (Caixiave, 2010).

2.3.3. O RSECE

O RSECE tem como principais objectivos definir as condições de conforto térmico e de higiene nos edifícios, melhorar a eficiência energética global dos edifícios através da adopção de métodos detalhados de previsão de consumos energéticos na fase de projecto, impor regras de eficiência aos sistemas de climatização favorecendo sistemas centralizados, e monitorizar com regularidade as práticas de manutenção dos sistemas de climatização.

Este regulamento estabelece os requisitos em termos de conforto térmico e de qualidade do ar interior, os requisitos mínimos de renovação e tratamento de ar que devem ser assegurados, os requisitos em termos de concepção da instalação e do estabelecimento das condições de manutenção a que devem obedecer os sistemas de climatização e os princípios da utilização racional da energia e dos materiais e tecnologias adequados. Estabelece também os limites máximos de consumo de energia nos grandes edifícios de serviços assim como para todos os outros edifícios, em particular para a climatização. As condições de manutenção dos sistemas de climatização, de monitorização e de auditoria dos edifícios e os requisitos em termos de formação profissional que devem obedecer os técnicos responsáveis pelo projecto, são também estabelecidos no RSECE.

O RSECE abrange (novos ou grandes reabilitações) edifícios de habitação com sistemas de climatização e com potência instalada superior a 25 kW, grandes edifícios de serviços com área útil superior a 1000 m² ou para o caso de edifícios do tipo centros comerciais, supermercados, hipermercados e piscinas aquecidas cobertas, com área superior a 500 m². São abrangidos também edifícios com novos sistemas de climatização com mais de 25 kW de potência instalada (edifícios novos, existentes e sujeitos a grandes intervenções de reabilitação).

São considerados grandes edifícios de serviços, todos os edifícios não residenciais com mais de 1000 m² de área útil de pavimento, excepto centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas que são considerados grandes edifícios quando a área útil for superior a 500 m².

As grandes intervenções de reabilitação ou alteração da envolvente são todas aquelas cujo custo seja superior a 25% do valor dos edifícios.

2.3.4. O RCCTE

Este regulamento estabelece as regras a ter em conta no projecto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados, de modo que as exigências de conforto térmico, tanto de aquecimento como de arrefecimento e de ventilação para garantia de qualidade do ar no interior dos edifícios, bem como as

necessidades de água quente sanitária, possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia. Estabelece também que sejam minimizadas as situações patológicas nos elementos de construção da envolvente, com potencial impacto na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior. O RCCTE determina também a obrigatoriedade da instalação de colectores solares e valoriza a utilização de fontes de energia renováveis na determinação do desempenho energético do edifício.

Estão abrangidos por este regulamento os edifícios de habitação (novos ou grandes reabilitações) sem sistemas de climatização centralizados ou com sistemas de climatização com potência igual ou inferior a 25 kW, pequenos edifícios de serviços com área igual ou inferior a 1000 m², que não disponham de sistemas de climatização ou que disponham de sistemas de climatização com potência igual ou inferior a 25 kW. O RCCTE abrange também edifícios de habitação e de serviços já existentes que sofram grandes intervenções de remodelação ou de alteração na envolvente ou nas instalações de preparação de AQS, assim como edifícios já existentes que sofram ampliações, exclusivamente na nova área construtiva.

2.4. A Certificação Energética dos Edifícios

2.4.1. Etapas de certificação

A certificação energética permite comprovar a correcta aplicação da regulamentação térmica e da qualidade do ar interior em vigor para um edifício e para os seus sistemas energéticos, permitindo também avaliar o desempenho energético em condições nominais de utilização.

O processo de certificação envolve a actuação de um Perito Qualificado (PQ), o qual irá verificar a conformidade regulamentar do edifício no âmbito do(s) regulamento(s) aplicável(is) (RCCTE e/ou RSECE), classificá-lo de acordo com o seu desempenho energético tendo por base uma escala de A+ (melhor desempenho) a G (pior desempenho) e, se necessário impor medidas de melhoria (SGS, 2009).

Na sequência da análise, o PQ pode emitir:

- Declaração de conformidade regulamentar (DCR) necessária para obtenção do pedido de licença de construção;
- Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior (CE) necessário para a obtenção do pedido de licença de utilização ou, no caso de edifícios existentes, para venda ou aluguer do imóvel, como está apresentado na Figura 6.



Figura 6 - Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior.

Apesar de serem documentos distintos, o CE e a DCR obtêm-se a partir do mesmo processo base, sendo que a DCR funciona como um pré-certificado, embora tenha o mesmo tipo de conteúdo e formato que um CE. A DCR passa a definitiva com a emissão do CE, após a verificação do PQ no final da obra.

Na Figura 7 estão esquematizadas as fases de intervenção do PQ nas várias etapas da vida de um edifício. As intervenções ao novo certificado energético apenas se aplicam aos edifícios abrangidos pelo RSECE.



Figura 7 - Fases de intervenção do perito.

2.4.2. Classes de desempenho energético

A classificação dos edifícios segue uma escala pré-definida de 9 classes (A+, A, B, B-, C, D, E, F e G), sendo que a classe A+ corresponde a um edifício com o melhor desempenho energético e a G com pior desempenho energético.

As metodologias de cálculo utilizadas na determinação da classe energética de um edifício variam de acordo com a sua tipologia. Em relação aos edifícios de serviços com sistemas de climatização superior ou igual a 25 kW de potência instalada, a classificação energética é calculada a partir dos valores do IEE_{nom} , IEE_{ref} e do valor de um parâmetro S, como está representado na Figura 8, onde:

- IEE_{nom} é o indicador de eficiência energética nominal (valor obtido por simulação dinâmica com base nos perfis nominais definidos no anexo XV do RSECE);
- IEE_{ref} é o indicador de eficiência energética de referência (valor indicado no anexo IV do RSECE de acordo com a tipologia do edifício);
- S é a soma ponderada dos consumos específicos para aquecimento, arrefecimento e iluminação, conforme determinados na simulação dinâmica que deu origem aos valores limites de referência para edifícios novos que constam no regulamento.

Classe energética	IEE_{nom} (kgep/m ² .ano)
A+	$IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,75.S$
A	$IEE_{ref} - 0,75.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,50.S$
B	$IEE_{ref} - 0,50.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,25.S$
B-	$IEE_{ref} - 0,25.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref}$
C	$IEE_{ref} < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 0,50.S$
D	$IEE_{ref} + 0,5.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + S$
E	$IEE_{ref} + S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 1,5.S$
F	$IEE_{ref} + 1,5.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 2.S$
G	$IEE_{ref} + 2.S < IEE_{nom}$

Figura 8 - Escala de classificação energética do RSECE (SCG, 2009).

Nos edifícios de habitação (com e sem sistemas de climatização) e pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização ou com sistemas de climatização inferior a 25 kW de potência instalada, a classificação energética é calculada a partir da função $R = \frac{N_{tc}}{N_t}$ como se pode verificar na Figura 9, onde N_{tc} representa as necessidades energéticas anuais globais estimadas de energia primária e N_t o valor limite das necessidades energéticas anuais globais, consideradas no regulamento.

Classe energética	$R = N_{tc}/N_t$
A+	$R \leq 0,25$
A	$0,25 \leq R \leq 0,50$
B	$0,50 \leq R \leq 0,75$
B-	$0,75 \leq R \leq 1,00$
C	$1,00 \leq R \leq 1,50$
D	$1,50 \leq R \leq 2,00$
E	$2,00 \leq R \leq 2,50$
F	$2,50 \leq R \leq 3,00$
G	$3,00 \leq R$

Figura 9 - Escala de classificação energética do RCCTE (SCG, 2009).

O incumprimento do SCE é alvo de coimas que poderão atingir os 44000€, havendo no entanto sanções acessórias tais como a suspensão da licença ou autorização de utilização ou mesmo o encerramento do edifício.

3 O caso de Estudo da Lipor I

3.1 Introdução

Neste capítulo efectua-se a avaliação da eficiência energética de quatro edifícios existentes da Lipor I, sendo que três deles são edifícios administrativos e um que apesar de ser administrativo, é também de apoio social aos funcionários da empresa.

Na realização desta avaliação efectuou-se o levantamento das plantas dos edifícios e instalou-se contadores individuais em alguns deles, para posteriormente medir os consumos dos diferentes sectores energéticos. Calculou-se os consumos nominais de energia através da simulação energética de modo a poder verificar-se o cumprimento dos requisitos regulamentares, assim como classificá-los de acordo com a sua eficiência energética, podendo assim definir possíveis acções de melhoria.

O levantamento da informação efectuou-se através da análise das plantas dos edifícios através do programa AutoCAD, assim como a análise directa a cada um deles. Foi necessário realizar medições de diversos parâmetros no próprio edifício, nomeadamente nas paredes e vãos envidraçados e de algumas características construtivas e de orientação.

Apenas um dos edifícios em estudo apresentava as facturas dos consumos de energia eléctrica, de modo que foi necessária a instalação de vários contadores individuais em cada um dos restantes edifícios com o objectivo de medir os consumos de electricidade de cada um deles.

Aos edifícios incluídos neste estudo foram atribuídas as letras A, B, C e D para serem mais facilmente identificados, como se pode observar na Tabela 2.

Tabela 2 - Identificação dos edifícios

Nome do Edifício	Identificação
Administrativo	Edifício A
Apoio Administrativo	Edifício B
Casa do Jardim	Edifício C
Social	Edifício D

Todos os edifícios estão situados dentro das instalações da Lipor I no concelho de Valongo, pertencendo à zona climática de inverno I2 e à zona climática de Verão V1 Norte. Situam-se a uma altitude de ± 120 m, o que significa que não sofrem alteração dos dados climáticos em função da altitude do local, que segundo o RCCTE só acontece para $z > 400$ m. Tendo em atenção que todos os edifícios se situam no mesmo concelho, o número de graus dias (GD) de

aquecimento é igual para todas, tomando o valor de 1750 °C.dias, assim como a duração da estação de aquecimento que é de 7 meses em todos os edifícios, como se pode observar na Tabela 3.

O conjunto dos edifícios encontra-se a uma distância ao litoral de 13 km.

Tabela 3 - Características da zona climática onde se situam os edifícios (RCCTE, 2006)

Concelho	Zona climática de Inverno	Número de graus-dias (GD) (°C.dias)	Duração da estação de aquecimento (meses)	Zona climática de Verão	Temperatura externa do projecto (°C)	Amplitude térmica (°C)
Valongo	I2	1750	7	V1	31	12

3.2 Caracterização dos Edifícios

3.2.1. Edifício A

O edifício A é um edifício oval de escritórios composto por três pisos, como se pode verificar na Figura 10. Está orientado a Sudeste contendo esta fachada 53% de vãos envidraçados e a fachada orientada a Noroeste cerca de 38%. Possui apenas um edifício a 15 m da fachada Noroeste com uma altura semelhante à do edifício A.

Dados Gerais do Edifício

- Cor da envolvente: clara (prateada);
- Ventilação natural;
- Encerrado: 1,5 dias por semana;
- Pé direito: 3,45 m;
- Área útil: 650 m²;
- AQS: cilindro de aquecimento;
- Altura da fachada ao solo: 30 cm;
- Potência térmica disponível de aquecimento: 64,52 kW;
- Potência térmica disponível de arrefecimento: 63,48 kW.

Soluções Construtivas

A seguir faz-se uma descrição sumária das soluções e características construtivas de cada um dos edifícios em estudo:

- Paredes exteriores: Paredes simples de alvenaria com uma espessura de 30 cm, revestidas exteriormente com painéis metálicos;
- Paredes interiores: Paredes simples de alvenaria com uma espessura de 33,5 cm revestidas a ardósia e madeira e paredes simples com uma espessura de 18 cm;
- Envidraçados: Vidro duplo incolor com câmara-de-ar de ± 1 cm. Estes envidraçados estão contidos em caixilhos de alumínio e possuem protecções interiores do tipo estores de lâminas de cor clara e protecções exteriores do tipo pala;
- Coberturas exteriores: Cobertura do tipo terraço em laje com espessura de 40 cm;
- Pavimentos interiores: Pavimento em laje com uma espessura de 40 cm revestido a linóleo e madeira.



Figura 10 - Edifício A.

3.2.2. Edifício B

É um edifício de escritórios composto por um piso, como se pode observar na Figura 11. Está orientado para Sudoeste, contendo esta fachada uma média de 30% de vãos envidraçados assim como a fachada orientada a Nordeste. A fachada orientada a Sudeste contém cerca de 17% de vãos envidraçados e a fachada Noroeste 22%. Existem árvores a 5 m da fachada orientada Sudoeste com uma altura de ± 8 m. Junto à fachada orientada a Sudeste encontra-se um edifício com uma altura equivalente à do edifício B.

Dados Gerais do Edifício

- Cor da envolvente: clara (branca);
- Ventilação natural;
- Encerrado: 1 dia por semana;
- Pé direito: 3,0 m;
- Área útil: 347 m²;
- Altura da fachada ao solo: 10 cm;
- Potência térmica disponível de aquecimento: 32,41 kW;
- Potência térmica disponível de arrefecimento: 37,67 kW;

Soluções Construtivas

- Paredes exteriores: Paredes simples de alvenaria com uma espessura de 31 cm;
- Paredes interiores: Paredes de alvenaria simples com uma espessura de 20 cm revestidas com cerâmicos;
- Envidraçados: Vidro duplo incolor com câmara-de-ar de ± 1 cm. Estes envidraçados estão contidos em caixilhos de alumínio e possuem protecções exteriores do tipo pala;
- Coberturas exteriores: Cobertura do tipo terraço em laje com espessura de 30 cm isolado a tela;
- Pavimentos interiores: Pavimento em laje com uma espessura de 30 cm revestido a tacos de madeira.



Figura 11 - Edifício B.

3.2.3. Edifício C

É um edifício de escritórios composto por um piso, como se pode observar na Figura 12. Está orientado para Sul, contendo esta fachada uma média de 29% de envidraçados e a fachada orientada a Norte contém cerca de 20% de envidraçados. Possui vegetação próxima da envolvente do edifício.

Dados Gerais do Edifício

- Cor da envolvente: escuro (castanho);
- Ventilação natural;
- Encerrado: 2 dias por semana;
- Pé direito: 2,6 m;
- Área útil: 211 m²;
- Altura da fachada ao solo: 10 cm;
- Potência térmica disponível de aquecimento: 50,9 kW;
- Potência térmica disponível de arrefecimento: 44,1 kW.

Soluções Construtivas

- Paredes exteriores: Paredes de madeira com uma espessura de 14 cm;
- Paredes interiores: Paredes de alvenaria simples com uma espessura de 14 cm;
- Envidraçados: Vidro simples incolor contido em caixilhos de madeira, possuem protecções interiores com estores de cores claras, persianas de cores claras e protecções exteriores do tipo pala;
- Coberturas exteriores: Cobertura inclinada com tecto falso em pladur com espessura de 20 cm;
- Pavimentos interiores: Pavimento em laje com uma espessura de 20 cm revestido a linóleo e madeira.



Figura 12 - Edifício C.

3.2.4. Edifício D

É um edifício dedicado ao apoio dos funcionários da empresa, utilizado essencialmente para escritórios e balneários e composto por um piso, como se pode observar na Figura 13. É composto por um piso, está orientado para Sudoeste contendo esta fachada uma média de 31% de envidraçados. A fachada orientada a Nordeste contém 29%, a fachada Sudeste contém cerca de 23% de envidraçados e a fachada Noroeste 11%. Possui árvores a 5 m da fachada orientada a Sudoeste com uma altura de 8 m. Este edifício está equipado com um sistema de colectores solares para preparação de águas quentes sanitárias (AQS).

Dados Gerais do Edifício

- Cor da envolvente: clara (branca);
- Ventilação natural;
- Encerrado: 1 dia por semana;
- Pé direito: 3,0 m;
- Área útil: 425 m²;
- Altura da fachada ao solo: 10 cm;
- AQS: Caldeira a gás + sistema de colectores solares (33 m² - top selectivo ST 40/200);
- Potência térmica disponível de aquecimento: 23,14,9 kW;
- Potência térmica disponível de arrefecimento: 22,84 kW.

Soluções Construtivas

- Paredes exteriores: Paredes de alvenaria simples com uma espessura de 31 cm;
- Paredes interiores: Paredes de alvenaria simples com uma espessura de 20 cm revestidas com cerâmicos;
- Envidraçados: Vidro duplo incolor com câmara-de-ar de ± 10 mm. Estes envidraçados estão contidos em caixilhos de alumínio e possuem protecções exteriores do tipo pala;
- Coberturas exteriores: Cobertura do tipo terraço em laje com espessura de 25 cm isolado a tela;
- Pavimentos interiores: Pavimento em laje com uma espessura de 30 cm revestido a tacos de madeira.



Figura 13 - Edifício D.

3.3 Considerações Sobre o Estudo Realizado

3.3.1. Método de cálculo do IEE

O Indicador de Eficiência Energética (IEE) calcula-se através dos consumos reais ou nominais de energia de um edifício e traduz o consumo de energia primária de um edifício ou fracção autónoma, por metro quadrado e por ano. As conversões dos consumos na climatização, iluminação, equipamentos, AQS, entre outros, para energia primária são efectuadas em função do mix energético nacional. Os factores de conversão para a electricidade e para o gás natural estão apresentados na Tabela 4, segundo a ADENE.

Tabela 4 - Factores de conversão para energia primária (ADENE, 2011)

Fonte de energia	Factor de Conversão - F_{pu}
Electricidade	0,290 kgep/kWh
Gás Natural	0,906 kgep/m ³

Na Tabela 5 descrevem-se os vários tipos de IEE.

Tabela 5 - Tipos de IEE (ADENE, 2008)

Tipo de IEE	Designação	Determinação	Finalidade
IEE real-facturas	IEE real para edifícios existentes	Por análise simples das facturas energéticas (últimos 3 anos), sem correcção climática	Verificação simplificada do cumprimento do requisito energético em edifícios existentes e da necessidade ou não de um PRE
IEE real-simulado	IEE real para obtido por simulação	Por simulação dinâmica, utilizando os perfis reais ou previstos ou determinados em auditoria, com correcção climática	Para efeitos da primeira auditoria de edifícios novos (ao fim do 3º ano de funcionamento) e para auditorias periódicas existentes.
IEE nom	IEE nominal	Por simulação dinâmica, utilizando os perfis padrão do Anexo XV do RSECE com correcção climática	Verificação do cumprimento do requisito energético em edifícios novos e classificação energética do edifício (tanto novos como existentes)
IEE ref – novo	IEE de referência limite para edifícios novos	Definido no anexo XI do RSECE	Verificação do cumprimento do requisito energético em edifícios novos e referência para classificação energética
IEE ref – exist	IEE de referência limite para edifícios existentes	Definido no anexo X do RSECE	Verificação simplificada do cumprimento do requisito energético em edifícios existentes e da necessidade ou não de um PRE

3.3.2. Método do estudo energético dos edifícios

Os edifícios em estudo não estão abrangidos pelo RCCTE nem pelo RSECE. Não estão abrangidos uma vez que são todos pequenos edifícios de serviços existentes que não vão ser alvo de grandes reabilitações ou ampliações. No entanto analisou-se a sua conformidade com os dois regulamentos.

O estudo energético destes edifícios foi efectuado segundo o artigo 7º do RSECE através das metodologias seguintes:

- Efectuou-se uma abordagem simplificada através da análise das facturas energéticas, nomeadamente das facturas de energia eléctrica e de consumo de gás natural, que são os dois tipos de energia facturados nos edifícios estudados. Como nalguns dos edifícios os consumos de energia eléctrica eram facturados em simultâneo, instalou-se contadores individuais em cada edifício com o objectivo de medir o consumo energético durante um período de tempo definido.

- Efectuou-se um levantamento dos dados necessários à caracterização dos edifícios para posteriormente efectuar-se uma simulação dinâmica, com a finalidade de obter os consumos energéticos nominais e classificar os edifícios energeticamente. Identificou-se as medidas de eficiência energética a adoptar para cada edifício.

Na Figura 14 encontra-se um fluxograma com o procedimento utilizado para a verificação do cumprimento dos requisitos energéticos do RSECE para edifícios de serviços.

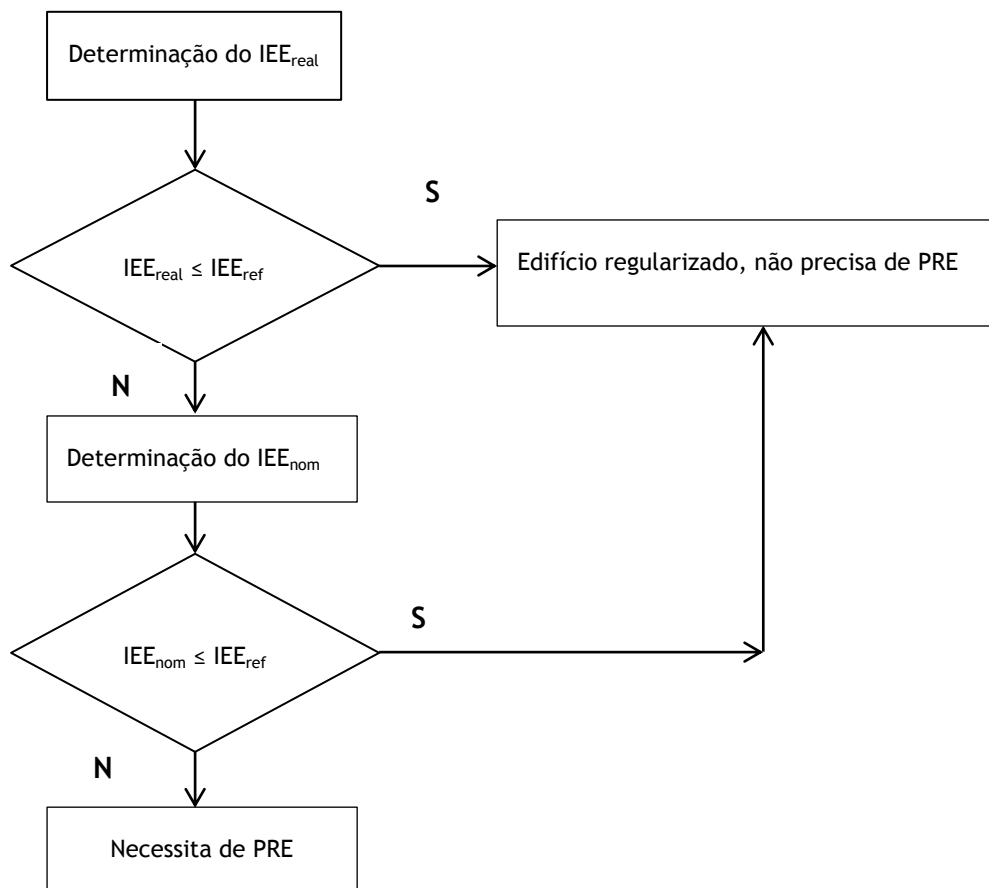


Figura 14 - Etapas para verificação do cumprimento dos requisitos energéticos (ADENE, 2008).

3.4 Auditoria Energética e Abordagem aos Consumos Reais

3.4.1. Auditoria energética

O processo de desenvolvimento de uma auditoria energética inclui os seguintes passos (EDP, 2011):

- Identificar e quantificar os tipos de energia consumidos pelo edifício, nomeadamente electricidade e gás natural;
- Caracterizar a conversão dessas formas de energia em energia final;

- Verificar se as condições de conforto térmico estão satisfeitas;
- Avaliar os consumos energéticos específicos de cada sector do edifício, nomeadamente o sector da iluminação e da climatização;
- Calcular o IEE do edifício utilizando os factores de correcção climática;
- Identificar possíveis medidas de racionalização energética com o objectivo de melhorar o desempenho energético do edifício.

Esta auditoria energética tem por finalidade quantificar os fluxos de energia de cada edifício para que se possa calcular inicialmente o IEE_{real} sem correcção climática, com base nos consumos energéticos totais do edifício e posteriormente o IEE_{real} com correcção climática utilizando os consumos energéticos de cada sector dos edifícios e de acordo com o posicionamento geográfico dos mesmos.

Dos quatro edifícios estudados, o único em que há informação relativa aos consumos de energia eléctrica através das facturas é o edifício A, consumos esses referentes aos anos de 2009 e 2010, como se pode verificar na Figura 15.

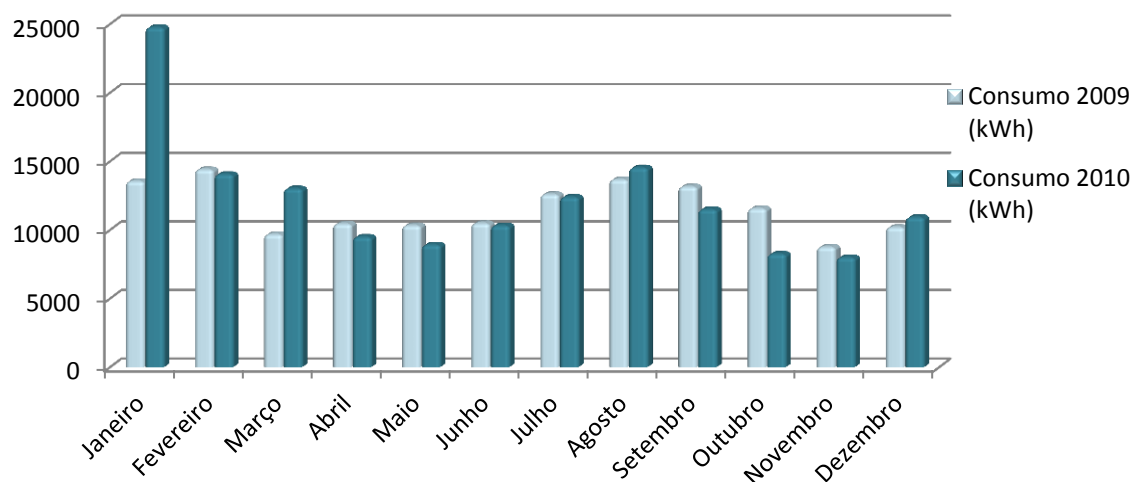


Figura 15 - Valores reais de consumo de electricidade no edifício A.

O consumo médio anual de energia eléctrica no edifício A é de 142705 kWh/ano.

Para os restantes edifícios, recorreu-se aos valores determinados pelos contadores individuais instalados propositadamente para esse efeito. Esses consumos estão apresentados na Tabela 6 e correspondem ao período de tempo indicado.

Não foi possível instalar contadores individuais no edifício B, de modo que não há informação disponível sobre os consumos reais de energia eléctrica deste edifício.

Tabela 6 - Valores do consumo eléctrico de cada edifício

Edifício	Consumos de energia eléctrica (kWh)	Tempo (dias)
B	-	-
C	743	15
D	3577	23

No edifício C registou-se os consumos gerais de iluminação e de climatização, sendo que a iluminação consome 45% dos consumos de energia eléctrica do edifício e o sector da climatização 8%, como se pode verificar na Figura 16.

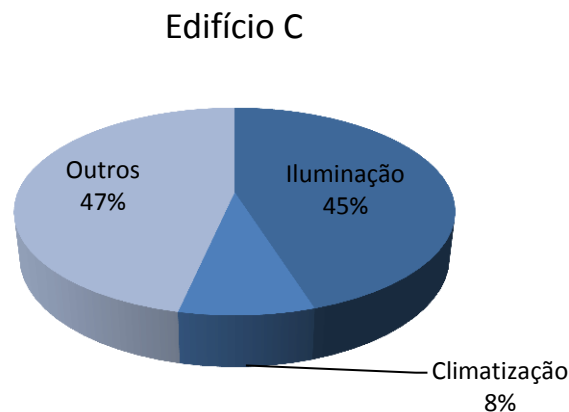


Figura 16 - Distribuição dos consumos de energia eléctrica no edifício C.

O consumo registado corresponde apenas ao período de 15 dias, extrapolando para 31 dias correspondentes ao mês de Maio, tem-se um consumo de 1536 kWh.

A partir dos dados relativos ao consumo de energia eléctrica no edifício A, calculou-se o peso dos consumos de cada mês no consumo anual, estando apresentados na Tabela 7. Considerando que a variação dos consumos ao longo do ano no edifício B, C e D é idêntica à do edifício A, calculou-se os consumos de energia eléctrica anual para cada um dos edifícios.

Tabela 7 - Distribuição dos consumos de energia eléctrica ao longo do ano para o edifício A

Mês	%
Janeiro	13,4
Fevereiro	10,0
Março	8,0
Abril	7,0
Maio	6,8
Junho	7,3
Julho	8,8
Agosto	9,9
Setembro	8,7
Outubro	7,0
Novembro	5,9
Dezembro	7,4

Assim, o edifício C apresenta um consumo de energia eléctrica de 22729 kWh/ano.

No edifício D registou-se apenas os consumos gerais e de climatização, sendo que a climatização consome 27% dos consumos de energia eléctrica do edifício, como se pode verificar na Figura 17.

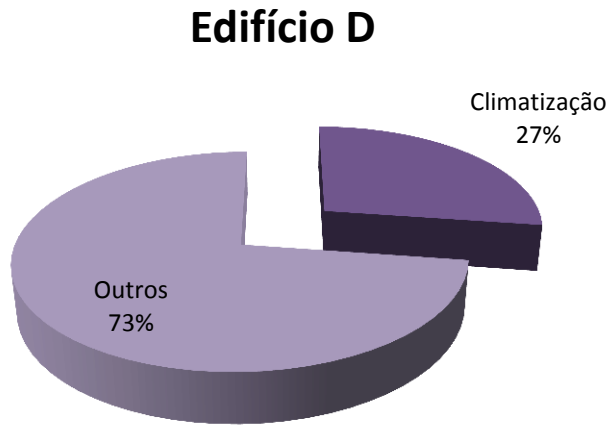


Figura 17 - Distribuição dos consumos de energia eléctrica no edifício D.

O consumo registado corresponde a um período de 23 dias, extrapolando para 31 dias correspondentes ao mês de Maio, tem-se um consumo de 4821 kWh.

Calculou-se os consumos de energia eléctrica anual para este edifício através do peso dos consumos mensais do edifício A e obteve-se o consumo de 71362 kWh/ano.

Apenas o edifício D é abastecido por gás natural, os consumos foram retirados das facturas do último ano (Abril de 2010 a Abril de 2011) estando apresentados na Figura 18.

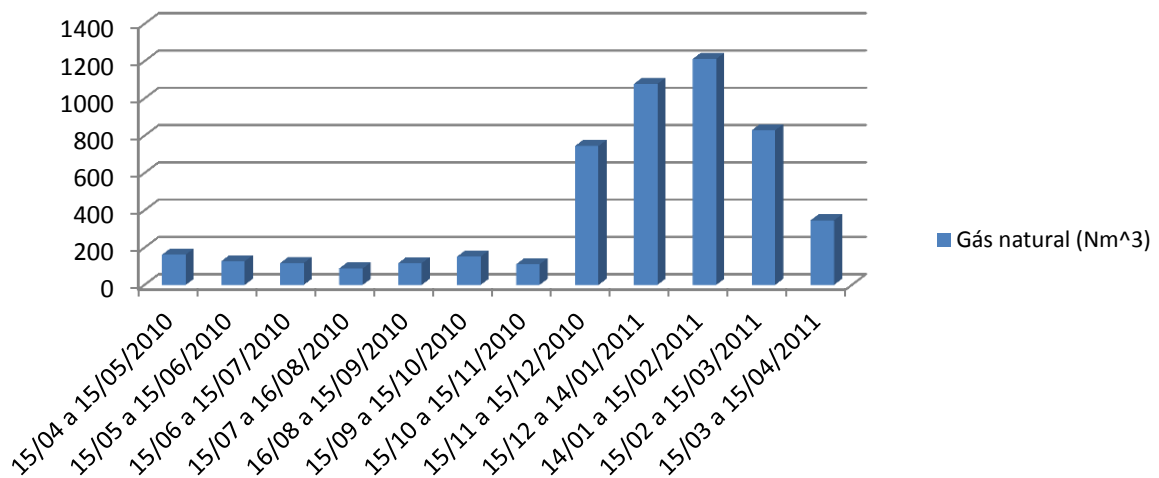


Figura 18 - Valores reais de consumo de gás natural para o edifício D.

O consumo de gás natural no edifício D é de 5085,4 Nm³/ano.

3.4.2. IEE_{real} sem correcção climática

O IEE_{real} sem correcção climática calcula-se através dos consumos globais obtidos, ou pelas facturas energéticas, ou pelo registo dos contadores individuais. Posteriormente estes consumos têm que ser convertidos para energia primária.

A determinação do IEE_{real} realiza-se através da seguinte expressão (RSECE, 2006):

$$IEE_{real} = \frac{Q_{global}}{A_p} \left(\frac{kg_{ep}}{m^2 \cdot ano} \right) \quad (3.1)$$

Q_{global} corresponde ao consumo energético total anual do edifício e A_p à sua área útil, estando esta apresentada na Tabela 8 para cada um dos edifícios.

Tabela 8 - Área útil de cada edifício

Edifício	Área útil (m ²)
A	650
B	347
C	211
D	425

Após a extrapolação dos consumos de energia eléctrica para 1 ano, é necessária a conversão das várias fontes de energia para energia primária, de modo a possibilitar a comparação das mesmas. Para isso utilizam-se os factores de conversão apresentados na Tabela 4. Estes factores de conversão contabilizam não só a energia consumida pelo utilizador final, como também a energia consumida desde a sua transformação/refinação e o seu transporte até ao utilizador final. Por esse motivo é que a utilização da energia eléctrica é penalizada.

Deste modo:

Edifício A

$$\text{Electricidade: } 142705 \frac{kWh}{ano} \times 0,29 \frac{kg_{ep}}{kWh} = 41385 \text{ kg}_{ep}/ano$$

Edifício C

$$\text{Electricidade: } 22729 \frac{kWh}{ano} \times 0,29 \frac{kg_{ep}}{kWh} = 6591 \text{ kg}_{ep}/ano$$

Edifício D

$$\text{Electricidade: } 71362 \frac{kWh}{ano} \times 0,29 \frac{kg_{ep}}{kWh} = 20695 \text{ kg}_{ep}/ano$$

$$\text{Gás Natural: } 5085 \text{ m}^3/ano \times 0,906 \frac{kg_{ep}}{\text{m}^3} = 4607 \text{ kg}_{ep}/ano$$

Após a conversão para energia primária calculou-se o IEE_{real} para cada edifício, estando estes apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores do IEE_{real} para os vários edifícios

Edifício	IEE_{real} (kgep.m ⁻² .ano ⁻¹)
A	63,67
B	-
C	31,24
D	59,54

Para verificar se os edifícios obedecem aos requisitos regulamentares do RSECE, é necessário comparar o IEE_{real} com o IEE_{ref} , sendo que só está regulamentar se o primeiro for igual ou inferior ao segundo.

Os IEE_{ref} para edifícios existentes encontram-se no Anexo X do RSECE, estando apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - $IEE_{ref\ exist}$ para os edifícios estudados

Edifício	Tipo de actividade	Tipologia do edifício	$IEE_{ref\ exist}$ (kgep.m ⁻² .ano ⁻¹)
A	Serviços	Escritórios	40
B	Serviços	Escritórios	40
C	Serviços	Escritórios	40
D	Serviços	Escritórios	40

Comparando o IEE_{real} com o IEE_{ref} verifica-se que apenas o edifício C está regulamentar, uma vez que é o único que verifica a condição $IEE_{real} \leq IEE_{ref}$

As emissões de CO₂ equivalente traduzem a quantidade anual estimada de GEE que pode ser libertada, sendo determinada usando o factor de conversão de 0,0012 toneladas equivalentes de CO₂ por kgep, como estão apresentadas na Tabela 11 (ADENE, 2011).

Tabela 11 - Emissões de CO₂ dos edifícios

Edifício	Emissões de CO ₂ (t/ano)
A	49,7
C	7,9
D	30,4

3.4.3. IEE_{real} com correcção climática

Os consumos associados à climatização são afectados pelo factor de correcção climática, uma vez que esses consumos dependem da zona climática em que o edifício se encontra. O IEE_{real} é calculado pela seguinte equação:

$$IEE = IEE_I + IEE_V + \frac{Q_{out}}{A_p} \quad (3.2)$$

Em que:

IEE_I - Indicador de eficiência energética de aquecimento;

IEE_V - Indicador de eficiência energética de arrefecimento;

Q_{out} - Consumo de energia não ligada ao aquecimento e arrefecimento (kgep/ano);

A_p - Área útil de pavimento (m^2).

Onde:

$$IEE_I = \frac{Q_{aq}}{A_p} \times F_{CI} \quad IEE_V = \frac{Q_{arr}}{A_p} \times F_{CV} \quad (3.3) \text{ e } (3.4)$$

Em que:

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

F_{CI} - Factor de correcção do consumo de energia de aquecimento;

Q_{arr} - Consumo de energia de arrefecimento;

F_{CV} - Factor de correcção do consumo de energia de arrefecimento.

Para o cálculo dos factores de correcção do consumo de energia de aquecimento e de arrefecimento (F_{CI} e F_{CV}), adopta-se como região climática de referência a região I1-V1norte, 1000 graus-dia de aquecimento e 160 dias de duração da estação de aquecimento segundo o RSECE.

$$F_{CI} = \frac{N_{I1}}{N_{Ii}} \quad F_{CV} = \frac{N_{V1}}{N_{Vi}} \quad (3.5) \text{ e } (3.6)$$

N_{Ii} - Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE para o edifício localizado na zona I1 ($kWh \cdot m^{-2} \cdot ano^{-1}$);

N_{II} - Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE para o edifício na zona onde está localizado ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{ano}^{-1}$);

N_{VI} - Necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE para o edifício localizado na zona V1 ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{ano}^{-1}$);

N_{Vi} - Necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE para o edifício na zona onde está localizado ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{ano}^{-1}$);

No cálculo do F_{CI} e F_{CV} é necessário primeiramente estimar o factor de forma (FF), em que este é definido como sendo o quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior (A_{ext}) e interior (A_{int}) do edifício com exigências térmicas e o respectivo volume interior (V). Deste modo, um edifício com um baixo factor de forma apresenta menores transferências de calor entre o exterior e o interior e por isso é mais eficiente.

$$FF = \frac{A_{\text{ext}} + \sum(\tau A_{\text{int}})}{V} \quad (3.7)$$

Tabela 12 - Factor de forma para vários tipos de edifício (Isolani, 2008b)

Tipo de edifício	Factor de forma
Casa independente	Cerca de 0,80
Casa geminada	Cerca de 0,65
Edifício de um piso	Cerca de 0,50
Edifício de vários pisos	Cerca de 0,30

Pela dificuldade em calcular o parâmetro τ , utilizou-se os valores do factor de forma simplificado, apresentados na Tabela 12. Posteriormente, através do artigo 15º do RCCTE calculou-se os parâmetros N_{Vi} , N_{VI} , N_{II} e N_{II} , assim como os valores dos parâmetros F_{CI} e F_{CV} pelas Equações 3.5 e 3.6, estando apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados dos parâmetros (FF , N_{Vi} , N_{VI} , N_{II} e N_{II} , F_{CI} e F_{CV})

Edifício	FF	N_{II} ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{ano}^{-1}$)	N_{Vi} ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{ano}^{-1}$)	N_{VI} ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{ano}^{-1}$)	N_{Vi} ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{ano}^{-1}$)	F_{CI}	F_{CV}
A	0,3	44	73,63	16	16	0,60	1
B	0,5	44	73,63	16	16	0,60	1
C	0,5	44	73,63	16	16	0,60	1
D	0,5	44	73,63	16	16	0,60	1

Uma vez que não existia informação relativa aos consumos de energia para aquecimento e arrefecimento separadamente, utilizou-se a informação dos consumos da climatização. Deste

modo considerou-se que a variação dos consumos do sector da climatização varia da mesma forma que os consumos de energia eléctrica do edifício, estando apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Consumos de energia para aquecimento e arrefecimento

Mês	Edifício do Jardim (kWh)	Edifício Social (kWh)
Janeiro	255	3592
Fevereiro	189	2669
Março	151	2129
Abril	133	1870
Maio	128	1806
Junho	138	1952
Julho	166	2344
Agosto	188	2646
Setembro	164	2313
Outubro	132	1859
Novembro	111	1572
Dezembro	140	1981

A estação de aquecimento para a zona onde estão situados os edifícios dura 7 meses, deste modo pode diferenciar-se os consumos de energia de aquecimento e de arrefecimento através da contabilização dos consumos dos meses de aquecimento e de arrefecimento.

Assim:

$$Q_{aq}(\text{Edifício C}) = 1111 \frac{kWh}{ano} \times 0,29 \frac{kg_{ep}}{kWh} = 322 \text{ kg}_{ep}/ano$$

$$Q_{arr}(\text{Edifício C}) = 784 \frac{kWh}{ano} \times 0,29 \frac{kg_{ep}}{kWh} = 227 \text{ kg}_{ep}/ano$$

$$Q_{aq}(\text{Edifício D}) = 15672 \frac{kWh}{ano} \times 0,29 \frac{kg_{ep}}{kWh} = 4545 \text{ kg}_{ep}/ano$$

$$Q_{arr}(\text{Edifício D}) = 11061 \frac{kWh}{ano} \times 0,29 \frac{kg_{ep}}{kWh} = 3208 \text{ kg}_{ep}/ano$$

De seguida calculou-se também o Q_{out} , o IEE_i , o IEE_v o IEE_{real} com correcção climática através das Equações 3.2, 3.3 e 3.4, estando apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Valores do IEE_{real} com correcção climática para os vários edifícios

Edifício	Q_{out} ($kg_{ep}.m^{-2}.ano^{-1}$)	IEE_i ($kg_{ep}.m^{-2}.ano^{-1}$)	IEE_v ($kg_{ep}.m^{-2}.ano^{-1}$)	IEE_{real} ($kg_{ep}.m^{-2}.ano^{-1}$)
A	-	-	-	-
B	-	-	-	-
C	6042	0,92	1,08	30,63
D	17549	6,41	7,55	55,25

Segundo o RSECE, a diferença de valores entre o IEE_{real} com correcção climática e o IEE_{real} sem correcção climática, não deve ser superior a 10%, o que se verifica.

Comparando o IEE_{real} com correcção climática com o IEE_{ref} verifica-se que apenas o edifício C continua a estar regulamentar, de modo que é necessário proceder a uma simulação dinâmica para os restantes edifícios, segundo o RCCTE.

3.5 Simulação Dinâmica Energética

3.5.1. Introdução

A simulação dinâmica energética realiza uma análise ao desempenho energético dos edifícios, permitindo avaliar de uma forma quantitativa, os consumos potenciais de energia de cada um dos edifícios em determinadas condições de utilização e funcionamento. Este método permite também determinar as necessidades de aquecimento e arrefecimento de um edifício, assim como os ganhos internos provenientes da sua utilização (ADENE, 2008).

Neste estudo adoptou-se a metodologia de uma simulação horária anual baseada no modelo monozona, implementado no programa RCCTE-STE (Simulação Térmica de Edifícios) distribuído pelo INETI. Utilizou-se o programa *Amorim Isol+*, em que o seu princípio de funcionamento é semelhante ao do RCCTE-STE (Amorim, 2011). O *Amorim Isol+* é um programa desenvolvido pela Amorim Isolamentos, da Corticeira Amorim em parceria com o ITeCons, tendo como finalidade o cálculo térmico com aglomerados de cortiça, sendo no entanto possível utilizar qualquer tipo de soluções.

Os edifícios abrangidos por este estudo foram sujeitos a simulações detalhadas utilizando metodologias que consideraram os seguintes elementos mínimos (RSECE, 2006):

- Características térmicas do edifício, nomeadamente da envolvente e das divisões internas;
- Instalações de aquecimento e fornecimento de água quente;
- Instalações de ar condicionado;
- Ventilação mecânica e natural;
- Instalação fixa de iluminação;
- Posição e orientação dos edifícios, incluindo condições climáticas exteriores;
- Sistemas solares passivos e de protecção solar;
- Condições climáticas interiores, incluindo as de projecto.

Esta aplicação baseia-se numa simulação horária anual (8760 horas) de um espaço monozona e calcula as necessidades de aquecimento e de arrefecimento necessárias para manter os edifícios à temperatura de referência (T_i) definida pelo RSECE para as estações de aquecimento e de arrefecimento.

3.5.2. O funcionamento do RCCTE-STE

A metodologia do RCCTE-STE tem por base um circuito de analogia reo-eléctrica como se pode verificar na Figura 19.

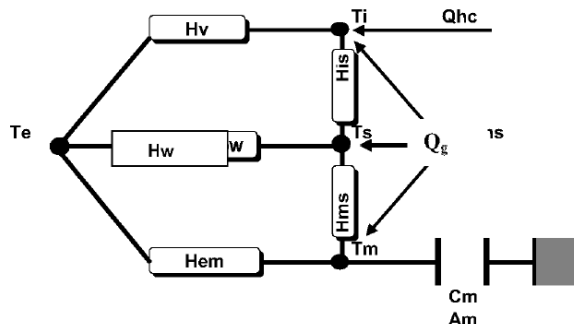


Figura 19 - Circuito de analogia reo-eléctrica do funcionamento do RCCTE-STE (RSECE, 2006).

Em que:

- T_i é a temperatura do interior do edifício;
- T_m é a temperatura média da massa térmica do espaço;
- T_s é a temperatura média nas superfícies interiores da envolvente;
- T_e é a temperatura exterior
- H_v é transferência de calor resultante das trocas de ar;
- H_w é transferência de calor através dos vãos envidraçados
- H_{em} é transferência de calor através dos elementos opacos (sem considerar os efeitos da radiação solar incidente);
- H_{ms} é transferência de calor entre a massa de armazenamento térmica e a superfície;
- H_{is} é a transferência de calor entre as superfícies interiores e o ar.

O programa de simulação térmica possui uma base de dados interna de anos climáticos horários, representativos para todos os concelhos de Portugal, incluindo as Regiões Autónomas. Este programa efectua um balanço dinâmico do espaço, contabilizando, em cada hora, o balanço entre as perdas e os ganhos térmicos, pelos vãos envidraçados e pela envolvente opaca, assim como os ganhos internos.

$$Q_{hc} = Q_v + Q_w + Q_{em} + Q_g \quad (3.8)$$

As várias componentes do balanço térmico representadas no diagrama são:

Q_{hc} é a energia necessária para a climatização, nomeadamente o aquecimento e a refrigeração (conforme o resultado do balanço horário do espaço);

Q_v são os ganhos ou perdas de calor correspondentes à renovação do ar, calculada a partir da taxa de renovação nominal aplicável (admitindo-se regime permanente, traduzido pela resistência H_v);

Q_w são os ganhos ou perdas de calor correspondente às trocas de calor por condução através dos vãos envidraçados (calculada conforme o modelo do RCCTE - Anexos IV e V, admitindo-se regime permanente, traduzido pela resistência H_w);

Q_{em} são os ganhos ou perdas de calor correspondente às trocas de calor por condução através da envolvente opaca (sem ter em conta o efeito da radiação solar incidente, admitindo-se regime permanente, resistência H_{em});

Q_g são os ganhos internos e externos, nomeadamente através da ocupação, dos equipamentos, iluminação, ganhos solares através dos envidraçados, ganhos solares através da envolvente opaca. Relativamente aos ganhos internos, o Anexo XV do RSECE estabelece padrões de referência dependendo da tipologia do edifício no que diz respeito aos ocupantes, iluminação e equipamentos.

O *Amorim Isol+* foi portanto utilizado neste estudo para realizar a simulação dinâmica energética a cada um dos edifícios. Para isso foi necessário efectuar o levantamento da informação descrita anteriormente, nomeadamente das dimensões e características da envolvente dos edifícios, das paredes interiores, coberturas e pavimentos, vãos envidraçados e sistemas de climatização.

3.5.3. Envolvente exterior

A envolvente tanto pode ser interior como exterior. Segundo o RCCTE, a envolvente exterior é o conjunto dos elementos do edifício ou fracção autónoma que estabelecem a fronteira entre o espaço interior e o espaço exterior, sendo que a envolvente interior é a fronteira que separa a fracção autónoma de ambientes não climatizados.

A envolvente exterior é constituída por:

- **Área de cobertura** - é a área, medida pelo interior, dos elementos opacos da envolvente horizontal ou com inclinação inferior a 60° que separam superiormente o espaço útil do exterior ou de espaços não úteis adjacentes.
- **Área de paredes** - é a área, medida pelo interior, dos elementos opacos da envolvente vertical ou com inclinação superior a 60° que separam o espaço útil do exterior, de outros edifícios, ou de espaços não úteis adjacentes.
- **Área de pavimento** - é a área, medida pelo interior, dos elementos da envolvente que separam inferiormente o espaço útil do exterior ou de espaços não úteis adjacentes.
- **Área de vãos envidraçados** - é a área, medida pelo interior, das zonas não opacas da envolvente de um edifício (ou fracção autónoma), incluindo os respectivos caixilhos.

Relativamente à envolvente exterior do edifício A, sendo este um edifício oval, considerou-se que era constituído apenas por duas paredes (uma orientada a Sudeste e outra orientada a Noroeste).

Todas as paredes interiores foram contabilizadas para cada edifício. Uma vez que todas elas são paredes úteis, foram todas consideradas como sendo apenas uma parede de modo a simplificar a simulação. Deste modo, a área dessa parede é a soma das áreas de todas as paredes interiores para cada um dos edifícios.

No que diz respeito aos vãos envidraçados, foram todos considerados e somados para cada parede exterior e para cada edifício, uma vez que continham todos as mesmas características.

De seguida apresenta-se uma descrição simplificada da simulação energética, sendo que a descrição detalhada pode se consultada no Anexo C.

3.5.4. Perdas térmicas pelas paredes exteriores e pela cobertura

A quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária de um elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa, é definida como sendo o coeficiente de transmissão térmica ou de transferência de calor, segundo o RCCTE. Os coeficientes de transferência de calor (U) das paredes exteriores dos edifícios estudados estão apresentados na Tabela 16, 17 e 18.

As diferenças de temperatura entre o interior e o exterior dos edifícios têm como consequência a existência de perdas de calor pelas paredes e coberturas.

Tabela 16 - Perdas térmicas pelas paredes e cobertura do edifício A

Paredes exteriores	Área (m ²)	U (W.m ⁻² .°C ⁻¹)	U.A (W/°C)	U máx (W.m ⁻² .°C ⁻¹)	Regulamentar
Parede orientada a Sudeste	315,0	1,9	598,5	1,6	Não
Parede orientada a Noroeste	338,0	1,9	642,2	1,6	Não
Cobertura	250,0	1	250,0	1	Sim

Tabela 17 - Perdas térmicas pelas paredes e cobertura do edifício B

Paredes exteriores	Área (m ²)	U (W.m ⁻² .°C ⁻¹)	U.A (W/°C)	U máx (W.m ⁻² .°C ⁻¹)	Regulamentar
Parede orientada a Sudoeste	72,6	1,9	137,9	1,6	Não
Parede orientada a Nordeste	74,3	1,9	141,1	1,6	Não
Parede orientada a Noroeste	54,0	1,9	102,6	1,6	Não
Parede orientada a Sudeste	53,1	1,9	100,8	1,6	Não
Cobertura	428,0	1,3	556,4	1	Não

Tabela 18 - Perdas térmicas pelas paredes e cobertura do edifício D

Paredes exteriores	Área (m ²)	U (W.m ⁻² .°C ⁻¹)	U.A (W/°C)	U máx (W.m ⁻² .°C ⁻¹)	Regulamentar
Parede orientada a Sudoeste	75,0	1,9	142,5	1,6	Não
Parede orientada a Nordeste	75,0	1,9	142,5	1,6	Não
Parede orientada a Noroeste	54,0	1,9	102,6	1,6	Não
Parede orientada a Sudeste	54,0	1,9	102,6	1,6	Não
Cobertura	446,0	1,3	579,8	1	Não

Para estar em conformidade com o RCCTE, o valor do coeficiente de transferência de calor têm que ser igual ou inferior ao coeficiente de transferência de calor máximo para cada parede ou cobertura. Deste modo verifica-se que apenas a cobertura do edifício A está de acordo com o RCCTE.

Pode-se verificar também, com base nestes resultados, que as perdas térmicas pela cobertura dos edifícios B e D são superiores às perdas térmicas pelas paredes exteriores, o que evidencia uma especial importância na reabilitação destas coberturas.

3.5.5. Perdas térmicas pelas pontes térmicas lineares

Uma ponte térmica linear corresponde à ligação de dois elementos construtivos exteriores e é uma singularidade da envolvente em que o fluxo térmico é bi- ou tridimensional similar a uma perda térmica por unidade de comprimento (Psi). A ponte térmica é quantificada

multiplicando o valor do coeficiente de transmissão térmica linear (ψ) pelo respectivo desenvolvimento (comprimento da ponte térmica) (RCCTE, 2006).

Segundo a ADENE, as perdas através das pontes térmicas lineares têm uma reduzida influência no balanço energético global do edifício e uma vez que existem limitações práticas na sua parametrização, considerou-se após a realização da simulação dinâmica um acréscimo de 5% nos consumos de energia de aquecimento (NT-SCE-01, 2009).

3.5.6. Perdas térmicas pelas pontes térmicas planas

Uma ponte térmica plana é uma heterogeneidade inserida na corrente da envolvente exterior ou da envolvente interior em contacto com espaços não úteis, tais como pilares, talões de viga e caixas de estore, por onde se considera uma perda térmica unidimensional por unidade de área de superfície. A ponte térmica plana é quantificada multiplicando o valor de U pela respectiva área. Uma vez que houve dificuldade em identificar as pontes térmicas, aumentou-se em 5% consumos de energia de aquecimento.

3.5.7. Perdas térmicas pelo pavimento

Os pavimentos existentes nos edifícios estão em contacto como o solo, de modo que as perdas térmicas calculam-se a partir do coeficiente de transmissão térmica linear (ψ) e do perímetro do pavimento, estando apresentadas na Tabela 19.

O coeficiente de transmissão térmica linear é função da diferença de nível entre a face superior do pavimento e a cota do terreno exterior, sendo que o valor da cota é negativo sempre que a cota do pavimento for inferior á do terreno exterior, e positivo no caso contrário.

Tabela 19 - Perdas pelo pavimento dos edifícios

Edifício	Comprimento B (m)	ψ (W/°C)	$\psi \cdot B$ (W/°C)
A	64,5	2,5	161,3
B	89,5	2,5	223,8
D	86,3	2,5	215,6

3.5.8. Perdas térmicas pelos vãos envidraçados

Uma parte significativa das perdas térmicas dos edifícios está associada aos vãos envidraçados. Estas perdas dependem de vários factores, entre os quais o tipo de caixilharia e de vidro, nomeadamente se é simples ou duplo, sendo determinadas da mesma forma que a as perdas das paredes e coberturas, estando apresentadas nas Tabelas 20, 21, 22 e 23.

Tabela 20 - Perdas pelos vãos envidraçados no edifício A

Vãos envidraçados	Área (m ²)	U (W.m ⁻² .°C ⁻¹)	U.A (W/°C)
Vãos a Sudeste	168,0	3,7	621,6
Vãos a Noroeste	130,0	3,7	481,0

Tabela 21 - Perdas pelos vãos envidraçados no edifício B

Vãos envidraçados	Área (m ²)	U (W.m ⁻² .°C ⁻¹)	U.A (W/°C)
Vãos a Sudoeste	22,1	3,7	81,6
Vãos a Nordeste	22,1	3,7	81,6
Vãos a Noroeste	8,8	3,7	32,6
Vãos a Sudeste	12,3	3,7	45,6

Tabela 22 - Perdas pelos vãos envidraçados no edifício C

Vãos envidraçados	Área (m ²)	U (W.m ⁻² .°C ⁻¹)	U.A (W/°C)
Vãos a Sul	17,0	5,1	86,7
Vãos a Norte	12,0	5,1	61,4

Tabela 23 - Perdas pelos vãos envidraçados no edifício D

Vãos envidraçados	Área (m ²)	U (W.m ⁻² .°C ⁻¹)	U.A (W/°C)
Vãos a Sudoeste	22,9	3,7	84,8
Vãos a Nordeste	22,1	3,7	81,6
Vãos a Noroeste	8,9	3,7	32,7
Vãos a Sudeste	12,3	3,7	45,6

Pode verificar-se, com base na comparação dos coeficientes de transferência de calor do edifício C com o dos restantes edifícios, que as perdas térmicas num vão envidraçado mal isolado e de vidro simples (Edifício C) são cerca de 30% maiores do que e as perdas térmicas num vão envidraçado bem isolado e de vidro duplo.

3.5.9. Perdas térmicas pela renovação do ar

Uma vez que a temperatura média exterior durante o Inverno é sempre inferior à temperatura interior de referência, existem perdas térmicas na ventilação dos edifícios.

Os edifícios em estudo são ventilados naturalmente, mas não de acordo com a norma NP 1037-1.

As perdas associadas à renovação do ar interior são calculadas através da taxa de renovação nominal (RPH) e do volume do edifício e estão apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24 - Perdas térmicas associadas à renovação de ar dos edifícios

Edifício	RPH (h ⁻¹)	Volume (m ³)	Perdas (W/°C)
A	1,00	2242,5	762,5
B	1,05	1040,0	371,3
D	0,95	1275	411,8

As perdas térmicas totais para cada edifício são calculadas através do produto entre as perdas específicas totais e a diferença de temperatura entre o interior e o exterior, estando apresentadas na Tabela 25.

Tabela 25 - Perdas térmicas totais de cada edifício

Edifício	Perdas associadas às paredes exteriores (W/°C)	Perdas associadas aos pavimentos (W/°C)	Perdas associadas às coberturas exteriores (W/°C)	Perdas associadas aos vãos envidraçados (W/°C)	Perdas associadas à renovação do ar (W/°C)	Diferença de temperatura interior-exterior (°C)	Perdas térmicas totais (W/°C)
A	1240,7	161,3	215,0	1102,6	762,45	6	61172,65
B	482,4	223,8	470,8	241,4	371,30	6	31441,45
D	490,2	215,6	490,6	233,7	411,80	6	32358,50

Pode-se verificar que as perdas térmicas totais do edifício B e as perdas térmicas totais do edifício D são semelhantes, já as perdas térmicas totais do edifício A são o dobro dos restantes edifícios, o que se deve essencialmente ao facto de possuir uma maior área de paredes exteriores e ter também uma maior área de vãos envidraçados.

3.5.10. Ganhos solares pela envolvente opaca

A envolvente opaca é fonte de ganhos térmicos resultantes dos efeitos combinados da temperatura do ar exterior e da radiação solar incidente.

Estes ganhos dependem maioritariamente do coeficiente de transferência de calor do elemento da envolvente, da sua área, do coeficiente de absorção da superfície (cor) e da intensidade de radiação solar instantânea incidente em cada orientação e estão apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 - Ganhos solares totais pela envolvente opaca

Edifício	Paredes exteriores	Área (m ²)	U (W.m ⁻² .°C ⁻¹)	Coefficiente de absorção α	Int. da rad. solar (est. Arrefec.)	Ganhos totais/ano (kWh)
A	Orientada a Sudeste	315	1,9	0,5	430	11511,5
	Orientada a Noroeste	338	1,9	0,5	300	
	Cobertura	250	1	0,4	730	
B	Orientada a Sudoeste	72,6	1,9	0,4	430	13809,9
	Orientada a Nordeste	74,3	1,9	0,4	300	
	Orientada a Noroeste	54,0	1,9	0,4	300	
	Orientada a Sudeste	53,1	1,9	0,4	430	
	Cobertura	428,0	1,3	0,8	730	
D	Orientada a Sudoeste	75,0	1,9	0,4	430	14323,2
	Orientada a Nordeste	75,0	1,9	0,4	300	
	Orientada a Noroeste	54,0	1,9	0,4	300	
	Orientada a Sudeste	54,0	1,9	0,4	430	
	Cobertura	446,0	1,3	0,8	730	

3.5.11. Ganhos úteis através dos vãos envidraçados

Os vãos envidraçados são não somente uma fonte de perdas térmicas, mas também de ganhos térmicos. No cálculo destes ganhos determina-se a área efectiva (A_e) de cada edifício através da seguinte fórmula:

$$A_e = A \times F_s \times F_g \times F_w \times g^\perp \quad (3.9)$$

Em que:

A → Área do total dos vãos envidraçados naquela orientação;

F_s → Factor de obstrução, que varia consoante a orientação;

F_g → Fracção envidraçada, que traduz a redução da transmissão da energia solar associada à existência da caixilharia, sendo dada pela relação entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado;

F_w → Factor de correcção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar directa;

g^\perp → Factor solar do vão envidraçado, que tem em contas eventuais dispositivos de protecção solar.

O factor de obstrução (F_s) representa a redução de radiação solar que incide no vão envidraçado devido ao sombreamento permanente causado por diferentes obstáculos, sejam

eles outros edifícios, vegetação, ou outras obstruções. Deste modo o F_s é calculado da seguinte forma:

$$F_s = F_h \times F_0 \times F_f \quad (3.10)$$

Em que:

F_h → Factor de sombreamento do horizonte por obstruções longínquas;

F_0 → Factor de sombreamento por elementos horizontais (palas, varandas);

F_f → Factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes (palas verticais, entre outros).

Foram calculados os ganhos úteis através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento (Inverno) assim como os ganhos internos brutos resultantes de fontes internas, nomeadamente os ganhos de calor associados ao metabolismo dos ocupantes e o calor dissipado nos equipamentos e dispositivos de iluminação, estando apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Ganhos térmicos totais úteis na estação de aquecimento para cada edifício

Edifício	Ganhos solares brutos (kWh/ano)	Ganhos internos brutos (kWh/ano)	Ganhos totais úteis (kWh/ano)
A	32040,8	22932	48757,3
B	6009,2	12230,2	17215,2
D	6174,6	14994	19741,4

Verifica-se que o edifício A é o edifício que apresenta maiores ganhos úteis, devendo-se principalmente ao facto de possuir uma elevada área de envidraçados e à sua orientação.

Para a verificação dos requisitos mínimos da envolvente envidraçada, o factor solar do vão envidraçado com protecção 100% activa ($g_{100\%}$) tem que ser igual ou inferior ao factor solar máximo ($g_{m\acute{a}x}$), estando estes valores apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 - Factores solares dos vãos envidraçados com protecção 100% activa ($g_{100\%}$)

Edifício	Envidraçado	$g_{100\%}$	$g_{m\acute{a}x}$	Regulamentar
A	SW	0,39	0,15	Não
	NW	0,39	-	Sim
	SW	0,32	0,15	Não
B	NE	0,32	-	Sim
	NW	0,32	-	Sim
	SE	0,32	0,15	Não
D	SW	0,32	0,15	Não
	NE	0,32	-	Sim
	NW	0,32	-	Sim
	SE	0,32	0,15	Não

Pode-se verificar que só quando não há valores máximos impostos pelo RCCTE é que os requisitos mínimos estão regulamentares.

3.5.12. Sistemas de aquecimento e de arrefecimento

A temperatura no interior dos edifícios deve estar dentro dos limites de conforto, que segundo o RCCTE é de 20 °C no Inverno e de 25 °C e 50% de humidade relativa no Verão. Para verificar essas condições pode ser necessário fornecer ou retirar calor do interior do edifício.

Os edifícios abrangidos por este estudo são climatizados através dos equipamentos apresentados na Tabela 29.

Tabela 29 - Parâmetros relativos aos sistemas de climatização de cada edifício

Edifício	Quantidade	Tipo	Frio (kW)	Calor (kW)
B	1	Unid. Cond.	3.52	3.81
	1		1.45	1.3
	3	SPLIT	4.8	3,1
	2	SPLIT	1.5	2,0
	1	SPLIT	4.8	6.0
	3	SPLIT	3.5	4.0
C	1	Bomba de calor	44.1	50.9
A	1	Chiller	22,38	-
	1	UTAN	28.1	29.4
	18	Fan Coil	-	0,9
	2	SPILT	5	5,8
	1	UTA	-	2,4
	1	Ventilo convector	-	1,92
	2	Bombas de Circulação	1,5	1,5
D	1	SPILT	10,2	10,5
	1	SPILT	5,27	5,27
	1	SPILT	5,27	5,27
	2	SPILT	1,05	1,05

Os *Chillers* funcionam a electricidade e produzem água quente e refrigerada para climatização e as bombas de circulação asseguram a circulação da água no circuito hidráulico.

As UTAN (Unidades de Tratamento de Ar Novo) insuflam ar novo aquecido ou arrefecido através de difusores e as UTA's tratam o ar existente no interior do edifício.

Os ventiloconvectores aquecem e arrefecem o ar interior.

Os sistemas de climatização *SPLIT* são sistemas individuais de ar condicionado.

3.5.13. Inércia térmica

Como foi referido no Capítulo 2, a inércia térmica (I_t) desempenha um papel importante na eficiência energética do edifício, quanto maior for a inércia do edifício maiores são os ganhos úteis e menores são as cargas térmicas, o que faz com que os valores de N_{ic} e de N_{vc} sejam menores. A inércia térmica tem também influência nos factores solares mínimos dos vãos envidraçados, de modo que quanto maior for a inércia, maiores são os factores mínimos admissíveis.

O RCCTE considera uma classe de inércia térmica fraca, aquela que tiver uma massa superficial útil por m^2 de área útil de pavimento inferior a 150 kg/m^2 , média entre 150 kg/m^2 e 400 kg/m^2 e forte superior a 400 kg/m^2 .

As paredes dos edifícios A, B e D possuem uma inércia térmica fraca, as coberturas e pavimento possuem uma inércia térmica média.

3.5.14. Necessidades nominais de aquecimento, arrefecimento, AQS e energia primária

Os ganhos e perdas térmicas de cada edifício são utilizados para calcular as suas necessidades nominais de arrefecimento e de aquecimento.

Os valores das necessidades nominais de energia útil para aquecimento, arrefecimento e AQS assim como os valores limites para essas necessidades foram calculados conforme o RCCTE.

N_i - Valor limite das necessidades nominais de energia útil para aquecimento;

N_v - Valor limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento;

N_a - Valor limite das necessidades de energia para preparação de AQS;

N_{ic} - Valor das necessidades nominais de aquecimento;

N_{vc} - Valor das necessidades nominais de arrefecimento;

N_{ac} - Valor das necessidades nominais de preparação de AQS;

N_{tc} - Valor das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária;

N_t - Valor limite das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária.

Em cada edifício, o valor de N_{tc} não deve ser superior ao valor de N_t , calculado com base nos valores de N_i , N_v , e de N_a , estando apresentados nas Tabelas 30, 31 e 32.

Tabela 30 - Necessidades nominais de energia do edifício A

Necessidades nominais de energia útil	Valores estimados para as condições de conforto térmico de referência	Valores limite regulamentar para as necessidades anuais	Regulamentar
Aquecimento	$N_{ic} = 167,5 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	$N_i = 75,9 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	Não
Arrefecimento	$N_{vc} = 20,2 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	$N_v = 16 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	Não
AQS	$N_{ac} = 2,9 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	$N_a = 3,6 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	Sim
Energia Primária	$N_{tc} = 2,3 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	$N_t = 1,3 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	Não

Tabela 31 - Necessidades nominais de energia do edifício B

Necessidades nominais de energia útil	Valores estimados para as condições de conforto térmico de referência	Valores limite regulamentar para as necessidades anuais	Regulamentar
Aquecimento	$N_{ic} = 195,3 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	$N_i = 87,8 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	Não
Arrefecimento	$N_{vc} = 24,2 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	$N_v = 16 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	Não
Energia Primária	$N_{tc} = 1,6 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	$N_t = 0,9 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	Não

Tabela 32 - Necessidades nominais de energia do edifício D

Necessidades nominais de energia útil	Valores estimados para as condições de conforto térmico de referência	Valores limite regulamentar para as necessidades anuais	Regulamentar
Aquecimento	$N_{ic} = 158,8 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	$N_i = 80,2 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	Não
Arrefecimento	$N_{vc} = 20,3 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	$N_v = 16 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	Não
Energia Primária	$N_{tc} = 1,4 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	$N_t = 0,9 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$	Não

No edifício D optou-se por excluir a contabilização das necessidades de energia útil para a preparação de AQS, uma vez que sendo este edifício destinado maioritariamente a balneários, os seus gastos com AQS são superiores aos gastos de um edifício de escritórios comum, pelo que o valor de N_a seria irreal.

Para atingir os requisitos regulamentares, os edifícios devem cumprir cumulativamente com os valores limite de energia para aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e energia primária. Deste modo nenhum dos edifícios está regulamentar de acordo com o RCCTE.

3.5.15. Classificação energética dos edifícios

Segundo o Despacho n.º 10250/2008, os edifícios A, B e C, são objecto de Certificado Energético (CE) e de Declaração de Conformidade Regulamentar (DCR) do tipo B e a sua classe energética é determinada segundo as seguintes variáveis:

- Valor do IEE_{nom} , calculado com base nos padrões nominais de utilização definidos no Anexo XV do RSECE;
- Valor do IEE_{ref} para edifícios novos segundo o Anexo XI do RSECE;
- Valor do parâmetro S, como está definido no Anexo IV do referido despacho.

O indicador de eficiência energética de referência para edifícios novos com a tipologia dos edifícios em estudo é de $35 \text{ kgep.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, segundo o RSECE.

Como foi referido anteriormente, o valor do parâmetro S está definido no Anexo IV do Despacho n.º 10250/2008 e toma para edifícios de escritórios equipados com sistemas de aquecimento e arrefecimento, o valor de $S=15$. Estando as 3 variáveis necessárias calculadas, através da Figura 8 determina-se a sua classe energética.

O edifício D é o único que possui um sistema de climatização de potência inferior a 25 kW, o que faz com que seja objecto de CE e de DCR do tipo A, a sua classe energética é determinada através da Figura 9, em que o R é determinado pela expressão $R = \frac{N_{tc}}{N_t}$. Não se considerou a energia útil para a preparação de AQS, de modo que a sua classificação energética tem um erro associado.

Relativamente ao edifício A, não há informação acerca do peso do sector da climatização no consumo total de energia do edifício, deste modo a realização da simulação energética não permitiu o cálculo do seu IEE_{nom} . Assim não se pode classificar energeticamente o edifício de uma forma correcta, uma vez que o único IEE determinado é o IEE_{real} sem correcção climática. Utilizando-se este valor em vez do IEE_{nom} , estar-se-ia a cometer um erro elevado. De qualquer forma pode-se classificá-lo energeticamente através da metodologia utilizada pelos edifícios com uma potência de climatização inferior a 25 kW, o que não corresponde à realidade para este edifício, pelo que esta classificação energética serve apenas para orientação.

O edifício B não pode ser classificado energeticamente uma vez que não existe informação suficiente para fazê-lo pela metodologia adequada para o seu tipo, no entanto classificou-se da mesma forma que o edifício A.

Como o edifício C está regulamentar não necessita de ser submetido a uma simulação energética. De qualquer modo, o programa *Amorim Isol+* não está adaptado para edifícios construídos em madeira. Assim, este edifício é classificado energeticamente através do seu

IEE_{real} com correcção climática de acordo com a Tabela 15 e utilizando o IEE_{ref} para edifícios existentes.

As classificações energéticas para os edifícios em estudo estão apresentadas na Tabela 33.

Tabela 33 - IEE e classificação energética dos edifícios

Edifício	IEE_{real} sem correcção climática ($kgep.m^{-2}.ano^{-1}$)	IEE_{real} com correcção climática ($kgep.m^{-2}.ano^{-1}$)	IEE_{nom} ($kgep.m^{-2}.ano^{-1}$)	Classificação energética
A	63,67	-	-	<u>D</u>
B	-	-	-	<u>D</u>
C	31,24	30,63	-	A
D	59,54	55,25	42,81	C

3.6 Medidas de Melhoria da Eficiência Energética

3.6.1. Plano de racionalização energética (PRE)

Segundo o RSECE, os edifícios em que o seu IEE_{nom} seja superior ao IEE_{ref} necessitam da elaboração de um Plano de Racionalização Energética (PRE). Um PRE é um conjunto de medidas de racionalização energética com vista à redução dos consumos ou custos de energia. As medidas que tenham um Período de Retorno Simples (PRS) devem ser implementadas, sendo este período igual ou inferior a 8 anos (ADENE, 2008).

Esse PRE mede a viabilidade económica das medidas de eficiência energética a implementar e é determinado pela Equação 3.11.

$$PRS = \frac{C_a}{P} \quad (3.11)$$

Em que:

C_a é o custo adicional de investimento, calculado pela diferença entre o custo inicial da solução base, isto é, sem a alternativa de maior eficiência energética e o da solução mais eficiente, estimada aquando da construção do sistema com base na melhor informação técnica e orçamental ao dispor do projectista;

P é a poupança anual resultante da aplicação da alternativa mais eficiente, estimada com base em simulações anuais, detalhadas ou simplificadas do funcionamento do edifício e dos seus sistemas energéticos, conforme aplicável em função da tipologia e área útil do edifício nos termos do RSECE, da situação base e da situação com a solução mais eficiente.

Segundo a Nota Técnica NT-SCE-01, deve-se proceder à identificação e estudo de oportunidades de melhoria de desempenho energético do edifício ou fracção autónoma, devendo seguir-se a seguinte ordem de actuação:

- Correção de patologias construtivas;
- Redução das necessidades de energia útil por intervenção na envolvente;
- A utilização de energias renováveis;
- A eficiência dos sistemas.

Neste estudo não se pretende realizar Planos de Racionalização Energética pela dificuldade em identificar quantitativamente os custos de investimento em acções de melhoria, assim como a redução dos consumos, pretendendo-se apenas identificar soluções de eficiência energética de acordo com os consumos de energia dos edifícios, não estudando a sua viabilidade económica.

3.6.2. Identificação das soluções

Para gerir eficientemente um edifício do ponto de vista energético é necessário identificar tão bem quanto possível a quantidade de energia consumida e de que forma está a ser consumida. Assim, depois de se efectuar o levantamento energético de cada edifício, pode tomar-se decisões sobre as possíveis alterações a realizar para melhorar a sua eficiência energética.

Segundo *Isolani, 2008a*, de uma forma genérica o consumo de energia dos edifícios de serviços pode ser reduzido da seguinte forma:

- Melhoria das suas características construtivas, reduzindo assim as necessidades energéticas em aquecimento e arrefecimento ambiente;
- Utilização de equipamentos energeticamente mais eficientes e de menor consumo;
- Medidas de gestão da procura, no sentido de reduzir os consumos energéticos na utilização dos equipamentos.

Do ponto de vista bioclimático, a zona onde se situam os edifícios em estudo (I_2-V_1) é uma zona em que a influência marítima ameniza o Verão, sendo o Inverno mais exigente que o Verão. Assim deve-se motivar uma maior capacidade do edifício para absorver ganhos de radiação solar. No Verão, devido à preponderância da influência estabilizadora marítima, verificam-se junto à costa menores amplitudes térmicas diárias. É importante dotar os edifícios de níveis elevados de isolamento e os envidraçados devem ser dotados de sombreamentos eficazes de modo a restringir ganhos solares no Verão (Gonçalves e Graça, 2004).

Tabela 34 - Soluções bioclimáticas para os edifícios da zona climática I2-V1 (Gonçalves e Graça, 2004)

Estação	Estratégias Bioclimáticas	Sistemas Passivos
Inverno - Estação de Aquecimento	Promover ganhos solares	Todos os sistemas de ganho são adequados para os tipos de edifícios mais convenientes
	Restringir perdas por condução	Isolar envolvente
	Promover inércia forte	Paredes pesadas com isolamento pelo exterior
Verão - Estação de Arrefecimento	Restringir ganhos solares	Sombrear envidraçados
	Restringir ganhos por condução	Isolar envolvente
	Ventilação	Ventilação transversal (nocturna) Tubos enterrados
	Promover inércia forte	Paredes pesadas com isolamento pelo exterior

Como mostra a Tabela 34, para os edifícios situados na zona climática onde se encontram os edifícios em estudo, é de extrema importância o isolamento adequado da envolvente.

3.6.3. Análise energética e medidas de melhoria para o edifício A

O edifício A está orientado a Sudeste, contendo esta fachada mais de 50% de envidraçados. Esta orientação e quantidade de vãos envidraçados permitem que o edifício beneficie de grandes quantidades de radiação solar no Inverno. Para controlar melhor a quantidade de radiação solar no Verão, este edifício possui sombreamentos exteriores sobre os vãos envidraçados. No entanto, a fachada orientada a Noroeste contém também uma elevada percentagem de vãos envidraçados, o que pode ser uma fonte de perdas térmicas no Inverno.

Neste edifício não há disponível informação relativa ao peso de cada sector de consumo de energia, sabendo-se apenas o consumo energético geral do edifício, o que dificulta a identificação das melhores medidas de eficiência energética a tomar.

Através da simulação dinâmica energética verificou-se que tanto as necessidades nominais de aquecimento como as necessidades nominais de arrefecimento estão acima das necessidades nominais máximas para este edifício, que se deve entre outros, ao facto de não haver isolamento térmico nas paredes da envolvente exterior. Deste modo, sabe-se que é

necessário incidir sobre o sector da climatização, actuando ao nível da envolvente exterior, nomeadamente ao nível do isolamento térmico das paredes e da sua cobertura.

Actuação na envolvente exterior

As paredes exteriores deste edifício são revestidas por chapas metálicas. Sendo os metais bons condutores de calor, este revestimento prejudica termicamente o edifício, contribuindo para o aumento da temperatura interior no Verão e consequentemente aumento dos gastos de energia no seu arrefecimento.

Assim sendo, deve-se optar pela reabilitação das paredes exteriores do edifício através da substituição das chapas metálicas pela aplicação de um isolante térmico exterior. Esta medida apesar de modificar a estética exterior do edifício, é uma boa solução uma vez que contribui significativamente para o aumento da eficiência térmica do edifício, eliminando também as pontes térmicas existentes e reduzindo os riscos de condensação.

Para a implementação desta medida, optou-se pelo revestimento independente com interposição de um isolante térmico no espaço de ar (Figura 20), atendendo ao facto das paredes do edifício não serem planas e também de não alterar significativamente o estilo arquitectónico do edifício.

Na implementação desta solução, o revestimento independente exterior mecanicamente fixado à parede através de uma estrutura secundária, protege o isolamento térmico contra a acção da chuva. O revestimento pode ser contínuo ou descontínuo. Optou-se por esta última para poder-se reutilizar as placas metálicas do edifício, sendo que o isolamento térmico instala-se entre a parede e o revestimento, deixando-se um espaço de ar entre eles.

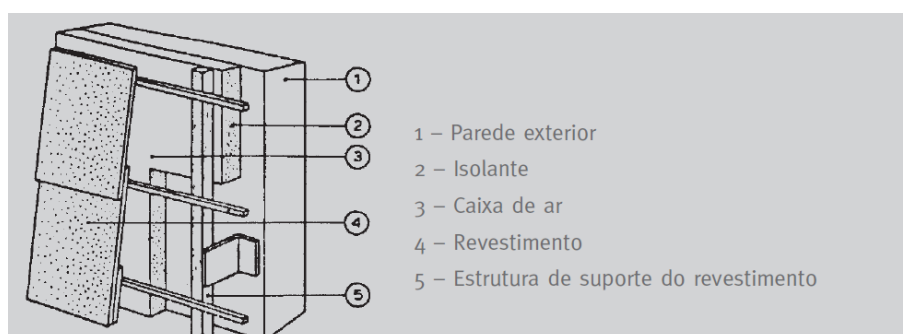


Figura 20 - Revestimento independente descontínuo com isolante térmico na caixa-de-ar (DGGE, 2004).

As coberturas dos edifícios são elementos construtivos que estão sujeitos a grandes amplitudes térmicas, de modo que a intervenção ao nível da sua eficiência energética é de

elevada importância face aos benefícios imediatos em termos da diminuição das necessidades energéticas, e por se tratar de uma medida simples e pouco dispendiosa (DGGE, 2004).

A cobertura deste edifício é horizontal (em terraço), é impermeabilizada e é revestida a gravilha.

De entre as opções possíveis para a reabilitação da cobertura, optou-se pela aplicação de isolamento térmico em posição superior, nomeadamente do tipo de cobertura invertida (Figura 21).

A cobertura invertida permite aumentar a vida útil da impermeabilização ao protegê-la de amplitudes térmicas significativas, além de que, aquando a sua aplicação permite aproveitar a impermeabilização já existente.

Para a aplicação desta solução, necessita-se de retirar inicialmente a protecção móvel (gravilha) existente sobre o sistema de impermeabilização, sem o danificar, para que posteriormente se aplique uma camada de separação (manta geotêxtil) sobre o sistema de impermeabilização. Sobre a camada de separação aplica-se o isolante térmico, sendo a mais indicada para esta solução as placas de poliestireno expandido extrudido (XPS). Finalmente reutiliza-se a gravilha que impede que as placas se desloquem sob a acção do vento, e que as protege da radiação solar.

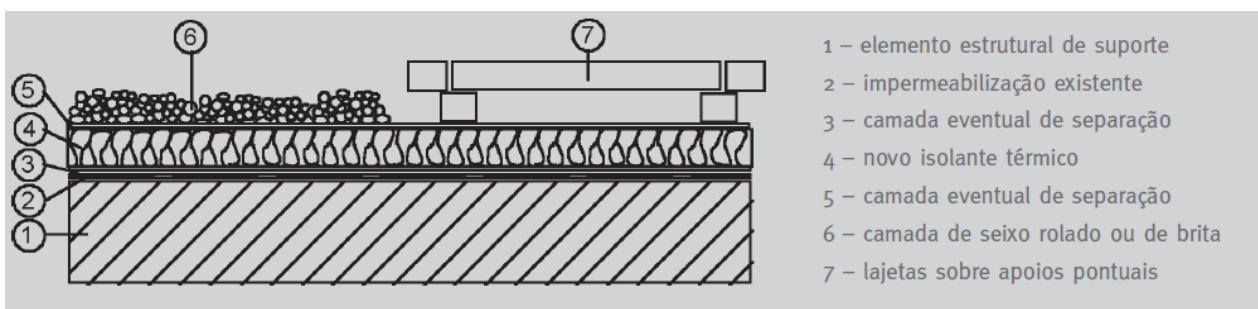


Figura 21 - Cobertura invertida sobre a impermeabilização existente (DGGE, 2004).

3.6.4. Análise energética e medidas de melhoria para os edifícios B e D

Estes dois edifícios têm soluções construtivas semelhantes assim como a sua orientação. O edifício B possui nas suas fachadas orientadas a Sudoeste e a Sudeste 22% de vãos envidraçados e o edifício D 27%. Estes vãos envidraçados estão sombreados por elementos que fazem parte da cobertura do edifício.

Relativamente ao edifício B, não há informação relativa aos consumos energéticos reais, de modo que se adopta as mesmas medidas de melhoria de eficiência energética ao nível das características construtivas que as do edifício D.

O edifício D é constituído por uma parte dedicada a escritórios e salas de reunião e outra dedicada aos balneários, de modo que as suas necessidades em termos de AQS são elevadas. Assim as AQS são preparadas através de 10 colectores solares térmicos do tipo Top Selectivo ST 40/200, cada um com $1,65 \text{ m}^2$, totalizando uma área total de $16,5 \text{ m}^2$. Estes colectores são apoiados por uma caldeira a gás natural, sendo os consumos desta 18% dos consumos gerais do edifício em termos de energia primária.

O sector da climatização consome 27% da energia eléctrica total do edifício, o que se considera elevado pela razão de que grande parte do edifício é utilizada apenas por pequenos períodos de tempo.

Tanto o edifício B como o edifício D não possuem as envolventes termicamente isoladas, o que potencia as transferências de calor entre o exterior e o interior do edifício. As coberturas são impermeabilizadas com tela asfáltica, no entanto não possuem nenhum sistema de isolamento térmico.

Actuação na envolvente exterior

A envolvente exterior destes edifícios deve ser reabilitada de modo a aumentar o seu isolamento térmico. O isolamento mais eficaz é o que é aplicado pelo exterior, sendo que para manter a aparência do edifício pode-se optar por um isolamento que consiste na aplicação de placas de material isolante ou então na aplicação contínua de uma espuma nas paredes exteriores, que posteriormente são cobertas com um revestimento adequado, podendo ser pintado.

Este sistema de isolamento elimina quase completamente as pontes térmicas do edifício.

Uma solução um pouco mais complexa é o isolamento através de sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) (Figura 22). Nesta solução a camada isolante composta por placas de um isolante térmico é fixada à parede por fixação mecânica ou colagem, e recebem um revestimento exterior contínuo armado, como camada de protecção contra os agentes atmosféricos.

As placas de isolante térmico são normalmente constituídas por poliestireno expandido moldado (EPS) e o revestimento exterior é constituído por um ligante sintético armado com uma rede de fibra de vidro protegida contra o ataque dos alcalis do cimento.

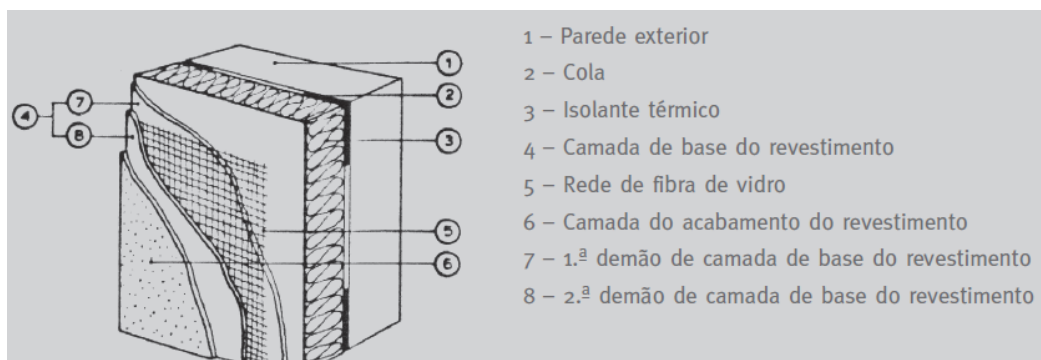


Figura 22 - Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) (DGGE, 2004).

Em alternativa pode isolar-se termicamente o edifício pelo interior, que embora sendo uma solução menos eficiente, é mais económica.

Dentro do isolamento térmico pelo interior, a melhor solução para este edifício é a instalação de painéis isolantes pré-fabricados (Figura 23). Estes painéis têm normalmente a altura do pé direito do edifício e associam um paramento de gesso cartonado e uma camada de isolamento térmico com placas de poliestireno expandido moldado (EPS) ou extrudido (XPS), que são fixadas às placas de paramento.

O grande inconveniente desta solução, além de não eliminar as pontes térmicas, é que a sua aplicação impede o aproveitamento da inércia térmica das paredes exteriores do edifício.

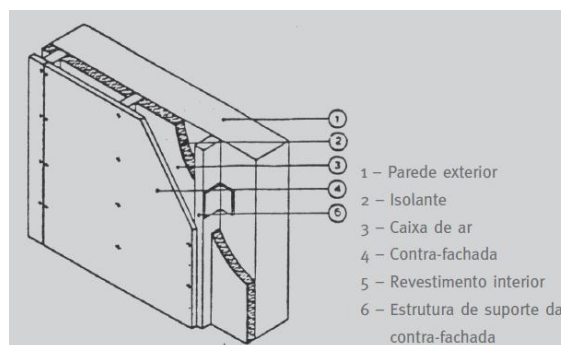


Figura 23 - Solução de isolamento interior (DGGE, 2004).

A cobertura deste edifício é horizontal (em terraço) e é impermeabilizada com tela asfáltica. De entre as opções possíveis para a reabilitação da cobertura, a mais adequada para este edifício é a mesma do edifício A (aplicação de isolamento térmico em posição superior, nomeadamente do tipo de cobertura invertida), uma vez que permite aumentar a vida útil da impermeabilização ao protegê-la de amplitudes térmicas significativas e permite aproveitar a impermeabilização já existente.

3.6.5. Análise energética e medidas de melhoria para o edifício C

Este edifício está orientado Sul contendo esta fachada cerca de 30% de vãos envidraçados, estando estes sombreados por elementos que fazem parte da cobertura do edifício. Esta orientação permite um elevado ganho de radiação solar no Inverno e os sombreamentos resultantes da cobertura baixam estes ganhos no Verão.

Apesar de este edifício não possuir elementos isolantes na sua construção, a fracção de energia consumida com a climatização é reduzida (8%), uma vez que este edifício é construído em madeira, o que é um bom isolante térmico. Ainda assim, estes vãos envidraçados (tirando a porta da entrada) são essencialmente janelas de correr constituídas por vidro simples, de modo que era importante aumentar o isolamento desses vãos envidraçados.

Reabilitação dos vãos envidraçados

A melhoria do isolamento dos vãos envidraçados deste edifício permite a redução dos consumos de energia com a climatização, a redução das infiltrações de ar não-controladas, a melhoria da ventilação natural assim como o aumento da captação dos ganhos solares no Inverno e o reforço da protecção solar durante o Verão. Esta medida contribui também para a melhoria das condições de conforto e de qualidade do ar interior do edifício.

Uma vez que as caixilharias estão em bom estado de conservação, pode-se substituir o vidro simples por um duplo, adaptando-o ao caixilho. É também importante que a espessura da lâmina de ar do vidro seja tanto maior quanto possível, uma vez que para além de reduzir as perdas térmicas, diminui a possibilidade de fenómenos de condensação e melhora o conforto acústico, sendo este último especialmente importante uma vez que este edifício se situa junto a uma auto-estrada. Este isolamento acústico será aumentado se juntamente à caixilharia original se ponderar a instalação de uma segunda janela giratória pelo interior.

No caso de se optar por substituir as caixilharias, podem instalar-se caixilharias metálicas ou novamente caixilharias de madeira desde que sejam de boa qualidade e disponham de borrachas de vedação, optando-se sempre por janelas giratórias.

Pode-se também reduzir a permeabilidade do ar através da afinação dos caixilhos com ajustamentos das respectivas posições e na introdução de vedantes nas juntas móveis.

Eficiência na iluminação

Verificou-se que 45% da energia eléctrica total do edifício está associada ao sector da iluminação, apesar de este edifício possuir uma elevada percentagem de envidraçados.

Em termos energéticos e de conforto visual, a luz natural é a melhor forma de iluminar o edifício. Deste modo deve-se aproveitar a elevada percentagem de envidraçados do edifício e retirar o máximo proveito da luz natural. Assim, durante o período de ocupação do edifício, deve-se permitir o mais possível a entrada de luz natural, no entanto deve-se proteger os envidraçados da incidência directa do sol, de modo a evitar problemas de desconforto visual e térmico devido ao aquecimento do edifício na estação quente.

Deve-se também equilibrar a entrada de luz natural no edifício, de modo a que o seu aumento não contribua para o aumento dos consumos energéticos no sector da climatização.

De modo a controlar o fluxo de iluminação na zona dos escritórios onde a iluminação natural é elevada, deve-se instalar equipamentos de regulação do fluxo luminoso. Entre as soluções do mercado, a que conduz a uma maior redução de consumo é um equipamento que permite a regulação automática do fluxo com sensor fotoeléctrico, sendo que esta solução permite que o fluxo de iluminação do edifício seja uniforme no espaço, independentemente da hora do dia, como se pode observar na Figura 24. As reduções podem chegar a 75% da energia eléctrica do sector da iluminação em espaços bem iluminados naturalmente (*Building technologies, 2011*).

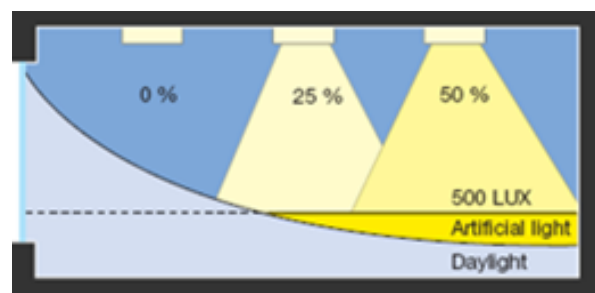


Figura 24 - Funcionamento do regulador do fluxo luminoso (*Building technologies, 2011*).

Esta medida deve ser aplicada noutros espaços, em edifícios que contenham áreas de envidraçados consideráveis e propícias à iluminação natural.

Além destas medidas, deve efectuar-se com regularidade a limpeza das lâmpadas e reflectores.

Equipamento de escritório

A maior parte do consumo de energia eléctrica neste edifício deve-se essencialmente aos equipamentos de escritório, nomeadamente computadores, impressoras e pequenos equipamentos.

A grande maioria dos computadores utilizados neste e nos outros edifícios em estudo são computadores de secretária. A sua substituição por computadores portáteis conduziria a economias de energia eléctrica até 80% (Isolani, 2008a).

Além destas medidas, os ocupantes destes edifícios devem ser sensibilizados para a importância da gestão da energia, adquirindo hábitos que melhorem a conservação da energia nestes edifícios:

- Abrir as janelas para ventilação sempre que favorável;
- Abertura completa das janelas para ventilação por períodos curtos em vez da abertura parcial por períodos longos;
- Oclusão dos vãos envidraçados ao final do dia nos períodos de Inverno (diminuindo a perda de calor do edifício durante a noite) ou quando se verificarem ganhos solares excessivos;
- Reduzir os consumos de situações de paragem;
- Desligar a iluminação sempre que não haja ninguém na divisão, nomeadamente na hora de almoço e ao final do dia.

3.6.6. Considerações finais

Apesar das propostas apresentadas anteriormente, e de modo a reduzir os gastos com o consumo de energia nos edifícios, é de extrema importância analisar os contratos assinados com os fornecedores de energia, tanto de electricidade como de gás natural, de modo a verificar se esses contratos satisfazem as necessidades específicas dos utilizadores, nomeadamente a selecção das tarifas mais convenientes de entre as opções disponíveis, adaptando os termos de contrato quando as tarifas se alteram.

Devem ser feitas auditorias periódicas aos consumos dos edifícios de modo a delinear possíveis estratégias de optimização através da detecção dos sectores de consumo mais relevantes.

As acções de manutenção dos edifícios, tanto ao nível construtivo como ao nível das instalações, devem ser acompanhadas efectuando um registo de todas as intervenções realizadas.

Muito importante também, e que muito contribui para redução dos consumos de energia do edifício é a fomentação e sensibilização dos utilizadores dos edifícios para uma atitude racional na utilização da energia. A divulgação de informação de boas práticas e exemplos relevantes na utilização eficiente de energia é essencial para disseminar uma cultura de respeito pelo ambiente.

4 Conclusões

O presente trabalho consistiu no estudo da eficiência energética de um conjunto de quatro edifícios da Lipor I no concelho de Valongo, identificando-se as principais fontes de consumo energético e encontrando possíveis soluções de melhoria a adoptar.

A eficiência energética destes edifícios foi analisada quer pela realização da auditoria energética, como também pela simulação dinâmica energética.

Verificou-se que o desempenho energético dos edifícios é fortemente influenciado por vários factores, como o isolamento térmico dos vãos envidraçados e da envolvente opaca, nomeadamente das paredes e coberturas. É influenciado também pela localização e orientação do edifício, a orientação dos vãos envidraçados, a forma do edifício, as características construtivas e a eficiência energética dos equipamentos interiores.

Dos edifícios analisados apenas o edificio C cumpre os requisitos do RSECE, tendo um desempenho energético de classe A. Nenhum dos edifícios cumpre todos os requisitos impostos pelo RCCTE.

As principais oportunidades de melhoria de desempenho energético dos edifícios surgem ao nível da envolvente exterior, nomeadamente das paredes, coberturas e vãos envidraçados, sendo estes os principais responsáveis pelas perdas energéticas destes edifícios.

O edifício A apresenta necessidades de climatização superiores às máximas de referência, optando-se por reabilitar a envolvente, nomeadamente as paredes exteriores através do revestimento independente com interposição de um isolante térmico no espaço de ar, e da cobertura através do isolamento térmico em posição do tipo de cobertura invertida.

Os edifícios B e D apresentavam necessidades de climatização superiores às máximas de referência, tendo-se optado pela aplicação nas paredes exteriores do isolamento através de sistemas compósitos de isolamento térmico. Para a cobertura optou-se pela mesma solução do edifício A.

O edifício C sendo o mais eficiente, optou-se apenas por aumentar o isolamento dos vãos envidraçados. Uma vez que apresentava elevados consumos relativos à iluminação, optou-se pela instalação de um sistema de controlo de fluxo luminoso automático.

Para melhorar do ponto de vista energético a eficiência dos edifícios, é fundamental o contributo de todos os ocupantes habituais dos edifícios, através do uso de boas práticas na utilização eficiente da energia e na redução dos desperdícios energéticos.

4.1 Limitações e Trabalho Futuro

A dificuldade na obtenção de informação relativa aos consumos energéticos, características construtivas e dos sistemas de climatização condicionou a realização deste estudo.

Neste trabalho não foi possível a instalação dos contadores individuais no edifício A e B o que impediu a determinação do seu IEE_{nom} e da sua eficiência energética.

Teve-se dificuldade na obtenção das características dos edifícios e dos sistemas de climatização, sendo a informação disponível escassa, o que dificultou a realização das simulações energéticas.

Deste modo, nos pontos seguintes estão indicadas algumas recomendações para trabalho futuro:

- Efectuar um levantamento de todos os sistemas de climatização existentes nos edifícios e de toda a informação relativa aos mesmos, uma vez que a informação existente é incompleta e está desactualizada;
- Analisar a viabilidade económica da substituição de alguns dos sistemas de climatização existentes;
- Instalar contadores individuais nos edifícios estudados e noutros não incluídos no estudo, analisando os seus consumos gerais, de iluminação e climatização.
- Efectuar um levantamento das características construtivas de todos os edifícios, nomeadamente tipos de materiais, tipo de isolamento, de revestimento e de impermeabilização existentes.
- Efectuar uma análise à qualidade do ar interior dos edifícios de modo a verificar a sua conformidade com o RSECE.
- Efectuar uma análise pormenorizada da viabilidade económica da implementação das medidas de eficiência energética propostas neste estudo.

5 Referências Bibliográficas

- ADENE, *Perguntas & Respostas sobre o RCCTE*. 2009
- ADENE, *Perguntas & Respostas sobre o RSECE*. 2008
- ADENE, *Módulo Certificação RSECE*. 2010
- BCSD. *Eficiência Energética em Edifícios - realidades empresariais e oportunidades*. 2008
- Caixiave, *Eficiência Energética - Informação Técnica*. 2010
- Coimbra, F., Pinto, H., & Moreira, R. *Certificação Energética dos Edifícios*. 2009
- Decreto-Lei nº78/2006, *Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior*. 2006
- Decreto-Lei nº 79/2006, *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios*. 2006
- Decreto-Lei nº80/2006, *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. 2006
- Despacho n.º 10250/2008, *Classificação energética de edifícios*. 2008
- DGE. *Eficiência Energética nos Edifícios*. 2002
- DGGE. *Reabilitação Energética da envolvente de Edifícios Residenciais*. 2004
- Gonçalves, H., & Graça, J. M *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. 2004
- Henriques, F. *Reabilitação Térmica de Edifícios*. 2007
- Isolani, P. *A utilização racional de energia em edifícios públicos*. 2008a
- Isolani, P. *Eficiência energética nos edifícios residenciais*. 2008b
- Jardim, F. *Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação-Mestrado em Engenharia Civil Materiais, Reabilitação e Sustentabilidade da Construção - Universidade do Minho*. 2009
- Meia Sombra. *Relatório de Certificação Energética*. 2008
- Nota Técnica NT -SCE -01, *Método de Cálculo Simplificado para a Certificação Energética de Edifícios Existentes no âmbito do RCCTE*. 2009
- P3E Portugal. *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*. 2004
- SGS Portugal, SA. *Sistema Nacional de Cerificação Energética e da Qualidade do Ar Interior*. 2009
- Agência para a Energia (<http://adene.pt>). Acedido em Abril de 2011

Direcção Geral de Energia e Geologia (<http://www.dgge.pt/>). Acedido em Abril de 2011

EDP (<http://www.edp.pt/>). Acedido em Abril de 2011

Eurostat (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>). Acedido em Abril de 2011

Grupo Amorim (http://www.amorim.com/cor_noticias_detail.php?alD=1031) Acedido em Maio de 2011

Instituto Nacional de Estatística (<http://www.ine.pt>). Acedido em Abril de 2011

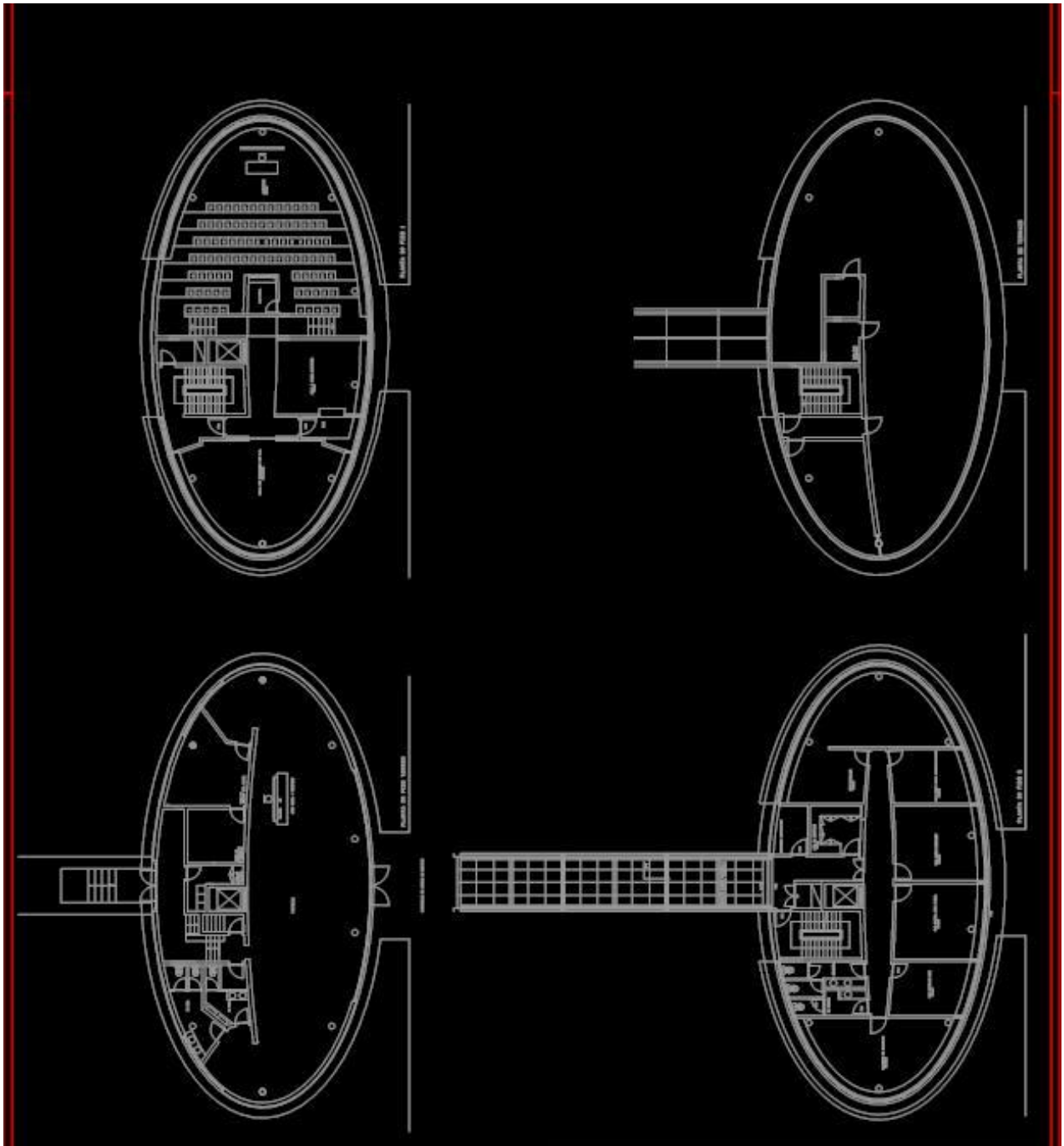
Siemens (<http://www.buildingtechnologies.siemens.com>). Acedido em Maio de 2011

Anexo A - Características dos sistemas de climatização

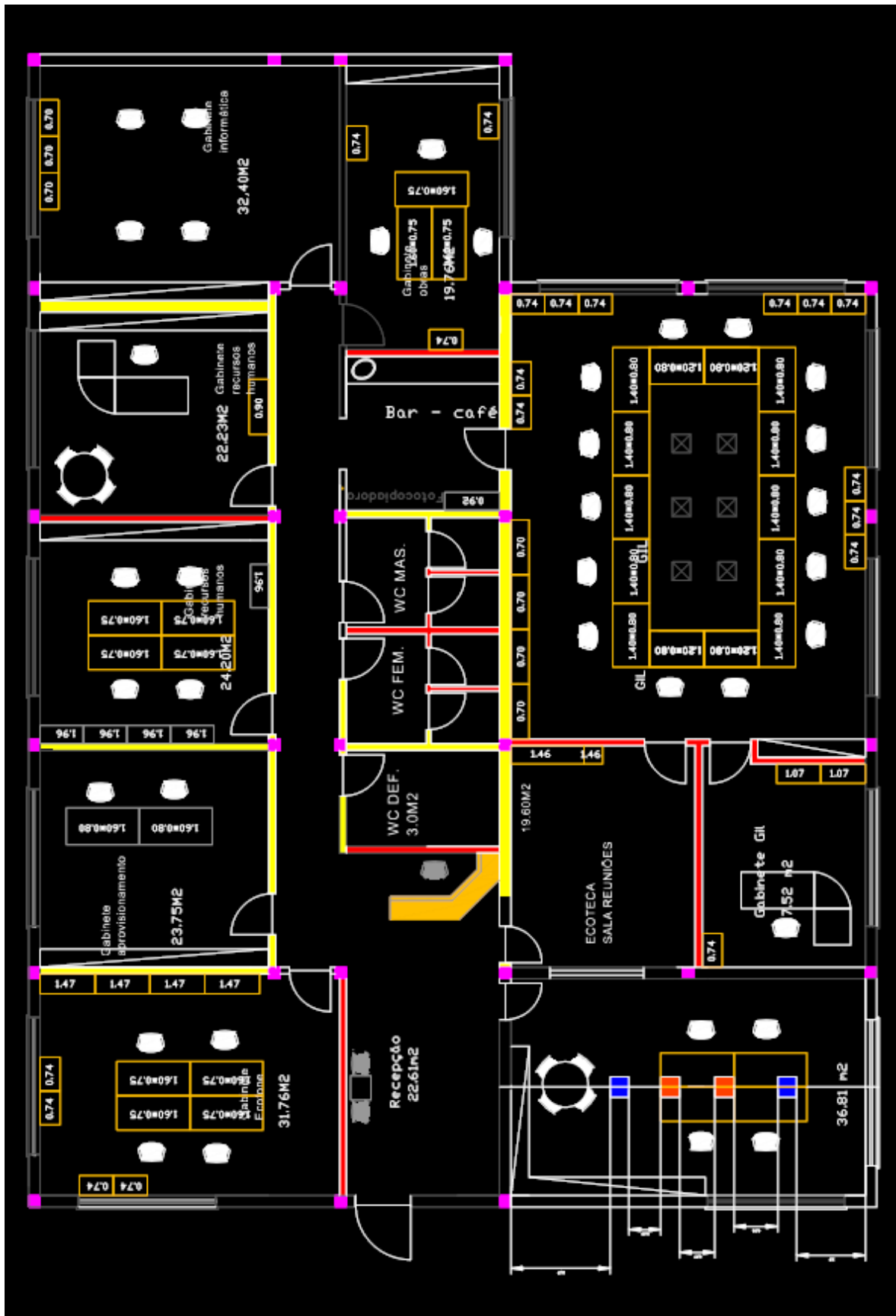
Local	Tipo	Qt	Marca	Modelo	Série	Gás Ref.	Carga de Fluido (kg)	Frio (kW)		Calor (kW)		Unidades Interiores	
												Tipo	Modelo
Ed. Apoio Administrativo – GIL	Unid. Cond.	1	Lennox	GHM12N	-	R-410A	1.1	3.52	3.81	SPLIT	GHM12NI		
Ed. Apoio Administrativo – RH	Unid. Cond.	1	Princesse	AU – 12HRS3CA2	-	R-407C	1.22	1.45 13600BTU	1.3 12000BTU	SPLIT	AUS-12HRS3CA2		
Ferramentaria	SPLIT	1	Saunier Duval	036EHWO	-	R-407C	1.15	3.75	4.46	SPLIT	051EHWI		
Ed. Apoio Administrativo	SPLIT	3	FNAC	C17-F-H	9018084	R-22	1	4.8	3.1	-	-		
Ed. Apoio Administrativo	SPLIT	2	FNAC	C9-F-H	-	-	-	1.5	2	-	-		
Ed. Apoio Administrativo	SPLIT	1	Mitsubishi Electric	SUZKA50VA	-	R-410A	-	4.8	6.0	-	-		
Ed. Apoio Administrativo	SPLIT	3	Mitsubishi Electric	SUZKA25VA	-	R-410A	-	3.5	4.0	-	-		
Edifício Social - Cobertura Ed. Social	Bomba Calor	1	Thermocold	DOMINOIII 040 ZHAA	DE-3461-60	R-410a	7	44.1	50.9	-	-		
Edifício Administrativo	Chiller	1	Lennox	AP – PLCA 23 D	11613/01	R-22	22	22.38	-	-	-		
Edifício Administrativo	UTAN	1	Lennox	FTB10	6900094	R-22	6.45	28.1	29.4	Vent. Extrac	-		
Edifício Administrativo	Fan Coil	18	Carrier	FC 104B-50110/3	-	Água	-	-	0.9	-	-		
Ed. Adm. Polo Técnico	SPLIT	2	Mitsubishi	-	-	=	-	5	5.8	-	-		
Edifício Adm. Arquivo	UTA	1	Lennox	-	-	Água	-	-	2.4	-	-		
Edifício Adm.	Ventilococonvetor	1	Lennox	CWC-40 – 2P	27532964	Água	-	-	1.92	-	-		
Edifício Adm.	Bombas de Circulação	2	Grundfoss	TPD65 – 180/2ª-F- BUBE	96405140F19836	-	-	1.5	1.5	-	-		
Casa do Jardim	SPLIT	1	Mitsubishi	FDC406HE53	H113012715F	R-22	1.6	10.2	10.5	-	-		
Casa do Jardim	SPLIT	1	Mitsubishi	SC7403HENF	672600024 - RE	R-22	2	5.27	5.27	-	-		
Casa do Jardim	SPLIT	1	Mitsubishi	SC7403HENF	672600022	R-22	2	5.27	5.27	-	-		
Casa do Jardim	SPLIT	2	Beko	-	-	R-410-A	-	1.05	1.05	-	-		

Anexo B - Plantas dos edifícios

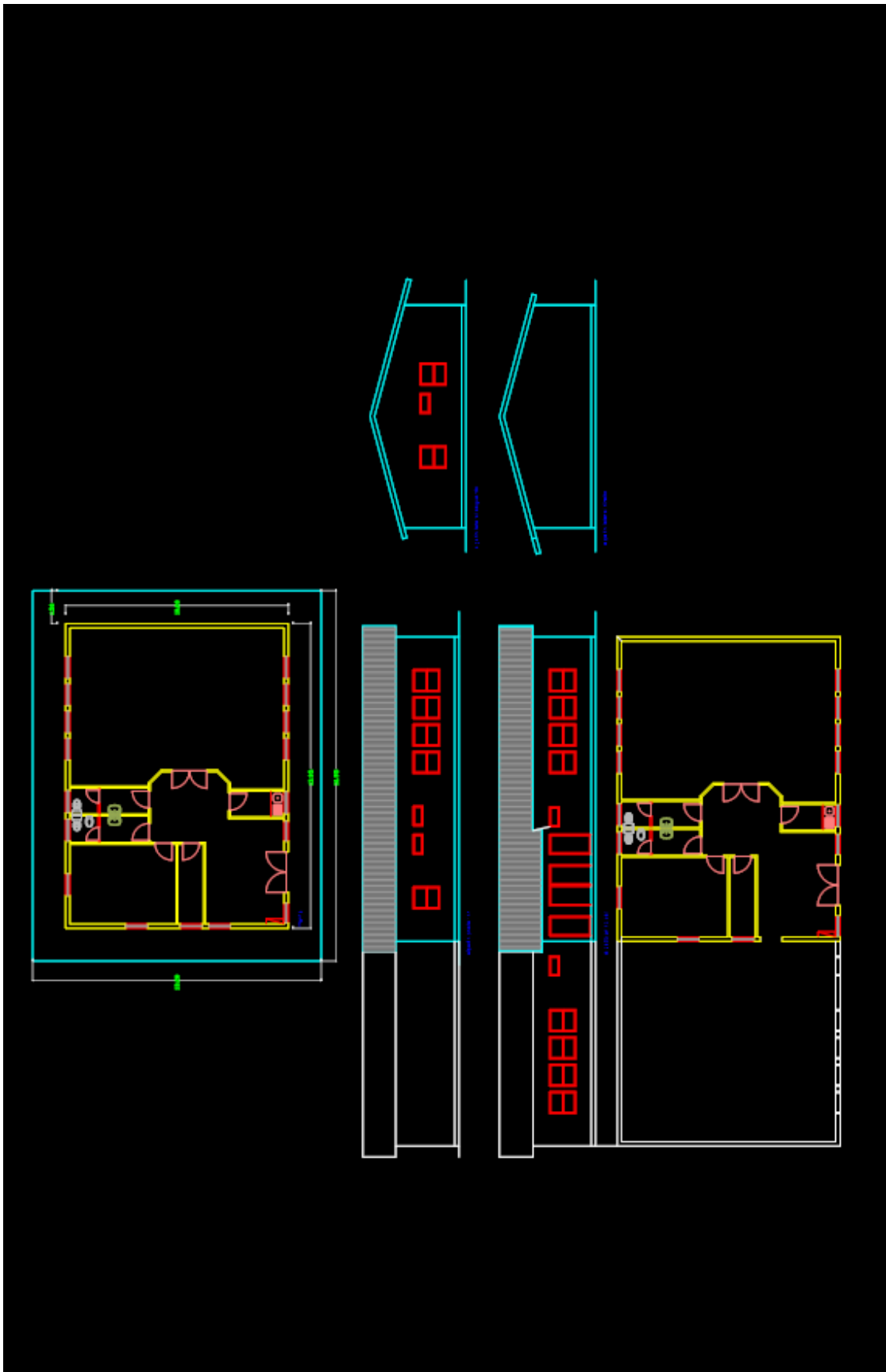
Edifício A



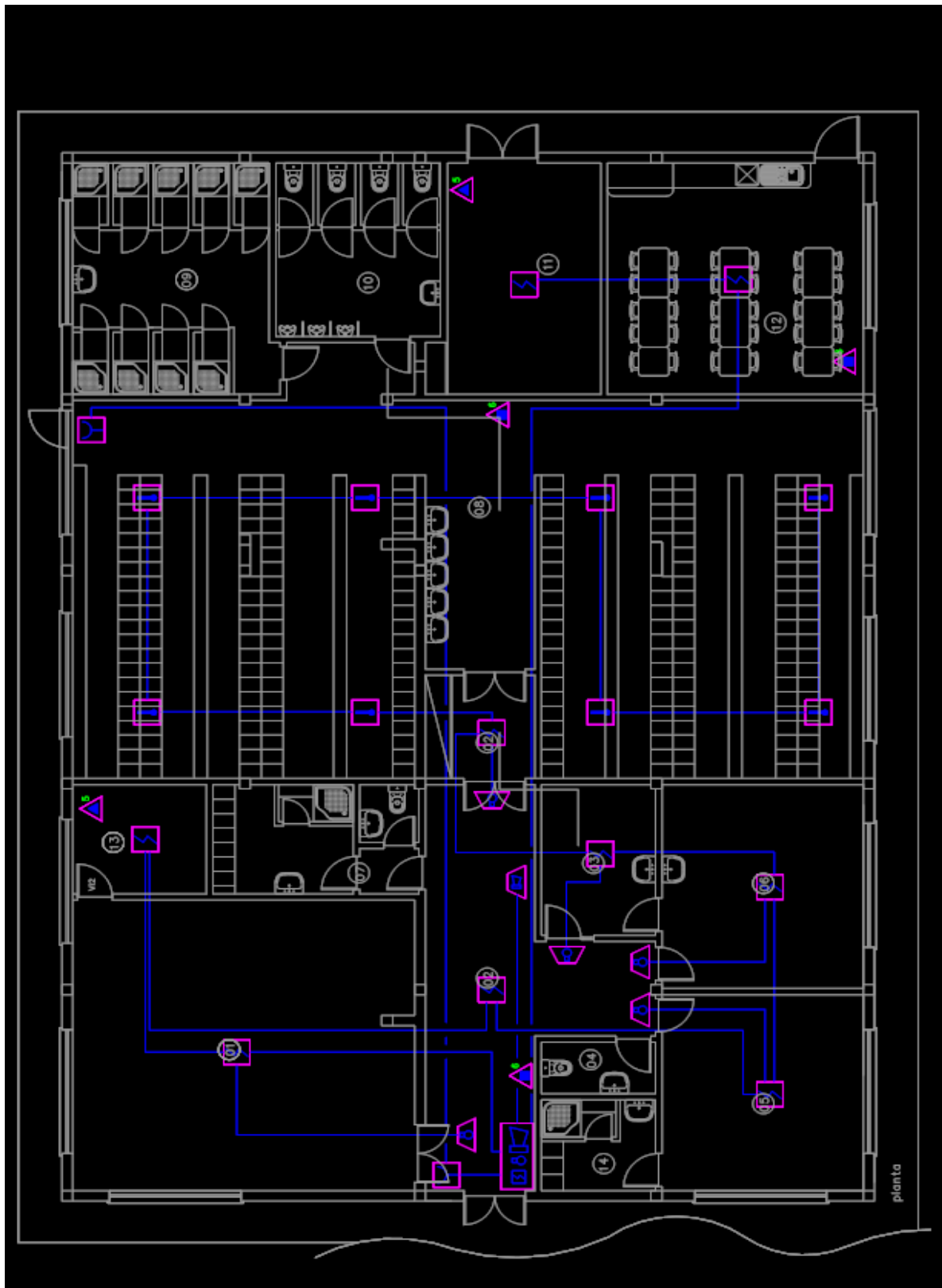
Edifício B



Edifício C



Edifício D



Anexo C - Resultados da Simulação Energética

Edifício A

Hélder Alves
Copyright © 2008 Amorim

1

Folha de Cálculo FC V.1a

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	1240,7	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	0	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	215	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	1102,6	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação de ar	(FCIV.1d)	762,45	(W/°C)
		=	
Perdas específicas totais	(Q _{1a})	3320,75	(W/°C)

Temperatura interior de referência		25	(°C)
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento		19	(°C)
(Quadro III.9)		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		6	(°C)
		x	
Perdas específicas totais	(Q _{1a})	3320,75	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
Perdas térmicas totais	(Q _{1b})	58338,93	(kWh)

Projecto de comportamento térmico
Edifício Administrativo
A

Folha de Cálculo FC IV.1e

Ganhos Úteis na estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A(m ²)	Factor de Orientação X(-)	Factor Solar do vidro g(-)	Factor de Obstrução F _s (-) F _h .F _o .F _f	Fracção Envidraçada F _g (-)	Factor de Sel. Angular F _w (-)	Área efectiva A _e (m ²)
NW	Duplo	130	0,33	0,63	0,81	0,7	0,9	13,93
SE	Duplo	168	0,84	0,63	0,63	0,7	0,9	35,29

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m ²)	49,22
	x
Radiação Incidente num envidraçado a Sul (G _{sol}) no <input type="text" value="Continente"/>	
na Zona I <input type="text" value="2"/> (kWh/m ² .mês) - do Quadro 8 (Anexo III)	93
	x
Duração da Estação de Aquecimento (meses)	7
	=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)	32040,8

Ganhos internos:

	Tipo de Edifício	
Ganhos internos médios (W/m ²) (Quadro IV.3)	<input type="text" value="Serviços"/>	7
		x
Duração da Estação de Aquecimento (meses)		7
		x
Área Útil de pavimento, A _p (m ²)		650
		x
		0,72
		=
Ganhos Internos Brutos (kWh/ano)		22932

Folha de Cálculo FC IV.1e

Ganhos Úteis na estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Totais Úteis:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$$

	54972,8
	147714

Inércia do edifício: $\gamma =$

Factor de Utilização dos Ganhos Solares (η)

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos

=

Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)

Folha de Cálculo FC IV.2

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)	1651,95
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	0
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	1102,6
Renovação de Ar (da FC IV.1d)	762,45
	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	3517
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1750
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	147714
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (da FC IV.1e)	48757,26
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	98956,73
	/
Área Útil de pavimento (m²)	650
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	152,24
	<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano)	75,93

Folha de Cálculo FC V.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	<input type="text" value="46133,95"/> (kWh)
	/
Perdas térmicas totais (FCV.1a)	<input type="text" value="58338,93"/> (kWh)
	=
Y	<input type="text" value="0,79"/>
Inércia do edifício	<input type="text" value="Fraca"/>

	<input type="text" value="1"/>
	-
Factor de utilização dos ganhos solares, η	<input type="text" value="0,72"/>
	=
	<input type="text" value="0,28"/>
	x
Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	<input type="text" value="46133,95"/> (kWh)
	=
Necessidades brutas de arrefecimento	<input type="text" value="13131,88"/> (kWh/ano)
	+
Consumo dos ventiladores (excluir o consumo do exaustor da cozinha, se houver)	<input type="text" value="0"/> (Ev = Pv*24*122/1000 (kWh))
	=
TOTAL	<input type="text" value="13131,88"/> (kWh/ano)
	/
Área útil de pavimento (m ²)	<input type="text" value="650"/>
	=
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc	<input style="background-color: red;" type="text" value="20,2"/> (kWh/m ² .ano)
	≤
Necessidades nominais de arref. máximas - Nv	<input type="text" value="16"/> (kWh/m ² .ano)

Hélder Alves

Copyright © 2008 Amorim

1

Cálculo das Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária

Consumo médio diário de referência de AQS, M_{AQS}	<input type="text" value="100"/> (litros)
	x
	<input type="text" value="4187"/>
	x
Aumento de temperatura necessário para preparar as AQS, ΔT	<input type="text" value="45"/> (°C)
	x
Número anual de dias de consumo de AQS, n_d (Quadro VI.2)	<input type="text" value="287"/>
	/
	<input type="text" value="3600000"/>
	=
Energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS, Q_a	<input type="text" value="1502,09"/>
	/
Eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS, η_a	<input type="text" value="0,8"/>
	=
	<input type="text" value="1877,61"/>
	-
Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS, E_{solar}	<input type="text" value="0"/> (kWh/ano)
	-
Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis, E_{ren}	<input type="text" value="0"/> (kWh/ano)
	=
	<input type="text" value="1877,61"/>
	/
Área útil de pavimento, A_p	<input type="text" value="650"/> (m ²)
	=
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, N_{ac}	<input type="text" value="2,89"/> (kWh/m ² .ano)
	≤
Limite máximo das nec. de Energia para Preparação da AQS, N_a	<input type="text" value="3,58"/> (kWh/m ² .ano)

Projecto de comportamento térmico

Edifício Administrativo

A

Cálculo das Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária (Ntc)

	0,1	
	x	
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic	152,24	(kWh/m ² .ano)
	/	
Eficiência de conversão do sistema de aquecimento, η_i	4	
	x	
Factor de conversão F_{pui} entre energia útil e energia primária	0,29	(kgep/kWh)
	+	
	0,1	
	x	
Nec. Nominais de Arrefecimento - Nvc	20,2	(kWh/m ² .ano)
	/	
Eficiência de conversão do sistema de arrefecimento, η_v	3	
	x	
Factor de conversão F_{puv} entre energia útil e energia primária	0,29	(kgep/kWh)
	+	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, Nac	2,89	(kWh/m ² .ano)
	x	
Factor de conversão F_{pu} entre energia útil e energia primária	0,29	(kgep/kWh)
	=	
Cálculo das Nec. Nominais Anuais Globais de Energia Primária, Ntc	2,14	(kgep/m ² .ano)
	≤	
Limite máximo das nec. Anuais Globais de Energia Primária, Nt	1,31	(kgep/m ² .ano)
sabendo que:		
Necessidades nominais de aquec. máximas - Ni (kWh/m ² .ano)	75,93	
Necessidades nominais de arref. máximas - Nv (kWh/m ² .ano)	16	
Limite máximo das necessides para preparação da AQS, Na (kWh/m ² .ano)	3,58	

Resumo das Necessidades de Energia Primária

Parcela Aquecimento (kgep/m ² .ano)	1,1	51,66 % Ntc
Parcela Arrefecimento (kgep/m ² .ano)	0,2	9,14 % Ntc
Parcela AQS (kgep/m ² .ano)	0,84	39,2 % Ntc
Nec. Nominais Anuais Globais de Energia Primária, Ntc (kgep/m ² .ano)	2,14	

Edifício B

Hélder Alves
Copyright © 2008 Amorim

1

Folha de Cálculo FC V.1a

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	482,39	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	0	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	470,8	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	241,39	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação de ar	(FCIV.1d)	371,27	(W/°C)
		=	
Perdas específicas totais	(Q_{1a})	1565,85	(W/°C)
<hr/>			
Temperatura interior de referência		25	(°C)
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento		19	(°C)
<i>(Quadro III.9)</i>		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		6	(°C)
		x	
Perdas específicas totais	(Q_{1a})	1565,85	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
Perdas térmicas totais	(Q_{1b})	27508,88	(kWh)

Projecto de comportamento térmico
Edifício de Apoio Administrativo
B

Folha de Cálculo FC IV.1e

Ganhos Úteis na estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A(m ²)	Factor de Orientação X(-)	Factor Solar do vidro g(-)	Factor de Obstrução F _s (-) F _h ·F _o ·F _f	Fracção Envidraçada F _g (-)	Factor de Sel. Angular F _w (-)	Área efectiva A _e (m ²)
NE	Duplo	22,05	0,33	0,63	0,9	0,7	0,9	2,6
NW	Duplo	8,82	0,33	0,63	0,76	0,7	0,9	0,95
SE	Duplo	12,32	0,84	0,63	0,4	0,7	0,9	1,64
SW	Duplo	22,05	0,84	0,63	0,55	0,7	0,9	4,04

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m²)

9,23

x

Radiação Incidente num envidraçado a Sul (G_{sul})no na Zona I (kWh/m².mês) - do Quadro 8 (Anexo III)

93

x

Duração da Estação de Aquecimento (meses)

7

=

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

6009,15

Ganhos internos:

Ganhos internos médios (W/m²) (Quadro IV.3)

Tipo de Edifício

 7

x

Duração da Estação de Aquecimento (meses)

7

x

Área Útil de pavimento, A_p(m²)

346,66

x

0,72

=

Ganhos Internos Brutos (kWh/ano)

12230,17

Folha de Cálculo FC IV.1e

Ganhos Úteis na estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Totais Úteis:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}} \quad \begin{array}{l} 18239,32 \\ 78758,48 \end{array}$$

$$\text{Inércia do edifício: } \boxed{\text{Fraca}} \quad \gamma = \boxed{0,232}$$

$$\text{Factor de Utilização dos Ganhos Solares } (\eta) \quad \boxed{0,944}$$

$$\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos} \quad \boxed{18239,32}$$

$$\text{Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)} \quad \begin{array}{l} \times \\ = \\ \boxed{17215,15} \end{array}$$

Folha de Cálculo FC IV.2

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)	1262,54
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	0
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	241,39
Renovação de Ar (da FC IV.1d)	371,27
	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	1875,2
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1750
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	78758,48
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (da FC IV.1e)	17215,15
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	61543,33
	/
Área Útil de pavimento (m²)	346,66
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	177,53
	<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano)	87,77

Folha de Cálculo FC V.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	25310,64 (kWh)
	/
Perdas térmicas totais (FCV.1a)	27508,88 (kWh)
	=
Y	0,92
Inércia do edifício	Fraca

	1	
	-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η	0,67	
	=	
	0,33	
	x	
Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	25310,64 (kWh)	
	=	
Necessidades brutas de arrefecimento	8370,17 (kWh/ano)	
	+	
Consumo dos ventiladores (excluir o consumo do exaustor da cozinha, se houver)	0 (Ev = Pv*24*122/1000 (kWh))	
	=	
TOTAL	8370,17 (kWh/ano)	
	/	
Área útil de pavimento (m ²)	346,66	
	=	
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc	24,15 (kWh/m ² .ano)	
	≤	
Necessidades nominais de arref. máximas - Nv	16 (kWh/m ² .ano)	

Cálculo das Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária (Ntc)

		0,1	
		x	
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic		177,53	(kWh/m ² .ano)
		/	
Eficiência de conversão do sistema de aquecimento, η_i		4	
		x	
Factor de conversão F_{pui} entre energia útil e energia primária		0,29	(kgep/kWh)
		+	
		0,1	
		x	
Nec. Nominais de Arrefecimento - Nvc		24,15	(kWh/m ² .ano)
		/	
Eficiência de conversão do sistema de arrefecimento, η_v		3	
		x	
Factor de conversão F_{puv} entre energia útil e energia primária		0,29	(kgep/kWh)
		+	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, N_{ac}		11,81	(kWh/m ² .ano)
		x	
Factor de conversão F_{pu} entre energia útil e energia primária		0,086	(kgep/kWh)
		=	
Cálculo das Nec. Nominais Anuais Globais de Energia Primária, Ntc		2,54	(kgep/m ² .ano)
		≤	
Limite máximo das nec. Anuais Globais de Energia Primária, Nt		1,92	(kgep/m ² .ano)
sabendo que:			
Necessidades nominais de aquec. máximas - Ni (kWh/m ² .ano)		87,77	
Necessidades nominais de arref. máximas - Nv (kWh/m ² .ano)		16	
Limite máximo das necessidades para preparação da AQS, Na (kWh/m ² .ano)		7,31	

Resumo das Necessidades de Energia Primária

Parcela Aquecimento (kgep/m ² .ano)	1,29	50,74 % Ntc
Parcela Arrefecimento (kgep/m ² .ano)	0,23	9,2 % Ntc
Parcela AQS (kgep/m ² .ano)	1,02	40,05 % Ntc
Nec. Nominais Anuais Globais de Energia Primária, Ntc (kgep/m ² .ano)	2,54	

Projecto de comportamento térmico
Edifício de Apoio Administrativo
B

Edifício D

Hélder Alves
Copyright © 2008 Amorim

1

Folha de Cálculo FC V.1a

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	490,2	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	0	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	490,6	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	233,66	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação de ar	(FCIV.1d)	411,82	(W/°C)
		=	
Perdas específicas totais	(Q_{1a})	1626,29	(W/°C)
<hr/>			
Temperatura interior de referência		25	(°C)
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento		19	(°C)
<i>(Quadro III.9)</i>		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		6	(°C)
		x	
Perdas específicas totais	(Q_{1a})	1626,29	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
Perdas térmicas totais	(Q_{1b})	28570,62	(kWh)

Projecto de comportamento térmico
Edifício Social
D

Folha de Cálculo FC IV.1e

Ganhos Úteis na estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A(m ²)	Factor de Orientação X(-)	Factor Solar do vidro g(-)	Factor de Obstrução F _s (-) F _h ·F _o ·F _f	Fracção Envidraçada F _g (-)	Factor de Sel. Angular F _w (-)	Área efectiva A _e (m ²)
NE	Duplo	22,05	0,33	0,63	0,9	0,7	0,9	2,6
NW	Duplo	5,85	0,33	0,63	0,76	0,7	0,9	0,63
SE	Duplo	12,32	0,84	0,63	0,5	0,7	0,9	2,05
SW	Duplo	22,93	0,84	0,63	0,55	0,7	0,9	4,2

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m ²)	9,48
	x
Radiação Incidente num envidraçado a Sul (G _{sul}) no <input type="text" value="Continente"/>	
na Zona I <input type="text" value="2"/> (kWh/m ² .mês) - do Quadro 8 (Anexo III)	93
	x
Duração da Estação de Aquecimento (meses)	7
	=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)	6174,64

Ganhos internos:

	Tipo de Edifício	
Ganhos internos médios (W/m ²) (Quadro IV.3)	<input type="text" value="Serviços"/>	7
		x
Duração da Estação de Aquecimento (meses)		7
		x
Área Útil de pavimento, A _p (m ²)		425
		x
		0,72
		=
Ganhos Internos Brutos (kWh/ano)		14994

Folha de Cálculo FC IV.1e

Ganhos Úteis na estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Totais Úteis:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}} \quad \begin{array}{l} 21168,64 \\ 81106,72 \end{array}$$

$$\text{Inércia do edifício: } \boxed{\text{Fraca}} \quad \gamma = \boxed{0,261}$$

$$\text{Factor de Utilização dos Ganhos Solares } (\eta) \quad \boxed{0,933}$$

$$\text{Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos} \quad \boxed{21168,64}$$

$$\text{Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)} \quad \boxed{19741,38}$$

Folha de Cálculo FC IV.2

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)	1285,62
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	0
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	233,66
Renovação de Ar (da FC IV.1d)	411,82
	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	1931,11
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1750
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	81106,72
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (da FC IV.1e)	19741,38
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	61365,34
	/
Área Útil de pavimento (m²)	425
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	144,39
	<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano)	80,21

Folha de Cálculo FC V.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	<input type="text" value="27502,18"/> (kWh)
	/
Perdas térmicas totais (FCV.1a)	<input type="text" value="28570,62"/> (kWh)
	=
Y	<input type="text" value="0,96"/>
Inércia do edifício	<input type="text" value="Fraca"/>

	<input type="text" value="1"/>
	-
Factor de utilização dos ganhos solares, η	<input type="text" value="0,66"/>
	=
	<input type="text" value="0,34"/>
	x
Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	<input type="text" value="27502,18"/> (kWh)
	=
Necessidades brutas de arrefecimento	<input type="text" value="9487,06"/> (kWh/ano)
	+
Consumo dos ventiladores (excluir o consumo do exaustor da cozinha, se houver)	<input type="text" value="0"/> (Ev = Pv*24*122/1000 (kWh))
	=
TOTAL	<input type="text" value="9487,06"/> (kWh/ano)
	/
Área útil de pavimento (m ²)	<input type="text" value="425"/>
	=
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc	<input type="text" value="22,32"/> (kWh/m ² .ano)
	≤
Necessidades nominais de arref. máximas - Nv	<input type="text" value="16"/> (kWh/m ² .ano)

Cálculo das Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária (Ntc)

		<input type="text" value="0,1"/>	
		x	
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic		<input type="text" value="144,39"/>	(kWh/m ² .ano)
		/	
Eficiência de conversão do sistema de aquecimento, η_i		<input type="text" value="4"/>	
		x	
Factor de conversão F_{pui} entre energia útil e energia primária		<input type="text" value="0,29"/>	(kgep/kWh)
		+	
		<input type="text" value="0,1"/>	
		x	
Nec. Nominais de Arrefecimento - Nvc		<input type="text" value="22,32"/>	(kWh/m ² .ano)
		/	
Eficiência de conversão do sistema de arrefecimento, η_v		<input type="text" value="3"/>	
		x	
Factor de conversão F_{puv} entre energia útil e energia primária		<input type="text" value="0,29"/>	(kgep/kWh)
		+	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, Nac		<input type="text" value="-11,94"/>	(kWh/m ² .ano)
		x	
Factor de conversão F_{pu} entre energia útil e energia primária		<input type="text" value="0,086"/>	(kgep/kWh)
		=	
Cálculo das Nec. Nominais Anuais Globais de Energia Primária, Ntc		<input type="text" value="0,24"/>	(kgep/m ² .ano)
		≤	
Limite máximo das nec. Anuais Globais de Energia Primária, Nt		<input type="text" value="1,67"/>	(kgep/m ² .ano)
sabendo que:			
Necessidades nominais de aquec. máximas - Ni (kWh/m ² .ano)		<input type="text" value="80,21"/>	
Necessidades nominais de arref. máximas - Nv (kWh/m ² .ano)		<input type="text" value="16"/>	
Limite máximo das necesides para preparação da AQS, Na (kWh/m ² .ano)		<input type="text" value="5,97"/>	

Resumo das Necessidades de Energia Primária

Parcela Aquecimento (kgep/m ² .ano)	<input type="text" value="1,05"/>	443,26% Ntc
Parcela Arrefecimento (kgep/m ² .ano)	<input type="text" value="0,22"/>	91,37 % Ntc
Parcela AQS (kgep/m ² .ano)	<input type="text" value="-1,03"/>	-434,62% Ntc
Nec. Nominais Anuais Globais de Energia Primária, Ntc (kgep/m ² .ano)	<input type="text" value="0,24"/>	