



**Universidade de  
Aveiro  
2012**

Departamento de Engenharia Civil

**Manuel Filipe  
Martins Vicente  
Monsanto  
Albuquerque**

**Concepção de Edifícios Com Padrões Passivhaus**





**Universidade de  
Aveiro  
2012**

Departamento de Engenharia Civil

**Manuel Filipe  
Martins Vicente  
Monsanto  
Albuquerque**

## **Concepção de Edifícios Com Padrões Passivhaus**

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e coorientação da Professora Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.



**o júri**  
presidente

**Professora Doutora Margarida João Fernandes De Pinho Lopes**  
professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Professor Doutor António José Barbosa Samagaio**  
professor associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Professor Doutor Romeu da Silva Vicente**  
professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Professora Doutora Maria Fernanda Da Silva Rodrigues**  
professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro



## agradecimentos

Já ultrapassei algumas barreiras na minha vida e, sempre que olhei para trás, me pareceram fáceis. Tudo parece mais fácil depois de ser ultrapassado... Após a subida, a barreira já não parece tão alta, devido ao facto de já não despertar um sentimento desafiador. Aproveito então, enquanto faltam escassos metros para chegar ao cume, enquanto sinto a dificuldade de escalada de uma dissertação com 50/100/200 páginas de altura, para agradecer às pessoas que me motivaram, desde sempre, a subir talvez, o Evereste da minha vida. Evereste porque, para mim, esta dissertação é o fecho escolar de 18 anos de formação e informação, isto é, de assimilação de conhecimentos, de raciocínio, de memórias, de amigos, de amigas e de dores de “calos nas mãos”, para chegar onde estou exatamente agora.

Começo por agradecer:

Aos meus orientadores de tese, Prof. Dr. Romeu Vicente e Prof. Dra. Fernanda Rodrigues, por todo o tempo que dedicaram, por todo o conhecimento e partilha a que se dispuseram, por todas as palavras amigas, que ajudaram à subida desta escalada.

A todos os Professores que passaram pela minha vida académica, que me ajudaram a cultivar o conhecimento e a ganhar interesse por determinadas áreas.

Aos meus colegas, por todas as horas despendidas a tentar perceber como um problema se resolve, a perceber que um problema não se resolve, a desistir de um problema platónico, a perceber que um problema só se resolve após 8 horas a sonhar com o mesmo, tornando-o no fim, não platónico mas sim confiante de uma solução que ainda gera muita discussão a outros, que não são meus colegas.

Aos meus amigos que, com muita pena, de ano para ano vão diminuindo ficando apenas um nicho de verdadeira amizade que me ajuda, com empurrões, com gritos de incentivo vindos “lá de baixo”, a fazer mais escaladas. Vocês estão lá e, espero sinceramente, daqui a 10 anos, quando voltar a ler esta secção, pensar nas mesmas pessoas que estou a pensar agora, com o mesmo sorriso na cara.

À minha família, começando pelas minhas irmãs, Carolina e Margarida. Carolina, obrigado por estares sempre a aborrecer-me com mensagens e telefonemas... a perguntar como vai a tese.... Apesar de no momento considerar “chato” sei que, no fundo, é uma preocupação que tens para comigo e agradeço-te por isso. À minha irmã mais nova, Margarida, a quem eu adoro aborrecer e nos dias em que me sinto mais frustrado, nada como chegar a casa e desligar-lhe a TV. Aos meus avós de quem é, sem dúvida, engraçado ouvir fazerem as mesmas questões de 5 em 5 minutos e, no final dizerem: “toma lá um dinheirito para não passares fome em Aveiro”.

Aos meus pais, Luís e Margarida sem os quais, não estaria a escrever este texto, não teria a educação que tenho, não seria a pessoa que sou. A eles dedico esta dissertação como uma obra de esforço e carinho e como forma de reconhecimento do mesmo esforço e carinho que me dedicaram durante 24 anos de existência.





**palavras-chave**

Eficiência energética, Passivhaus, RCCTE, soluções construtivas, energia renovável.

**Resumo**

Cada vez mais as pessoas se preocupam com o aquecimento global, consequência da poluição ambiental e, com a crise económica que se faz sentir em todo o mundo. A soma destes dois acontecimentos provoca uma motivação extra na procura da raiz do problema e, na procura de uma solução que faça sentido aos diferentes colaboradores do problema. Neste sentido, a redução das necessidades energéticas dos edifícios é considerada uma solução válida na medida que reduz não só as emissões dos GEE, mas também a fatura relativa ao consumo de energia. O primeiro passo para a solução consiste, num futuro próximo, na modificação dos regulamentos térmicos, tornando-os mais exigentes e que cultivem o interesse dos projetistas térmicos em procurar soluções construtivas energeticamente mais eficientes.

O objetivo desta pesquisa recai sobre o estudo de edifícios com padrões Passivhaus e sobre a aplicação do conceito construtivo, que esta norma representa, a uma habitação portuguesa. Procura-se reduzir o consumo final de energia e assim otimizar o desempenho energético do edifício, a fim de estar não só de acordo com o regulamento português mas também com a norma Passivhaus, obtendo um certificado energético de elevada classificação. Posteriormente, compara-se os consumos de energia que o caso de estudo atingiu com os consumos de energia da habitação original e as toneladas de emissão de CO<sub>2</sub> evitadas, por ano.

Os resultados mostram que, através da aplicação numa habitação do conceito construtivo da norma Passivhaus, é possível chegar a um excelente comportamento térmico associado a consumos de energia muito baixos, evitando o desperdício de energia e a emissão de CO<sub>2</sub>.

Cada vez mais é necessário evoluir no modo de construção, para se obter um conforto térmico interior aliado a um reduzido custo e a um ambiente menos poluído.



**keywords**

Energy efficiency, Passivhaus, RCCTE, constructive solutions, renewable energy.

**abstract**

Increasingly, people are worrying about global warming, as a result of environmental pollution, and the economic crisis that is felt around the world. The sum of these two events is causing motivation to seek out the root of the problem and to find a solution that makes sense to the various contributors to the problem. Considering this, reducing the energy needs of buildings is a valid solution because it not only reduces GHG emissions, but also reduces energy consumption costs. The first step towards the solution in the near future lies in the modification of thermal regulations, making them more demanding so they cultivate the interest of thermal designers to produce more energy efficient solutions.

The objective of this research is based on a study of buildings with Passivhaus standards. It also focuses on the constructive application of the concept that this standard represents in a Portuguese dwelling. It seeks to reduce the overall energy consumption in order to optimize the buildings' energy performance in order to be in accordance with the regulations. Therefore meeting the Portuguese Passivhaus standard and obtaining an high energy rating certificate. Finally we compare the energy consumption of the subjects reached with the energy consumption of the original dwelling. This analysis helps us to determine the large amounts of CO<sub>2</sub> emissions avoided per year.

The results show that by applying the Passivhaus standard, people will be able to reach an excellent thermal behavior associated with very low power consumption and avoid waste of energy and CO<sub>2</sub> emissions.

Therefore, it is necessary to develop the method of construction in order to provide thermal comfort while reducing cost and making the environment cleaner.



## Índice

---



## Índice

<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE ACRÓNIMOS .....</b>	<b>XVII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	3
1.2 OBJETIVOS .....	4
1.2.1 <i>Geral</i> .....	4
1.2.2 <i>Específicos</i> .....	4
1.3 METODOLOGIA.....	4
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	5
<b>2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS .....</b>	<b>9</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	9
2.2 CARATERÍSTICAS EXTERIORES DOS EDIFÍCIOS.....	9
2.2.1 <i>Forma</i> .....	9
2.2.2 <i>Localização</i> .....	10
2.2.3 <i>Orientação e captação de energia solar</i> .....	11
2.3 CARATERÍSTICAS DO SISTEMA CONSTRUTIVO .....	13
2.3.1 <i>Envolvente exterior dos edifícios</i> .....	13
2.4 VENTILAÇÃO .....	19
2.4.1 <i>Ventilação natural</i> .....	20
2.4.2 <i>Ventilação mecânica</i> .....	20
2.5 AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO .....	21
2.5.1 <i>Sistema de aquecimento central</i> .....	21
2.5.2 <i>Ar condicionado</i> .....	24
2.6 PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE.....	26
2.6.1 <i>Sistema instantâneo</i> .....	26
2.6.2 <i>Sistema acumulador</i> .....	27
2.6.3 <i>Painel Solar</i> .....	28
<b>3 PASSIVHAUS .....</b>	<b>33</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	33
3.2 CONFORTO TÉRMICO.....	36

3.2.1	<i>Estação de aquecimento</i>	37
3.2.2	<i>Estação de arrefecimento</i>	38
3.3	DESENHO PASSIVHAUS	39
3.3.1	<i>Super isolamento</i>	40
3.3.2	<i>Pontes térmicas</i>	42
3.3.3	<i>Estanqueidade ao ar</i>	44
3.3.4	<i>Ventilação mecânica com recuperador de calor (MVHR)</i>	46
3.3.5	<i>Vãos envidraçados</i>	48
3.3.6	<i>Outras estratégias passivas</i>	50
3.4	PASSIVHAUS PARA CLIMAS QUENTES	63
3.4.1	<i>Espanha</i>	63
3.4.2	<i>Itália</i>	64
3.4.3	<i>França</i>	65
3.4.4	<i>Reino Unido</i>	67
3.4.5	<i>Portugal</i>	68
3.5	CUSTO DE UMA PASSIVHAUS	72
3.6	BENEFÍCIO AMBIENTAL DE UMA PASSIVHAUS	74
3.7	REABILITAÇÃO DE HABITAÇÕES (ENERPHIT)	75
<b>4</b>	<b>OPTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO – CASO DE ESTUDO</b>	<b>79</b>
4.1	DESCRIÇÃO ARQUITECTÓNICA DO EDIFÍCIO	79
4.1.1	<i>Zoneamento Climático</i>	80
4.2	COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO CONSIDERANDO AS SOLUÇÕES DE PROJETO	81
4.2.1	<i>Envolvente opaca</i>	83
4.2.2	<i>Envolvente envidraçada</i>	87
4.2.3	<i>Ventilação natural</i>	88
4.2.4	<i>Aquecimento de água quente sanitária</i>	88
4.2.5	<i>Sistemas de Climatização</i>	89
4.2.6	<i>Necessidades e classificação energética do edifício</i>	89
4.3	OPTIMIZAÇÃO ATRAVÉS DE ESTRATÉGIAS PASSIVHAUS	91
4.3.1	<i>Envolvente exterior opaca</i>	91
4.3.2	<i>Envolvente interior</i>	95
4.3.3	<i>Vãos envidraçados</i>	98
4.3.4	<i>Renovação de ar</i>	99
4.3.5	<i>Necessidades e classificação energética da solução final</i>	101
4.3.6	<i>Síntese final</i>	107



<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>111</b>
5.1 PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO.....	114
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>122</b>



## Índice de Figuras

---



## Índice de Figuras

FIGURA 2.1 - FACTOR DE FORMA PARA TRÊS TIPOS DE OBJETOS COM DIFERENTES ÁREAS E VOLUMES (SIMÕES, 2009). .....	10
FIGURA 2.2 - ZONAMENTO CLIMÁTICO DE INVERNO E VERÃO DE PORTUGAL CONTINENTAL (DEC.LEI - 80/2006). ...	11
FIGURA 2.3 – DIAGRAMA DE INSOLAÇÃO E ORIENTAÇÃO ÓPTIMA DA RADIAÇÃO SOLAR NAS FACHADAS (WWW.EDIFIQUE.ARQ.BR). .....	12
FIGURA 2.4 – ISOLAMENTO PELO EXTERIOR (HTTP://POLYSTERM.COM/ISOLAMENTO-TERMICO.HTM). .....	15
FIGURA 2.5 – ISOLAMENTO PELO INTERIOR (HTTP://POLYSTERM.COM/ISOLAMENTO-TERMICO.HTM). .....	16
FIGURA 2.6 – ISOLAMENTO TÉRMICO NA CAIXA-DE-AR (HTTP://POLYSTERM.COM/ISOLAMENTO-TERMICO.HTM). .....	16
FIGURA 2.7 – TEMPERATURAS NA COBERTURA TRADICIONAL E INVERTIDA AO LONGO DO ANO (LOPES, 1995). .....	17
FIGURA 2.8 – COBERTURA INCLINADA (FERREIRA, 2006). .....	17
FIGURA 2.9 – VENTILAÇÃO NATURAL – EFEITO CHAMINÉ (VERSAGE, 2009). .....	20
FIGURA 2.10 – VENTILADOR CENTRÍFUGO (ESQUERDA) E VENTILADOR HELICOIDAL (DIREITA). .....	21
FIGURA 2.11 – DIFERENTES TIPOS DE RADIADORES (CONSTANTINO, 2010). .....	23
FIGURA 2.12 – PISO RADIANTE (CONSTANTINO, 2010). .....	24
FIGURA 2.13 – UNIDADES INDIVIDUAIS DE AR CONDICIONADO (CONSTANTINO, 2010). .....	25
FIGURA 2.14 – SISTEMA COMPLETO DE UMA PAINEL SOLAR (HTTP://WWW.GEOCITIES.WS/SALADEFISICA5/LEITURAS/SOLAR.HTML). .....	29
FIGURA 3.1 – TERMOGRAFIA DE UM TERMO E UMA CAFETEIRA AQUECIDA COM RESISTÊNCIA ELÉTRICA (FENERCOM, 2011). .....	40
FIGURA 3.2 – INVÓLUCRO DE ISOLAMENTO (AMARELO) COLOCADO PELO EXTERIOR DE FORMA CONTÍNUA, EXCEPTUANDO ZONAS IMPOSSÍVEIS DE CONTORNAR (JIMENO, 2008). .....	42
FIGURA 3.3 – PONTES TÉRMICAS NAS JUNÇÕES ENTRE AS DUAS PAREDES E ENTRE PAREDES E TETO, IDENTIFICADAS PELAS ZONAS MAIS ESCURAS DA TERMOGRAFIA (MCLEOD ET AL., 2006). .....	43
FIGURA 3.4 - INSTALAÇÃO DO ENVIDRAÇADO NO PLANO DA CAMADA ISOLANTE (PASSIVE-ON, 2007D). .....	43
FIGURA 3.5 – MEMBRANA IMPERMEÁVEL (MCLEOD ET AL., 2006). .....	44
FIGURA 3.6– BLOWER DOOR TEST (STEUDLE ET AL., 2005). .....	46
FIGURA 3.7 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA MVHR (STEUDLE ET AL., 2005). .....	47
FIGURA 3.8 – ENVIDRAÇADO DE ALTA QUALIDADE DE BAIXO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA (FENERCOM, 2011). .....	50
FIGURA 3.9 - GRÁFICO DE BARRAS QUE COMPARA A ESPESSURA QUE TERIA DE TER CADA MATERIAL PARA ARMAZENAR A MESMA ENERGIA QUE 1 CM DE PCM ARMAZENA (HARALD MEHLING ET AL., 2008) .....	58
FIGURA 3.10 - ESTRATÉGIA DE VENTILAÇÃO NO VERÃO (PASSIVE-ON, 2007C). .....	64

FIGURA 3.11 - ESTRATÉGIA DE AQUECIMENTO NO INVERNO (PASSIVE-ON, 2007c).....	64
FIGURA 3.12 – ESTRATÉGIA DE ARREFECIMENTO NO VERÃO (PASSIVE-ON, 2007c). ....	65
FIGURA 3.13 – ESTRATÉGIA DE AQUECIMENTO NO INVERNO (PASSIVE-ON, 2007c).....	65
FIGURA 3.14 – ESTRATÉGIA DE ARREFECIMENTO NO VERÃO (PASSIVE-ON, 2007c). ....	66
FIGURA 3.15 – ESTRATÉGIA DE AQUECIMENTO NO VERÃO (PASSIVE-ON, 2007c).....	66
FIGURA 3.16 – ESTRATÉGIA DE ARREFECIMENTO NO VERÃO (PASSIVE-ON, 2007c). ....	68
FIGURA 3.17 – ESTRATÉGIA DE AQUECIMENTO NO INVERNO (PASSIVE-ON, 2007c).....	68
FIGURA 4.1 – ALÇADO ESTE, OESTE, SUL E NORTE DO EMPREENDIMENTO.....	80
FIGURA 4.2 – PONTES TÉRMICAS LINEARES – ENVOLVENTE EXTERIOR.....	81
FIGURA 4.3 – PONTES TÉRMICAS LINEARES – ENVOLVENTE INTERIOR.....	82
FIGURA 4.4 – PONTES TÉRMICAS PLANAS.....	82
FIGURA 4.5 – AVALIAÇÃO DAS PERDAS TÉRMICAS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO E GANHOS TÉRMICOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO NA SOLUÇÃO ORIGINAL.....	90
FIGURA 4.6 - CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA.....	91
FIGURA 4.7 – PERDAS TÉRMICAS PELA ENVOLVENTE EXTERIOR NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO NA SOLUÇÃO ORIGINAL, A E B.....	94
FIGURA 4.8 – PERDAS TÉRMICAS PELA ENVOLVENTE EXTERIOR VERIFICADAS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO.....	97
FIGURA 4.9 - GANHOS SOLARES PELOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES NA SOLUÇÃO DE PROJETO E NA SOLUÇÃO COM PORTADAS DE MADEIRA DE COR CLARA.....	99
FIGURA 4.10 – PERDAS TÉRMICAS POR RENOVAÇÃO DE AR – SOLUÇÃO DE PROJETO (VENTILAÇÃO NATURAL) E SOLUÇÃO DE CASO ESTUDO (VENTILAÇÃO MECÂNICA COM RECUPERADOR DE CALOR).....	100
FIGURA 4.11 – PERDAS TÉRMICAS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO.....	102
FIGURA 4.12 – PERDAS E GANHOS TÉRMICOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO.....	104
FIGURA 4.13 – NECESSIDADES DE ARREFECIMENTO COM VENTILAÇÃO MECÂNICA E VENTILAÇÃO NATURAL.....	105
FIGURA 4.14 – VARIAÇÃO DAS NECESSIDADES DE AQUECIMENTO, ARREFECIMENTO E ENERGIA PRIMÁRIA.....	106

## **Índice de Tabelas**

---





## Índice de Tabelas

TABELA 3.1 – MASSA MOLECULAR E CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE DIFERENTES GASES. ....	49
TABELA 3.2 - COEFICIENTE DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DE DIFERENTES ENVIDRAÇADOS .....	49
TABELA 3.3 - CONCLUSÕES DE DIFERENTES AUTORES QUE ESTUDARAM A IMPLEMENTAÇÃO DE PCMS NA PAREDE TROMBE.....	59
TABELA 3.4 – CONCLUSÕES DE DIFERENTES AUTORES QUE ESTUDARAM A IMPREGNAÇÃO DE PCMS EM WALLBOARDS. ....	60
TABELA 3.5 - CONCLUSÕES DE DIFERENTES AUTORES QUE ESTUDARAM A IMPREGNAÇÃO DE PCMS EM SISTEMAS SHUTTER.....	61
TABELA 3.6 - CONCLUSÕES DE DIFERENTES AUTORES QUE ESTUDARAM A IMPREGNAÇÃO DE PCMS EM PAREDES DE BETÃO.....	62
TABELA 3.7 – COMPARAÇÃO DO CUSTO E CONSUMO ENERGÉTICO ENTRE UMA CASA TÍPICA E UMA PASSIVHAUS, PARA DIFERENTES PAÍSES E, RESPECTIVO RETORNO ECONÓMICO PARA CADA CASA PASSIVHAUS (PASSIVE-ON, 2007A).....	73
TABELA 3.8 – EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> PRODUZIDAS POR UMA CASA TÍPICA E UMA CASA PASSIVHAUS, AMBAS COM UMA ÁREA HABITÁVEL DE 100 M <sup>2</sup> (PASSIVE-ON, 2007A).....	74
TABELA 4.1- DADOS CLIMÁTICOS.....	80
TABELA 4.2 – DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA ADOTADA PARA CADA ENVOLVENTE OPACA EXTERIOR, DO PROJETO INICIAL, E SEU COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA. ....	83
TABELA 4.3 – DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA PARA CADA ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA, DO PROJETO INICIAL, E SEU RESPECTIVO FATOR SOLAR.....	87
TABELA 4.4 – DETERMINAÇÃO DA TAXA DE RENOVAÇÃO HORÁRIA NOMINAL RPH.....	88
TABELA 4.5- COMPARAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA COM OS VALORES LIMITES MÁXIMOS. ....	89
TABELA 4.6 – DADOS ESTATÍSTICOS RELATIVOS A PERDAS TÉRMICAS OCORRIDAS NAS ESTAÇÕES DE AQUECIMENTO NA ENVOLVENTE EXTERIOR OPACA, CONSIDERANDO A SOLUÇÃO ORIGINAL, A E B. ....	92
TABELA 4.7 – DADOS ESTATÍSTICOS RELATIVOS A PERDAS TÉRMICAS OCORRIDAS NAS ESTAÇÕES DE AQUECIMENTO NA ENVOLVENTE INTERIOR, CONSIDERANDO AS SOLUÇÕES DE PROJETO, A E B.....	95
TABELA 4.8 – DETERMINAÇÃO DO FATOR SOLAR DO VÃO ENVIDRAÇADO NA SITUAÇÃO DE VERÃO. ....	99
TABELA 4.9 – DADOS ESTATÍSTICOS DAS PERDAS TÉRMICAS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO. ....	101
TABELA 4.10 – DADOS ESTATÍSTICOS DAS PERDAS E GANHOS TÉRMICOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO. ....	103
TABELA 4.11 – NECESSIDADES DE AQUECIMENTO, DE ARREFECIMENTO, DE ENERGIA PRIMÁRIA, DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS E DE ENERGIA PRIMÁRIA.....	105

TABELA 4.12 – NECESSIDADES DE AQUECIMENTO, DE ARREFECIMENTO, DE ENERGIA PRIMÁRIA, DE ÁGUAS QUENTES  
SANITÁRIAS E DE ENERGIA PRIMÁRIA. .... 106

## **Lista de Acrónimos**

---



## **Lista de Acrónimos**

**GEE – Gases efeito de estufa**

**CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono**

**RCCTE – Regulamento das Caraterísticas de Comportamento Térmico de Edifícios**

**PHPP – Passivhaus Planning Package**

**MVHR – Mechanical Ventilation Heat Recovery**

**PCM – Phase Change Material**

**SBE – Scholl of the Built Environment**

**LCC – Life Cycle Cost**



**Capítulo 1**  
**Introdução**

---

## **Capítulo 1 Introdução**

- 1.1 Considerações gerais
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Metodologia
- 1.4 Estrutura da dissertação



# 1 Introdução

## 1.1 Considerações gerais

O fenómeno do aquecimento global é, hoje, amplamente aceite por todos. Este fenómeno está associado ao efeito de estufa, o qual é o principal responsável pelo seu desenvolvimento. O primeiro passo para minimizar este efeito consiste na redução da emissão de gases com efeito de estufa (GEE), especialmente do dióxido de carbono proveniente da queima de combustíveis fósseis utilizados na produção de energia destinada entre outros ao aquecimento, à geração de eletricidade e aos transportes (SIMON TAYLOR A et al., 2009).

Várias análises, protagonizadas por diferentes institutos de investigação, concluíram que 40% dessas emissões de dióxido de carbono provêm das necessidades energéticas dos edifícios. Em consequência, nas últimas décadas, tem havido uma maior preocupação em se atingir menores consumos energéticos nos edifícios, tem aumentado a exigência por parte dos regulamentos térmicos de vários países e tem ocorrido um intenso estudo no mundo de investigação, com o objetivo de alcançar o que se chama de “casa passiva”.

A “casa passiva” refere-se a todas as habitações que não necessitam dos convencionais sistemas ativos usados no aquecimento/arrefecimento, para atingir um conforto interior do agrado do utilizador. Este conceito tem sido alvo de discussão por diferentes investigadores/interessados, no entanto, é importante sublinhar uma conferência sobre eficiência energética realizada na década de 80, na Universidade de Lund, na Suécia, na qual de uma conversa entre dois físicos, nasceu o que se denomina hoje de “Passivhaus”.

O conceito Passivhaus, desenvolvido pelo físico Dr. Wolfgang Feist e Dr. Bo Adamson, pode ser definido como: “um edifício, cuja temperatura de conforto (ISO 7730) é alcançada somente por pós-aquecimento ou pós-arrefecimento da massa de ar fresco, que é necessária para conseguir condições de qualidade de ar interior suficientes – sem a recirculação adicional de ar” - Passipedia. Passivhaus é, portanto, não um nome de marca mas um conceito de construção que leva à verdadeira eficiência energética e conforto, sendo financeiramente atingível contribuindo para um ambiente menos poluído.

Esta dissertação procura, primeiro, comparar as soluções construtivas tradicionais de uma habitação portuguesa com as soluções construtivas Passivhaus, aplicadas ao clima português. Seguidamente, procura avaliar e comparar as exigências energéticas estabelecidas quer pelo regulamento português quer pela Passivhaus. Em último lugar, aplicar as soluções construtivas de uma Passivhaus a uma habitação unifamiliar portuguesa, com o objetivo de se atingirem as necessidades energéticas estipuladas pela norma

Passivhaus, mais propriamente as necessidades de aquecimento, de arrefecimento, de energia primária e a taxa nominal de renovação de ar.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Geral**

O principal objetivo do estudo é otimizar a eficiência energética de uma habitação unifamiliar através de soluções construtivas Passivhaus.

### **1.2.2 Específicos**

Para ambas as estações sazonais, são objetivos específicos desta pesquisa:

- ⇒ Avaliar a influência que cada solução construtiva e de sistemas protagoniza no desempenho energético do empreendimento;
- ⇒ Analisar graficamente a variação das perdas térmicas, dos ganhos térmicos, das necessidades de aquecimento, de arrefecimento e de energia primária, consequentes de cada solução construtiva adotada;
- ⇒ Avaliar a aplicabilidade das soluções construtivas propostas pela Passivhaus para climas frios, no clima português;
- ⇒ Comparar as soluções construtivas finais com as soluções construtivas que uma Passivhaus tem na Europa Central;
- ⇒ Classificar o nível energético da solução final do empreendimento;
- ⇒ Avaliar a influência da solução final nas emissões de CO<sub>2</sub>.

## **1.3 Metodologia**

Com o intuito de atingir os objetivos referidos, este trabalho começou pela pesquisa bibliográfica relativa à temática em estudo. Para a análise da influência dos diferentes intervenientes na eficiência energética de uma habitação, a pesquisa começou pela influência que as envolventes opacas, os vãos envidraçados, os sistemas de renovação de ar, a produção de água quente, os sistemas de aquecimento e arrefecimento e, por último, as características exteriores dos edifícios, preconizam nas necessidades energéticas. A segunda parte da pesquisa recaiu sobre a Passivhaus, desde o conceito construtivo, aos limites energéticos impostos à sua aplicação em diferentes países com diferentes climas.

O segundo ponto focado para atingir os objetivos desta dissertação partiu de estudar uma moradia portuguesa a nível energético e aplicar-lhe o conceito construtivo Passivhaus. Analisou-se a influência a nível energético, de cada sistema construtivo aplicado, comparando-o de seguida com o sistema construtivo original. A simulação foi feita a partir de um ficheiro EXCEL programado e configurado para que esteja de acordo com o regulamento português, RCCTE.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

Além do Capítulo 1 no qual se efectua a introdução ao trabalho a desenvolver esta dissertação está dividida em mais quatro capítulos:

⇒ Capítulo 2 – Eficiência energética em edifícios

No capítulo 2 apresenta-se um conjunto de conceitos, materiais e disposições construtivas com vista a uma melhor percepção do que é a eficiência energética num edifício.

⇒ Capítulo 3 – Passivhaus

No capítulo 3 faz-se uma apresentação do que é a Passivhaus, partindo das soluções construtivas que adota, da sua aplicação em diferentes climas, do seu custo em relação a soluções construtivas convencionais, do seu aproveitamento na reabilitação e, por último, da sua contribuição para o meio ambiente.

⇒ Capítulo 4 – Optimização do desempenho energético do empreendimento.

No capítulo 4 são apresentados todos os dados obtidos do projeto térmico assim como várias soluções construtivas e de sistemas da Passivhaus analisando-se, posteriormente, as variações que os mesmos provocam nas necessidades energéticas, na classificação e na emissão de CO<sub>2</sub>.

⇒ Capítulo 5 – Conclusões.

No capítulo 5 é apresentado um sumário de todo o conteúdo da tese, a discussão dos resultados e as principais conclusões obtidas.



## **Capítulo 2**

### **Eficiência energética em edifícios**

---

## **Capítulo 2 Eficiência energética em edifícios**

- 2.1 Introdução
- 2.2 Características exteriores dos edifícios
- 2.3 Características do sistema construtivo
- 2.4 Ventilação
- 2.5 Aquecimento e arrefecimento
- 2.6 Produção de água quente

## 2 Eficiência energética em edifícios

### 2.1 Introdução

Na procura do conforto habitacional, aliada a um retorno económico justificável, vários parâmetros são considerados essenciais no estudo de um projeto. Em primeiro lugar, e no que concerne à avaliação das necessidades e ao desempenho energético, são de considerar: as características exteriores do edifício, os sistemas construtivos, os tipos de ventilação, as necessidades de aquecimento, de arrefecimento e de energia primária e, por último, os sistemas de produção de água quente sanitária.

As características e sistemas de construção devem resultar de uma escolha inteligente, pensada em se adaptar às diferentes fases do dia e de cada estação. Deste modo, procura-se um balanço entre tecnologias e uso racional de energia, proporcionando o mesmo nível de produção de bens, serviços e conforto que seria atingido através de soluções convencionais, o que conduzirá (ALMEIDA et al., 2005):

- ⇒ a uma redução do consumo de energia e de emissões poluentes associadas à sua conversão,
- ⇒ a uma elevada economia nos custos do ciclo de vida dos equipamentos utilizadores de energia.

### 2.2 Características exteriores dos edifícios

As características exteriores dos edifícios que influenciam o projeto térmico são:

- ⇒ a forma - condiciona as perdas de calor de um edifício, através da relação entre o somatório das áreas das envolventes exterior e interior e o volume interior, que se traduz pelo fator de forma,
- ⇒ a orientação – perceber a trajetória que o sol faz numa dada localização ajuda a orientar o edifício de modo a obter a quantidade de radiação solar pretendida,
- ⇒ a localização - diferentes localidades têm diferentes dados climáticos e, portanto, diferentes valores a serem pensados e contabilizados no projeto térmico,
- ⇒ a captação de energia solar - depende da orientação da habitação mas também está associada à forma do edifício e à localização dos vãos envidraçados, sendo que a melhor relação entre todos estes fatores contribui para um melhor aproveitamento dos ganhos solares.

#### 2.2.1 Forma

A forma de um edifício tem um impacto significativo nas suas perdas térmicas. A influência da forma é traduzida através do factor forma (FF) – “quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior e

interior do edifício ou fracção autónoma com exigências térmicas, e o respectivo volume interior” (Dec.Lei – 80/2006).

No inverno existe a contínua necessidade de aquecimento devido ao calor ser transmitido/perdido para o exterior através da envolvente exterior. Dessa forma, quanto maior for a superfície que envolve o volume interior maior será a transferência de calor e, conseqüentemente, maior será o fator de forma. Um baixo fator de forma de um edifício pressupõe uma boa eficiência do ponto de vista energético.

Outro dado relevante refere -se às estruturas com formas arredondadas, compactas, que têm menos perdas de energia do que estruturas com inúmeras cavidades recolhidas ou salientes (Figura 2.1) (ADENE, 2011).




Área do Pavimento Volume bruto	100.0 m2 300.0m3	200.0 m2 600.m3	1000.0 m2 3000.0 m3
 $3/r$	0.72	0.57	0.33
 $6/a$	0.89	0.71	0.41
 $a \cdot 2a \cdot 6a$ $10/3a$	1.14	0.91	0.53

Figura 2.1 - Fator forma para três tipos de objetos com diferentes áreas e volumes (SIMÕES, 2009).

## 2.2.2 Localização

A localização de uma habitação consiste em pensar e projetar um edifício tendo em conta toda a envolvência do clima e as características ambientais do local em que ele se insere (CONSTANTINO, 2010).

A localização incide nas necessidades térmicas do espaço interior contempladas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios, RCCTE. Este regulamento divide o zonamento climático em estação de inverno e estação de verão. A estação de inverno está dividida em três zonas: I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> e I<sub>3</sub>, da de menores necessidades para a de maiores necessidades de aquecimento, respetivamente. A



estação de verão também se subdivide em três zonas:  $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ , começando pela que tem menor necessidade de arrefecimento para a que apresenta maior necessidade de arrefecimento, respectivamente (Figura 2.2), estando por sua vez divididas em norte e sul.

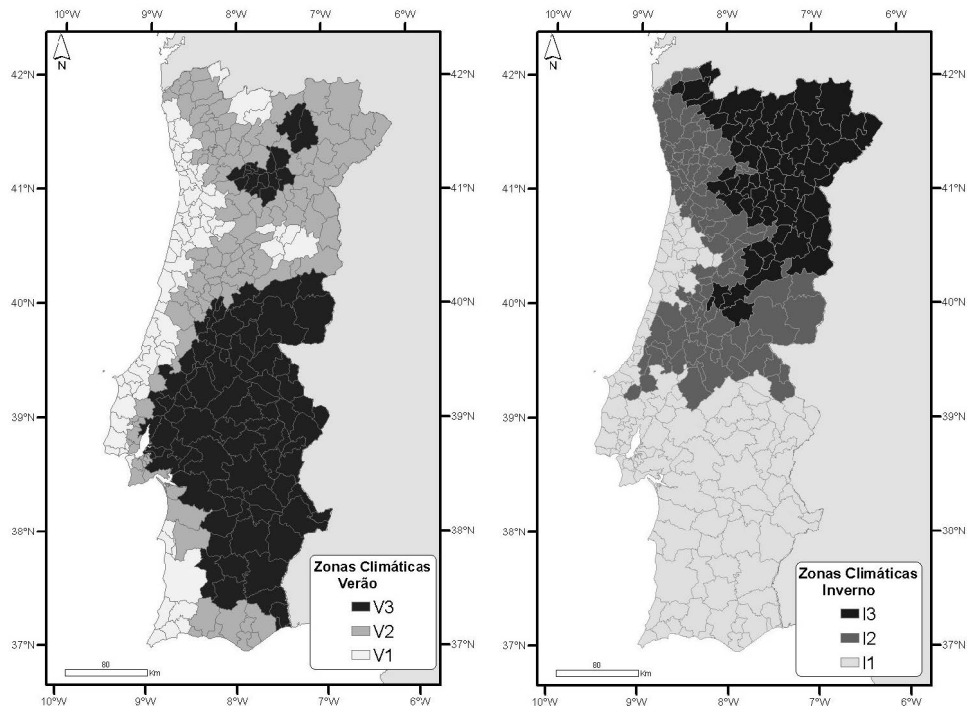


Figura 2.2 - Zonamento climático de inverno e verão de Portugal Continental (Dec.Lei - 80/2006).

### 2.2.3 Orientação e captação de energia solar

No inverno há a necessidade de maximizar a captação da radiação solar para o interior dos espaços habitados, contrariamente ao verão, no qual se procura uma proteção contra a entrada dos raios solares, para se evitar o sobreaquecimento dos espaços interiores. É difícil chegar a uma solução ideal que responda a estas duas necessidades opostas, que se intercalam temporalmente. Contudo, podem-se criar estratégias para que a eficiência energética da habitação se concentre mais numa dada estação do que noutra. Por exemplo, uma casa situada numa zona de clima frio, interessa que as paredes de maiores dimensões, superfícies envidraçadas e divisões de maior uso, estejam orientadas a sul e sudoeste devendo, em zonas quentes, estar orientadas a norte.

O estudo da geometria solar permite conhecer de forma mais detalhada os diferentes percursos do sol, nas diferentes estações do ano e, como tal, aplicar medidas mais eficazes relativas à incidência e obstrução da

radiação solar de um edifício (CONSTANTINO, 2010). Algumas medidas que contribuem para o compromisso de uma eficiência energética em ambas as estações passam por:

- ⇒ reduzir a exposição solar a este e oeste. Estas duas orientações são irradiadas no verão e resultam numa grande dificuldade em controlá-las devido à sua radiação ser perpendicular às janelas,
- ⇒ reduzir vãos envidraçados a norte e aumentá-los a sul. Na zona norte da habitação situar os WC's, arrumos, ou outros espaços que não necessitem de tanta abertura para o exterior.

O estudo da geometria solar inclui os efeitos de brises e sombreamentos do próprio edifício, bem como outros efeitos de sombreamento (edifícios vizinhos, árvores, localização urbana, etc.) que associados ao movimento e altura do sol em cada estação permitem ganhos ou a proteção necessária. Sistemas de proteção de janelas ou sombreamento estão divididos em quatro categorias:

- ⇒ sistemas fixos (telheiros, palas, varandas ou alpendres);
- ⇒ sistemas de proteção externos móveis (toldos, estores);
- ⇒ unidades externas fixas (guarda-sóis verticais e horizontais);
- ⇒ vegetação (trepadeiras e arbustos).

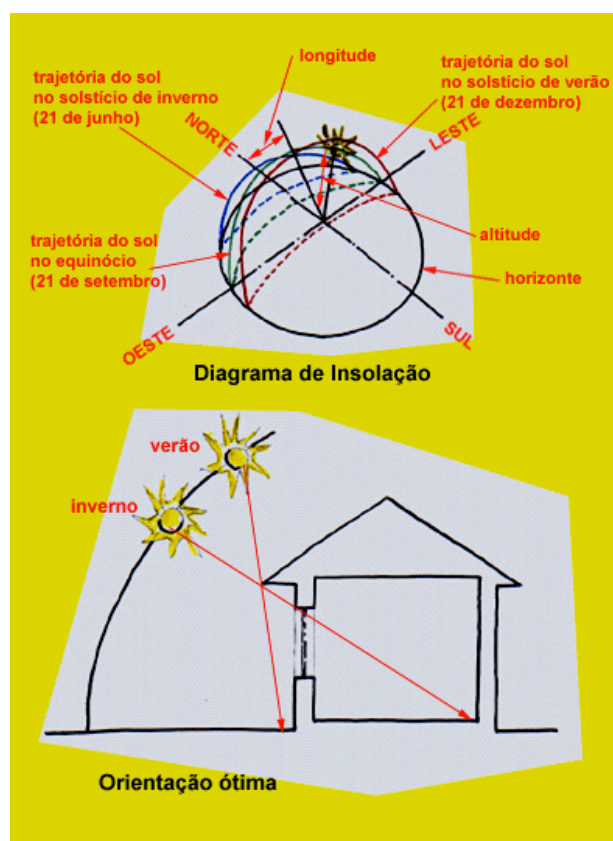


Figura 2.3 – Diagrama de insolação e orientação óptima da radiação solar nas fachadas (WWW.EDIFIQUE.ARQ.BR).

## 2.3 Caraterísticas do sistema construtivo

Na construção de uma habitação, a escolha dos materiais simboliza a procura da satisfação das condições estabelecidas pelo Regulamento das Caraterísticas de Comportamento Térmico dos Edifícios. Assim sendo, é importante perceber que o desempenho energético da habitação depende fundamentalmente das caraterísticas dos elementos que fazem fronteira entre a casa e o exterior, pois é através destes que se dá a transmissão de calor, a qual pode ocorrer através de fenómenos de:

- ⇒ Condução – transferência de calor entre dois corpos em contacto físico direto. Não há deslocação da matéria,
- ⇒ Convecção – transferência de calor entre um sólido e um fluido, líquido ou gasoso. Há deslocação da matéria,
- ⇒ Radiação – transferência de calor resultante duma troca de radiação entre dois corpos que se encontram a temperaturas diferentes. Única característica que é proporcional à emissividade dos corpos.

### 2.3.1 Envolvente exterior dos edifícios

A envolvente exterior dos edifícios é a única em contacto direto com o exterior e divide-se em:

- ⇒ paredes exteriores,
- ⇒ coberturas,
- ⇒ pavimentos exteriores,
- ⇒ vãos envidraçados.

As caraterísticas a ter em conta no que diz respeito aos ganhos e perdas de energia entre o interior e o exterior de um edifício são: a inércia térmica do material e o seu poder isolante (MAGALHÃES, 2011).

A inércia térmica é uma caraterística própria dos materiais pesados e densos, representando a capacidade que um edifício tem de contrariar as variações de temperatura no seu interior, através do calor acumulado nos seus elementos construtivos. A quantidade de calor absorvido e a velocidade de absorção determinam a inércia térmica do edifício.

Relativamente ao poder isolante dos materiais, trata-se de uma caraterística fundamental para resistir às diferenças de temperatura. No caso de um edifício mal isolado, os custos de arrefecimento serão maiores no verão devido à pouca resistência isolante que a parede oferece à entrada de calor e, no inverno, a energia de aquecimento gerada pela habitação irá ser mais facilmente perdida para o exterior, o que trará maior

consumo de energia. Para se proporcionar um ambiente económico e agradável a redução das transmissões de calor é uma medida necessária. Neste sentido, deve ter-se em consideração os seguintes requisitos de isolamento (CONSTANTINO, 2010):

- ⇒ as partes estruturais deverão estar posicionadas no interior da área isolada, para se eliminarem as pontes térmicas planas,
- ⇒ as ligações entre os diferentes elementos do edifício devem ser verificadas, com o intuito de correção de pontes térmicas lineares, ou seja, de zonas onde o calor pode ser dissipado em maior quantidade do que no resto da envolvente,
- ⇒ a colocação de janelas e portas deve evitar as entradas e saídas de calor.

### **Paredes exteriores**

A principal função das paredes exteriores é a de criar uma fronteira entre o exterior e o interior da habitação, atuando como barreira contra o vento, chuva, radiação solar, calor, ruído, fogo, insetos, animais e até humanos.

As soluções construtivas estão dependentes das propriedades físicas da parede, como o coeficiente de transmissão térmica e a espessura dos diversos materiais disponíveis no mercado. As estratégias de isolamento adotadas têm um papel fundamental na escolha da solução pretendida. Existem vários tipos de materiais e técnicas a usar no isolamento, os quais dependem do clima da zona e de alguma restrição de construção da área visada. Os materiais usados no isolamento têm uma estrutura que dificulta a dissipação de calor, sendo caracterizados pela alta resistência térmica, pela elevada porosidade e pela baixa densidade. A nível físico, podem ser placas compactas, espuma, soltos, tapetes ou placas de feltro. Os mais utilizados são:

- ⇒ poliestireno expandido (EPS),
- ⇒ poliestireno extrudido (XPS),
- ⇒ espuma de poliuretano (PUR),
- ⇒ aglomerado de cortiça,
- ⇒ lã mineral.

O sistema de isolamento mais eficaz, especialmente no que respeita à eliminação e redução de pontes térmicas, é o que é feito pelo exterior e consiste na aplicação de isolante na face exterior da parede, com um revestimento adequado (Figura 2.4). As suas vantagens são (JIMENO, 2008):

- ⇒ a economia de energia, devido à redução das necessidades de aquecimento e arrefecimento do ambiente interior,

- ⇒ a redução das pontes térmicas, existindo uma ininterruptibilidade de isolamento, proporcionando um coeficiente de transmissão global igual em toda a envolvente,
- ⇒ o aumento da inércia térmica dos edifícios, atuando assim como regulador térmico,
- ⇒ a diminuição da espessura das paredes exteriores, com o conseqüente aumento da área habitável e conseqüente redução do peso das paredes e das cargas permanentes sobre a estrutura,
- ⇒ a melhoria da impermeabilidade das paredes, uma vez que o material isolante térmico atua como uma barreira a humidades provenientes do exterior,
- ⇒ a diminuição do risco de condensações,
- ⇒ o aumento da durabilidade das fachadas, por se encontrarem protegidas da ação dos agentes climáticos e atmosféricos,
- ⇒ a possibilidade de alteração do aspeto das fachadas sem perturbar os ocupantes, o que torna esta técnica de isolamento vantajosa no que respeita à reabilitação de fachadas degradadas.

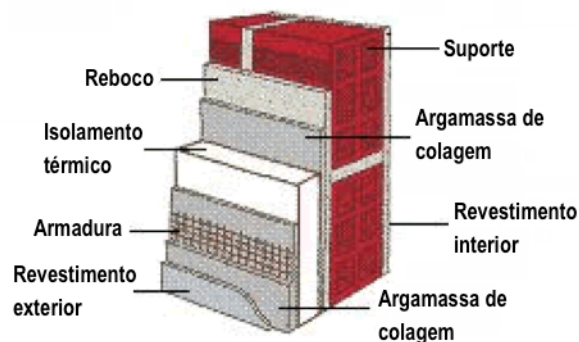


Figura 2.4 – Isolamento pelo exterior ([HTTP://POLYSTERM.COM/ISOLAMENTO-TERMICO.HTM](http://polysterm.com/isolamento-termico.htm)).

Outro tipo de isolamento, feito pelo interior, consiste na aplicação do material isolante na face interna das paredes (Figura 2.5). Este sistema tem as seguintes vantagens (FERREIRA, 2006):

- ⇒ baixo custo;
- ⇒ variedade de soluções alternativas no mercado, o que se traduz numa enorme flexibilidade de aplicação para as mais diversas situações e tipos de obra;
- ⇒ possibilidade de escolha da zona onde o utilizador quer colocar o isolamento;
- ⇒ diminuição de pontes térmicas em pilares mas não em lajes e vigas.

No entanto, uma das desvantagens deste tipo de sistema de isolamento não permitir o aproveitamento da inércia térmica das paredes.

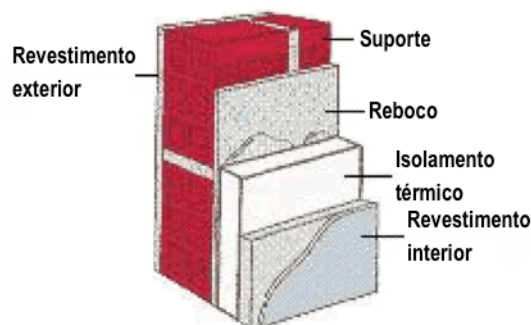


Figura 2.5 – Isolamento pelo interior ([HTTP://POLYSTERM.COM/ISOLAMENTO-TERMICO.HTM](http://POLYSTERM.COM/ISOLAMENTO-TERMICO.HTM)).

Outro tipo de sistema de isolamento consiste na colocação de material isolante na caixa-de-ar das paredes duplas (Figura 2.6), colado a uma das faces, para o que tem que existir uma caixa-de-ar com espessura adequada, conforme se queira o seu preenchimento total ou parcial. Deve ser utilizado um material isolante estável, a longo prazo, e não produtor de fumos tóxicos nem desagradáveis.

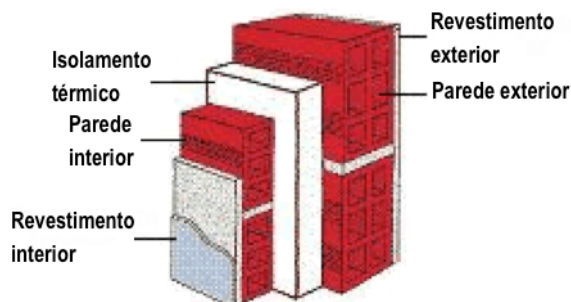


Figura 2.6 – Isolamento térmico na caixa-de-ar ([HTTP://POLYSTERM.COM/ISOLAMENTO-TERMICO.HTM](http://POLYSTERM.COM/ISOLAMENTO-TERMICO.HTM)).

Este tipo de sistema construtivo tem um custo razoável e proporciona um isolamento eficaz, obedecendo à contratação de empreiteiros qualificados e experientes.

### **Coberturas**

A cobertura de um edifício, por ser o elemento mais exposto, é a que obedece aos mais exigentes parâmetros de qualidade contribuindo, decisivamente, para o conforto e abrigo do espaço interior. É possível distinguir dois tipos de coberturas:

- ⇒ horizontais,
- ⇒ inclinadas.

Uma cobertura diz-se **horizontal** ou em **terraço**, quando os elementos constituintes do sistema construtivo se apresentam dispostos em camadas horizontais. A estrutura deste tipo de cobertura é constituída essencialmente pelos seguintes elementos: estrutura resistente, suporte de impermeabilização, isolante

térmico, sistema de impermeabilização e revestimento de proteção. Normalmente, a estrutura resistente tem a função de suporte do revestimento de impermeabilização, à exceção das chapas metálicas nervuradas. A aplicação de isolante térmico pelo exterior implica a solução de cobertura invertida, ou seja, o isolamento térmico é aplicado sobre a impermeabilização da laje de betão e protegido superiormente pela aplicação de uma proteção pesada (CONSTANTINO, 2010). A justificação para o uso deste tipo de solução é diminuir a aceleração de desgaste do sistema de impermeabilização que se verifica no caso da cobertura plana tradicional. As membranas de impermeabilização ao serem aplicadas por cima do isolamento térmico (cobertura tradicional), ficam sujeitas a um choque térmico que acontece, não só diariamente mas, também, sazonalmente e, conseqüentemente, a uma degradação por radiação ultravioleta (Figura 2.7). Na solução de cobertura invertida estes efeitos prejudiciais são suprimidos devido ao isolamento térmico proteger o sistema de impermeabilização.

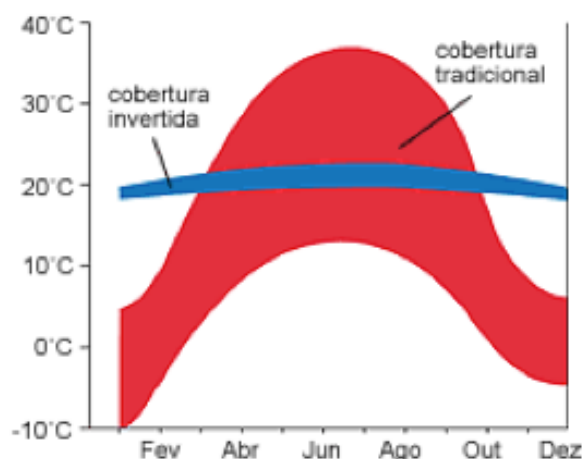


Figura 2.7 – Temperaturas na cobertura tradicional e invertida ao longo do ano (LOPES, 1995).

A cobertura **inclinada** é muito usual em Portugal. Se o desvão for habitável e o isolamento térmico for exterior, este deve ser colocado sobre a impermeabilização da laje (isolamento térmico das vertentes) (Figura 2.8).

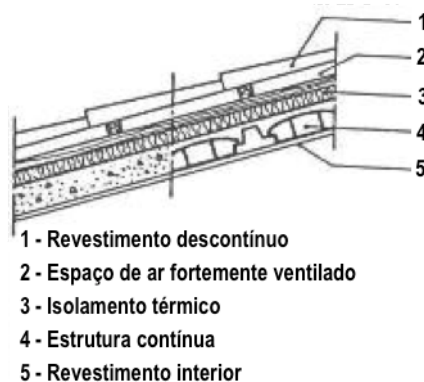


Figura 2.8 – Cobertura inclinada (FERREIRA, 2006).

No caso do isolamento térmico ser interior, o material isolante é colocado sob a estrutura do telhado inclinado. Se o desvão não for habitável, a colocação do isolamento térmico é feito no pavimento (isolamento na laje de esteira horizontal), solução mais económica visto que a área de isolante utilizada no pavimento é menor do que a que seria utilizada nas vertentes.

### **Pavimentos**

Os pavimentos dos edifícios devem satisfazer as exigências que lhe são atribuídas, nomeadamente a resistência mecânica, a estabilidade, a segurança ao incêndio, a estanqueidade à água, o conforto higrotérmico, o isolamento acústico e a durabilidade. No caso do pavimento estar em contacto com o exterior ou com um espaço não útil, é essencial uma atenção especial ao nível do conforto higrotérmico onde o isolamento térmico é feito sobre a laje de fundo através da colocação de uma cola apropriada.

### **Vãos envidraçados**

Os vãos envidraçados têm um papel fundamental na eficiência energética de uma habitação, na medida em que contribuem para a entrada de calor, importante no inverno. Contudo, eles são considerados espaços de baixa inércia térmica pois, o calor dissipa-se através deles, estimando-se que entre 25 a 30 % das nossas necessidades de aquecimento advêm da perda de calor através dos envidraçados. Para além destas funções, os vãos envidraçados servem para melhorar as condições de ventilação natural.

Os fatores a considerar na avaliação dos envidraçados são:

- ⇒ a área da superfície envidraçada,
- ⇒ a qualidade do vidro,
- ⇒ o tipo de caixilharia e a respetiva classe .

O isolamento que uma janela proporciona depende do número de vidros que a constitui e do tipo de caixilharia, sendo os espaços entre os vidros redutores de perdas de calor. A orientação dos vãos envidraçados determina a escolha do tipo de vidro. Em zonas quentes é usual na fachada sul a colocação de vidros com refletor para diminuir os ganhos térmicos, contudo, em zonas frias, procuram-se esses mesmos ganhos térmicos e, como tal, instalam-se vidros de menor qualidade e com estores venezianos isolantes que ajudam a evitar a saída do calor durante a noite. No que respeita aos envidraçados orientados a norte, devem evitar perdas de calor para o exterior.

O fator solar do envidraçado é o quociente entre a energia transmitida para o interior através de um vão envidraçado, com o respetivo dispositivo de proteção, e a energia da radiação solar que nele incide (Dec.-Lei n.º 80/2006). O fator solar e o coeficiente de transmissão térmica devem ser tidos em consideração no



desenvolver do projeto térmico. Um fator solar baixo proporciona uma boa proteção contra o calor, sendo ideal quando existe uma exposição ao sol direta. No caso dos vidros com fator solar elevado, a troca de calor e luz natural são facilitados, sendo ideais quando o objetivo é maximizar as trocas solares e luminosas.

A caixilharia da janela participa nas exigências de conforto higrotérmico através da limitação da permeabilidade ao ar e da limitação da transmissão do calor. As caixilharias em madeira, PVC ou alumínio com corte térmico, apresentam as melhores propriedades térmicas. No que respeita a caixilharias sem corte térmico de alumínio, estas são ideais quando está instalada uma barreira que impede a transmissão de calor na medida em que evitam condensações. Se existir espaço na caixa de estore, uma boa solução para evitar dissipação de calor no inverno passa por colocar material isolante.

### **Cor dos Revestimentos**

Uma parte da radiação solar que incide numa fachada é refletida para o ambiente, sendo a parte absorvida pela parede, responsável pelo aquecimento da habitação. Como a cor do revestimento tem influência nestes fenómenos, uma cor branca reflete cerca de 80% da radiação solar incidente numa superfície lisa, ao contrário de uma cor escura que, na mesma superfície, absorve 90% dessa mesma radiação (MAGALHÃES, 2011). Como uma habitação tem normalmente apenas uma cor, trata-se de escolher aquela que trará melhores condições de conforto no geral, independentemente de existirem outras cores, que em situações pontuais, seriam mais eficazes.

Em suma, a arquitetura de um edifício tem um papel fundamental, devendo (ADENE, 2011):

- ⇒ limitar as perdas de energia através da sua orientação, desenhando adequadamente a sua forma, organizando os espaços interiores e utilizando envolventes protetoras,
- ⇒ otimizar a orientação solar mediante superfícies envidraçadas e utilizando sistemas passivos de captação solar,
- ⇒ utilizar materiais de construção que requeiram pouca energia na sua transformação.

## **2.4 Ventilação**

A renovação de ar no ambiente deve proporcionar conforto e qualidade do ar interior. Esta renovação divide-se em ventilação e infiltração. A ventilação pode ser: natural ou mecânica. A ventilação natural é o fluxo de ar que entra por aberturas, como janelas e portas, através da pressão natural; a ventilação mecânica ou forçada, é feita através de aparelhos mecânicos, como exaustores e ventiladores, que forçam a entrada e saída de ar do edifício. A infiltração, é o fluxo de ar proveniente do exterior através de frestas e outras

aberturas não intencionais e resulta da diferença de pressão entre dois ambientes ou da pressão causada por meios artificiais (VERSAGE, 2009).

### 2.4.1 Ventilação natural

A ventilação natural é a melhor escolha a explorar, fazendo uso da pressão e depressão, causadas pela ação do vento, na superfície exterior do edifício. A pressão consiste no arrastar do ar frio por parte do ar quente que, sendo mais leve, sobe. As diferentes pressões entre os espaços de uma habitação geram ventilação permitindo a renovação do ar, desde que haja aberturas para o exterior que permitam a sua entrada. Quando existem pelo menos duas aberturas, a diferentes alturas, a circulação faz-se de baixo para cima, denominando-se efeito de chaminé (Figura 2.9).

Quando só existe uma janela aberta, não existindo uma outra abertura por onde o ar possa sair, denomina-se de ventilação unilateral. No caso em que há várias aberturas por onde o ar pode entrar e sair, denomina-se de ventilação cruzada.



Figura 2.9 – Ventilação natural – efeito chaminé (VERSAGE, 2009).

Existem variados elementos que potenciam o aproveitamento da ventilação natural, tais como as tradicionais torres de ventilação e as modernas técnicas com captadores de vento. No entanto, o uso manual das janelas é o mais adequado para os ocupantes manterem o controlo da qualidade e da temperatura do ar interior.

### 2.4.2 Ventilação mecânica

A ventilação forçada ou mecânica é usada quando há uma insuficiência de ventilação natural ou quando não há possibilidade de utilizar a ventilação diretamente a partir do exterior. A permuta do ar é feita por condutas de ventilação forçada, ligadas a espaços interiores através de extractores, destinados a extrair o ar parado ou poluído e ventiladores, destinados a injetar ar fresco. Relativamente aos ventiladores, existem dois tipos:

ventilador centrífugo ou radial, e ventilador axial ou helicoidal. O ventilador centrífugo pode ser utilizado conforme a necessidade do local, existindo centrífugos de baixo, médio ou de elevado caudal e pressão. São geralmente utilizados em instalações industriais. O ventilador helicoidal (Figura 2.10) é um sistema económico, que apresenta um nível de ruído baixo e é normalmente utilizado em espaços em que a poluição é reduzida.

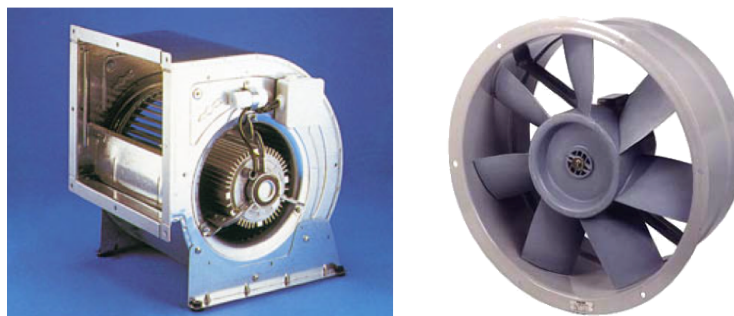


Figura 2.10 – Ventilador centrífugo (esquerda) e ventilador helicoidal (direita).

## 2.5 Aquecimento e arrefecimento

Cerca de 15 % do consumo de eletricidade de uma família portuguesa é destinado ao aquecimento do ambiente interior da sua habitação. A escolha do tipo de equipamentos aliada ao estudo criterioso da zona climática em que está inserida a habitação, perfaz uma solução com uma fatura energética otimizada e uma redução das emissões de gases poluentes para a atmosfera. A eficiência energética de um sistema de aquecimento/arrefecimento de uma habitação atinge o nível mais elevado quando o consumo de energia para manter as condições de conforto térmico for o menor.

### 2.5.1 Sistema de aquecimento central

Os sistemas de aquecimento central são destinados a aumentar a temperatura ambiente sem comprometer a qualidade do ar. São silenciosos e permitem que todo o espaço seja aquecido, não se restringindo a apenas uma divisão. Estes sistemas têm também a capacidade de produzir água quente para uso doméstico. Os sistemas de aquecimento central mais comuns são constituídos pelos seguintes elementos:

- ⇒ gerador de calor, geralmente uma caldeira na qual a água é aquecida até uma temperatura próxima dos 90°C,
- ⇒ unidades de regulação e controlo, com a função de adequar a resposta do sistema às necessidades do aquecimento,

- ⇒ sistema de distribuição e emissão de calor, composto por tubagens, bombas e radiadores, no interior dos quais a água circula distribuindo calor.

A caldeira é considerada o coração do equipamento e a sua eficiência leva a um menor gasto e a uma redução das emissões poluentes para a atmosfera. Para as caldeiras domésticas existe um sistema de catalogação por estrelas, definido numa escala de um a quatro. Quanto maior for a caldeira, maior será a sua eficiência. Na seleção da potência adequada de uma caldeira deve ter-se em consideração:

- ⇒ a dimensão e tipologia da habitação,
- ⇒ o clima da região,
- ⇒ o tipo de construção,
- ⇒ o número de pessoas a que se destina.

Atendendo ao tipo de combustão, as caldeiras podem ser:

- ⇒ atmosféricas - quando a combustão é feita em contacto com o ar da divisão em que está instalada, sendo considerada a de melhor rendimento,
- ⇒ estanques - quando a admissão de ar e a extração de gases são realizadas numa câmara fechada, sem qualquer tipo de contacto com o ar da divisão em que está inserida,
- ⇒ de modelação automática da chama - quando minimiza os arranques e paragens da caldeira, poupando energia ao adequar continuamente o calor produzido às necessidades, mediante o controlo da potência térmica produzida (potência da chama).

Um grupo de caldeiras que se destaca das convencionais pela poupança de energia que obtém, cerca de 25% a mais do que a das caldeiras convencionais e, conseqüentemente, pelo seu elevado custo, inclui a:

- ⇒ caldeira de condensação;
- ⇒ caldeira de temperatura variável.

### **Caldeira de condensação**

As caldeiras convencionais não aproveitam todo o calor gerado pela queima do combustível, situando a sua eficiência nos 91-93%. O vapor de água gerado na combustão, é lançado para o exterior através de uma chaminé, transportando uma quantidade considerável (11% do calor gerado na combustão) de calor por utilizar denominado – calor latente de combustão. A caldeira de condensação prima pela recuperação dos gases de exaustão expelidos pela chaminé, conseguindo uma eficiência elevada. Quando funciona como sistema de aquecimento de baixa temperatura, como no caso de pisos radiantes, consegue atingir o seu potencial máximo. No entanto, também funciona muito bem com radiadores tradicionais desde que o sistema de aquecimento seja operado a temperaturas abaixo dos 55°C.

### **Caldeira de temperatura variável**

Do ponto de vista de eficiência térmica, a caldeira de temperatura variável é relativamente melhor do que a caldeira de condensação apresentando as seguintes vantagens:

- ⇒ responde de forma mais adequada às necessidades reais de calor (que variam ao longo do dia), relativamente às condições climáticas e ao número de ocupantes da casa,
- ⇒ produz uma temperatura muito baixa de aquecimento de água (45-50°C), permitindo uma dissipação reduzida do calor através da rede de distribuição da instalação de aquecimento, como da chaminé e das paredes do edifício,
- ⇒ não produz condensação,
- ⇒ emite menos gases poluentes.

### **Radiadores**

Os radiadores fabricados em chapa, alumínio ou aço, são os elementos onde é feita a troca de calor entre a água aquecida e o espaço que se quer aquecer (Figura 2.11). São constituídos por dois canais, um por onde entra a água quente e outro de saída da água fria. A sua colocação é feita na parede, por baixo das janelas, fazendo coincidir a longitude do radiador com a da janela, o que favorece a correta difusão do ar quente pela divisão aquecida. Todos os radiadores são constituídos por um sistema de controlo interno, que pode ser automático ou manual, com possibilidade de leitura da temperatura. A sua área é diretamente proporcional à sua potência.



Figura 2.11 – Diferentes tipos de radiadores (CONSTANTINO, 2010).

No entanto, estes sistemas apresentam algumas desvantagens:

- ⇒ o espaço é aquecido por uma corrente de ar ascendente. Deste modo, o teto é aquecido primeiramente, correspondendo a uma perda considerável de energia,
- ⇒ as correntes de ar interiores dão lugar à recirculação do pó,

⇒ o calor proveniente dos radiadores é muito seco, podendo ser prejudicial à saúde. Para colmatar este efeito são utilizados humidificadores.

### **Piso Radiante**

O piso radiante é constituído por um tubo flexível embutido na laje do piso, por onde circula água a uma temperatura entre os 35 e os 45°C. Desta forma, o chão converte-se num emissor de calor não necessitando do aquecimento da água a temperaturas muito altas e onde o calor chega a uma altura de dois metros. Assim, a caldeira necessita de menos energia para proporcionar o mesmo nível de conforto que o sistema tradicional (Figura 2.12).



Figura 2.12 – Piso radiante (CONSTANTINO, 2010).

### **Unidades de regulação e controlo**

Uma unidade de regulação e controlo é essencial para completar o sistema de aquecimento pois mantém a temperatura de um compartimento estável, independentemente das condições atmosféricas. A leitura que faz da temperatura ambiente compromete todos os elementos que dela fazem parte, evitando o sobreaquecimento. A sua utilização remete para o espaço individual e não para um sistema global, alterando a temperatura estipulada para a habitação, nos compartimentos desejados.

### **2.5.2 Ar condicionado**

Os sistemas de ar condicionado são usados para controlar a temperatura, tanto na estação de aquecimento como de arrefecimento. No entanto, para que se chegue a um clima de conforto, três parâmetros têm de ser considerados:

- ⇒ temperatura do ar,
- ⇒ humidade do ar,

⇒ distribuição do ar.

O consumo anual destes sistemas pode ser baixo o que depende fundamentalmente das características de utilização; portas abertas e más regulações de temperatura, são alguns dos factores que não ajudam a um bom rendimento do aparelho. Existem dois tipos de sistemas de ar condicionado: unidades individuais e sistema central.

As unidades individuais são as mais procuradas no mercado e dividem-se em:

- ⇒ monoblocos convencionais (instalação em janela) - compostos por uma unidade de dimensão pequena, o que pode prejudicar a sua eficácia,
- ⇒ unidades portáteis convencionais - semelhantes aos monoblocos,
- ⇒ split - composto por duas unidades, uma no exterior e outra no interior da habitação,
- ⇒ multi-split - composto por uma unidade no exterior e várias no interior da habitação (Figura 2.13).

Apesar da sua fácil instalação, manutenção e operação, existem fatores menos positivos a apontar, como o ruído produzido e a dificuldade em controlar a humidade no inverno.

O sistema central de ar condicionado, à semelhança do que acontece com o aquecimento centralizado, é também mais eficiente do que a unidade individual. A capacidade num sistema centralizado é inferior à soma das capacidades instaladas, caso cada utilizador quisesse uma unidade de ar condicionado individual.



Figura 2.13 – Unidades individuais de ar condicionado (CONSTANTINO, 2010).

Os custos de instalação e manutenção são baixos sendo, uma medida importante, a aplicação de material isolante nas paredes das condutas do sistema de arrefecimento afim de prevenir a condensação e danos do sistema. A escolha de uma unidade centralizada deve recair sobre a eficiência do funcionamento.

## **2.6 Produção de água quente**

A produção de água quente é o segundo maior fator de consumo de energia nas habitações, mais concretamente 26% do consumo energético total. A minimização racional dos consumos de água quente é uma medida que deve ser tomada por parte do utilizador de modo a diminuir a sua fatura no final do ano. Para tal deve-se dar preferência ao duche, em vez do banho de imersão, evitar banhos prolongados, evitar o uso da água aquando o ensaboamento e usar sistemas redutores de caudal. Outra medida para redução do consumo de energia recai sobre a escolha do tipo de sistema de produção de água quente, a saber:

- ⇒ sistema instantâneo;
- ⇒ sistema acumulador.

### **2.6.1 Sistema instantâneo**

Em Portugal o sistema instantâneo é o mais utilizado na produção de água quente. Este tipo de sistema entra em funcionamento quando é solicitado o aquecimento da água, ou seja, o seu modo de trabalho consiste num “para-arranca” contínuo, ao longo do dia, incrementando consideravelmente o consumo, bem como a deterioração do equipamento. Outra desvantagem é o desperdício considerável de água e energia para se atingir a temperatura desejada, o qual é tanto maior quanto maior for a distância entre o sistema de aquecimento e o ponto de consumo. Por outro lado, caso haja a solicitação simultânea de água quente em dois pontos de uma habitação, o desempenho do abastecimento estará condicionada.

Os elementos constituintes do grupo do sistema instantâneo são:

- ⇒ esquentador a gás,
- ⇒ esquentador elétrico,
- ⇒ caldeiras murais.

A seleção do elemento mais adequado para o uso pretendido por parte de um utilizador depende dos seguintes fatores:

- ⇒ capacidade (número de litros de água aquecidos por minuto),
- ⇒ número de pontos de tiragem de água,
- ⇒ distância entre o local do esquentador e o de tiragem de água,
- ⇒ tipo de sistema de ignição de chama,



⇒ tipo de sistema de ventilação dos gases de combustão (atmosféricos ou ventilados).

Dependendo do modo de utilização, estes elementos podem produzir caudais de água quente que vão dos cinco aos dezoito litros por minuto. Por exemplo, um aparelho que debita cinco litros por minuto apenas conseguirá fornecer água quente a uma torneira de um lavatório. No entanto, um débito de onze litros por minuto já conseguirá fornecer água para uma torneira de lavatório e para uma torneira de duche, podendo contudo ocorrer flutuações de temperatura. Para utilizações simultâneas superiores ter-se-á de recorrer a uma capacidade superior de fornecimento de caudal de água quente.

Quando se procede à instalação dos equipamentos é importante recorrer-se a técnicos qualificados e respeitar as normas de segurança, colocando sempre o aparelho num ambiente bem ventilado e com evacuação de gases para o exterior.

### **2.6.2 Sistema acumulador**

Neste sistema, a água, após ser aquecida, é armazenada para uso posterior num tanque isolado. Apresenta as seguintes vantagens:

- ⇒ trabalha de forma contínua evitando o “pára-arranca” usual do sistema instantâneo,
- ⇒ acumula água quente, permitindo utilizações simultâneas com os mesmos níveis de conforto.

Os sistemas de acumulação dividem-se em:

- ⇒ equipamento que aquece a água (caldeira ou bomba de calor) e termoacumulador,
- ⇒ termoacumulador de resistência elétrica.

Relativamente aos termoacumuladores elétricos, estes são constituídos por uma resistência elétrica que procede ao aquecimento da água, um reservatório isolado para armazenamento, um termóstato e um dispositivo que impede o sobreaquecimento.

Este tipo de equipamento é ideal para utilizações descontínuas, onde a disponibilidade de energia é uma condicionante e, em zonas onde a entrada da água não é demasiado fria. A sua eficiência depende muito do local de instalação, isolamento da reservatório e sua dimensão. Relativamente ao local de instalação, este deve ser feito numa zona aquecida entre a cozinha e a banheira, sendo uma estratégia inteligente para reduzir as perdas de calor. O isolamento do reservatório é outra estratégia para atrasar o processo de arrefecimento da água, pois as trocas de calor entre o interior e o exterior do mesmo são menores. Por vezes, utiliza-se uma camada de isolamento adicional, o que resulta numa redução do consumo do

termoacumulador em 5-10%. O sobredimensionamento da reserva resulta no aquecimento de uma quantidade de água que não será utilizada, refletindo-se nos custos finais. A manutenção do sistema é um fator que também deve ser contabilizado.

### 2.6.3 Paineis Solar

Desde Julho de 2006 que todos os edifícios têm de ser projetados de acordo com o novo RCCTE (Dec. Lei - 80/2006), no qual visa a aplicação de painéis solares térmicos sempre que o edifício apresentar boas condições de captação de radiação solar.

Os painéis solares são, hoje em dia, a tecnologia mais difundida de aquecimento de águas a partir de fontes de energia renováveis (Figura 2.14). Este sistema consiste na captação da radiação solar através de coletores e sua transformação, em energia térmica, para o aquecimento de águas ou outras finalidades. O sistema completo é constituído por:

- ⇒ painel – formado por uma placa de vidro, que maximiza a captação da radiação solar provocando o efeito de estufa, e uma chapa de alumínio enegrecida, para facilitar a absorção da luz solar e consequentemente a transmissão para os tubos de cobre;
- ⇒ permutador – normalmente uma serpentina de cobre onde o fluido de aquecimento circula;
- ⇒ depósito – local onde a água quente é armazenada.

O material que envolve o coletor é geralmente muito resistente por forma a garantir a proteção aos agentes externos e, isolado termicamente para que se minimizem as perdas de calor.

Estes sistemas produzem água quente de baixa temperatura, 50-90°C e a área de painel necessária para uma habitação é equivalente a 1 m<sup>2</sup> por pessoa. Relativamente ao tamanho do depósito, deve-se considerar 50 a 70 litros por pessoa.

A optimização do sistema é essencial para obter um retorno do investimento feito. A área dos painéis deve ser adequada às necessidades de água quente da habitação e da energia solar disponível no verão. No inverno, para se obter a mesma quantidade de energia que no verão, é necessária uma maior área de painéis. Sendo as necessidades de energia no inverno maiores que no verão, haverá um excedente de energia na estação de arrefecimento, constituindo um desperdício o qual pode ser ultrapassado através da utilização paralela de um sistema convencional de produção de água quente como, caldeira a gás ou a gasóleo, etc.

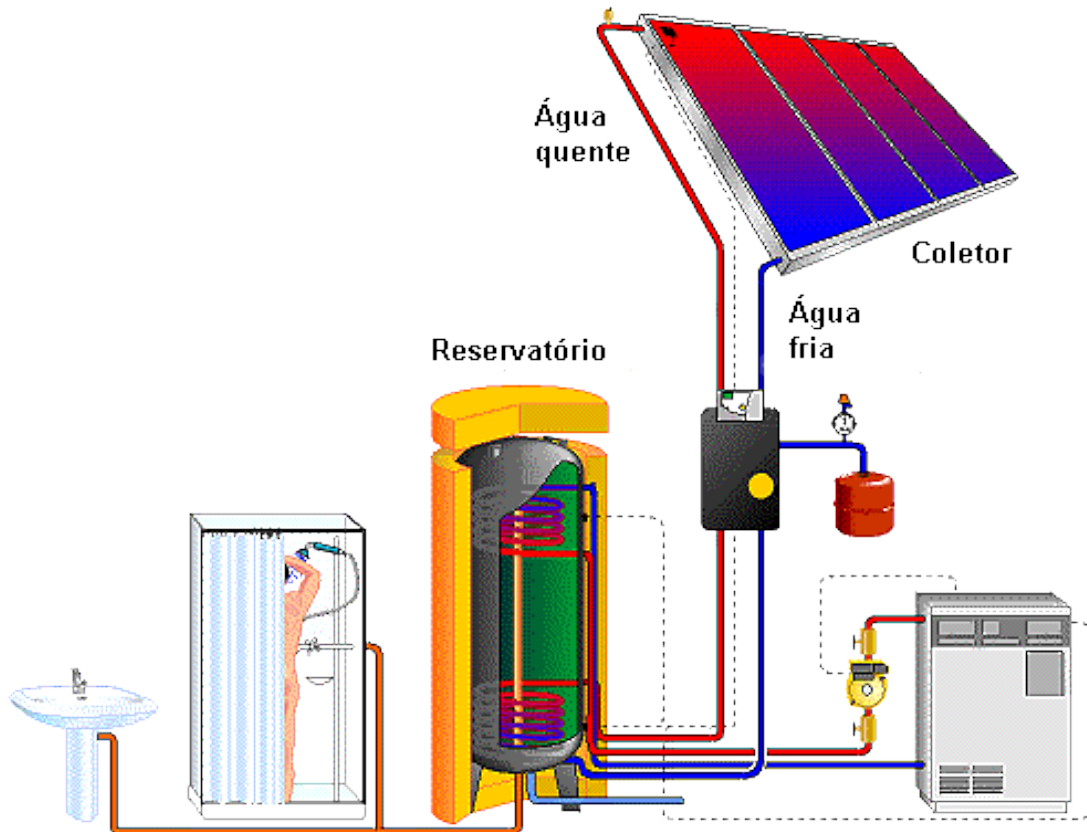


Figura 2.14 – Sistema completo de uma painel solar  
([HTTP://WWW.GEOCITIES.WS/SALADEFISICA5/LEITURAS/SOLAR.HTML](http://www.geocities.ws/saladefisica5/leituras/solar.html)).

No uso de coletores solares, várias medidas são tomadas para aumentar sua eficiência, tais como:

- ⇒ os coletores devem ficar orientados para sul. Caso não seja possível, a sua orientação deve ficar para este ou oeste,
- ⇒ o ângulo entre a linha horizontal e os coletores deve ser correspondente à latitude do local,
- ⇒ as tubagens devem ser isoladas de forma adequada para reduzir as perdas de calor desde o coletor até ao ponto de utilização,
- ⇒ o acesso para manutenção e limpeza dos coletores deve ser facilitado.

Na produção de água quente, entram em linha de conta os seguintes elementos:

- ⇒ o painel solar – transforma a radiação solar em energia térmica,
- ⇒ o acumulador solar – depósito que acumula a água quente até que esta seja solicitada para consumo,
- ⇒ o circuito hidráulico – tubagens, válvulas e bombas circuladoras,
- ⇒ o grupo de circulação – incorporado no circuito hidráulico, faz circular o líquido térmico pelos tubos que ligam o painel solar ao depósito acumulador;

- ⇒ a central de controlo – elemento de regulação e controlo que assegura o funcionamento adequado do sistema;
- ⇒ o apoio energético – sistemas complementares de aquecimento de águas como caldeiras e esquentadores, que são acionados quando a energia proveniente dos coletores solares não é suficiente.

O aproveitamento da radiação solar para produzir frio é uma das aplicações térmicas que tem vindo a ser estudada e é apontada como uma solução com bastante potencial.

A seleção do equipamento deve ter em consideração a sua certificação que comprovará as suas características de qualidade, permitindo uma maior garantia por parte do utilizador final. A instalação é feita por profissionais qualificados para o efeito.

**Capítulo 3**  
**Passivhaus**

---

## **Capítulo 3 Passivhaus**

- 3.1 Introdução
- 3.2 Conforto térmico
- 3.3 Desenho Passivhaus
- 3.4 Passivhaus para climas quentes
- 3.5 Custo de uma Passivhaus
- 3.6 Benefício ambiental de uma Passivhaus
- 3.7 Reabilitação de habitações (Enerphit)

## 3 Passivhaus

### 3.1 Introdução

“Há dez anos atrás ninguém acreditou que conseguíssemos criar habitações que fossem geridas com menos de um décimo da energia para aquecimento utilizada pela média das habitações velhas”, Dr. Wolfgang Feist.

Tudo começou na década de 80 num congresso sobre eficiência energética na Universidade de Lund, Suécia. Lá se encontrava o físico Dr. Wolfgang Feist e o Professor Bo Adamson, que vivera na China e Vietname e desenvolvera conhecimentos na área da construção passiva. Naquela altura, apesar de em todo o mundo existirem várias equipas de investigação na procura da casa passiva, a solução final parecia ser um mito. O enigma motivou Dr. Feist a aceitar a proposta feita pelo Professor Adamson, desenvolvendo o que seria a primeira casa passiva. Em 1991 foi feito o primeiro projeto em Darmstadt, na Alemanha, sendo considerado um sucesso. O edifício construído demonstrou ter um baixo consumo energético, conforto térmico, a um custo razoável para o clima alemão. Em 1995 foi construído o segundo edifício em Groß-Umstadt. No mesmo ano, baseado na experiência dos primeiros empreendimentos, Dr. Feist descodificou as casas passivas construídas, criando a norma Passivhaus. Desde aí o desenvolvimento tem sido notório neste campo. Hoje em dia existem iniciativas da Passivhaus em todos os países da Europa, incluindo Rússia e países Bálticos, representando já 10-12 % de toda a construção na Áustria e Alemanha.

Separar o conceito Passivhaus de “casa passiva” é importante na medida que o termo tem diferentes associações, dependendo do local da Europa em que se encontra. Na Europa Central o uso da expressão “casa passiva”, para arquitetos e engenheiros, está relacionada com a Passivhaus, sendo um método específico de construção. Para outros países da Europa, “casa passiva” é um termo associado apenas a ideias gerais relacionadas com a redução do consumo energético. O termo geral para “casa passiva” refere-se a uma habitação autossuficiente a nível energético, em que todo o ano o conforto térmico e as condições de ambiente interior são agradáveis. Não há a utilização de sistemas ativos para aquecimento ou arrefecimento dos espaços. Essas necessidades são satisfeitas através de estratégias totalmente passivas, em que o conceito básico passa por minimizar as perdas térmicas e maximizar os ganhos térmicos. A habitação utiliza e controla os fluxos energéticos naturais envolventes ao edifício, como a radiação solar e o vento (IRELAND, 2009).

O “desenho passivo” é um termo genérico que se utiliza normalmente para definir uma abordagem estratégica ao projeto, com o objetivo de minimizar o consumo energético. Podem existir sistemas ativos mas apenas com função de controlo, permitindo que os sistemas passivos funcionem corretamente (PASSIVE-

ON, 2007c). O edifício consome pouca energia comparativamente com aquela que é gerada pela parceria entre os dois sistemas, o ativo e o passivo. Esses componentes ativos podem ser bombas e sistemas de ventilação em que a energia gasta pelos mesmos é, por vezes, tão baixa, que consegue ser fornecida por uma fonte renovável, como seria o caso de um painel fotovoltaico (PASSIVE-ON, 2007a).

A norma Passivhaus constitui uma forma específica de construção de edifícios, com bons resultados em termos de condições de conforto ao longo do ano, sem o uso tradicional de sistemas de aquecimento e arrefecimento (IRELAND, 2009). A ideia principal da norma Passivhaus é diminuir as cargas do edifício, aumentar o isolamento e proteger a casa contra as intempéries exteriores. Deste modo, a casa funciona como um sistema fechado. A envolvente do edifício é projetada para ser termicamente eficiente, originando condições favoráveis para a maximização de ganhos de calor minimizando, assim, as necessidades de aquecimento. Outras medidas foram pensadas de modo a reduzir as infiltrações de ar exterior, criando uma estrutura estanque ao ar e, eliminar as pontes térmicas através do posicionamento e espessura do material isolante (IRELAND, 2009). Para além destas medidas passivas, a Passivhaus centra-se na utilização de um sistema de ventilação mecânico com recuperador de calor, fornecendo o controlo das quantidades de entrada e saída de ar. O sistema baseia-se no cruzamento de ar quente de saída com o ar fresco de entrada, sem existir mistura entre os dois. No final, a carga térmica que entra no edifício é mínima. Se o aquecimento da casa feito pelo ar pré-aquecido que entra não for suficiente, é utilizado um sistema ativo, de pequenas dimensões, em que a sua energia é gerada por sistemas de energia renovável. A ventilação mecânica com recuperador de calor, denominada pela sigla MVHR, é considerada uma abordagem ativa e, por essa razão, a definição germânica de Passivhaus ser diferente, ideologicamente, do tradicional termo “casa passiva” (STEUDLE et al., 2005). Outra medida importante que contempla a norma é o uso de janelas de vidro triplo de baixa emissividade e de caixilharia termicamente isolada. O aproveitamento da radiação solar e o controlo da ventilação é base da norma Passivhaus, contudo, têm de ser tomadas outras estratégias passivas, que mudam de caso para caso, como por exemplo:

- ⇒ forma, tipo e orientação da habitação,
- ⇒ sombreamento dos vãos envidraçados,
- ⇒ cor dos revestimentos,
- ⇒ etc.

A norma Passivhaus, estabelecida em 1995, consiste fundamentalmente em três requisitos, definidos quantitativamente em cinco pontos:

- ⇒ limite energético – necessidade de aquecimento final  $\leq 15\text{kWh/m}^2\text{.ano}$ , necessidade de energia primária para todos os serviços  $\leq 120\text{kWh/m}^2\text{.ano}$ ,



- ⇒ requerimentos de qualidade – estanqueidade ao ar, máximo de 0,6 ren/h para uma pressão de 50 Pa. Temperatura de conforto no Inverno,  $T > 20^{\circ}\text{C}$ ,
- ⇒ conjunto de sistemas passivos que permitem os requisitos de qualidade e limite de energia financeiramente alcançáveis – valores da necessidade de energia total calculada de acordo com o Passivhaus Planning Package (PHPP) e referido apenas à área útil da habitação.

As medidas passivas descritas anteriormente conseguem atingir os requisitos necessários para uma habitação ter um certificado Passivhaus. Este certificado é dado pelo Passivhaus Institut em Darmstadt, ou por um organismo de certificação aprovado pelo referido instituto. Os requerimentos da norma são verificados através do programa PHPP 2007 e é requerida uma lista de documentação de desenhos de construção, especificações técnicas com relatório, verificação da estanqueidade ao ar no edifício, de acordo com EN13829:2001, registo do sistema de ventilação, declaração do supervisor da construção e fotografias dos vários elementos que compõem o edifício. Depois da análise dos documentos enviados, a parte interessada é informada do resultado. Caso as verificações estejam de acordo com os requisitos estabelecidos, a edificação recebe o “Quality Approved Passive House Certificate” (IRELAND, 2009).

Mais de 8000 casas já foram construídas em conformidade com esta norma, e a razão para o seu crescimento prende-se com o facto (PASSIVE-ON, 2007d):

- ⇒ da norma Passivhaus codificar precisamente os requerimentos de qualidade e energia para novas habitações e fornecer um conjunto de soluções muito bem pensadas e estruturadas,
- ⇒ da Passivhaus ser um produto bem definido, compreendido pelo engenheiro, arquiteto e dono de obra,
- ⇒ das soluções utilizadas na casa padrão desenvolvida pela Passivhaus poderem ser integradas em casas com as mesmas características estéticas,
- ⇒ das soluções serem relativamente baratas,
- ⇒ da poupança energética de uma casa Passivhaus ser significativa, podendo atingir os 85%,
- ⇒ de ser uma habitação amiga do ambiente e confortável.

O sucesso obtido pelo Instituto Passivhaus fez suscitar o interesse em implementar este método em países com climas diferentes dos da Europa Central. O programa de investigação e disseminação Passive-on, financiado pelo Programa SAVE IEE da Comissão Europeia, analisou a sua aplicabilidade em países do sul da Europa como Portugal, Espanha, Itália, Reino Unido e França. As necessidades de aquecimento em países de clima quente não são tão severas como as dos países da Europa Central, no entanto, há uma necessidade de arrefecimento no verão que não é necessária em climas frios. Desse modo, os requisitos

mínimos de uma Passivhaus em climas quentes são diferentes dos inicialmente estabelecidos. Os três pontos que definem a norma Passivhaus para climas quentes da Europa, são (PASSIVE-ON, 2007c):

- ⇒ limite energético – necessidade de aquecimento final  $\leq 15\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ , necessidade de arrefecimento final  $\leq 15\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$  e por fim necessidade de energia primária para todos os serviços  $\leq 120\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ . A carga de aquecimento/arrefecimento é inferior a  $10\text{W/m}^2$ ,
- ⇒ requerimentos de qualidade – estanqueidade ao ar, máximo de  $0,6\text{ ren/h}$  para uma pressão de  $50\text{ Pa}$ , no entanto, para localizações com condições de projeto com temperaturas superiores a  $0^\circ\text{C}$ , o teste de pressurização de  $1,0\text{ ren/h}$  é suficiente. Temperatura de conforto no inverno,  $T > 20^\circ\text{C}$  e temperatura de conforto no verão deve ser obtida através da norma EN 15251. Caso exista um sistema de arrefecimento ativo, a temperatura de conforto no verão deverá ser  $T < 26^\circ\text{C}$ ,
- ⇒ conjunto de sistemas passivos que permitam os requerimentos de qualidade e limite de energia financeiramente alcançáveis – valores da necessidade de energia total, calculada de acordo com o Passivhaus Planning Package (PHPP) e referido apenas à área útil da habitação.

A procura de habitações de baixo consumo energético na Europa tem tido um interesse crescente por parte dos diferentes intervenientes no processo e utilização. A Diretiva 2010/31/UE, adotada pelo Parlamento Europeu a 19 de Maio de 2010 e publicada a 18 de Junho de 2010, exige que todos os edifícios públicos construídos na Europa sejam “nearly zero energy buildings”, a partir de 31 de Dezembro de 2018. Para edifícios de titularidade privada a data em que entra em vigor esta diretiva é a 31 de Dezembro de 2020. Os Estados Membros deverão apresentar planos para a promoção destes edifícios. Os requisitos de construção de um “nearly zero energy building” baseiam-se num cálculo que apresente custos muito baixos a nível de energia e manutenção, ou seja, seguem a mesma preocupação/orientação que os requisitos da norma Passivhaus (SOTO, 2011).

### 3.2 Conforto térmico

“A zona de conforto representa aquele ponto no qual a pessoa necessita de consumir a menor quantidade de energia para se adaptar ao ambiente circunstante” (Olygay, 1973).

O conforto térmico baseia-se nas trocas de calor a que uma pessoa está sujeita num determinado ambiente, sabendo que quanto menor for a troca maior será a sensação de bem-estar. O balanço térmico do corpo humano depende de dois elementos:

- ⇒ do indivíduo – tipo de metabolismo, temperatura da pele e da roupa que utiliza,
- ⇒ do ambiente – temperatura do ar, humidade relativa, temperatura à superfície dos elementos no local da envolvente e, por fim, velocidade do ar.

A atividade física que se realiza provoca a produção de calor, de origem metabólica. O uso de vestuário adequado condiciona a transferência de calor entre o corpo e o ambiente envolvente. Finalmente, a temperatura da pele depende diretamente do vestuário e é função da taxa metabólica e da temperatura do local.

Relativamente ao ambiente, a temperatura do ar afeta a temperatura do corpo humano por convecção e por evaporação.

A humidade relativa expressa a percentagem de quantidade de vapor de água presente no ar, relativa à máxima capacidade que esse mesmo ar poderia conter, à mesma temperatura. Este parâmetro é importante ser contabilizado na medida que a evaporação é um fator que interfere na perda de calor corpóreo. A velocidade do ar não influencia a temperatura do corpo mas causa um sensação de arrefecimento ou aquecimento, devido às trocas de calor por convecção e à quantidade da evaporação que ocorre.

Não existe uma banda de temperaturas uniformizada correspondente à temperatura de conforto de um ser humano. Por exemplo, pessoas habituadas a climas quentes, consideram mais aceitáveis temperaturas de conforto mais altas do que pessoas habituadas a climas frios. Roaf e Hancock, 1992, concluíram que: “Não há necessidade de uniformizar as temperaturas internas de casa para todo o globo – podendo cada região do mundo adoptar as temperaturas convenientes para o respetivo clima local e estação do ano”.

A criação de modelos de conforto térmico serve para quantificar a banda de temperatura de conforto em que os utilizadores da habitação se sentem confortáveis para viver, trabalhar e descansar. A avaliação dos modelos de conforto devem ter em consideração os parâmetros acima mencionados e as duas estações sazonais (PASSIVE-ON, 2007d).

### **3.2.1 Estação de aquecimento**

A norma Passivhaus, sendo oriunda de um clima frio, procurou combater os consumos energéticos apenas na estação de aquecimento, considerando a estação de arrefecimento “desprezável” pela temperatura amena exterior nessa altura. No inverno os requisitos térmicos são, como anteriormente referido, necessidade de aquecimento inferior a  $15\text{kWh/m}^2$ , a uma temperatura interior superior a  $20^\circ\text{C}$ . Para serem alcançáveis estes requisitos, é necessário aplicar diferentes estratégias passivas que serão descritas mais à frente.

A avaliação da temperatura de conforto é feita através da temperatura operativa, ou seja, da média entre a temperatura do ar e a temperatura das paredes.

Em climas frios, as estratégias passivas idealizadas pela norma Passivhaus atingem o conforto interior. Para climas quentes, como se está perante um inverno menos exigente, é mais fácil atingir o conforto interior com as mesmas estratégias Passivhaus.

### **3.2.2 Estação de arrefecimento**

No início, o verão nunca foi um problema na norma Passivhaus na medida em que para o tipo de clima a que era direcionada, as temperaturas altas de verão eram consideradas pontos arbitrários num calendário preenchido por temperaturas relativamente amenas. A resposta ao sucesso da Passivhaus originou o interesse em expandi-la para climas mais quentes.

A norma EN 15251:2007 regula o modo de obtenção das temperaturas de conforto aceitáveis no verão. Se o arrefecimento é obtido através de um sistema ativo, então as temperaturas interiores devem ser seguidas pelo modelo de Fanger. Caso o conforto térmico seja obtido por sistemas passivos, então o limite superior da temperatura é definido pelo modelo Adaptativo (PASSIVE-ON, 2007d). Os modelos de conforto descrevem quantitativamente, através de um grande número de entrevistas a pessoas, em que faixa de temperatura interior os ocupantes se sentem confortáveis (PASSIVE-ON, 2007b).

#### **3.2.2.1 Modelo de Fanger**

O modelo de Fanger baseia-se na correlação exclusiva entre parâmetros de condição interior da habitação, como a temperatura do ar, a velocidade do ar, a temperatura média radiante e a humidade relativa, e parâmetros relacionados com os ocupantes, como o vestuário e o tipo de metabolismo dos mesmos (PASSIVE-ON, 2007d).

Este tipo de modelo tem como resultado uma banda reduzida de temperaturas de conforto térmico para cada espaço. Apenas os sistemas ativos conseguem manter a temperatura interior de uma habitação dentro de uma faixa pequena sendo esse o motivo para a utilização deste modelo para sistemas ativos.

### 3.2.2.2 Modelo de conforto adaptativo

O modelo de conforto adaptativo baseia-se na correlação entre a temperatura de conforto para os ocupantes de uma habitação e a temperatura do ar exterior, tendo por ideologia base o processo pelo qual o corpo humano se adapta às variações sazonais e clima da região. O modelo foi construído através de análises estatísticas relativas à impressão subjetiva de conforto descrita pelos ocupantes e a temperatura interior, em centenas de edifícios reais. Em comparação com o modelo de Fanger, o modelo de conforto Adaptativo tem como resultado uma banda mais alargada e alta de temperaturas de conforto e, portanto, permite uma maior integração de estratégias passivas (PASSIVE-ON, 2007b).

Em zonas onde a amplitude térmica entre o dia e a noite seja pequena, o arrefecimento noturno pode não ser suficiente e, nestes casos, recorre-se a um sistema ativo. Contudo, o sistema passivo continua a ser o principal meio de arrefecimento e portanto continua viável a utilização do modelo adaptativo (PASSIVE-ON, 2007c).

### 3.3 Desenho Passivhaus

“Envidraçados são equivalentes a radiadores de um quarto”, Dr. Wolfgang Feist.

O objetivo principal de uma casa Passivhaus é reduzir drasticamente as necessidades de aquecimento e arrefecimento e, paralelamente, criar bons níveis de conforto interior. Para tal, foram criados requisitos mínimos, já anteriormente referidos, que são correspondidos através da soma de estratégias que formulam os princípios básicos da norma Passivhaus. Estas estratégias são (FENERCOM, 2011):

- ⇒ super isolamento,
- ⇒ eliminação de pontes térmicas,
- ⇒ estanqueidade ao ar,
- ⇒ ventilação mecânica com recuperador de calor (MVHR),
- ⇒ vãos envidraçados de alta qualidade,
- ⇒ otimização dos ganhos solares e do calor interior.

Para além destas estratégias, outras medidas passivas podem ser consideradas no projeto para ajudar na eficiência energética do empreendimento.

### 3.3.1 Super isolamento

A alta resistência térmica impede ou atrasa as trocas de calor entre o exterior e o interior, sendo considerado o material isolante um dos que mais influencia o comportamento térmico de uma envolvente opaca. O isolamento consegue criar um sistema equilibrado, em que as flutuações que se dão são pequenas e dependentes da sua espessura. Na Figura 3.1 a termografia revela que o isolamento do termo é de tal ordem significativo que conserva o calor dentro do mesmo. Já no caso da cafeteira, é necessária uma resistência elétrica, princípio ativo, que a aquece e a mantém uma temperatura. As cores mais vivas revelam fugas de calor. Uma habitação convencional e uma casa passiva são exemplos concretos da cafeteira e do termo, respetivamente, em que o gasto energético de habitação convencional conseguia ser evitado caso fosse pensado e projetado com um adequado isolamento térmico (FENERCOM, 2011).

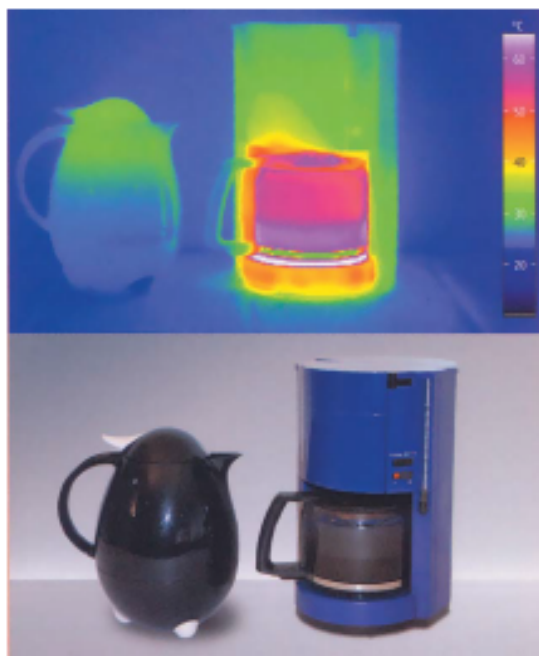


Figura 3.1 – Termografia de um termo e uma cafeteira aquecida com resistência elétrica (FENERCOM, 2011)

O pavimento comporta-se como um elemento de elevada massa térmica em que a sua temperatura varia pouco durante o ano e as suas perdas de calor são sempre inferiores às dos elementos expostos ao ar. O isolamento térmico deste elemento pode ser dispensável, dependendo do clima e das propriedades gerais do edifício, no entanto é sempre útil ter material isolante e a sua espessura neste tipo de elementos é pequena comparativamente com a espessura utilizada em elementos de envolvente exterior opaca. A norma Passivhaus requer a aplicação de material isolante em pavimentos paredes e coberturas, com um valor de coeficiente global de transferência de calor limite de  $U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  (MCLEOD et al., 2006).

As paredes para estarem de acordo com os requisitos da norma Passivhaus merecem uma intervenção mais exigente, sendo esta envolvente mais propensa a trocas de calor. Durante períodos quentes de verão, a massa térmica é projetada com o objetivo de fazer reduzir a transferência de calor do exterior para o interior, armazenando energia que é dissipada durante a noite através de estratégias de ventilação. Durante o inverno, a parede reduz as perdas de calor para o exterior, ajudando no conforto térmico e na redução da necessidade de aquecimento.

No caso das coberturas, a aplicação do material isolante reduz a transferência de calor em ambas as direções, sendo a espessura deste, normalmente, superior à utilizada nas paredes. Este motivo prende-se com a maior exposição da cobertura ao ambiente exterior durante todo o ano, comparativamente com os restantes elementos construtivos exteriores. O material isolante aplica-se normalmente por cima do material de suporte (PASSIVE-ON, 2007d).

A ideologia da Passivhaus relativamente ao modo de aplicação do isolamento é pouco convencional. Começa por se aplicar material isolante de forma contínua, só aceitando a sua interrupção em situações impossíveis de contornar e sempre colocado pelo exterior do elemento (Figura 3.2) . Este tipo de aplicação não só resulta num sistema estanque devido à sua ininterruptibilidade, mas também ajuda na vida útil dos restantes materiais que fazem parte do elemento construtivo. Estes materiais ficam mais protegidos do ambiente exterior e da menor amplitude térmica que ocorre entre o interior e exterior. Outro resultado deste modo de aplicação de material isolante recai sobre a diminuição das pontes térmicas, registando-se menores perdas de calor, aproximando a temperatura do ar interior ao da superfície interior, o que evita patologias como a condensação.

Relativamente ao método de construção, a aplicação de isolamento térmico pelo exterior já foi testado com sucesso pelo instituto Passivhaus nos diferentes materiais:

- ⇒ alvenaria,
- ⇒ madeira,
- ⇒ elementos pré-fabricados,
- ⇒ betão,
- ⇒ cofragem,
- ⇒ aço,
- ⇒ diferentes combinações de materiais.

O primeiro aspeto que se evidencia na construção de uma casa Passivhaus é a espessura do isolante térmico incorporado na envolvente exterior. Normalmente são utilizadas espessuras que podem ultrapassar

os 300 mm e criam uma necessidade da familiarização com o novo processo construtivo. Pequenos detalhes como a instalação de janelas no plano do isolamento térmico, ligações que consigam acomodar espessuras pouco convencionais, não são comuns à grande parte da indústria de construção e devem ser estudadas antes da sua execução. Tempo para familiarização, treino e informação adequada no terreno são medidas importantes para uma correta construção (TILFORD et al., 2006).

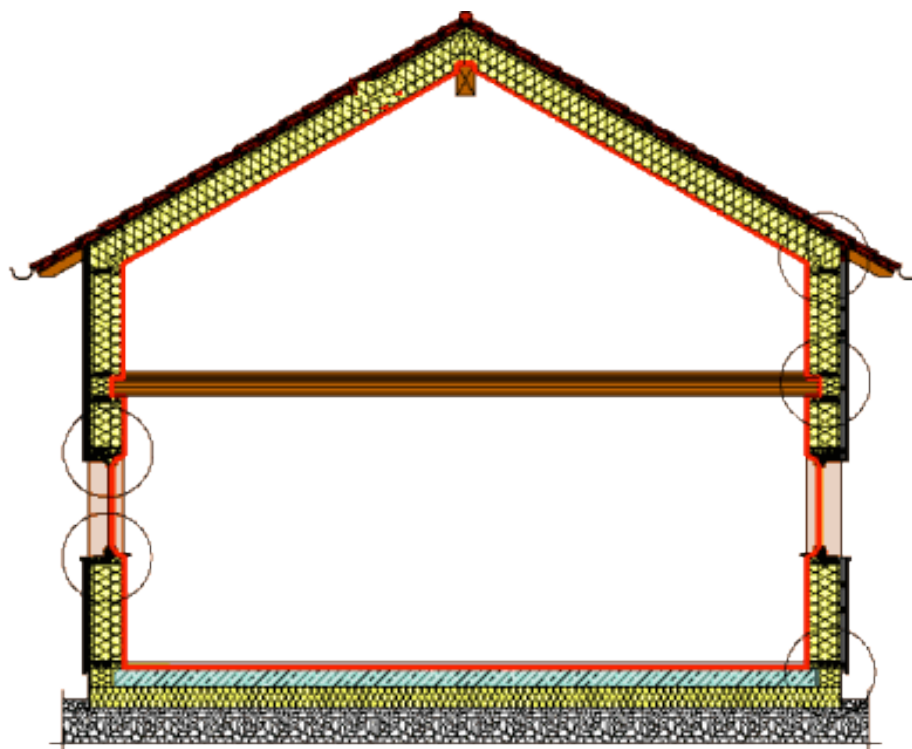


Figura 3.2 – Invólucro de isolamento (amarelo) colocado pelo exterior de forma contínua, excetuando zonas impossíveis de contornar (JIMENO, 2008).

### 3.3.2 Pontes térmicas

As pontes térmicas lineares ou planas são zonas que se distinguem por registarem perdas de calor superiores às da restante envolvente devido à sua menor resistência térmica. Estes pontos estão localizados em ligações (pontes térmicas lineares) de elementos, ou em superfícies e a sua correção contribui para a eficiência energética como para a saúde dos ocupantes e longevidade da edificação (PASSIVE-ON, 2007b). Para evitar desnecessárias perdas de calor uma casa Passivhaus deve ser livre de pontes térmicas. Na prática, isto significa que qualquer ponte térmica linear deve ter um  $\psi \leq 0,01 \text{ W/(m.K)}$ . Para se atingir este valor, o projetista tem de localizar e identificar todas as potenciais pontes térmicas no edifício e eliminá-las (IRELAND, 2009) (Figura 3.3).



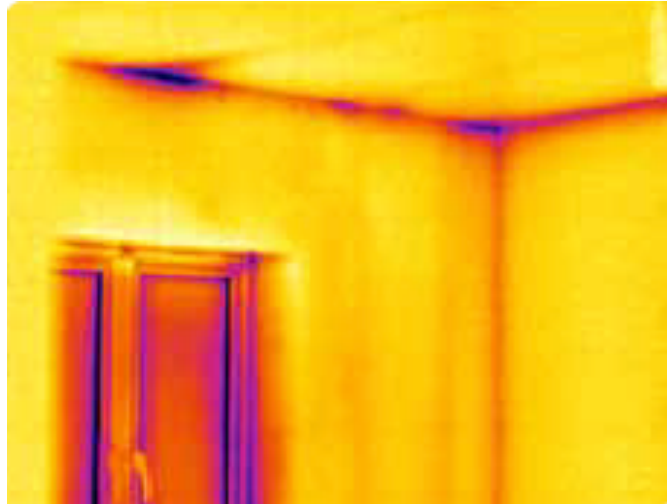


Figura 3.3 – Pontes térmicas nas junções entre as duas paredes e entre paredes e teto, identificadas pelas zonas mais escuras da termografia (MCLEOD et al., 2006).

Algumas medidas devem ser tomadas em consideração, tais como (PASSIVE-ON, 2007d):

- ⇒ especificar e desenhar pormenores construtivos para ajudar na execução destas zonas,
- ⇒ aplicar isolante térmico de forma contínua à volta da envolvente exterior,
- ⇒ escolher o material com a maior resistência térmica possível caso seja impossível continuidade da camada de isolante,
- ⇒ instalar janelas no plano da camada isolante (Figura 3.4),
- ⇒ cobrir parte da caixilharia da janela com isolante.

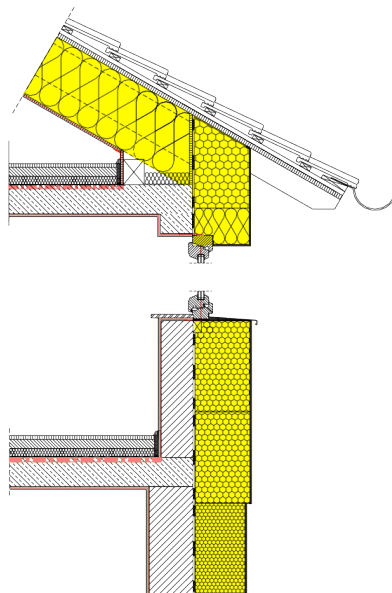


Figura 3.4 - Instalação do envidraçado no plano da camada isolante (PASSIVE-ON, 2007d).

O impacto das pontes térmicas pode ser testado e verificado no programa PHPP à medida que o projeto é concebido. A implementação de detalhes de correção/eliminação de pontes térmicas requer um planeamento avançado, uma aquisição dos materiais certos e um momento de execução em obra no tempo correto (TILFORD et al., 2006).

### 3.3.3 Estanqueidade ao ar

Outro princípio básico da Passivhaus é assegurar um nível de estanqueidade ao ar elevado. Um bom nível de impermeabilidade só consegue ser atingido com o uso de membranas estanques ao ar ou barreiras colocadas no interior de cada elemento, isolando-o, sem interrupções. Estas barreiras, dependendo do tipo de construção, podem ser placas de madeiras, membranas contra o vapor ou outro tipo de material que tenha boas características de impermeabilidade (MCLEOD et al., 2006) (Figura 3.5). A má selagem das juntas é o fator mais importante a ser corrigido.



Figura 3.5 – Membrana impermeável (MCLEOD et al., 2006).

Caso não sejam tomadas medidas preventivas a entrada de ar e/ou água, pode levar as consequências, tais como (FENERCOM, 2011):

- ⇒ condensações – a diferença de temperatura entre o ar húmido interior e o ar que vem das infiltrações cria zonas com bolor,

- ⇒ descompensação da ventilação mecânica – a ventilação controlada consiste em um fluxo constante de ar, sendo igual a quantidade de ar que entra à que sai, criando um equilíbrio de ventilação. Se entra ar no sistema por outros meios cria uma descompensação do sistema,
- ⇒ perda da performance do recuperador de calor – o ar pré aquecido que entra no edifício juntamente ao ar frio que entra pelas zonas mal seladas, baixa a temperatura interior da habitação.

No caso de existir uma interrupção na parede por exemplo, uma janela, deve ser usado um isolante cola para unir a membrana ou barreira ao novo elemento, de modo a criar uma continuidade na estanqueidade da parede, evitando infiltrações de ar (MCLEOD et al., 2006).

O instituto Passivhaus definiu um nível de estanqueidade máximo de uma casa de 0,6 renovações por hora a uma pressão de 50 Pa. Um bom projeto é essencial para se atingir os requisitos mínimos e este pode ser dividido em três fases.

A primeira é o projeto básico, onde se procura:

- ⇒ delimitar a posição da membrana impermeável,
- ⇒ evitar a descontinuidade da membrana,
- ⇒ minimizar a longitude das juntas.

A segunda fase é o projeto de execução, onde se pretende:

- ⇒ verificar a continuidade e escolha dos materiais da membrana,
- ⇒ desenhar detalhes e elaborar notas esclarecedoras para uma execução correta,
- ⇒ comprovar a durabilidade das juntas e dos materiais.

A terceira fase trata da execução da obra, em que é necessário:

- ⇒ planificar o teste de estanquidade ao ar,
- ⇒ verificar se os materiais utilizados são os mesmos do projeto e verificar as juntas e penetrações.

Devem ser feitos testes denominados de “*blower door test*” (Figura 3.6) na fase de aplicação e na fase final. Estes consistem na colocação de um ventilador que cria uma pressão de 50 Pa no exterior de uma janela ou porta. Os resultados podem ser utilizados para fazer uma estimativa das infiltrações de ar através de métodos de cálculo posteriores. São medidas as infiltrações do exterior para o interior e vice-versa. É aconselhável evitar fazer este teste quando as condições climáticas são desfavoráveis, ou seja, no caso de ventos fortes e grandes diferenças de temperatura, pois fazem alterar os resultados finais (FENERCOM, 2011).



Figura 3.6– Blower door test (STEUDLE et al., 2005).

### 3.3.4 Ventilação mecânica com recuperador de calor (MVHR)

Na procura da criação de um ambiente interior completamente independente do exterior, a Passivhaus optimizou o isolamento, criou uma barreira contra a entrada de ar e eliminou as pontes térmicas na envolvente, possibilitando um rigoroso controlo sobre a energia que flutua numa habitação. Estas medidas tornam praticável o controlo do caudal de ar que entra e sai de um edifício com base num sistema de ventilação mecânica, não fazendo uso da ventilação natural (STEUDLE et al., 2005). A ventilação tem como principal objetivo melhorar a qualidade do ar e evitar condensações, tanto superficiais como intersticiais, controlando os volumes de CO<sub>2</sub> e de humidade. O não aproveitamento da ventilação natural tem como razões (MCLEOD et al., 2006):

- ⇒ não desperdiçar o calor gerado no interior do edifício pelos ocupantes, equipamentos elétricos e radiação solar,
- ⇒ minimizar as poluições sonora e do ar,
- ⇒ não perder o controlo do caudal de ar gerido pela ventilação mecânica.

A Passivhaus implementou um sistema recuperador de calor aproveitando o calor do ar de saída. Este sistema consiste basicamente na recuperação de energia dos fluxos de ar de saída, provenientes de casas de banho e cozinhas, através de um permutador de calor. Neste, o ar quente de saída cruza-se, sem se misturar, com o ar de entrada que vai para os quartos e salas, aquecendo-os (Figura 3.7), diminuindo a necessidade de aquecimento (FENERCOM, 2011).

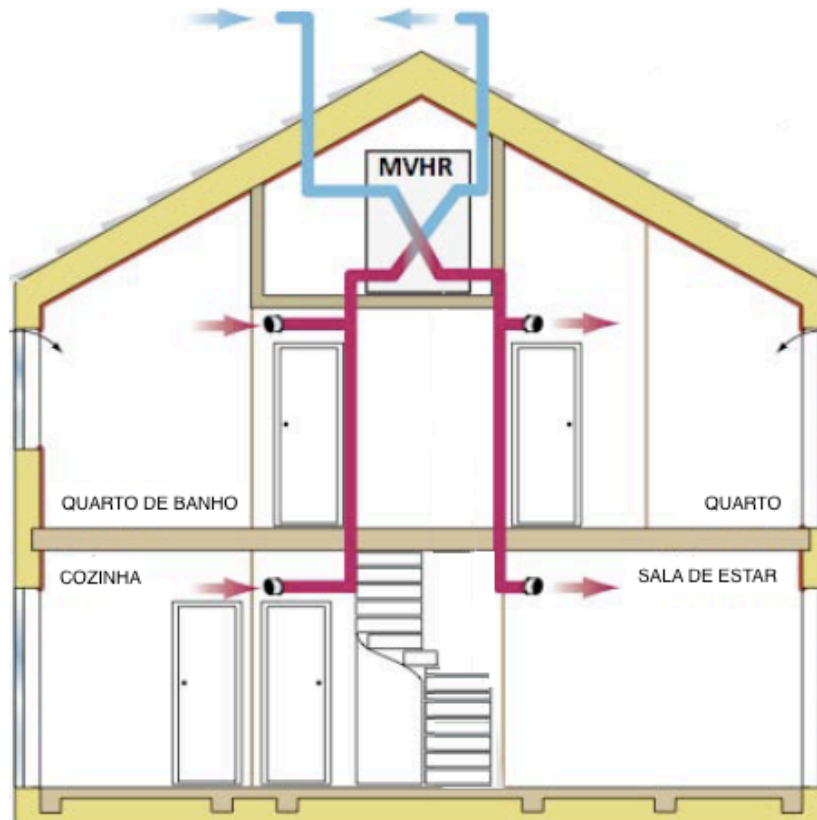


Figura 3.7 – Esquema de funcionamento de um sistema MVHR (STEUDLE et al., 2005).

O Instituto Passivhaus certifica este equipamento de ventilação desde que a sua eficiência de recuperação de calor seja igual ou maior do que 75 %, que o ventilador tenha uma potência igual ou inferior a 0,45 Wh/m<sup>3</sup> e que o ruído criado pelo equipamento seja inferior a 35 dB (STEUDLE et al., 2005).

Nos meses mais frios, o calor gerado pelo recuperador de calor pode ser insuficiente, então instala-se uma pequena bomba de calor (300 a 500 W) para ajudar no pré aquecimento do ar fresco. Embora o MVHR contribua para a poupança energética nos países da Europa central, este mesmo equipamento pode ser usado em climas mais quentes. Neste caso é utilizado um recuperador de calor reversível que viabiliza o arrefecimento do ar quente de saída, arrefecendo o ar fresco que entra (PASSIVE-ON, 2007d).

Para se obter o máximo proveito das suas capacidades, a montagem do MVHR é um passo crucial, sendo possível gerar cinco vezes mais energia do que aquela que gasta. A instalação incorreta ou uso de materiais de baixa qualidade na sua composição irá provocar poluição sonora, desagradável aos ocupantes. Devem ser feitas as seguintes verificações:

- ⇒ instalação correta com atenuadores de ruído distribuídos entre a unidade MVHR e as canalizações de ar,
- ⇒ limpeza das canalizações, dos equipamentos de extração e admissão de ar e dos filtros,
- ⇒ acessibilidade a todos os equipamentos que necessitarão de manutenção.

### 3.3.5 Vãos envidraçados

O aproveitamento da energia solar é um princípio básico numa casa que procura ser termicamente eficiente. Os vãos envidraçados são o elemento principal de captação da radiação solar em que o valor da necessidade de aquecimento numa habitação está correlacionado com o estudo do vão envidraçado, mais propriamente o seu tipo, área, orientação e coeficiente de transmissão térmica. As referidas superfícies registam uma transferência de calor sempre que os dois ambientes que separam se encontram a diferentes temperaturas, sendo o fluxo da zona mais quente para a zona mais fria.

A transferência de calor por radiação de um vão envidraçado é proporcional ao coeficiente de transmissão térmica,  $U_w$ , sendo o isolamento da superfície tanto maior, quanto menores forem as perdas térmicas e, portanto, quanto menor for este coeficiente (Tabela 3.2).

Encontram-se, em seguida, algumas medidas que reduzem a transferência de calor por radiação (PASSIVE-ON, 2007d) :

- ⇒ elevado número de panos de vidro numa janela - diminui o coeficiente de transmissão térmica,
- ⇒ vidros com capas de baixa emissividade – o que aumenta a reflexão de calor que, por sua vez, aumenta a capacidade de isolamento térmico,
- ⇒ vidros com capas “sob vácuo” - vidros que permitem obter um isolamento térmico reforçado através do uso de uma capa que é depositada no vidro através da projeção de metais ou compostos metálicos numa câmara de vácuo,
- ⇒ vidros de aerogel – material isolante transparente constituído por silicatos que substitui o convencional vidro. Apesar de ser uma solução bastante cara é a mais eficiente.

O gás que se encontra entre os panos, normalmente o ar, tem um papel fundamental na redução de transferências de calor por condução e convecção caso este se encontre imóvel. Para se melhorar este

isolamento é normalmente feita uma substituição do ar por um gás mais pesado e com uma condutividade térmica mais baixa (FENERCOM, 2011).

Tabela 3.1 – Massa molecular e condutividade térmica de diferentes gases.

<b>Gás em repouso</b>	<b>Massa molecular (kg/kmol)</b>	<b>Condutividade térmica (W/mK)</b>
Ar	29	0,025
Árgon	40	0,018
Xénon	131	0,0051

Tabela 3.2 - Coeficiente de condutibilidade térmica de diferentes envidraçados

<b>Tipo de envidraçado</b>	<b><math>U_w</math> (W/m<sup>2</sup>K)</b>
Vidro simples	5,7
Vidro duplo	2,8
Vidro triplo	1,9
Vidro triplo com capa de baixa emissividade	1,4
Vidro triplo com capa de baixa emissividade e preenchimento com árgon	1,2
Vidro triplo com duas capas de baixa emissividade e preenchimento com árgon	0,8
Vidro com capa “sob vácuo”	0,5
Vidro de 20 mm de aerogel	0,3

A utilização do tipo de vãos envidraçados deve ser certificado pelo Instituto Passivhaus para o qual, o requisito mínimo é de  $U_w \leq 0,80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

De todos os princípios básicos Passivhaus enumerados anteriormente, a utilização de envidraçados de alta qualidade é, possivelmente, a medida mais cara.

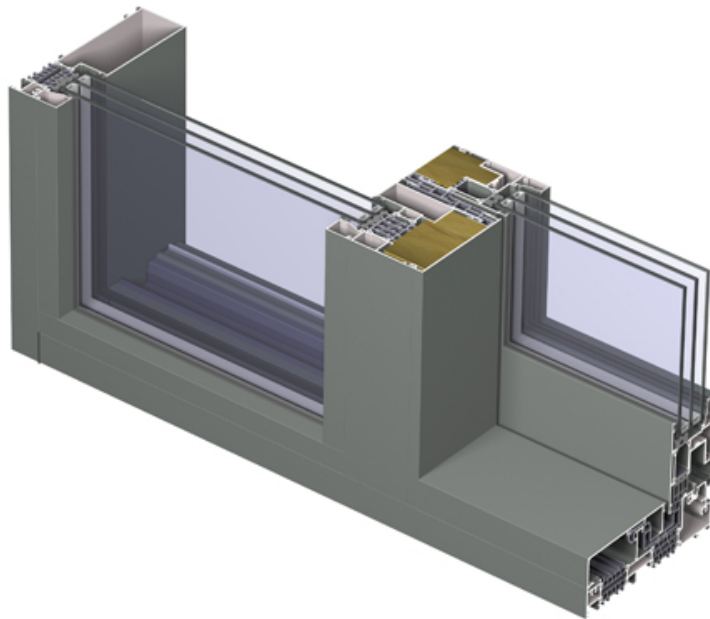


Figura 3.8 – Envidraçado de alta qualidade de baixo coeficiente de transmissão térmica (FENERCOM, 2011).

### 3.3.6 Outras estratégias passivas

Os princípios básicos referidos nas secções anteriores não devem ser exclusivos para a otimização de ganhos solares e calor interior numa casa Passivhaus. Estes princípios devem ser corroborados por outras estratégias passivas utilizadas frequentemente em edificações, que também procuram o melhor balanço energético possível. As medidas principais recaem sobre os seguintes parâmetros:

- ⇒ forma e orientação da habitação,
- ⇒ sombreamento de vãos envidraçados,
- ⇒ cor do revestimento,
- ⇒ equipamentos elétricos e iluminação,
- ⇒ materiais de mudança de fase (PCM),
- ⇒ permutador de calor no subsolo.

O somatório das diferentes estratégias passivas resulta não só em uma maior facilidade de alcançar os requisitos mínimos da Passivhaus como também reduz as emissões de CO<sub>2</sub>.



### **3.3.6.1 Forma e orientação**

As vantagens da forma e orientação de uma habitação já foram descritas nas secções 2.2.1 e 2.2.3.

Relativamente ao parâmetro forma, no dimensionamento de uma casa Passivhaus, a criação de espaços de alta compactidade (baixo fator forma) é uma medida importante visto que a área por onde podem ocorrer perdas de calor é menor. Contudo, em zonas quentes, procura-se perda de calor, em que uma baixa compactidade é uma medida não conivente com a procura pelo arrefecimento.

Acerca da orientação de uma casa Passivhaus, a fachada sul deve ter uma grande área envidraçada de modo a garantir-se o máximo de proveito da radiação solar. No verão esta medida requer um bom sistema de sombreamento para evitar o sobreaquecimento (PASSIVE-ON, 2007d).

### **3.3.6.2 Sombreamento**

Os tipos de sombreamento e funcionalidades já foram anteriormente descritos na secção 2.2.3.

Acerca do tipo de sombreamento numa casa Passivhaus, os dispositivos devem ser escolhidos de forma seletiva, de modo a que permitam a entrada de radiação solar no inverno, e o seu bloqueio no verão.

### **3.3.6.3 Cor dos revestimentos**

A escolha das cores dos revestimentos é um assunto já abordado na secção 2.3.1.

A cor dos revestimentos depende muito do tipo de clima onde a habitação está inserida. Por exemplo, no caso de um clima quente, a cor clara dos revestimentos irá diminuir a absorção de calor na parede e dessa forma diminuir a necessidade de arrefecimento. Contudo, é necessário perceber que esta medida tem um efeito negativo no caso de ganhos de calor, onde há uma maior dificuldade por parte da parede em absorver a radiação solar.

Concluindo, a solução correta será definida através da avaliação do clima ao longo de todo o ano.

### 3.3.6.4 Equipamentos elétricos e iluminação

A norma Passivhaus delimitou a necessidade de energia primária para uma habitação em um limite máximo de 120 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Dispositivos elétricos e iluminação, consomem em média 30-40 kWh/m<sup>2</sup>.ano de energia secundária que, traduzida para energia primária resulta em cerca de 70-100 kWh/m<sup>2</sup>.ano. A escolha das melhores tecnologias disponíveis no mercado, pode reduzir 35-40 % do consumo de energia primária desses equipamentos. A escolha deve ser feita para os equipamentos mais eficientes, identificados através de ferramentas como “*European labelling*” (sendo o A++ o equipamento mais eficiente) e “*Energy Star originally*.”

Embora seja verdade que o calor gerado por equipamentos ineficientes ajude na redução da necessidade de aquecimento no inverno é contudo uma ajuda muito pouco eficaz de aquecimento da casa; no verão, o calor produzido por estes mesmos equipamentos é considerado indesejado. Logo, o balanço final da energia é negativo.

### 3.3.6.5 Materiais de mudança de fase (PCM)

Esta subsecção terá uma abordagem mais profunda. O motivo prende-se por o autor ter iniciado uma dissertação relativa a esta subsecção, dissertação essa, que por motivos incontrolláveis, foi impossível de terminar e que no fim deu origem à presente dissertação.

A aplicação de PCMs em edifícios pode ser feita nas paredes, pavimentos e coberturas, em que utiliza energia solar para o aquecimento e arrefecimento, indo de encontro ao que uma casa Passivhaus procura.

Quando a temperatura aumenta, os PCMs absorvem energia, reação endotérmica, passando do estado sólido a líquido, no seu ponto de fusão. Quando se dá a descida de temperatura, o PCM reage da forma oposta, passando do estado líquido a sólido, libertando energia, reação exotérmica. Estes materiais ajudam no conforto térmico de um edifício, diminuindo a extensão de flutuação da temperatura que acontece entre o dia e a noite (FRÉDÉRIC KUZNIK et al., 2008). As principais vantagens na utilização de PCMs são:

- ⇒ a capacidade de armazenamento de calor sensível e latente,
- ⇒ o ponto de fusão na faixa de temperatura de conforto interior,
- ⇒ a maior densidade de armazenamento,
- ⇒ a capacidade de libertar energia a uma temperatura praticamente constante, coincidente com o seu ponto de fusão (RODRIGUES, 2009b),

- ⇒ a mudança de fase ser um processo isotérmico,
- ⇒ as perdas de calor manterem-se constantes durante os processos de carga/descarga (SOARES, 2010b).

A eficácia do PCM não é linear devido à influência de vários fatores relacionados com:

- ⇒ as condições climáticas, principalmente a radiação solar e a temperatura ambiente,
- ⇒ as propriedades térmicas dos materiais envolventes ao PCM,
- ⇒ o tipo de construção adotada,
- ⇒ a configuração e orientação do sistema,
- ⇒ a espessura e tipo de encapsulamento do PCM.

Assim se comprova que a incorporação do PCM é algo complexo e que requer uma simulação do comportamento termodinâmico do sistema. Muitos estudos numéricos e experimentais têm sido realizados para avaliar a potencial incorporação do PCM em edifícios, tendo-se considerado benéfico a:

- ⇒ incorporação dos PCMs em sistemas de armazenamento de energia de calor latente,
- ⇒ incorporação de PCMs como um “falso” material de isolamento,
- ⇒ qualidade do PCM em funcionar como Termoregulador no interior de edifícios (inércia alta).

Estes três tipos de utilização levam a várias vantagens:

- ⇒ poupança de energia,
- ⇒ redução de custos,
- ⇒ redução da emissão de impurezas para o meio ambiente.

A sua pouca utilização na atualidade deve-se contudo ao preço deste material. No entanto, com o avanço da tecnologia e investigação é provável que o preço se torne mais competitivo.

#### **3.3.6.5.1 Propriedades Termofísicas**

As propriedades de PCMs devem encaixar o melhor possível nas diferentes condicionantes de um dado edifício, de modo a que o conjunto resulte no melhor conforto térmico possível e num sistema de custo viável.

Tais propriedades são:

- ⇒ propriedades Termodinâmicas;
- ⇒ propriedades Cinéticas;
- ⇒ propriedades Químicas;

⇒ propriedades Económicas.

### **Propriedades Termodinâmicas**

A Termodinâmica refere-se, principalmente, às causas e efeitos da variação de temperatura, pressão e volume de um dado material. As propriedades termodinâmicas de PCMs são (VINEET VEER TYAGI *et al.*, 2005):

- ⇒ temperatura de fusão, de modo que se enquadre na faixa onde o PCM terá o seu melhor rendimento;
- ⇒ elevado calor latente por unidade de volume;
- ⇒ elevada condutividade;
- ⇒ elevada densidade;
- ⇒ equilíbrio de fases;
- ⇒ pequenas alterações de volume;
- ⇒ baixa pressão de vapor.

### **Propriedades Cinéticas**

As propriedades cinéticas baseiam-se na velocidade de reação química de um dado material. Segundo (VINEET VEER TYAGI *et al.*, 2005), as propriedades cinéticas do PCM são:

- ⇒ alta taxa de nucleação de modo a evitar resfriamento na fase líquida;
- ⇒ alta taxa de crescimento de cristais.

### **Propriedades Químicas**

As propriedades químicas referem-se à estrutura, composição e transformação da matéria de um dado material. Segundo (VINEET VEER TYAGI *et al.*, 2005), as propriedades químicas do PCM são:

- ⇒ estabilidade química;
- ⇒ não degradação do material após vários ciclos de congelar/derreter;
- ⇒ não corrosivo e não tóxico;
- ⇒ não inflamável e não explosivo.

### **Propriedades Económicas**

As propriedades económicas de PCMs são (SOARES, 2010a):

- ⇒ abundância;
- ⇒ rentabilidade;
- ⇒ disponibilidade.

### 3.3.6.5.2 Classificação

Os PCMs são divididos em três grupos, tendo como critério as matérias por que são formados:

- ⇒ orgânicos;
- ⇒ inorgânicos;
- ⇒ misturas eutéticas.

#### **PCM Orgânico**

Os PCMs orgânicos dividem-se em parafinados e ácidos gordos. O seu ponto de fusão encontra-se normalmente entre os 20-32 °C dependendo do número de átomos de carbono que os constituem. A sua grande capacidade de armazenamento térmico, por volta dos 200 kJ/kg durante o seu processo de fusão, faz com que sejam muito utilizados. Os PCMs orgânicos podem associar-se de forma a obter-se determinadas gamas de temperatura de transição. Os mais utilizados são o hexadecano, octadecano e o eicosano devido ao seu custo ser mais acessível (SILVA, 2009a).

Segundo (FRÉDÉRIC KUZNIK et al., 2010), as vantagens dos PCMs orgânicos são:

- ⇒ disponibilidade em um amplo intervalo de temperatura;
- ⇒ congelamento sem o efeito de “supercooling”;
- ⇒ capacidade para derreter congruentemente;
- ⇒ boa capacidade de auto nucleação;
- ⇒ compatibilidade com materiais de construção;
- ⇒ não segregação;
- ⇒ estabilidade química;
- ⇒ não reativo;
- ⇒ não inflamável,

e as desvantagens dos PCMs orgânicos:

- ⇒ baixa conductividade térmica;
- ⇒ baixa capacidade de armazenamento de calor latente;
- ⇒ pequenas variações de volume, perto dos 10 %.

### **PCM Inorgânico**

Estes materiais são classificados como sais hidratados. O seu ponto de fusão varia dos 20-32 °C (VINEET VEER TYAGI *et al.*, 2005).

Segundo (FRÉDÉRIC KUZNIK *et al.*, 2010), as vantagens deste tipo de PCM são:

- ⇒ alta capacidade de armazenamento de calor latente;
- ⇒ baixo custo e fácil disponibilidade;
- ⇒ alta condutividade térmica;

e as desvantagens deste tipo de PCM são:

- ⇒ inflamável;
- ⇒ efeito “supercooling”;
- ⇒ segregação do material.

O efeito “supercooling” acontece quando a taxa de nucleação é muito baixa. Esta representa a capacidade que um material tem de criar núcleos, quando a temperatura fica abaixo do seu ponto de fusão.

### **Misturas Eutéicas**

Este tipo de misturas consiste na combinação de dois ou mais PCMs, independentemente de eles serem orgânicos e/ou inorgânicos. Normalmente são utilizadas estas misturas quando se pretende chegar a temperaturas de transição próximas das necessidades, do que os compostos que a originam. A sua principal desvantagem reside no seu custo (SILVA, 2009a).

#### **3.3.6.5.3 Encapsulamento**

O método mais simples de utilização do PCM consiste na sua impregnação direta em materiais porosos, como o gesso, cimento, etc. O volume ocupado pelo PCM nos poros é suficientemente pequeno para impedir o isolamento da crosta sólida do PCM (FRÉDÉRIC KUZNIK *et al.*, 2010). Há relatos de casos em que ocorreu derrame de PCM e/ou uma interação entre este e o recipiente poroso, que resultou numa substancial perda de propriedades mecânicas desse recipiente. Por estes motivos este método, direto, não é o mais aconselhável (XIAO M *et al.*, 2002).

O encapsulamento do PCM, ou seja, a introdução deste dentro de cápsulas, tornou-se a solução viável para armazenamento. Estas cápsulas são constituídas por polímeros orgânicos ou mesmo metais.

Existem dois tipos de encapsulamento:

- ⇒ Microencapsulamento,
- ⇒ macroencapsulamento.

Duas características importantes que devem ser tidas em consideração são o tipo de material de que é feito o encapsulamento e a sua espessura. O aumento da espessura da casca, caso esta seja metálica, aumenta a amplitude térmica na cavidade interior, mas a quantidade ideal de PCM, para um dado sistema construtivo, muda de acordo com a espessura da cápsula (SILVA *et al.*, 2011).

#### **Microencapsulamento**

Este procedimento consiste na colocação do PCM em microcápsulas. A escolha do material da cápsula deve ser tida em consideração, de modo a não existirem reações químicas entre as cápsulas e materiais do edifício. A vantagem deste método recai sobre a inexistência do isolamento desproporcional da crosta sólida do PCM, devido ao pequeno tamanho da cápsula. Devem ser tidos em consideração três parâmetros importantes para avaliação do comportamento do PCM na solução final: o diâmetro médio, espessura da casca da cápsula e, por último, a percentagem da razão entre a massa de PCM e a massa total (FRÉDÉRIC KUZNIK *et al.*, 2010). A principal desvantagem deste tipo de encapsulamento é na maior parte dos casos, ocorrer o efeito “supercooling” durante a solidificação do PCM, quando o tamanho das microcápsulas diminui alguns microns (YAMAGISHI Y *et al.*, 1996).

#### **Macroencapsulamento**

Este procedimento é semelhante ao do microencapsulamento, simplesmente é feito em contentores maiores. Normalmente é um sistema mais barato, mais resistente e não interfere com a resistência da parede. O grande problema consiste na fraca condutibilidade térmica o que origina uma solidificação no bordo dos recipientes, dificultando a transferência de calor (RODRIGUES, 2009a).

#### **3.3.6.5.4 Aplicação de PCM em edifícios**

O uso de PCM em edifícios traz um acréscimo de capacidade de armazenamento de energia, que nenhum outro tipo de material, de construção civil, consegue ter. Esta vantagem é indiscutível e pode ser analisada no gráfico de barras da Figura 3.9.

A aplicação de PCM em edifícios pode ter dois tipos de objetivos. O primeiro é aproveitar a energia solar para aquecimento, ou a baixa de temperatura durante a noite para arrefecimento (sistema passivo); o segundo objetivo é construir um sistema híbrido, ou seja, resultante da comunhão de um sistema ativo com

um sistema passivo, de modo a diminuir o consumo energético do sistema ativo. O sistema ativo consiste no aproveitamento de energia por fontes artificiais.

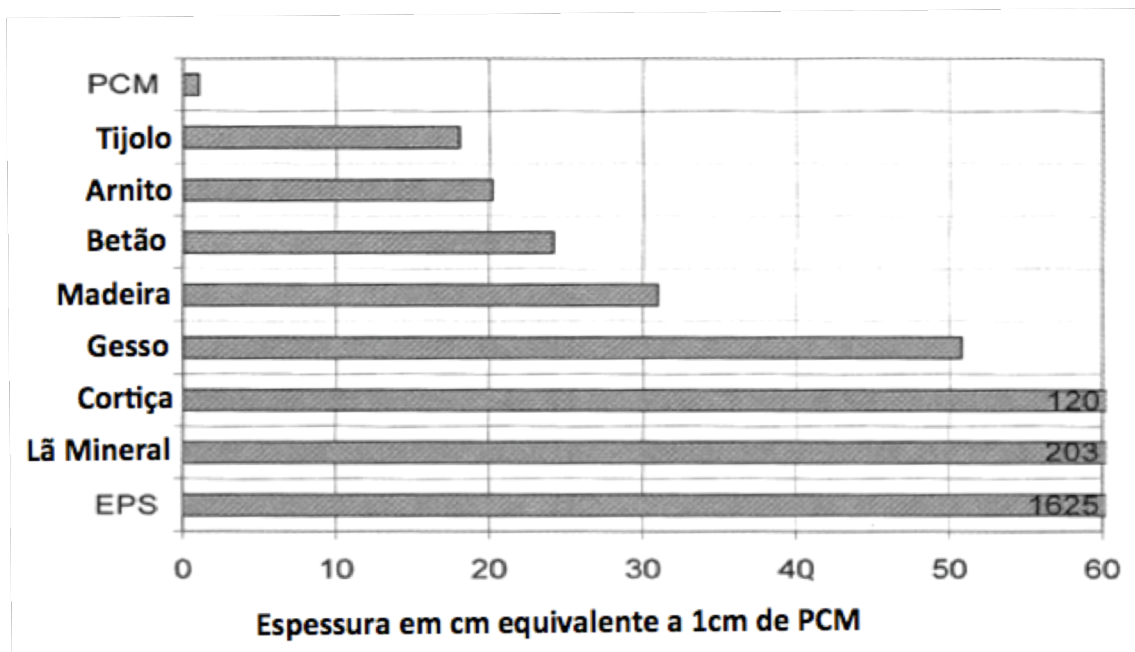


Figura 3.9 - Gráfico de barras que compara a espessura que teria de ter cada material para armazenar a mesma energia que 1 cm de PCM armazena (HARALD MEHLING *et al.*, 2008)

Independentemente do tipo de sistema escolhido existem diferentes locais para aplicar o PCM num edifício:

- ⇒ PCM em paredes de edifícios;
- ⇒ PCM em outros componentes do edifício, sem ser paredes.

### **Parede Trombe**

Segundo (ATUL SHARMA *et al.*, 2007), a parede trombe é um dos sistemas solares de captação passiva muito utilizado. Considerada como uma “estufa”, é constituída por um vidro exterior, orientado a Sul, uma caixa-de-ar e um muro de grande densidade e espessura, garantindo inércia térmica. Este muro pode ser de betão, pedra ou tijolo maciço. Este sistema é capaz de absorver a energia do sol, armazená-la no interior da parede devido à sua própria inércia, e irradiar calor para dentro da divisão adjacente quando a temperatura diminui. O problema deste sistema direciona-se para a fácil perda de calor, não chegando a entrar no interior do edifício. Muitos autores estudaram a incorporação do PCM na parede trombe através da diminuição da



espessura da parede e compararam as diferenças de temperatura entre as duas soluções. Na tabela 3.3 são expostos os resultados de vários ensaios feitos a paredes trombe, investigadas por diferentes autores.

Tabela 3.3 - Conclusões de diferentes autores que estudaram a implementação de PCMs na parede Trombe.

Autor	Conclusões
(VINEET VEER TYAGI <i>et al.</i> , 2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Para um mesmo armazenamento de energia, a parede trombe com sais hidratados é muito menos espessa, do que sem os sais;</li> <li>⇒ Parede trombe virada a sul, de 8,1 cm, com PCM (cloreto de cálcio hexahidratado, ponto de fusão 29 °C) incorporado, tem melhor eficiência energética, do que a mesma parede com 40 cm mas sem PCM (BOURDEAU, 1980);</li> <li>⇒ PCM (parafina CG) com aditivos metálicos numa parede trombe comprovaram uma melhoria na condutividade térmica, e consequentemente na eficiência energética (KNOWLER, 1983);</li> <li>⇒ Transmitância da radiação solar que atravessa o PCM (ácido esteárico) é maior do que a que atravessa o vidro, ambos com a mesma espessura (BUDDHI <i>et al.</i>, 1999).</li> </ul>
(ATUL SHARMA <i>et al.</i> , 2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ PCM ( parafina preta, ponto de fusão 25-28 °C) usado em parede trombe, serviu para aquecimento do ar da ventilação do edifício. A eficiência de absorção foi de 79 %, em que o ponto de fusão influencia a temperatura de saída do ar (STRITIH <i>et al.</i>, 1996);</li> </ul>

### **Gesso Cartonado**

As *wallboards* são paredes baratas, leves, usadas em inúmeras aplicações, fazendo delas um bom meio para implementar o PCM. Este tipo de paredes são usadas para separar ambientes interiores de exteriores e para reduzir a transferência de energia entre esses dois meios. Estas são normalmente constituídas por gesso cartonado. Assim sendo, as suas propriedades termodinâmicas afetam significativamente o desempenho térmico dos edifícios (SILVA, 2009b). A implementação de PCM nestas paredes amplia a sua capacidade térmica. Na tabela 3.4 são expostos os resultados de vários ensaios feitos a *wallboards*, investigadas por diferentes autores.

Tabela 3.4 – Conclusões de diferentes autores que estudaram a impregnação de PCMs em wallboards.

Autor	Conclusões
(ZHANG <i>et al.</i> , 2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Temperatura de fusão de PCMs afeta o tempo que demora a mudança de fase deste e a transferência de calor de uma parede;</li> <li>⇒ Maior período de mudança de fase resultará numa maior quantidade de energia guardada pelo PCM;</li> <li>⇒ Se o PCM, num ciclo, consegue derreter ou congelar totalmente, pode-se aumentar a temperatura de fusão ou aumentar a espessura.</li> </ul>
(SILVA, 2009b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ PCM (ponto de fusão aos 23 °C) incorporado em placas de gesso cartonado de 30 mm, no interior de uma parede, permite que esta atinja uma temperatura máxima, durante o dia, de 24 °C, enquanto que na parede sem PCM, apenas de gesso cartonado, foi de 25,5 °C (CHEN, 2007);</li> <li>⇒ Poupança energética de 17 % com base numa temperatura de conforto de 20 °C (CHEN, 2007).</li> </ul>
(RUBEN BAETENS <i>et al.</i> , 2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Mistura eutética (<i>Capric/Myristic</i> de 0,74/0,26, respetivamente, com um ponto de fusão 21,5 °C) junta com 13 mm de <i>wallboard</i> em Estocolmo, resultam num calor de fusão de 540 kJ/m<sup>2</sup>. O PCM reduziu 2 GJ/ano do consumo de energia para aquecimento de um espaço de 120 m<sup>2</sup> (KAURANEN <i>et al.</i>, 1991).</li> <li>⇒ Mistura eutética (<i>Palmitic/Myristic</i> de 0,75/0,25, respetivamente, com um ponto de fusão 22,0 °C) junta com 13 mm de um <i>wallboard</i> em Madison (Wiscosin), resultam num calor de fusão de 540 kJ/m<sup>2</sup> (KAURANEN <i>et al.</i>, 1991). O PCM reduziu 3 GJ/ano do consumo de energia para aquecimento (PEIPPO <i>et al.</i>, 1991).</li> <li>⇒ Melhores resultados são observados em casas com pior isolamento térmico.</li> </ul>

### PCM Shutter

O sistema começa por se colocar o *shutter* fora da área das janelas, contendo o PCM. Durante o dia estas são abertas para o exterior, expostas à radiação solar. Consequentemente o PCM derrete com o aumento da temperatura com o avançar do dia. À noite, ao fechar-se a janela, o *shutter* fica virado para o interior da casa, libertando a energia absorvida pelo PCM e aquecendo o espaço interior (ATUL SHARMA *et al.*, 2007).

Na tabela 3.5 é exposto o resultado de ensaios feitos a um *shutter*.

Tabela 3.5 - Conclusões de diferentes autores que estudaram a impregnação de PCMs em sistemas shutter.

Autor	Conclusões
(SOARES, 2010a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Um “sistema óptimo” é influenciado pelas propriedades termofísicas do PCM escolhido e pelas condições de fronteira interior impostas no modelo;</li> <li>⇒ Quanto maior o coeficiente de fronteira interior e o gradiente entre a temperatura de fusão do PCM e a temperatura interior, mais eficiente será o processo de descarga do sistema e a restituição, ao meio interior, da energia armazenada durante o dia;</li> <li>⇒ Quanto maior o calor latente de fusão do PCM maior será a quantidade armazenada e restituída;</li> <li>⇒ Quanto menor o afastamento entre as alhetas e o alumínio, melhor será o desempenho energético do sistema;</li> <li>⇒ O “sistema óptimo” proposto armazenou e restituiu ao meio interior, durante um ciclo de 24 horas, 8 horas em carga, e 16 horas a restituir, uma quantidade de energia de 2501,3 kJ por metro linear de portada.</li> </ul>
(VINEET VEER TYAGI <i>et al.</i> , 2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Segundo (BUDDHI <i>et al.</i>, 2003), PCM (ácido laurico CG, ponto de fusão aos 49 °C) usado em sistema <i>shutter</i>, armazenou energia durante o dia, libertando-a durante a noite, fazendo aumentar a temperatura em 4 °C por cerca de 4-5 horas.</li> </ul>

### **Parede de betão com PCM**

Outra possibilidade de utilizar PCMs na construção civil é em paredes de betão. Segundo (CABEZA *et al.*, 2007), o uso de PCMs em macro cápsulas foi testado no passado mas sem efeitos positivos devido à fraca condutividade. O uso de microcápsulas é considerado como se fosse um agregado individual do betão, não o afetando diretamente nas suas funções primárias.

Na tabela 3.6 seguinte são indicados os resultados de vários ensaios feitos a paredes de betão com PCM.

Tabela 3.6 - Conclusões de diferentes autores que estudaram a impregnação de PCMs em paredes de betão.

Autor	Conclusões
(CABEZA <i>et al.</i> , 2007)	<p>PCM (ponto de fusão aos 26 °C) foi utilizado num compartimento feito em betão com 2x2x3 m em Puigverd Lleide (Espanha).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Compartimento sem PCM tem 1 °C a mais na temperatura máxima e 2 °C a menos na temperatura mínima, comparando com o compartimento com PCM;</li> <li>⇒ A temperatura máxima aparece 2 horas mais tarde no compartimento com PCM, ou seja, a inércia térmica é maior do que no compartimento sem PCM.</li> </ul>

### 3.3.6.6 Permutador de calor no subsolo

Ao longo do ano, o terreno a partir de uma dada profundidade tem uma temperatura praticamente constante, igual à temperatura média anual. Na Europa essa temperatura pode ir dos 10 aos 20 °C. Dessa forma, no inverno, o terreno está a uma temperatura superior à temperatura exterior e, no verão, está a uma temperatura inferior, tornando-se uma fonte potencial para aquecimento e arrefecimento de um edifício.

A temperatura varia com a profundidade dando a possibilidade de escolher, dentro de uma banda de temperaturas, a que trará melhores resultados; no entanto, deve-se ter em conta o custo da escavação que aumenta com a profundidade (DEGLIN *et al.*, 1998).

O permutador é um aparelho instalado normalmente por debaixo do edifício tipicamente constituído por um plástico semirrígido ou por tubos de metal de 100-450 mm. A sua configuração pode ser feita de três maneiras:

- ⇒ aberta – o ar exterior é insuflado para as tubagens enterradas do permutador e entram diretamente na habitação,
- ⇒ ciclo fechado – uma porção de ar da habitação entra nas tubagens do permutador em forma de “U” por onde passa pelo subsolo e volta a entrar na casa,
- ⇒ combinado – válvulas unidireccionais permitem tanto a configuração aberta como a de ciclo fechado, dependendo do tipo de estação ou das necessidades de aquecimento/arrefecimento.

Este tipo de sistema reduz a necessidade de aquecimento e arrefecimento através do aquecimento de ar fresco, sendo uma boa estratégia a implementar numa casa Passivhaus.

### 3.4 Passivhaus para climas quentes

O sucesso da norma Passivhaus nos países da Europa Central suscitou interesse na sua aplicação em países de clima quente. A Passive-on, que reúne investigadores de diferentes países, é o projeto que investiga esta aplicação, financiado pelo programa *SAVE Intelligent Energy for Europe*. Tendo em consideração não só o clima, mas também os tipos de construção tradicional de cada país, o contexto técnico-económico e o estilo de vida, traçou como objetivos (PASSIVE-ON, 2007c):

- ⇒ proporcionar linhas diretrizes de projeto e uma ferramenta de simulação para desenvolver casas passivas, economicamente viáveis durante todas as estações, para arquitetos e projetistas,
- ⇒ proporcionar através do projeto, um relatório de alcance e estratégia, examinando as barreiras e soluções para a EU, para instituições nacionais e locais, podendo dar origem a um desenvolvimento mais amplo de casas passivas, para legisladores.

A Passive-on, nestes últimos anos, estudou a aplicabilidade das estratégias Passivhaus nos países parceiros do projeto, onde os resultados estão desenvolvidos nas secções seguintes.

#### 3.4.1 Espanha

O estudo centrou-se numa habitação plurifamiliar na zona sul de Espanha. O edifício satisfaz os atuais regulamentos espanhóis, “Códigos Técnicos de Edifícios”, mais especificamente, a parte que limita as necessidades energéticas máximas admissíveis. A necessidade de envolver os princípios da casa Passivhaus nesta casa tradicional espanhola levou à aplicação das seguintes estratégias (PASSIVE-ON, 2007c):

- ⇒ não aplicação de um sistema mecânico de ventilação com recuperador de calor por não ser compatível com as características dos edifícios espanhóis,
- ⇒ elevada área de envidraçados a sul para captação de ganhos solares no inverno,
- ⇒ massa térmica elevada nas paredes exteriores,
- ⇒ ventilação noturna no verão para dissipação da energia, armazenada durante o dia na massa térmica das paredes.

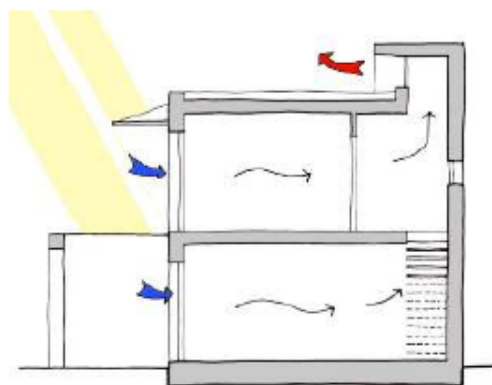


Figura 3.10 - Estratégia de ventilação no verão para Espanha (PASSIVE-ON, 2007c).

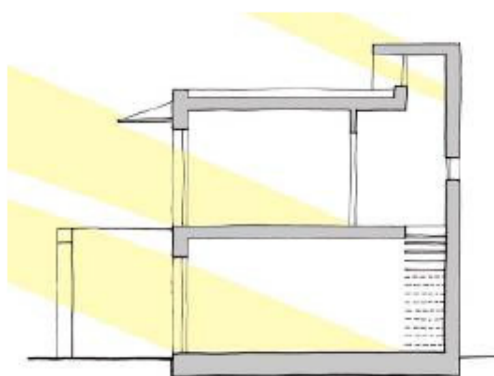


Figura 3.11 - Estratégia de aquecimento no inverno para Espanha (PASSIVE-ON, 2007c).

### 3.4.2 Itália

O estudo centrou-se numa habitação situada a norte de Itália, na zona de Milão, com características climáticas de inverno semelhantes às da Alemanha. O desenho passivo procurou a eliminação das pontes térmicas, aplicação de um elevado nível de isolamento e a utilização de ventilação mecânica com recuperador de calor. A efetividade destas medidas na estação de aquecimento é muito boa, no entanto, o clima de verão da Itália exige um sistema de arrefecimento complementar. Desta forma, a casa Passivhaus italiana adotou estratégias complementares tradicionais:

- ⇒ beirados do telhado ou estores persas que reduzem os ganhos solares através do sombreamento,
- ⇒ ventilação natural noturna complementada, em dias particularmente quentes, por sistemas ativos de arrefecimento, através do uso de uma bomba de calor reversível de baixo consumo.

O clima italiano apesar de ser parecido ao clima alemão no inverno não necessita, na sua globalidade, de requisitos tão exigentes. Assim, e em termos comparativos, a solução final foi (PASSIVE-ON, 2007c):

- ⇒ a espessura de isolamento de 10 cm nas paredes exteriores e de 15 cm na cobertura de uma casa Passivhaus italiana são suficientes, comparativamente com os 25 cm nas paredes exteriores e 40 cm na cobertura de uma casa Passivhaus alemã,
- ⇒ a estanqueidade ao ar numa casa Passivhaus alemã tem como limite superior de 0,6 ren/h para uma pressão de 50 Pa; contudo, um valor de 1 ren/h é aceitável numa casa Passivhaus italiana.



Figura 3.12 – Estratégia de arrefecimento no verão para Itália (PASSIVE-ON, 2007c).

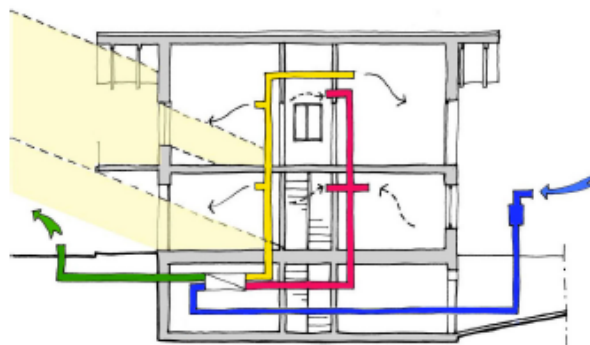


Figura 3.13 – Estratégia de aquecimento no inverno para Itália (PASSIVE-ON, 2007c).

### 3.4.3 França

Como o clima do norte de França é semelhante ao clima alemão, as estratégias utilizadas são semelhantes às usadas na casa Passivhaus alemã, tais como: elevada espessura de isolamento térmico colocado pelo exterior das paredes, ventilação mecânica com recuperador de calor, envidraçados de vidro triplo de baixa emissividade e eliminação das pontes térmicas.

Como no sul de França o clima é mais ameno, não é necessário o uso de estratégias tão exigentes. Em Nice, por exemplo, para uma habitação orientada a sul, de dois pisos e com cave não aquecida, a espessura do material isolante pode ser o convencionalmente utilizado, apenas perfazendo legalmente o regulamento francês. As cargas médias diárias para aquecimento são baixas podendo-se optar pela instalação de uma bomba de calor compacta, utilizada não só para aquecimento do espaço através do aproveitamento do calor extraído do ar, mas também para aquecimento das águas sanitárias. Trata-se de uma estratégia útil na medida em que um sistema simples controla grande parte das necessidades da habitação e o investimento global é baixo.

O uso de ventilação mecânica com recuperação de calor também pode ser aplicável em vez da bomba de calor compacta. Para dias quentes de verão a utilização de ventilação natural durante a noite é utilizada. No entanto, em localidades onde a amplitude térmica durante o dia for pequena, a eficiência da ventilação natural estará comprometida, sendo necessário o uso de um sistema de arrefecimento não só para dissipação da energia armazenada nas paredes mas também para prevenir eventuais condensações, caso o nível de humidade nesse local seja alto (PASSIVE-ON, 2007c).

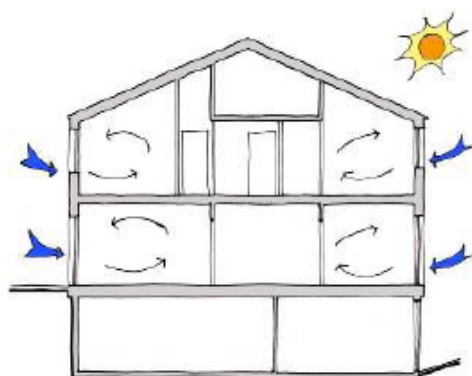


Figura 3.14 – Estratégia de arrefecimento no verão para França (PASSIVE-ON, 2007c).

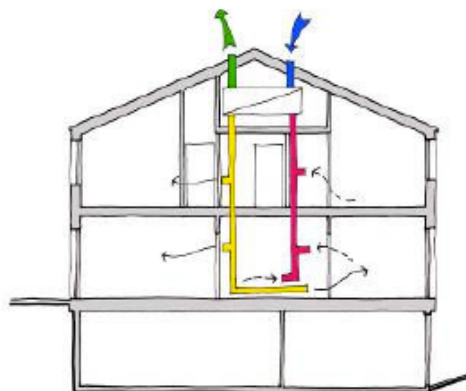


Figura 3.15 – Estratégia de aquecimento no verão para França (PASSIVE-ON, 2007c).



### 3.4.4 Reino Unido

A fusão das estratégias Passivhaus com as estratégias tradicionais de construção no Reino Unido foram desenvolvidas pela *School of the Built Environment* (SBE), da Universidade de Nottingham, numa casa tipicamente britânica, constituída por dois pisos com três quartos. A primeira dificuldade encontrada foi na introdução do sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor, sistema este, considerado pela Passivhaus, uma das mais importantes medidas implementadas para se atingir os requisitos mínimos. Esta dificuldade foi gerada pelo cepticismo que envolve os construtores, primeiro por não se fazer uso da ventilação natural e, em segundo pela dificuldade em se criar uma habitação completamente estanque. Deste modo, a proposta do SBE implementou a renovação de ar através da ventilação natural, feita através do controlo manual gerido pelo utilizador. Para colmatar a “perda” do sistema com recuperação de calor do ar extraído, útil para aquecimento, foram criados dois espaços tampão, um orientado a norte e outro a sul. Um espaço tampão, apesar de reduzir a área habitável, maximiza os ganhos solares através de uma grande área envidraçada constituída por um vidro simples, sendo uma mais valia na estação de aquecimento. É necessária a instalação de um sistema de estores venezianos isoladores que servem para proteção da radiação solar indesejada no verão e para evitar as perdas de calor no inverno. O espaço tampão a norte também atua como antecâmara de entrada.

Em suma, a estratégia desenvolvida pelo SBE difere da inicialmente proposta pela Passivhaus. Em primeiro lugar, o SBE considerou a combinação da ventilação natural com uma grande capacidade térmica interior, sendo assumidas infiltrações na ordem das 3 ren/h a uma pressão de 50 Pa. O aquecimento do espaço não se faz através do MVHR mas sim através do ar pré-aquecido na zona tampão a sul. Aliada a esta estratégia, pode ser implementado um permutador de calor instalado no subsolo que aproveita o calor geotérmico. A instalação de uma caldeira para aquecimento de águas quentes pode ser útil para colmatar dias mais frios através de um piso radiante. Para arrefecimento, a casa Passivhaus Britânica procura evitar o uso de sistemas ativos. A estratégia passa por abrir as zonas tampão, evitando o sobreaquecimento e aumentando a área habitável. Durante a noite procede-se à ventilação natural para arrefecimento do edifício e da massa térmica interior, feita através do efeito chaminé, através de grelhas de admissão de ar a uma cota baixa e dispositivos de extração a uma altura elevada. A forte inércia térmica é outra ajuda na redução da necessidade de arrefecimento, onde os coeficientes de transmissão térmica dos elementos que fazem fronteira com o exterior são inferiores a  $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Apesar de os envidraçados do espaço tampão serem de vidro simples, os restantes envidraçados considerados no estudo são de vidro duplo com baixa emissividade (PASSIVE-ON, 2007c).

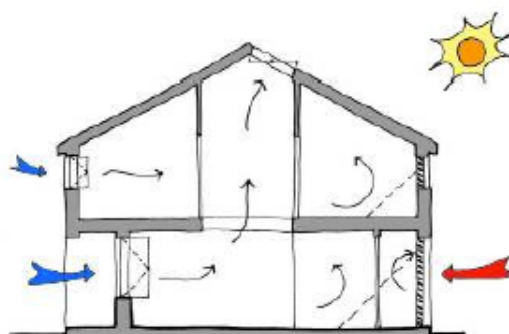


Figura 3.16 – Estratégia de arrefecimento no verão para Reino Unido (PASSIVE-ON, 2007c).

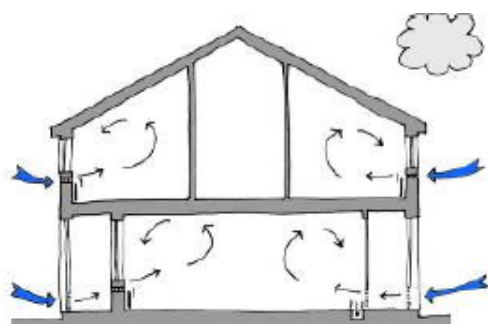


Figura 3.17 – Estratégia de aquecimento no inverno para Reino Unido (PASSIVE-ON, 2007c).

### 3.4.5 Portugal

O ponto de partida para comparar uma casa Passivhaus portuguesa com uma alemã é a análise do clima. Portugal apresenta ao longo de todo o ano uma elevada radiação solar, sendo questionável para qual das estações sazonais devem as estratégias Passivhaus direcionar-se. São necessários, em média, seis meses de aquecimento em Portugal comparativamente com a quase anual necessidade de aquecimento de uma casa alemã. Desse modo, o “peso” impacto que cada estratégia Passivhaus tem na Alemanha para atingir o equilíbrio energético, é diferente para Portugal. Para reduzir as trocas de energia que se estabelecem entre os elementos fronteira duma habitação, é necessário contabilizar a diferença entre a temperatura de conforto interior e a temperatura exterior, sendo diretamente proporcional a espessura do isolamento a essa diferença de temperatura. As temperaturas exteriores, na estação de aquecimento, na Alemanha, são muito inferiores às de Portugal, requerendo níveis de isolamento térmico que são desnecessários em Portugal. Uma casa Passivhaus alemã tem níveis de isolamento na ordem dos 250 mm para paredes exteriores, 300 mm para

cobertura e 200 mm para o pavimento em contacto com o solo, ou seja, muito mais exigentes que os propostos pela Passive-on para Portugal, em que as paredes exteriores teriam 100 mm, a cobertura 150 mm e o pavimento em contacto com o solo 80 mm.

O invólucro de isolamento térmico à volta de uma casa Passivhaus é uma das estratégias passivas propostas. No caso de uma casa Passivhaus portuguesa será igual, exceptuando localidades em que a preocupação com o arrefecimento é maior do que com o aquecimento. Nestas zonas é proposta a continuidade do isolamento apenas até a um metro de profundidade, promovendo trocas de calor entre o terreno e a cave da habitação. A colocação contínua do isolamento térmico pelo exterior como estabelece a Passivhaus é algo que merece um acompanhamento contínuo por parte dos projetistas térmicos durante a fase de obra.

Na estação de aquecimento, a principal estratégia passiva na procura da redução do consumo energético é a orientação da habitação. É de extrema importância a orientação norte-sul, em que o aquecimento é feito pela grande área envidraçada na fachada sul, estando a restante área envidraçada distribuída pela fachada oeste e este. Durante o dia, o aquecimento é feito pela radiação solar; durante a noite, para evitar a descida da temperatura interior são utilizados estores isoladores que atrasam a perda de calor até ao dia seguinte, resultando numa flutuação de temperatura interior diária pequena. Em zonas mais frias de Portugal é considerada a utilização de envidraçados de vidro duplo de baixa emissividade mas, em climas mais quentes, vidro duplo simples é a melhor solução. Outro sistema proposto pela Passivhaus para aquecimento é a ventilação mecânica com recuperador de calor. É extraído o ar quente das casas de banho e cozinhas e através de um permutador faz-se a troca de calor entre este ar e o ar fresco que entra. Não só é útil para aquecimento como a ventilação mecânica garante a qualidade do ar interior.

A nova regulamentação térmica portuguesa obriga a utilização de painéis solares para aquecimento de águas sanitárias. Esta proposta é aproveitada para a instalação de um sistema hidráulico de calor de baixa temperatura que contribua também para o aquecimento da habitação. Através do aumento da área de captação de painéis pode ser implementado um piso radiante que ajude no aquecimento interior. Outra medida direccionada para o aquecimento, que substitui o piso radiante, pode ser a instalação de uma bomba de calor ou uma caldeira de biomassa. Esta tem a principal vantagem de não depender da radiação solar, trabalhando em dias enublados que comprometeriam o aquecimento por parte do piso radiante.

A estratégia de arrefecimento passa inicialmente por dispositivos de sombreamento. Na fachada sul são colocadas palas e estores venezianos que minimizam ou impossibilitam a radiação solar que entra na habitação. Nas fachadas oeste e este, devido à trajetória solar, o controlo de radiação é apenas conseguido

através de estores venezianos. Outra medida para arrefecimento recai sobre a ventilação natural noturna, que dissipa a energia armazenada durante o dia por parte dos elementos construtivos de alta massa térmica. A elevada inércia térmica é uma vantagem que deve ser tida em consideração no controlo das variações de temperatura, a qual deve ser combinada com a ventilação natural, de modo a prevenir o sobreaquecimento. É possível dispensar os dispositivos de arrefecimento através das estratégias passivas descritas em cima contudo, devido a questões de segurança pessoal, a abertura de janelas para ajudar no arrefecimento da casa durante a noite é uma medida que pode não ser apadrinhada por todos os utilizadores.

Os sistemas construtivos adotados numa casa Passivhaus portuguesa tentam não fugir da prática corrente da construção em Portugal, cujo comportamento térmico tem de ser compatível com o estabelecido no Regulamento das Características do Comportamento Técnico em Edifícios em vigor (RCCTE). As necessidades de aquecimento, arrefecimento e energia primária propostas pela norma Passivhaus alemã são mais exigentes que os valores máximos admitidos pelo RCCTE, sendo importante referenciar algumas das diferenças entre as duas normas, tais como:

- ⇒ a qualidade do ar interior é um dos principais fatores básicos para o conforto dos utilizadores. A Passivhaus considera uma taxa de renovação de ar máxima de 0,6 ren/h, contrariamente à taxa de renovação mínima de 0,6 ren/h imposta pelo RCCTE. No entanto, para climas quentes a Passivhaus considera uma taxa de renovação máxima de 1,0 ren/h,
- ⇒ o projetista térmico em Portugal é apenas um interveniente na fase de projeto sendo a sua contribuição muito “pontual” na fase de construção. A Passivhaus considera que a eficiência das soluções passivas aplicadas em obra provém não só do estudo inerente a essas mesmas soluções mas também do contínuo acompanhamento do projetista térmico na fase de construção, considerando imperativa a passagem de informação e explicação entre todos os intervenientes da obra,
- ⇒ a marcação de envolventes num projeto térmico português começa por separar espaços não úteis de úteis, elementos interiores de exteriores e de espaços em contato com o solo. A Passivhaus considera uma casa como um elemento fechado, em que o isolamento térmico deve ser contínuo, feito pelo exterior, sendo a única envolvente a que está em fronteira com o exterior e com espaços, ou seja, a envolvente exterior e em contato com o solo. A ideia inicial de um projetista Passivhaus consiste em marcar a envolvente exterior e todos os espaços para dentro desta são considerados úteis,
- ⇒ o dimensionamento de um projeto térmico em Portugal consiste no cálculo das necessidades de aquecimento, arrefecimento, águas quentes sanitárias e energia primária. Esse cálculo é feito através de valores parametrizados em que o resultado final pode ter uma margem de erro considerável relativamente ao comportamento térmico real. Isso acontece pela simplicidade e falta

de não especificidade de dimensionamento que deveria ser considerado de caso para caso. Relativamente à Passivhaus, o conceito é oposto. Um exemplo simples dessa diferença pode ser feito através da comparação do método de dimensionamento das perdas de calor pelo solo calculado pelo RCCTE e pelo PHPP. No caso do RCCTE a fórmula é:

$$Q_{pe} = 0,024 \times L_{pe} \times GD \text{ [kWh]} \quad (3.1)$$

GD – Graus dia de aquecimento (depende do clima de cada região);

$L_{pe}$  – Perdas unitárias de calor através de elementos construtivos em contacto com o solo.

$$L_{pe} = \sum_j \psi_j \times B_j \text{ [W/}^\circ\text{C]} \quad (3.2)$$

$\Psi$  – coeficiente de transmissão térmica linear (W/m.°C);

B – perímetro do pavimento (m).

Resumidamente, o cálculo de perdas de calor pelo solo segundo o RCCTE depende do tipo de clima, perímetro em contacto com o solo e dos coeficientes de transmissão térmica linear tabelados no próprio RCCTE.

No caso do dimensionamento através do programa PHPP a fórmula que calcula as perdas pelo solo é:

$$Q_{pe} = U \cdot A \cdot F_f \cdot G_t \text{ [kWh/ano]} \quad (3.3)$$

U – coeficiente de transmissão térmica (W/(m<sup>2</sup>.K))

A – área do pavimento em contacto com o solo (m<sup>2</sup>).

$F_f$  – fator redutor que depende dos parâmetros do terreno; condutividade e capacidade térmica, das características do espaço em contacto com o solo; das pontes térmicas; da dimensão; do tipo de utilização; e da climatização desse espaço. A maior parte destes fatores são calculados e não retirados de tabelas. Por último, ainda são contabilizadas as temperaturas do terreno de projeto na estação de aquecimento e arrefecimento, calculadas através de dados climáticos mensais do solo.

$G_t$  – fator que depende dos dados climáticos da zona.

Este simples exemplo mostra a menor margem de erro possível que a Passivhaus quer obter, comparativamente com o método de cálculo parametrizado do regulamento português:

- ⇒ o RCCTE contabiliza os coeficientes de transmissão térmica linear ( $\Psi$ ) no cálculo das perdas de calor. Esses valores são tabelados mas também podem ser calculados através da EN 13370. Existem duas verificações a fazer nas pontes térmicas planas (PTP) dos elementos construtivos, nomeadamente:  $U_{PTP} < U_{m\acute{a}x}$  e  $U_{PTP} < 2 \times U_{elemento\ opaco\ zona\ corrente}$ . No caso da Passivhaus também são contabilizadas pontes térmicas no entanto, a principal preocupação não passa tanto pela sua contabilização mas sim pela sua eliminação. Na contabilização das perdas por pontes térmicas lineares, em alguns casos chega-se a valores de  $\Psi$  negativos.

Em suma, a casa Passivhaus para Portugal é perfeitamente alcançável conseguindo satisfazer em simultâneo as exigências do regulamento português (RCCTE). A implementação de algumas medidas merece uma certa flexibilidade relativamente à sua aceitação por parte dos intervenientes, pois o sucesso destes projetos não se baseia apenas num projeto térmico que se coadune com as estratégias Passivhaus, mas também na sua exequibilidade e acompanhamento por todos os intervenientes durante a execução.

### 3.5 Custo de uma Passivhaus

A análise do custo do ciclo de vida (LCC – Life Cycle Cost) de uma habitação determina as despesas totais onde se englobam a compra (que engloba a concepção e construção) e a manutenção da mesma durante um determinado período de tempo. O projeto Passive-on elaborou um estudo sobre o retorno económico de uma casa Passivhaus durante um determinado período de tempo, comparando com uma casa típica dos países em que foi desenvolvido o estudo. A análise foi feita a partir:

- ⇒ das estatísticas nacionais do custo da casa típica,
- ⇒ da estimativa dos custos dos materiais associados e mão-de-obra,
- ⇒ nas suposições sobre o custo inicial e futuro da propriedade (1-2%).

A variação de preço de uma casa de país para país reflete as diferentes realidades em termos de custo de construção, tradições de construção e regulamentação em vigor.

Os resultados alcançados pela organização estão apresentados na tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Comparação do custo e consumo energético entre uma casa típica e uma Passivhaus, para diferentes países e, respetivo retorno económico para cada casa Passivhaus (PASSIVE-ON, 2007a).

		França	Alemanha	Itália	Espanha	Reino Unido
Custo €/m <sup>2</sup>	Típica	940	1400	1200	720	881
	Passivhaus	1043	1494	1260	740	930
Custo extra inicial €/m <sup>2</sup>		103	94	60	20	49
Acréscimo de Custo %		10	6,71	5	2,85	5,54
Necessidade de aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Típica	69,6	90	83	59	59
	Passivhaus	17,4	15	10,5	8,7	15
Necessidade de arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Típica	7,8	0	4,63	23,1	0
	Passivhaus	5	0	3	7,9	0
Poupança energética total (kWh/m <sup>2</sup> .ano)		55	75	74,1	65,3	44
Poupança energética total %		71	83	85	80	75
LCC 10 anos €	Típica	143,7	184,7	193,8	98,3	108,3
	Passivhaus	152,6	190,1	190,4	96,1	111,9
LCC 20 anos €	Típica	160,3	204,9	221,1	106,7	117,8
	Passivhaus	160,5	200,5	198,5	102,3	117,2
Coeficiente custo-benefício 10 anos		- 0,72	- 0,48	0,39	0,93	- 0,65
Coeficiente custo-benefício 20 anos		0,02	0,39	2,63	2,6	0,11
Período de retorno do capital (anos)		19,5	19	8	5	19

Da análise da referida tabela, conclui-se que o total de energia poupada prevista varia entre 70-85% para climas quentes. Em qualquer dos casos, o retorno económico nunca chega a atingir os 20 anos de vida útil de uma habitação sendo mesmo, em alguns casos como a Espanha e Itália, o retorno alcançado antes dos 10 anos.

### 3.6 Benefício ambiental de uma Passivhaus

A emissão de gases nocivos para a atmosfera é um dos principais responsáveis pelas alterações climáticas que se tem vindo a fazer sentir nos últimos anos. Estas alterações podem ser atenuadas através de medidas que, na área da construção, estão direcionadas para a eficiência energética de edifícios. A principal produção de GEE prende-se com a queima intensiva de combustíveis fósseis, nomeadamente as emissões de CO<sub>2</sub> são provenientes da utilização de energia em dispositivos para aquecimento/arrefecimento e equipamentos elétricos. Na tabela 3.8 indica-se a emissão de CO<sub>2</sub> produzida por duas casas, sendo uma típica e outra com certificado Passivhaus.

Tabela 3.8 – Emissões de CO<sub>2</sub> produzidas por uma casa típica e uma casa Passivhaus, ambas com uma área habitável de 100 m<sup>2</sup> (PASSIVE-ON, 2007a).

		França	Alemanha	Itália	Espanha	Reino Unido
Casa típica	Gasto energético total aquecimento/arrefecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	77,4	90	87,63	82,1	59
	Emissões CO <sub>2</sub> (ton)	10,7	12,41	12,1	11,3	8,1
Passivhaus	Gasto energético total aquecimento/arrefecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	22,4	15	13,53	16,8	15
	Emissões CO <sub>2</sub> (ton)	3,1	2	1,8	2,3	2
Benefício ambiental da Passivhaus [ton]		7,6	10,41	10,3	9	6,1

A tabela 3.8 demonstra não só a poupança energética que se obtém a partir da utilização de estratégias passivas numa casa Passivhaus, mas também o nível reduzido de emissão de CO<sub>2</sub> que estas emitem. A diferença entre esta e uma casa tradicional pode atingir as 11 toneladas por ano de emissão de CO<sub>2</sub>, para o caso da Alemanha, o que se traduz num progresso significativo na procura de um ambiente menos poluído.



Apesar de ser possível atingir valores muito reduzidos de emissões de CO<sub>2</sub>, estes são atingidos através de estratégias passivas que implicam, muitas vezes, o uso de materiais com constituintes nocivos para o meio ambiente. O tipo de material isolante térmico das paredes, por exemplo, não deve possuir químicos nocivos, como CFCs e HCFCs, constituintes de espumas isolantes, poliestireno expandido (EPS) e o poliestireno extrudido (XPS). Deve-se ter em consideração o uso de materiais isolantes de baixa energia primária incorporada, ou seja, a energia consumida durante a extração das matérias-primas, transporte, e processamento. Quanto mais elaborado for o processamento maior será o gasto de energia primária. A utilização de lã mineral é uma solução boa para substituir o material isolante EPS ou XPS.

Outro benefício de uma habitação Passivhaus recai sobre a diminuição da poluição sonora, onde as espessas paredes resultam não só em um elemento extremamente resistente termicamente mas também num efetivo isolamento acústico.

### 3.7 Reabilitação de habitações (Enerphit)

Os edifícios antigos podem também ser certificados como “*Quality-Approved Passive House*”, com base nos mesmos requisitos usados para os novos edifícios, sendo no entanto mais difícil atingir os requisitos mínimos numa reabilitação do que numa construção nova. Assim, edifícios reabilitados na Europa do Norte e Central que excedam o compromisso energético proposto pela Passivhaus, por motivos que não possam ser corrigidos através da própria reabilitação, podem receber o certificado “*Enerphit – Quality Approved Modernisation with Passive House Components*”. Para este certificado, menos exigente, os requisitos mínimos são (FEIST, 2010):

- ⇒ limite energético – Necessidade de aquecimento final ( $Q_h$ )  $\leq 25$  [kWh/(m<sup>2</sup>.a)] Necessidade de energia primária  $\leq 120 + ((Q_h - 15) * 1,2)$  [kWh/(m<sup>2</sup>.a)] ;
- ⇒ requerimento de qualidade – Temperatura de conforto no verão  $< 25$  °C. Valor limite para a estanqueidade ao ar  $\leq 1.0$  ren h<sup>-1</sup> à pressão de 50 Pa. A caixilharia de janelas tem de ser certificada como “*Passivhaus-suitable components*” e é recomendado o uso de envidraçados de vidro triplo de baixa emissividade.

O balanço energético deve ser verificado usando o programa Passive House Planning Package (PHPP).

As especificações relativas aos requisitos mínimos são indicadas de seguida, para se atingir um certificado Enerphit, sendo apenas focados os valores limite dos elementos fronteira (FEIST, 2010):

- ⇒ paredes exteriores e coberturas –  $U \leq 0,15$  W/(m<sup>2</sup>.K);
- ⇒ paredes exteriores em contato com o solo –  $U \leq 0,12$  W/(m<sup>2</sup>.K);

- ⇒ teto de uma zona não climatizada –  $f * U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ , em que  $f$  é um fator redutor que depende da temperatura de projeto do terreno nas estações de aquecimento e arrefecimento;
- ⇒ porta que separa a habitação da zona não climatizada -  $U \leq 1.60 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ;
- ⇒ pavimento em contato com o solo -  $f * U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ;
- ⇒ envidraçados -  $U \leq 0.85 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ;
- ⇒ portas exteriores -  $U \leq 0.80 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ;
- ⇒ rendimento do sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor -  $\eta_{\text{HR,ef}} \geq 75 \%$ ;

Para se obter o certificado “Enerphit – *Quality Approved Modernisation with Passive House Components*” são necessários os seguintes documentos:

- ⇒ PHPP assinado pelo instituto Passivhaus;
- ⇒ documentos relativos ao planeamento do projeto e da construção;
- ⇒ certificado dos equipamentos utilizados e respetiva informação técnica;
- ⇒ verificação da estanqueidade da envolvente exterior do edifício de acordo com DIN EN 13829:2001;
- ⇒ fotografias que mostrem o progresso da construção.

Ainda podem ser requeridos relatórios adicionais de testes cálculos relativos a componentes do edifício que mereçam especial atenção.

## **Capítulo 4**

### **Optimização do desempenho energético - Caso de Estudo**

---

## **Capítulo 4. Optimização do desempenho energético – Caso de Estudo**

- 4.1 Descrição arquitectónica do edifício
- 4.2 Optimização através de estratégias Passivhaus
- 4.3 Necessidades e classificação energética da solução final
- 4.4 Síntese final

## 4 Optimização do desempenho energético – Caso de estudo

Este capítulo apresenta diferentes soluções construtivas típicas de uma Passivhaus, aplicadas a um caso de estudo, uma habitação unifamiliar portuguesa. O caso de estudo começa por descrever as soluções do projeto inicial e, de seguida, por aplicar as estratégias Passivhaus referidas no capítulo 3. Será feita uma análise da contribuição, a nível de eficiência energética, dessas mesmas estratégias passivas e comparadas com a solução regulamentar preconizada para este caso de estudo.

### 4.1 Descrição arquitectónica do edifício

O presente estudo destina-se à análise do Comportamento Térmico de uma moradia unifamiliar isolada situada a uma altitude aproximada de 17 m, no concelho de Aveiro, zona climática I<sub>1</sub>-V<sub>1</sub>N. A fracção autónoma única é composta por habitação unifamiliar de tipologia T4 que se desenvolve em R/Chão mais 1º Andar úteis. O R/Chão é composto por uma sala, uma cozinha, um hall, uma caixa de escadas, um quarto e uma instalação sanitária. O 1º Andar é composto por um hall, três quartos e duas instalações sanitárias. A área total útil de projeto é de 136,00 m<sup>2</sup> e o pé direito médio ponderado é de 2,51 m. Existem quatro espaços não úteis – a lavandaria, um arrumo, o desvão sanitário e a garagem, mas apenas a garagem e o desvão confinam com a zona útil. A habitação foi projetada para atingir bons níveis de desempenho energético e ir ao encontro das expectativas do cliente. A envolvente está bem isolada e a inércia é forte. O projeto pretendeu assegurar as exigências de conforto térmico no interior do edifício, sem um dispêndio excessivo de energia e, simultaneamente, garantir a inexistência de condensações que possam diminuir a durabilidade e o desempenho térmico dos elementos da envolvente do edifício. A cobertura plana apresenta superfície de cor clara e as fachadas superfícies de cores clara e escura. A implantação do edifício está estudada segundo uma orientação favorável ao respetivo comportamento térmico, mais propriamente, a fachada com menor área de abertura orientada a norte, e as maiores áreas envidraçadas orientadas a oeste, este e sul, de forma a otimizar os ganhos solares. Os painéis solares foram instalados na cobertura plana com azimute Sul e com a inclinação de 35°, não ocorrendo sombreamento relevante provocado por outros edifícios. Este sistema é apoiado por uma caldeira mural a gás natural. A caixilharia adotada é constituída por perfis de alumínio com corte térmico e vidro duplo. Os dispositivos de sombreamento dos vãos envidraçados permitem um controlo eficaz dos ganhos na estação de arrefecimento e apresentam cor clara (protecção pelo interior). Não esteve prevista a instalação de ventilação mecânica – apenas um extractor de fumos nas cozinhas de utilização intermitente (não contabilizado). O sistema de climatização é composto por uma caldeira mural a gás natural para aquecimento que proporciona 100% das  $N_{ic}$  e por uma máquina frigorífica com (COP)  $EER$  3 para arrefecimento que proporciona 100% das  $N_{vc}$  (consideração por defeito).

O local de implantação corresponde à periferia de uma zona urbana, sendo abrangido pela rede de gás natural.



Figura 4.1 – Alçado este, oeste, sul e norte do empreendimento.

#### 4.1.1 Zoneamento Climático

De acordo com o regulamentado no RCCTE o empreendimento, situado a uma altitude de 17 m e numa zona exposta ao vento de “rugosidade II”, está inserido na zona climática I<sub>1</sub>-V<sub>1</sub>Nm.

Tabela 4.1- Dados climáticos

Zona Climática Inverno – I1			Zona Climática Verão – V1-N		
Nº Graus-dias (GD)	Duração estação aquecimento (M)	Energia solar média incidente (G <sub>Sul</sub> )	Temperatura exterior do projeto	Amplitude térmica	Temperatura média do ar exterior (θ <sub>atm</sub> )
[°C.dias]	[meses]	[kWh/m <sup>2</sup> .mês]	[°C]	[°C]	[°C]
1390	6	108	29	9	19

## 4.2 Comportamento térmico do edifício considerando as soluções de projeto

Nesta secção encontra-se a descrição das soluções construtivas adoptadas, começando pelos elementos das envolventes seguindo-se equipamento de climatização e produção de água quente sanitária. Os cálculos de verificação do RCCTE encontram-se pormenorizados no Anexo I. Nas figuras 4.2 e 4.3 apresenta-se a marcação das Pontes térmicas lineares na envolvente exterior e interior, respetivamente.

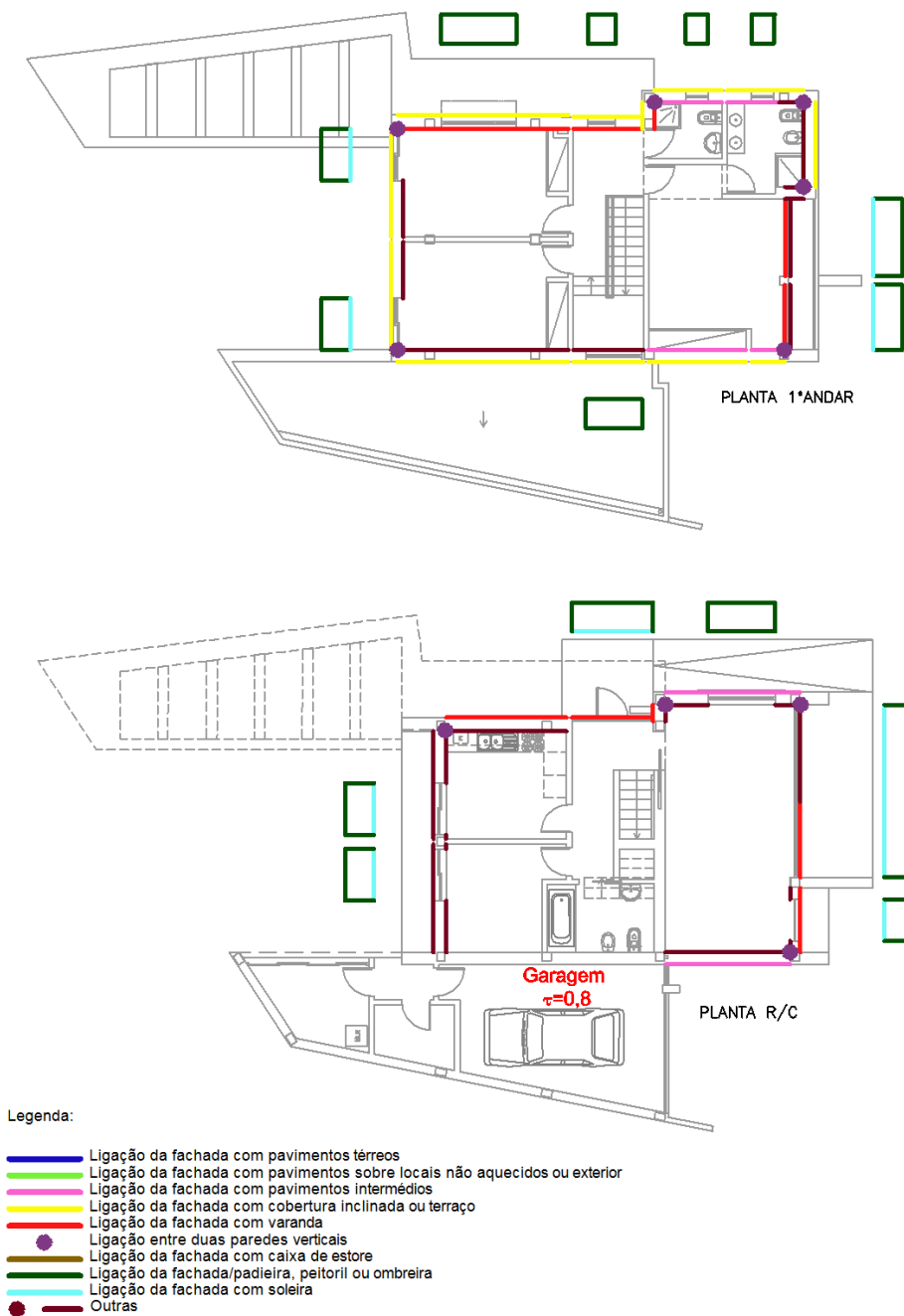


Figura 4.2 – Pontes térmicas lineares – envolvente exterior.

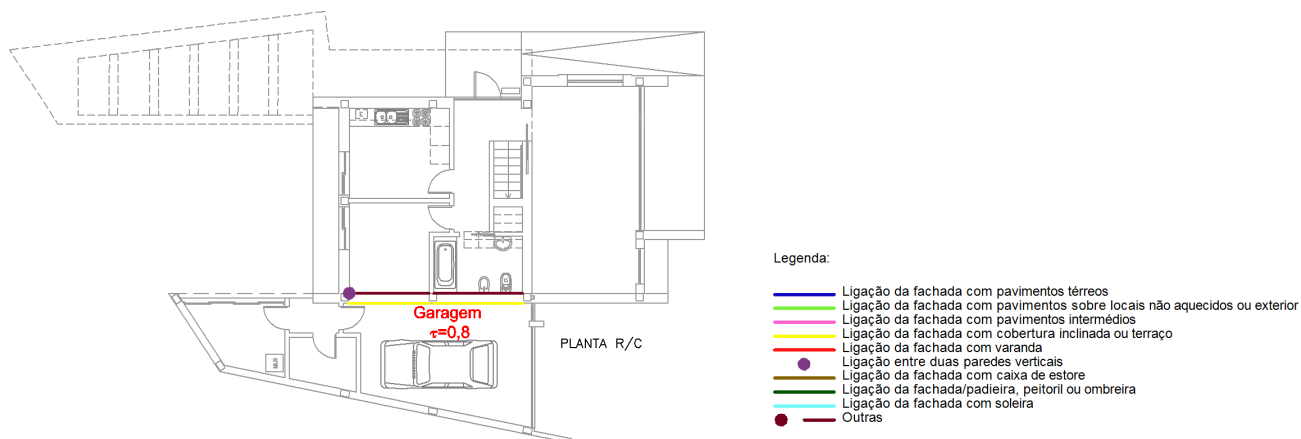


Figura 4.3 – Pontes térmicas lineares – envoltente interior.

Na figura 4.4 apresenta-se a marcação das Pontes térmicas planas .

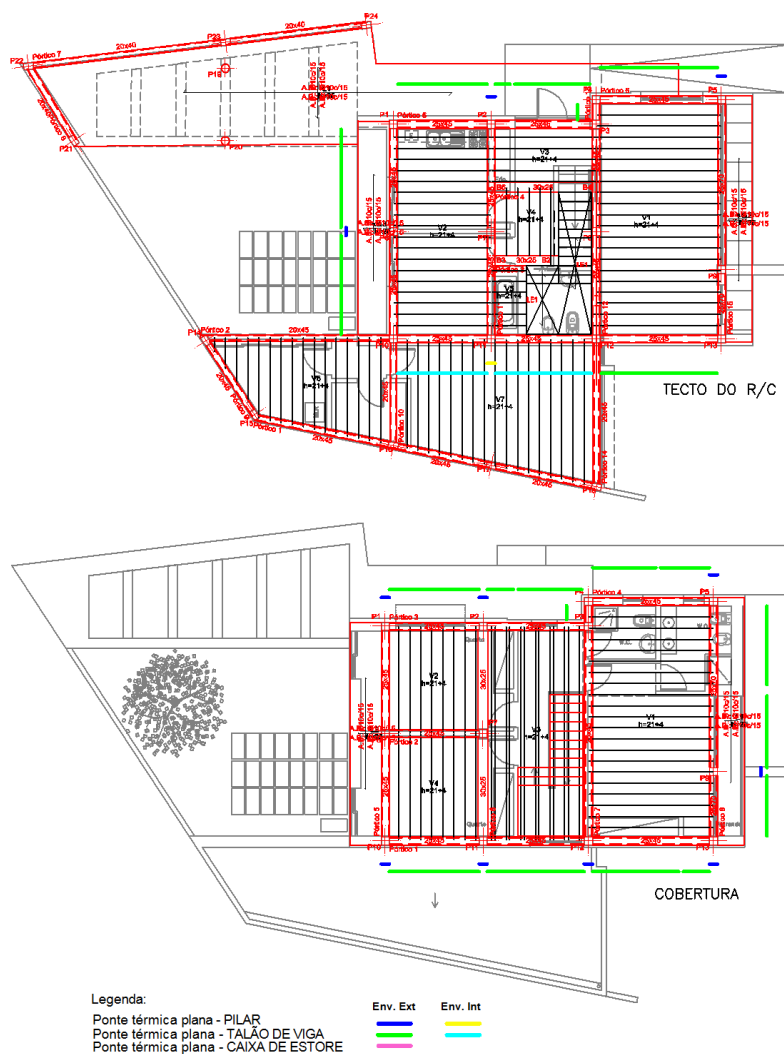


Figura 4.4 – Pontes térmicas planas.



### 4.2.1 Envolvente opaca

Para as paredes de envolvente, pontes térmicas planas, coberturas e pavimentos adotaram-se as soluções construtivas descritas na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Descrição da solução construtiva adotada para cada envolvente opaca exterior, do projeto inicial, e seu coeficiente de transmissão térmica.

Tipo de elemento	Descrição	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Parede exterior (1)	alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm (Rj = 0,66 m <sup>2</sup> /W.°C) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037$ W/m°C); reboco de 2 cm no paramento exterior ( $\lambda = 1,3$ W/m°C) sendo o paramento interior revestido a gesso projetado de 2 cm ( $\lambda = 0,3$ W/m°C)	0,46
Parede exterior (2)	alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm (Rj = 0,66 m <sup>2</sup> /W.°C) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037$ W/m°C); reboco de 2 cm na face exterior ( $\lambda = 1,3$ W/m°C) e revestimento cerâmico de 1,5 cm na face interior - zona da cozinha e IS ( $\lambda = 1,04$ W/m°C).	0,47
Parede exterior (3)	alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm (Rj = 0,66 m <sup>2</sup> /W.°C) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037$ W/m°C); reboco de 2 cm no paramento exterior ( $\lambda = 1,3$ W/m°C) sendo o paramento interior revestido a gesso projetado de 2 cm ( $\lambda = 0,3$ W/m°C). A parede é dotada de um sistema de fachada ventilada constituído por ripado de madeira assente sobre suporte perfazendo uma caixa de ar ventilada.	0,44
Parede exterior (4)	alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm (Rj = 0,66 m <sup>2</sup> /W.°C) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037$ W/m°C); reboco de 2 cm na face exterior ( $\lambda = 1,3$ W/m°C) e revestimento cerâmico de 1,5 cm na face interior - zona da cozinha e IS ( $\lambda = 1,04$ W/m°C). A parede é dotada de um sistema de fachada ventilada constituído por ripado de madeira assente sobre suporte perfazendo uma caixa de ar ventilada.	0,45

(...cont) Tabela 4.2 - Descrição da solução construtiva adotada para cada envolvente opaca exterior, do projeto inicial, e seu coeficiente de transmissão térmica.

Tipo de elemento	Descrição	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Ponte térmica plana exterior (1)	zona de pilar e de talão de viga - correção pelo exterior. Pilar / Viga de betão 25 cm ( $\lambda = 2,0$ W/m°C) com 4 cm de XPS ( $\lambda = 0,037$ W/m°C) e por forra cerâmica de 3 cm ( $R_j = 0,07$ m <sup>2</sup> /W.°C); reboco de 2 cm no exterior ( $\lambda = 1,3$ W/m°C) e interior revestido a gesso projetado 2 cm ( $\lambda = 0,3$ W/m°C).	0,65
Ponte térmica plana exterior (2)	zona de pilar e de talão de viga - correção pelo exterior. Pilar / Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0$ W/m°C) corrigidos pelo exterior com 4 cm de XPS ( $\lambda = 2,0$ W/m°C) e por forra cerâmica de 3 cm ( $R_j = 0,07$ m <sup>2</sup> /W.°C); reboco de 2 cm na face exterior ( $\lambda = 1,3$ W/m°C) e revestimento cerâmico de 1,5 cm na face interior - zona da cozinha e IS ( $\lambda = 1,04$ W/m°C).	0,67
Ponte térmica plana exterior (3)	zona de pilar e de talão de viga - correção pelo exterior. Pilar / Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0$ W/m°C) corrigidos pelo exterior com 4 cm de XPS ( $\lambda = 0,037$ W/m°C) e por forra cerâmica de 3 cm ( $R_j = 0,07$ m <sup>2</sup> /W.°C); reboco de 2 cm no paramento exterior ( $\lambda = 1,3$ W/m°C) e paramento interior revestido a gesso projetado de 2 cm ( $\lambda = 0,3$ W/m°C). A parede é dotada de um sistema de fachada ventilada constituído por ripado de madeira assente sobre suporte perfazendo uma caixa de ar ventilada.	0,62
Ponte térmica plana exterior (4)	zona de pilar e de talão de viga - correção pelo exterior. Pilar / Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0$ W/m°C) corrigidos pelo exterior com 4 cm de XPS ( $\lambda = 2,0$ W/m°C) e por forra cerâmica de 3 cm ( $R_j = 0,07$ m <sup>2</sup> /W.°C); reboco de 2 cm na face exterior ( $\lambda = 1,3$ W/m°C) e revestimento cerâmico de 1,5 cm na face interior - zona da cozinha e IS ( $\lambda = 1,04$ W/m°C). A parede é dotada de um sistema de fachada ventilada constituído por ripado de madeira assente sobre suporte perfazendo uma caixa de ar ventilada.	0,64
Pavimento exterior (1)	laje maciça de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0$ W/m°C), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037$ W/m°C); ii) enchimento em betão leve com uma espessura média de 4 cm ( $\lambda = 0,85$ W/m°C); iii) camada de regularização com a espessura média de 2 cm ( $\lambda = 1,3$ W/m°C); iv) soalho de madeira de 2 cm ( $\lambda = 0,18$ ) W/m°C. Na face inferior a laje é rebocada com 2 cm de reboco ( $\lambda = 1,3$ W/m°C).	0,63

(...cont) Tabela 4.2 - Descrição da solução construtiva adotada para cada envolvente opaca exterior, do projeto inicial, e seu coeficiente de transmissão térmica.

Tipo de elemento	Descrição	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Pavimento exterior (2)	laje maciça de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); ii) enchimento em betão leve com uma espessura média de 4 cm ( $\lambda = 0,85 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); iii) camada de regularização com a espessura média de 2 cm ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); iv) revestimento cerâmico de 2 cm ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ). Na face inferior a laje é rebocada com 2 cm de reboco ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).	0,67
Pavimento interior (1)	laje aligeirada de abobadilhas cerâmicas com 21 cm de espessura incluindo camada de betão complementar de 4 cm ( $R_j = 0.30 \text{ m}^2\text{C/W}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) enchimento em betão leve com uma espessura média de 7 cm ( $\lambda = 0,85 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); ii) camada de regularização com a espessura média de 3 cm ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); iii) soalho de madeira de 2 cm ( $\lambda = 0,18 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).	1,17
Pavimento interior (2)	laje aligeirada de abobadilhas cerâmicas com 21 cm de espessura incluindo camada de betão complementar de 4 cm ( $R_j = 0.30 \text{ m}^2\text{C/W}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) enchimento em betão leve com uma espessura média de 7 cm ( $\lambda = 0,85 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); ii) camada de regularização com a espessura média de 3 cm ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); iii) revestimento cerâmico de 2 cm ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).	1,31
Cobertura exterior (1)	laje plana de 25 cm de betão maciça ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) isolante térmico XPS com 4 cm de espessura ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); ii) cobertura em chapa de zinco sobre apoios perfazendo um espaço de ar ventilado. A laje está revestida na face inferior com tecto falso suspenso com painel de gesso cartonado de 1,5 cm ( $\lambda = 0,25 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ), com uma caixa-de-ar de 8,5 cm bem vedada - fluxo ascendente ( $R_j = 0,16 \text{ m}^2\text{W}^\circ\text{C}$ ).	0,61

(...cont) Tabela 4.2 - Descrição da solução construtiva adotada para cada envolvente opaca exterior, do projeto inicial, e seu coeficiente de transmissão térmica.

Tipo de elemento	Descrição	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Cobertura exterior (2)	laje plana aligeirada de abobadilhas cerâmicas com 21 cm de espessura incluindo camada de betão complementar de 4 cm ( $R_j = 0,27 \text{ m}^2/\text{W}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) isolante térmico XPS com 4 cm de espessura ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); ii) cobertura em chapa de zinco sobre apoios perfazendo um espaço de ar ventilado. A laje está revestida na face inferior com tecto falso suspenso com painel de gesso cartonado de 1,5 cm ( $\lambda = 0,25 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ), com uma caixa-de-ar de 8,5 cm bem vedada - fluxo ascendente ( $R_j = 0,16 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ).	0,56
Parede interior com requisitos de envolvente exterior (1)	Alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm ( $R_j = 0,66 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento da garagem ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) sendo o paramento interior revestido a gesso projetado de 2 cm ( $\lambda = 0,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).	0,44
Parede interior com requisitos de envolvente exterior (2)	Alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm ( $R_j = 0,66 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento da garagem ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e revestimento cerâmico de 1,5 cm na face interior - zona da IS ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).	0,45
Ponte térmica plana interior (1)	Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) corrigida pelo lado da garagem com 4 cm de XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e por forra cerâmica de 3 cm ( $R_j = 0,07 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e paramento interior revestido a gesso projetado de 2 cm ( $\lambda = 0,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).	0,62
Ponte térmica plana interior (2)	Pilar / Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) corrigidos pelo lado da garagem com 4 cm de XPS ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e por forra cerâmica de 3 cm ( $R_j = 0,07 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm na face exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e revestimento cerâmico de 1,5 cm na face interior - zona da cozinha e IS ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).	0,64

Os valores máximos admissíveis de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  devem ser satisfeitos sem que sejam ultrapassados os valores limites máximos admissíveis para os coeficientes de transmissão térmica superficial, U, fixados nos Quadros

IX.1 do RCCTE. Como se pode constatar no Anexo II, foram respeitados os requisitos de qualidade térmica impostos pelo regulamento, dado que:

- ⇒ nenhum elemento da envolvente do edifício apresenta um coeficiente de transmissão térmica em zona corrente superior ao valor máximo admissível,  $U \leq U_{m\acute{a}x}$ ;
- ⇒ nenhum elemento da envolvente da habitação apresenta um coeficiente de transmissão térmica em zona não corrente (zona de ponte térmica plana) superior ao dobro do dos elementos homogéneos (verticais ou horizontais) em zona corrente,  $U_{PTP} \leq U$ , e ao valor máximo admissível,  $U_{PTP} \leq U_{m\acute{a}x}$ ;

Para as soluções construtivas elegidas, verificou-se uma inércia térmica “forte” para a fração autónoma, de acordo com os cálculos no Anexo I.

#### 4.2.2 Envolvente envidraçada

Nesta habitação não há vãos envidraçados horizontais. Para os vãos envidraçados verticais adotaram-se as soluções construtivas descritas na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Descrição da solução construtiva para cada envolvente envidraçada, do projeto inicial, e seu respetivo fator solar.

Tipo de elemento	Descrição	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	Fator solar g <sub>⊥</sub>
Vão envidraçado (1)	Caixilharia simples de alumínio com corte térmico e sem quadrícula, com vidro duplo incolor de 6 mm + incolor de 5 mm, lâmina de ar de 16 mm de espessura, dispondo de dispositivo de sombreamento pelo interior constituído por “blackout” de cor clara tipo cortina interior opaca (g' <sub>⊥</sub> =0,37). Está prevista ainda a instalação de pelo menos uma cortina interior muito transparente de cor clara.	2,9	0,75
Vão envidraçado (2)	Caixilharia simples de alumínio com corte térmico e sem quadrícula, com vidro duplo - colorido na massa + incolor: 5mm + 6 mm, lâmina de ar de 16 mm de espessura.	3,3	0,55

Os coeficientes de transmissão térmica foram determinados a partir do ITE 50. O factor solar das duas tipologias de vãos verifica os requisitos regulamentares,  $g_{\perp} \leq g_{\perp,m\acute{a}x}$  (Anexo II).

### 4.2.3 Ventilação natural

Partindo da inexistência de ventilação mecânica e admitindo que a habitação não obtém uma taxa de renovação mínima igual a 0,6 ren/h, não estando em conformidade com as disposições da norma NP 1037-1, determinou-se a taxa de renovação horária nominal  $R_{ph}$  (tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Determinação da taxa de renovação horária nominal  $R_{ph}$ .

Classe de exposição ao vento das fachadas do edifício	
Altura acima do solo do ponto médio das fachadas	< 10m
Edifício situado a menos de 5 km da costa	Região A
Edifício situado em zona muito exposta ao vento	Rugosidade II
Classe de exposição ao vento das fachadas do edifício	Classe 2
Determinação da taxa de renovação nominal $R_{ph}$	
Classe da caixilharia	Sem classificação
Caixas de estore	Não
Classe de exposição	2
Dispositivos auto reguláveis	Não
Área de envidraçados > 15 % $A_p$	Sim
Portas exteriores bem vedadas	Sim
$R_{ph}$	1,0

No cálculo das perdas térmicas associadas à renovação de ar é importante referir que só são consideradas as perdas associadas à ventilação natural, desprezando qualquer dispositivo mecânico de insuflação e extração de ar que funcione apenas em curtos períodos de tempo, como é o caso de exaustores de cozinha e ventiladores de casa de banho.

### 4.2.4 Aquecimento de água quente sanitária

A tipologia da fracção autónoma é T4, ocupação de sete dias por semana, diurna/noturna, considerando a existência de 5 ocupantes conforme o RCCTE. O sistema convencional para preparação de água quente sanitária é uma caldeira mural a combustível gasoso com uma eficiência de conversão ( $\eta_a$ ) de 0,87 com pelo menos 100 mm de isolamento térmico.

O sistema solar térmico considerado será do tipo plano, constituído por três módulos Norquente N2 (5,7 m<sup>2</sup>), com uma inclinação de 35°, orientados a sul. Este sistema é apoiado por uma caldeira mural a combustível gasoso – gás natural.

O valor do Esolar só poderá ser contabilizado para efeitos regulamentares, se os sistemas ou equipamentos forem certificados de acordo com as normas e legislação em vigor, instalados por instaladores acreditados pela DGGE e, cumulativamente, se houver a garantia de manutenção do sistema em funcionamento eficiente durante um período mínimo de seis anos após a instalação (p.2506, DL 80/2006, de 4 de Abril). De referir que a contribuição de sistemas de coletores solares para aquecimento de AQS teve como resultado  $E_{\text{solar}}=2472\text{kWh/ano}$ , calculado através do programa SolTerm do INETI.

#### 4.2.5 Sistemas de Climatização

Como sistema de arrefecimento recorreu-se a uma máquina frigorífica com eficiência nominal de 3,0 de potência inferior a 25 kW. Para aquecimento, optou-se pela utilização de uma caldeira mural a combustível gasoso com eficiência de 0,87 de potência inferior a 25 kW.

#### 4.2.6 Necessidades e classificação energética do edifício

De acordo com o artigos 5º, 6º, 7º e 8º, a verificação do RCCTE pressupõe que:

$$\Rightarrow N_{ic} \leq N_i \quad (\text{kWh/m}^2.\text{ano})$$

$$\Rightarrow N_{vc} \leq N_v \quad (\text{kWh/m}^2.\text{ano})$$

$$\Rightarrow N_{ac} \leq N_t \quad (\text{kWh/m}^2.\text{ano})$$

$$\Rightarrow N_{ic} \leq N_a \quad (\text{kgep/m}^2.\text{ano})$$

Apresentam-se na tabela 4.5 os resultados obtidos para as necessidades de energia útil nominal de aquecimento, de arrefecimento, para preparação de águas quentes sanitárias e necessidades de energia global primária, assim como os respetivos valores máximos, para a fração em estudo.

Tabela 4.5- Comparação das necessidades nominais de energia com os valores limites máximos.

$N_{ic}$	$N_i$	$N_{vc}$	$N_v$	$N_{ac}$	$N_a$	$N_{ic}$	$N_t$
kWh/m <sup>2</sup> .ano	kWh/m <sup>2</sup> .ano	kWh/m <sup>2</sup> .ano	kWh/m <sup>2</sup> .ano	kWh/m <sup>2</sup> .ano	kWh/m <sup>2</sup> .ano	kWh/m <sup>2</sup> .ano	kWh/m <sup>2</sup> .ano
65,18	74,82	6,30	16,00	14,11	43,48	1,92	6,69

A conformidade com o Regulamento dos valores calculados das necessidades nominais de aquecimento, arrefecimento, AQS e necessidades globais de energia primária, bem como o cumprimento dos requisitos mínimos de qualidade térmica para a envolvente do edifício, e o cumprimento dos factores solares máximos admissíveis dos vãos envidraçados, encontram-se disponíveis nos respectivos relatórios individuais das zonas independentes (Folhas de Cálculo no Anexo I).

Na figura 4.5 apresentam-se as perdas e ganhos energéticos ocorridos na estação de aquecimento e arrefecimento da solução de projeto permitindo ter uma noção da influência que cada elemento tem na eficiência energética do edifício. Para o cálculo da classe energética é necessário saber:

$$\Rightarrow R = \frac{N_{tc}}{N_t} = \frac{1,92}{6,69} = 0,287 = A \quad (4.1)$$

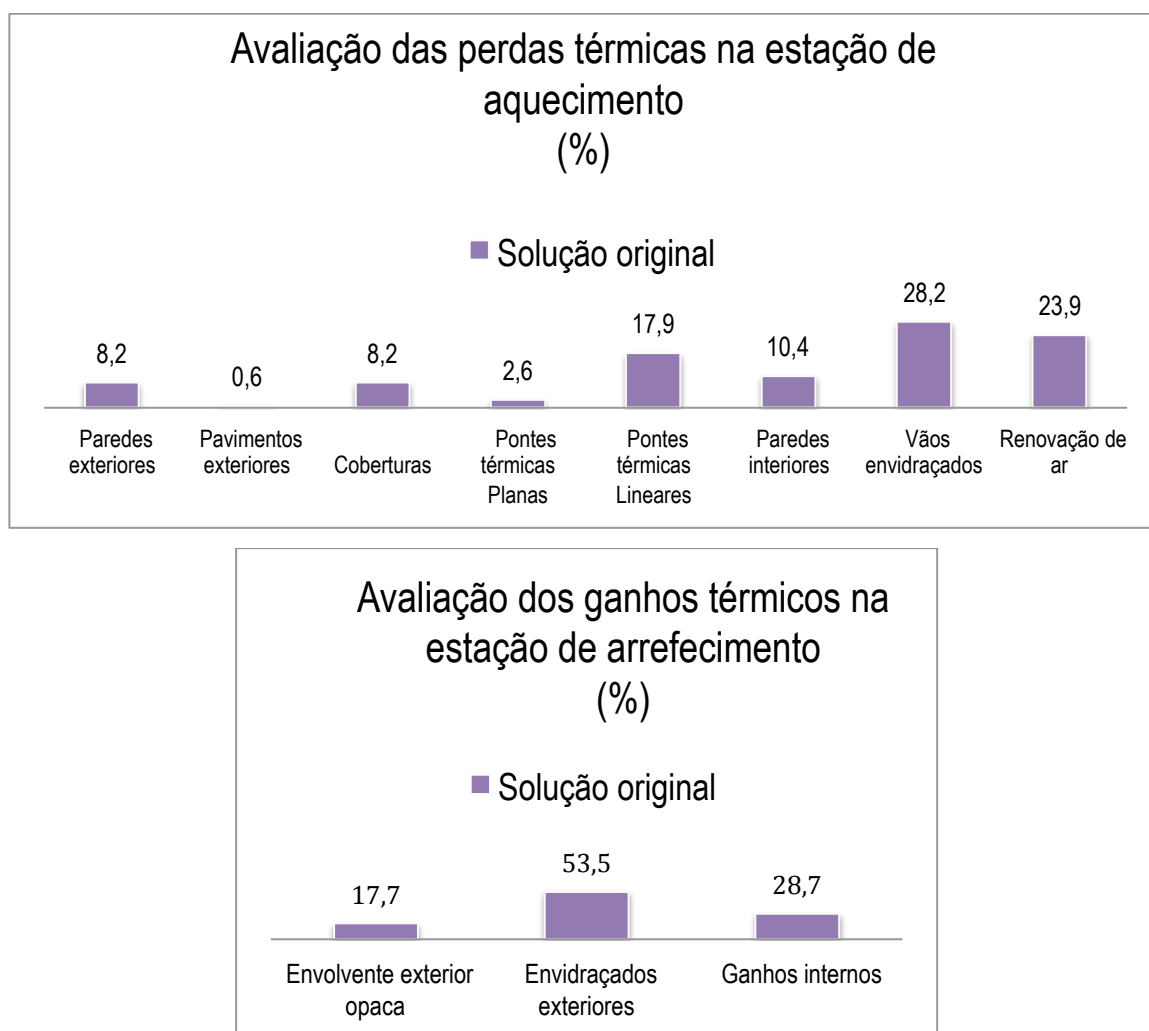


Figura 4.5 – Avaliação das perdas térmicas na estação de aquecimento e ganhos térmicos na estação de arrefecimento na solução original.



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

Figura 4.6 - Classificação energética.

Conclui-se que o projeto obteve uma classificação energética A (Figura 4.6), com baixas necessidades de consumo energético, através das soluções acima descritas. De seguida estudam-se alternativas às soluções previstas, através de estratégias de padrão Passivhaus, com vista não só à diminuição das necessidades energéticas já apresentadas mas com o cumprimento das normas do Instituto Passivhaus.

### 4.3 Optimização através de estratégias Passivhaus

Com base na solução original descrita na secção anterior, analisam-se nos subcapítulos seguintes possíveis alternativas que permitam, através de melhorias ao nível da envolvente, dos vãos envidraçados e da ventilação, reduzir o consumo final de energia cumprindo com os requisitos mínimos da norma Passivhaus e do regulamento português, RCCTE. Para que se compreenda melhor a influência das diferentes alternativas nas necessidades energéticas, irão ser adotadas duas soluções, solução A e B. A primeira, A, preconiza soluções construtivas Passivhaus na Alemanha e a segunda, B, adota soluções construtivas propostas pela Passive-on para o clima português, descritas na subsecção 3.4.5.

#### 4.3.1 Envolvente exterior opaca

As perdas térmicas associadas à envolvente exterior opaca dependem da massa térmica da mesma e da solução construtiva adotada. Na solução original foi introduzida em todas as paredes com requisitos mínimos, pavimentos em contato com o exterior, coberturas e pontes térmicas planas uma camada de poliestireno expandido extrudado de 4 cm. De modo a reduzir as perdas associadas à envolvente exterior, a solução do caso de estudo passou por melhorar a sua massa térmica.

Como ponto de partida, analisam-se duas alternativas para a envolvente exterior com diferentes espessuras de isolamento:

- ⇒ Solução A - espessura de isolamento de 30 cm na cobertura e pavimentos exteriores, 25 cm nas paredes exteriores, 25 cm de isolamento em todas as pontes térmicas planas e, por fim, considerou-se o isolamento pelo exterior no cálculo das pontes térmicas lineares;
- ⇒ Solução B - espessura de isolamento de 15 cm na cobertura e pavimentos exteriores, 10 cm nas paredes exteriores, 10 cm de isolamento em todas as pontes térmicas planas e, por fim, considerou-se o isolamento pelo exterior no cálculo das pontes térmicas lineares.

A tabela 4.6 compara os coeficientes de transmissão térmica e as perdas térmicas associadas a cada solução.

Tabela 4.6 – Dados estatísticos relativos a perdas térmicas ocorridas nas estações de aquecimento na envolvente exterior opaca, considerando a solução original, A e B.

Envolvente exterior opaca					
Elemento			Solução		
			Original	A	B
Paredes exteriores	Espessura de isolamento	cm	4	25	10
	U	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,46-0,47	0,13	0,26-0,27
	Perdas	W/°C	39,82	11,16	22,97
	% de perdas térmicas em relação à solução original			28	57

			Original	A	B
Pontes térmicas planas	Espessura de isolamento	cm	4	25	10
	U	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,62-0,67	0,14	0,31-0,32
	Perdas	W/°C	12,65	2,73	6,20
	% de perdas térmicas em relação à solução original			21	49

(...cont) Tabela 4.6 – Dados estatísticos relativos a perdas térmicas ocorridas nas estações de aquecimento na envolvente exterior opaca, considerando a solução original, A e B.

			Original	A	B
Pavimentos exteriores	Espessura de isolamento	cm	4	30	15
	U	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,63-0,67	0,12	0,22
	Perdas	W/°C	2,76	0,50	0,95
	% de perdas térmicas em relação à solução original			18	34

			Original	A	B
Cobertura	Espessura de isolamento	cm	4	30	15
	U	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,56-0,61	0,11-0,12	0,21-0,22
	Perdas	W/°C	40,76	8,01	14,88
	% de perdas térmicas em relação à solução original			20	37

		Original	A	B
Pontes térmicas lineares	W/°C	86,95	31,95	31,95
	% de perdas térmicas em relação à solução original			36

		Original	A	B
Total Perdas térmicas	W/°C	182,18	54,35	76,95
	% em relação à solução original			30

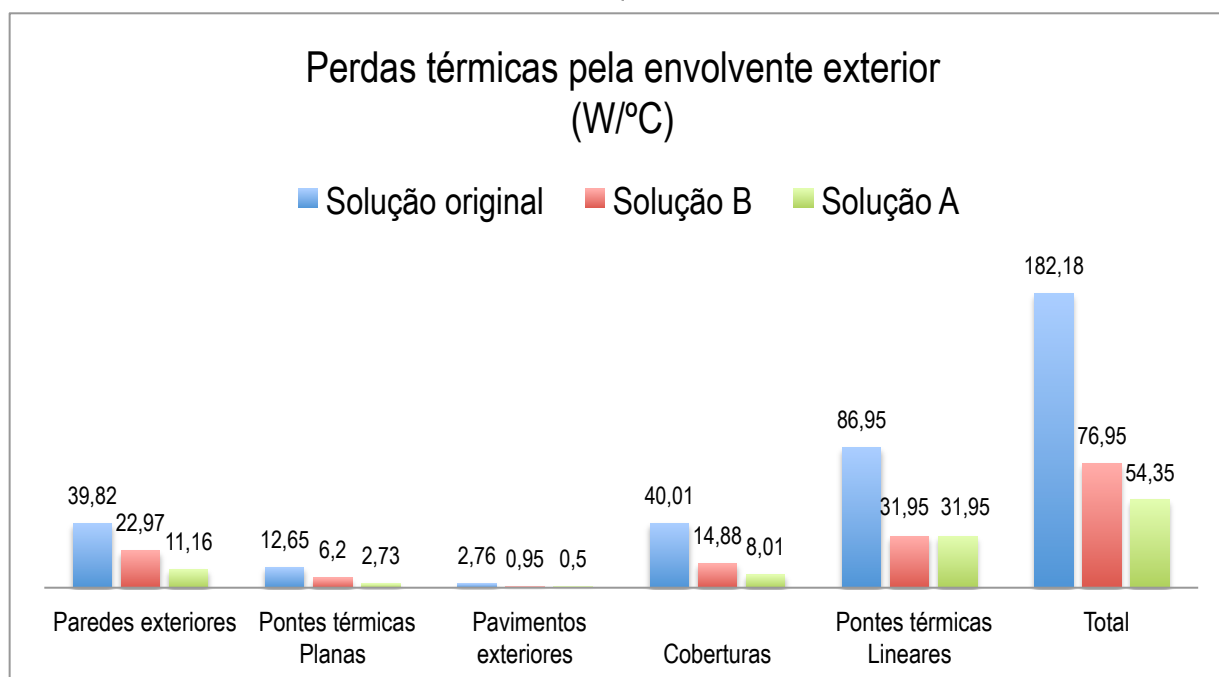


Figura 4.7 – Perdas térmicas pela envolvente exterior na estação de aquecimento na solução original, A e B.

Comparando os dados da tabela 4.6, conclui-se que não basta ter envolventes com baixos valores de coeficiente de transmissão térmica, mas é também importante ter em atenção o sistema construtivo adotado. A existência de isolamento térmico pelo exterior contribui para uma correção eficaz das pontes térmicas lineares, cuja redução não só diminui a fatura energética como limita a possibilidade de condensações interiores. Ambas as soluções, A e B, reduziram as pontes térmicas lineares, com a colocação do isolamento pelo exterior, de 86,95 para 31,95 (W/°C).

Outra conclusão que se tira da análise da tabela 4.6 é que a contribuição das espessuras de isolamento utilizadas na solução A provocam uma redução drástica nas perdas térmicas pela envolvente exterior, de 182,18 para 54,35 (W/°C). Contudo, a solução B que utiliza, em média, menos de metade das espessuras de isolamento da solução A, tem resultados apenas ligeiramente inferiores, baixando as perdas térmicas de 182,18 para 76,95 (W/°C).

Perante o exposto, a solução B é menos exigente do que a solução A e muito menos dispendiosa mas também tem excelentes resultados na correção das perdas térmicas. A estação de aquecimento em Portugal não é tão rigorosa como a Alemã, não justificando a colocação de espessuras de isolamento da solução A. Para além disto, a solução B, na estação de arrefecimento terá um melhor contributo na redução das necessidades de arrefecimento, na medida que as perdas térmicas ajudam no arrefecimento/perdas de calor. Por estes motivos, a solução B seria a escolhida.

### 4.3.2 Envolvente interior

As perdas térmicas associadas à envolvente interior dependem fundamentalmente da massa térmica da mesma e da solução construtiva adotada. Na solução original foi introduzido na parede interior da garagem uma camada de poliestireno expandido estrudido de 4 cm.

De modo a reduzir as perdas associadas à envolvente interior apresentam-se duas alternativas relativas à espessura e modo de colocação do isolamento:

- ⇒ Solução A - espessura de isolamento de 25 cm na parede interior da garagem, 30 cm de isolamento no pavimento interior do desvão sanitário, 25 cm de isolamento em todas as pontes térmicas planas e colocação do isolamento pelo exterior no cálculo das pontes térmicas lineares;
- ⇒ Solução B - espessura de isolamento de 25 cm na parede interior da garagem, 30 cm de isolamento no pavimento interior do desvão sanitário, 25 cm de isolamento em todas as pontes térmicas planas e colocação do isolamento pelo exterior no cálculo das pontes térmicas lineares;

Na procura da redução das perdas térmicas nos elementos interiores em contato com espaço não útil, aplicou-se em ambas as soluções, A e B, isolamento no pavimento interior em contato com o desvão sanitário, algo que não terá sido aplicado na solução de original. A tabela 4.7 compara os coeficientes de transmissão térmica e as perdas térmicas associadas a cada solução para cada envolvente interior .

Tabela 4.7 – Dados estatísticos relativos a perdas térmicas ocorridas nas estações de aquecimento na envolvente interior, considerando as soluções de projeto, A e B.

Envolvente interior					
Elemento			Solução		
			Original	A	B
Paredes interiores	Espessura de isolamento	cm	4	25	10
	U	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,44-0,45	0,13	0,26
	Perdas térmicas	W/°C	4,68	1,32	2,71
	% de perdas térmicas em relação à solução original			28	57

(...cont) Tabela 4.7 – Dados estatísticos relativos a perdas térmicas ocorridas nas estações de aquecimento envolvente interior, considerando as soluções de projeto, A e B

			Original	A	B
Pontes térmicas planas	Espessura de isolamento	cm	4	25	10
	U	kWh/m <sup>2</sup> .ano	0,62-0,64	0,14	0,31
	Perdas térmicas	W/°C	0,89	0,19	0,44
	% de perdas térmicas em relação à solução original			21	49

			Original	A	B
Pavimentos interiores	Espessura de isolamento	cm	4	30	15
	U	kWh/m <sup>2</sup> .ano	1,17-1,31	0,13	0,20-0,21
	Perdas térmicas	W/°C	39,23	4,02	6,56
	% de perdas térmicas em relação à solução original			10	16

		Original	A	B
Pontes térmicas lineares	W/°C	5,90	5,12	5,12
	% de perdas térmicas em relação à solução original			86

		Original	A	B
Total Perdas térmicas	W/°C	50,70	10,65	14,83
	% em relação à solução original			21

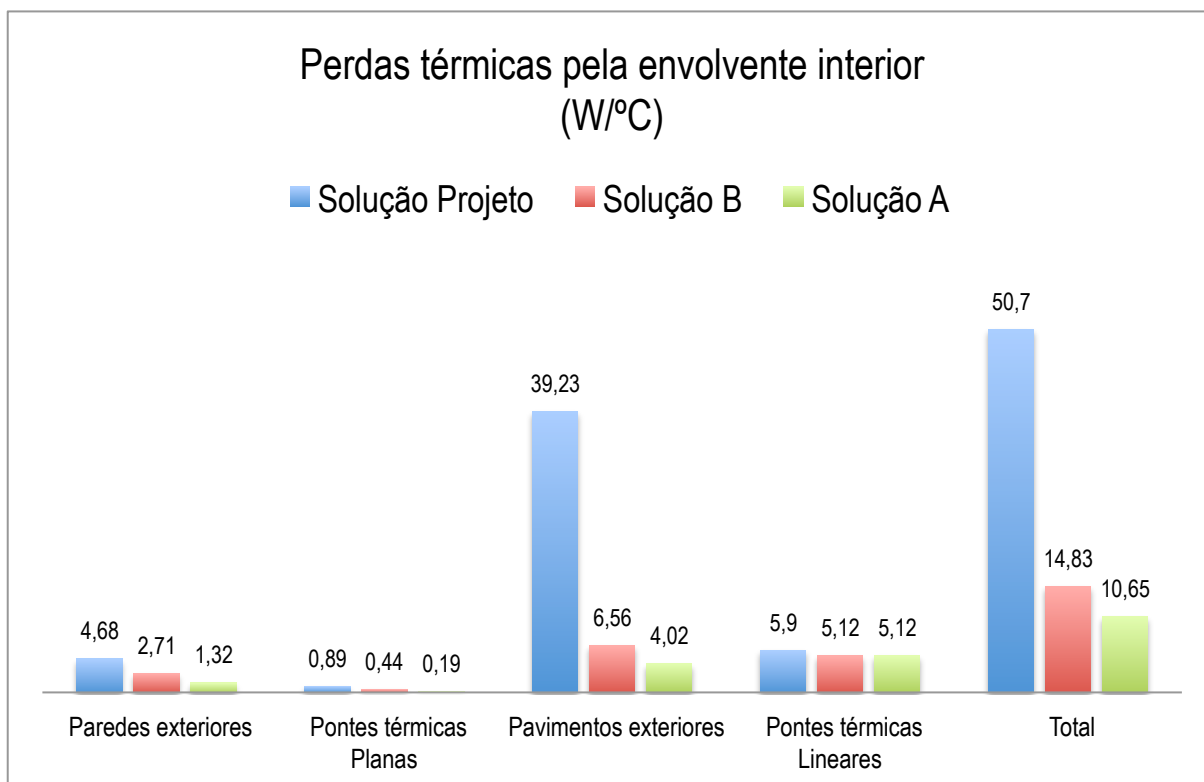


Figura 4.8 – Perdas térmicas pela envolvente exterior verificadas na estação de aquecimento.

Da análise tabela 4.7, à semelhança do que foi concluído nas envolventes exteriores opacas, é importante ter em atenção ao sistema construtivo adotado. A existência de isolamento térmico pelo exterior contribui para uma correção eficaz das pontes térmicas lineares, em que ambas as soluções, A e B, reduziram as pontes térmicas lineares de 5,90 para 5,12 (W/°C).

Outra conclusão que se tira da análise da tabela 4.7, é que a contribuição das espessuras de isolamento utilizadas na solução A provocam uma redução drástica nas perdas térmicas pela envolvente interior, de 50,70 para 10,65 (W/°C). Contudo, a solução B que utiliza, em média, menos de metade das espessuras de isolamento da solução A, tem resultados apenas ligeiramente inferiores, baixando as perdas térmicas de 50,70 para 14,83 (W/°C).

Na estação de arrefecimento, as perdas térmicas da envolvente interior não têm qualquer tipo de influência.

Perante o exposto, a solução B é menos exigente do que a solução A e muito menos dispendiosa mas também tem excelentes resultados na correção das perdas térmicas. Por estes motivos, a solução B seria a escolhida.

### 4.3.3 Vãos envidraçados

Neste caso de estudo, os vãos envidraçados não foram substituídos pelos envidraçados de vidro triplo já referenciados no Capítulo 3 e que fazem parte de uma das estratégias da Passivhaus, desta forma, não fazendo uso da solução A. O motivo da não utilização dos envidraçados triplos prende-se, primeiramente, com o facto do clima português não ser tão severo como o alemão e, portanto, as temperaturas amenas que se fazem sentir em Portugal não justificarem a sua utilização, a agravar o facto de ser um elemento construtivo caro. Em segundo lugar, na arquitetura de um empreendimento já delineada, a procura da redução das perdas térmicas nos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, consegue ser obtida através da melhoria do coeficiente de transmissão térmica. No entanto, essa redução, resulta também numa diminuição dos ganhos térmicos, úteis para a diminuição das necessidades de aquecimento. Desta forma, o balanço final entre as perdas e os ganhos térmicos dos vãos envidraçados é praticamente nulo, devendo-se ainda contabilizar o custo inerente ao material, não compensando, no final, o investimento.

Caso fosse possível modificar a arquitetura do empreendimento dever-se-ia dar atenção à orientação da habitação e às áreas dos envidraçados em cada fachada, devendo ser maiores a sul, menores a oeste e este.

Relativamente à solução B, preconizada pela Passive-on e descrita na secção 3.4.5, o uso de envidraçados duplos simples já faz parte da solução original e portanto, a solução para otimizar os vãos envidraçados não partiu de estratégias Passive-on, mas sim de uma estratégia passiva, complementar desta.

Na estação de arrefecimento, com o objetivo de tornar a edificação o mais eficiente energeticamente, procurou-se obter o menor fator solar de vãos envidraçados com proteção ativada a 100% ( $g'_{\perp}$ ). Através do Quadro V.4 do RCCTE, para se conseguir esse fator solar torna-se obrigatório o uso de proteções exteriores. Por razões estéticas se poderia optar por um conjunto de proteções bem mais adequadas à habitação em questão, no entanto, e uma vez que o objetivo principal é o de obter a solução mais eficiente, escolheu-se as proteções exteriores que levaram aos menores ganhos pelos envidraçados. Opta-se assim pela mudança de cortinas opacas de cor clara com um  $g'_{\perp} = 0,37$  (solução original) por portadas de madeira de cor clara com um  $g'_{\perp} = 0,03$  (solução C).

Na situação verão, o cálculo do fator solar do vão envidraçado deve contabilizar dispositivos de sombreamento móveis ativados a 70 %, ou seja, o fator solar do vão envidraçado é igual à soma de 30 % do fator solar do vidro ( $g_{\perp v}$ ) mais 70 % do fator solar do vão envidraçado com a proteção solar móvel ( $g'_{\perp v}$ ). A tabela 8 apresenta os valores da solução original e da solução com a portada de madeira de cor clara.



Tabela 4.8 – Determinação do fator solar do vão envidraçado na situação de verão.

	$g_{\perp v}$	$g'_{\perp}$	$g_{\perp}$
Solução original	0,75	0,37	0,48
Solução C	0,75	0,03	0,25

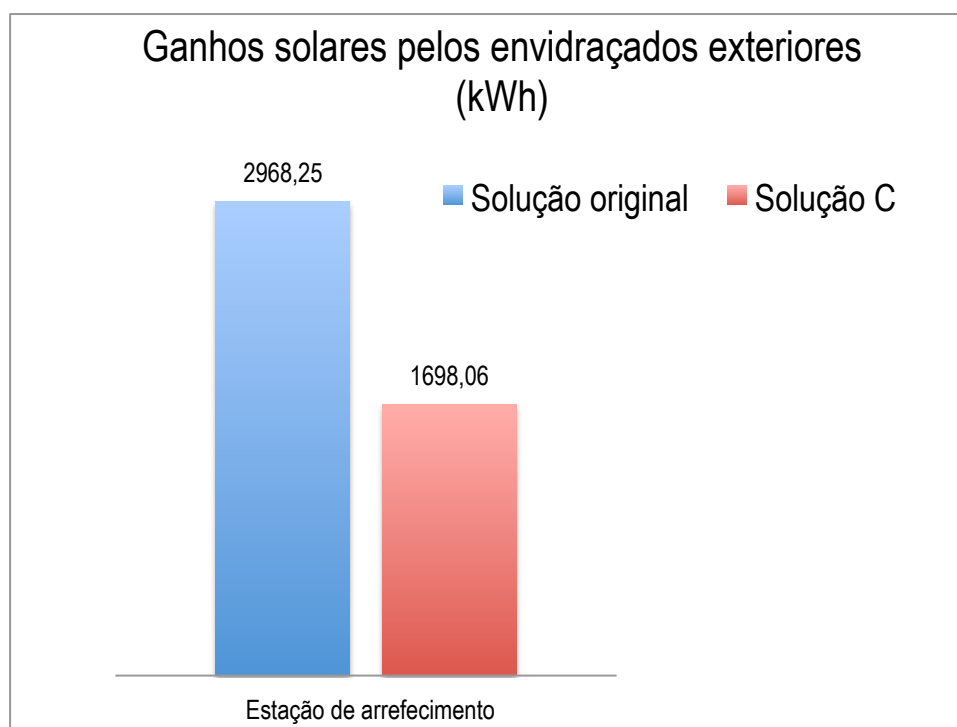


Figura 4.9 - Ganhos solares pelos envidraçados exteriores na solução de projeto e na solução com portadas de madeira de cor clara.

#### 4.3.4 Renovação de ar

Por motivos de higiene e conforto dos ocupantes, a renovação de ar é um fator importante de contemplar no projeto térmico, onde é necessário que uma habitação seja ventilada em permanência por um caudal mínimo de ar. A metodologia de cálculo proposta no regulamento é baseada na presunção de que a habitação tem características construtivas ou dispositivos apropriados para garantirem, por ventilação natural ou mecânica, a taxa de renovação mínima necessária de  $R_{ph} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ .

Na procura de optimização energética do empreendimento através de estratégias Passivhaus, a implementação de um sistema mecânico de ventilação com recuperador de calor foi importante de ser considerada. Primeiramente excluiu-se a ventilação natural e considerou-se um equipamento de ventilação mecânica com um recuperador de calor de rendimento  $\eta = 75\%$ . Considerou-se a habitação estanque ao ar, em que o volume de infiltrações de ar foi de  $V_x = 0 \text{ m}^3/\text{h}$ . Para um volume interior da habitação de  $V_{\text{int}} = 341,36 \text{ m}^3$ , um caudal de insuflação igual ao caudal extraído de ar,  $V_{\text{ins}} = V_{\text{ev}} = 204,82 \text{ m}^3/\text{h}$ , teve-se uma taxa de renovação nominal de  $0,6 \text{ ren/h}$ . As perdas térmicas por renovação de ar da solução original são de  $116,06 \text{ (W/}^\circ\text{C)}$  (Tabela 4.9). A solução descrita nesta secção, mais propriamente o uso de ventilação mecânica com recuperador de calor, resultou numas perdas térmicas de  $17,41 \text{ (W/}^\circ\text{C)}$ , em que as folhas de cálculo das perdas térmicas por renovação de ar estão disponíveis no Anexo III.

A utilização da ventilação mecânica com recuperador tem uma contribuição muito positiva no caminho para a eficiência energética, como pode ser visível na figura 4.10. No entanto, é necessário contabilizar o consumo energético do ventilador que serve para insuflação do ar para o interior da habitação. Para um período de aquecimento de seis meses, com uma potência de  $50 \text{ W}$ , o consumo energético do ventilador é de  $E_v = 216 \text{ (kWh)}$ . Este consumo energético será contabilizado nas necessidades de aquecimento.

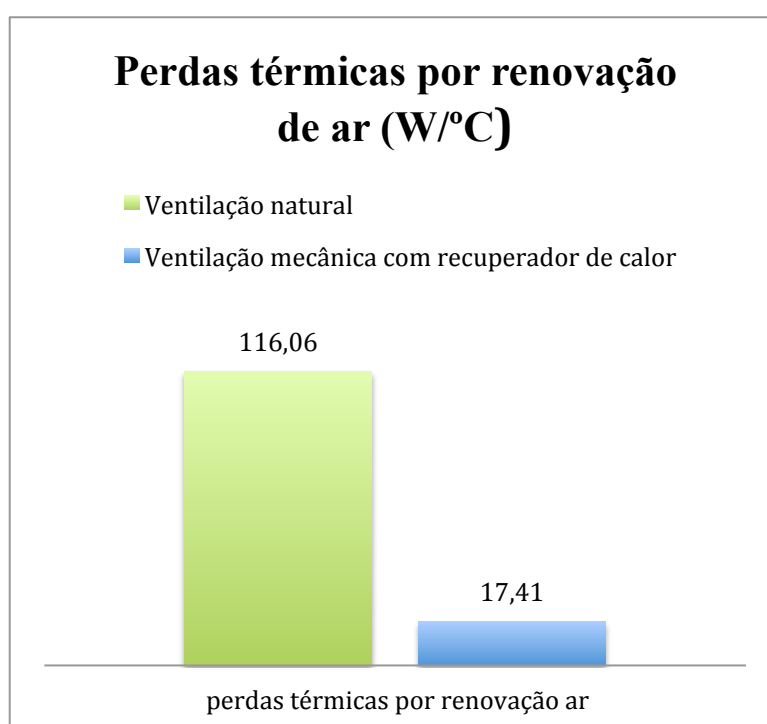


Figura 4.10 – Perdas térmicas por renovação de ar – solução de projeto (ventilação natural) e solução de caso estudo (ventilação mecânica com recuperador de calor).

#### 4.3.5 Necessidades e classificação energética da solução final

Na procura da melhor eficiência energética da habitação através de estratégias Passivhaus, a solução final é descrita de seguida. Para as envolventes exteriores e interiores a solução que apresentou melhores resultados é a solução B. No que respeita aos vãos envidraçados, apenas foi aplicado portadas de madeira exteriores de cor clara, solução C. No inverno, para maximizar o aproveitamento da radiação solar, os dispositivos móveis admitem-se estar totalmente abertos, sendo esta solução apenas influenciar o arrefecimento na estação do verão. Relativamente à renovação de ar foi admitida ventilação mecânica com recuperador de calor. Os resultados encontram-se nas tabela 4.9 e 4.10 e figuras 4.11 e 4.12.

Tabela 4.9 – Dados estatísticos das perdas térmicas na estação de aquecimento.

<b>Estação de Aquecimento</b>			
<b>Perdas térmicas pela envolvente exterior</b>			
<b>(W/°C)</b>			
	Solução original	Solução final	%
Paredes exteriores	39,82	22,97	42
Pontes térmicas planas	12,65	6,20	51
Pavimentos exteriores	2,76	0,95	65
Coberturas	40,01	14,88	63
Pontes térmicas lineares	86,95	31,95	63
total	182,18	76,95	57

<b>Perdas térmicas pela envolvente interior</b>			
<b>(W/°C)</b>			
	Solução original	Solução final	%
Paredes interiores	4,68	2,71	42
Pontes térmicas planas	0,89	0,44	50
Pavimentos interiores	39,23	6,56	83
Pontes térmicas lineares	5,90	5,12	13
<b>Total</b>	<b>50,70</b>	<b>14,83</b>	<b>70</b>

(...cont) Tabela 4.9 – Dados estatísticos das perdas térmicas na estação de aquecimento.

<b>Perdas térmicas pelos vãos envidraçados (W/°C)</b>			
	Solução original	Solução final	%
Envidraçados exteriores	137,27	137,27	0

<b>Perdas térmicas pela renovação de ar (W/°C)</b>	Solução original	Solução final	%
	116,06	17,41	85

<b>Perdas térmicas totais (W/°C)</b>	Solução original	Solução final	%
	486,21	246,46	49

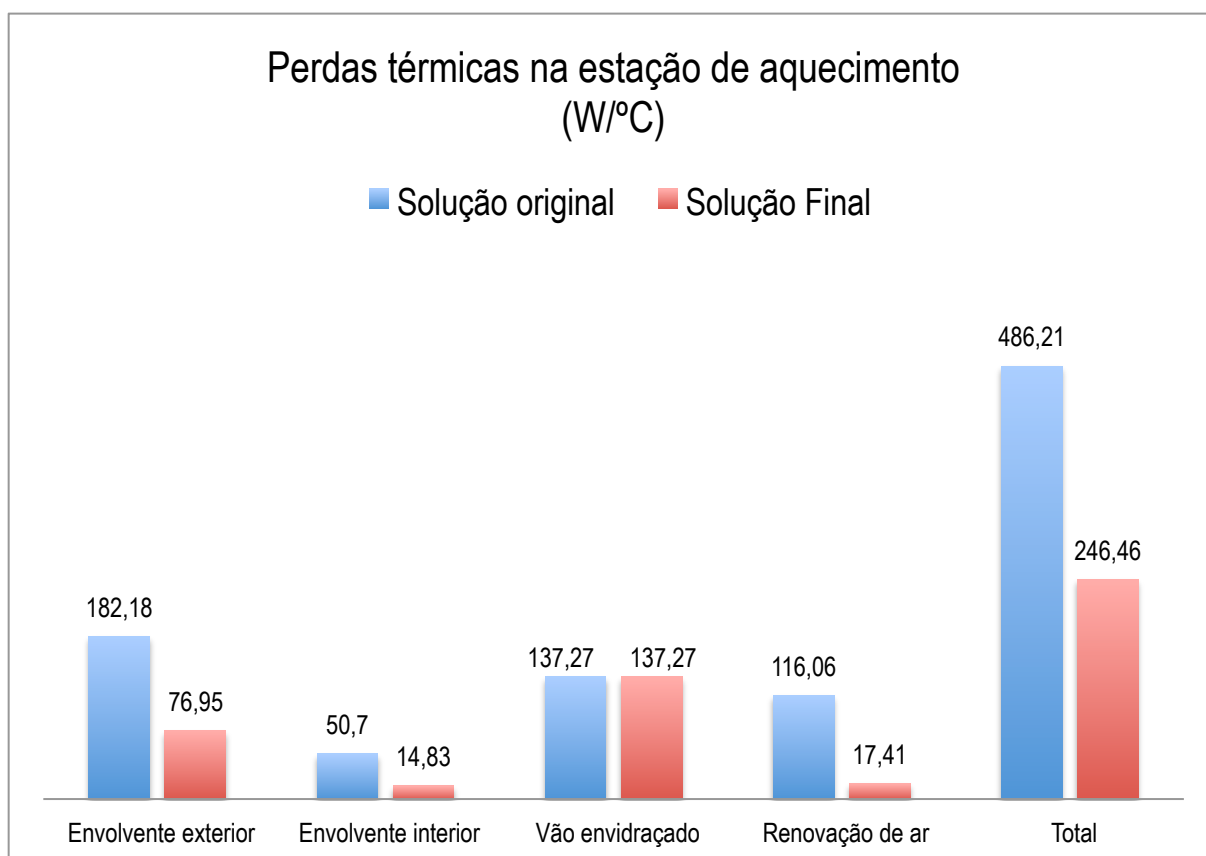


Figura 4.11 – Perdas térmicas na estação de aquecimento.

Tabela 4.10 – Dados estatísticos das perdas e ganhos térmicos na estação de arrefecimento.

<b>Estação de Arrefecimento</b>			
<b>Perdas térmicas pela envolvente exterior (W/°C)</b>			
	Solução de projeto	Solução final	%
Paredes exteriores	39,82	22,97	42
Pontes térmicas planas	12,65	6,20	51
Pavimentos exteriores	2,76	0,95	65
Coberturas	40,01	14,88	63
total	95,24	45	53

<b>Perdas térmicas pelos vãos envidraçados (W/°C)</b>			
	Solução de projeto	Solução final	%
Envidraçados exteriores	137,27	137,27	0

<b>Perdas térmicas pela renovação de ar (W/°C)</b>	Solução de projeto	Solução final	%
	116,06	17,41	85

<b>Perdas térmicas totais (W/°C)</b>	Solução de projeto	Solução final	%
	348,57	199,68	43

<b>Ganhos térmicos (kWh)</b>			
	Solução de projeto	Solução final	%
Envolvente opaca	983,85	462,63	53
Envidraçados exteriores	2968,25	1698,06	43
Internos	1592,83	1592,83	0
<b>Ganhos térmicos Totais (kWh)</b>	5544,94	3753,52	32

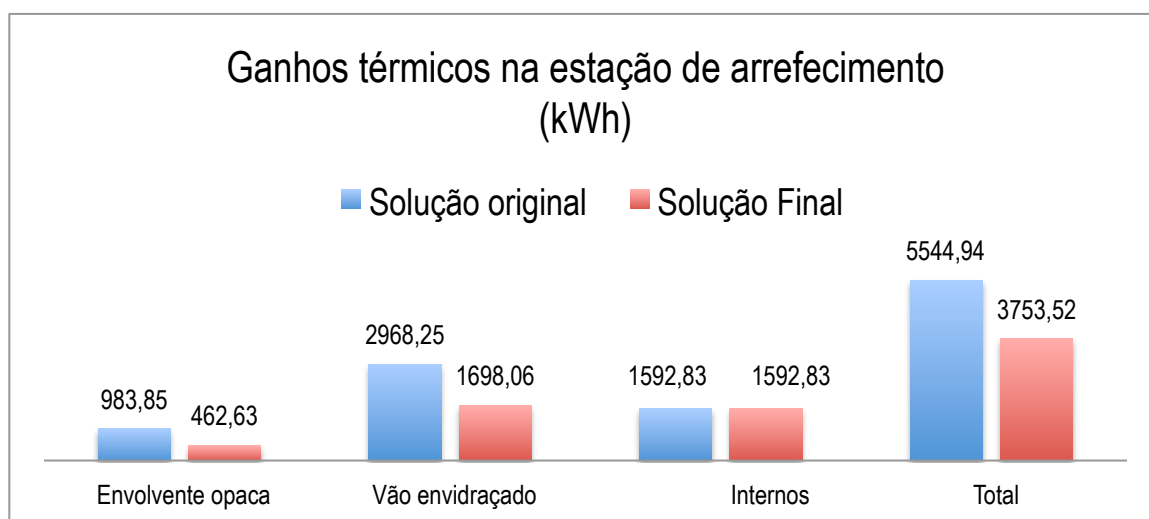
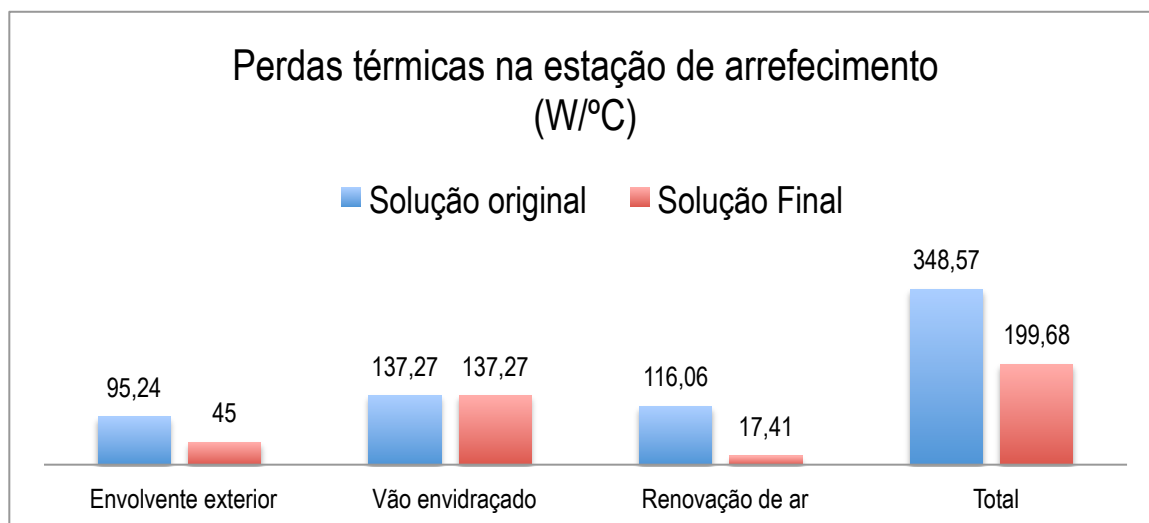


Figura 4.12 – Perdas e ganhos térmicos na estação de arrefecimento.

De acordo com o artigos 5º, 6º, 7º e 8º, a verificação do RCCTE pressupõe que:

$$\Rightarrow N_{ic} \leq N_i \quad (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano})$$

$$\Rightarrow N_{vc} \leq N_v \quad (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano})$$

$$\Rightarrow N_{ac} \leq N_t \quad (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano})$$

$$\Rightarrow N_{tc} \leq N_a \quad (\text{kgep/m}^2 \cdot \text{ano})$$

Apresentam-se na tabela 4.11 os resultados obtidos para as necessidades de energia útil nominal de aquecimento, de arrefecimento, para preparação de águas quentes sanitárias e necessidades de energia global primária, assim como os respetivos valores máximos, para a fração em estudo.

Tabela 4.11 – Necessidades de aquecimento, de arrefecimento, de energia primária, de águas quentes sanitárias e de energia primária.

Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Ni (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nv (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Nac (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Na (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	Nt (kgep/m <sup>2</sup> .ano)
14,99	74,82	7,15	16,00	14,11	43,48	1,43	6,69

A Passivhaus em climas quentes, na procura de melhores resultados de dissipação de energia na estação de arrefecimento, “desliga” a ventilação mecânica e faz uso da ventilação natural noturna. O RCCTE não tem a capacidade de utilizar diferentes soluções de ventilação dependendo da estação que se encontra. Deste modo, calculou-se novamente as necessidades de arrefecimento, desprezando os resultados da estação de aquecimento, implementando a ventilação natural como meio de ventilação.

Os parâmetros que entraram no cálculo das perdas de renovação de ar já foram descritos na solução original, tabela 4.3, com  $R_{ph} = 1 \text{ h}^{-1}$ , ao que resultou numa perdas de renovação de ar de 116,06 W/°C. As necessidades de arrefecimento foram reduzidas de 7,15 para 2,34 (kWh/m<sup>2</sup>.ano), como mostra a figura 13.

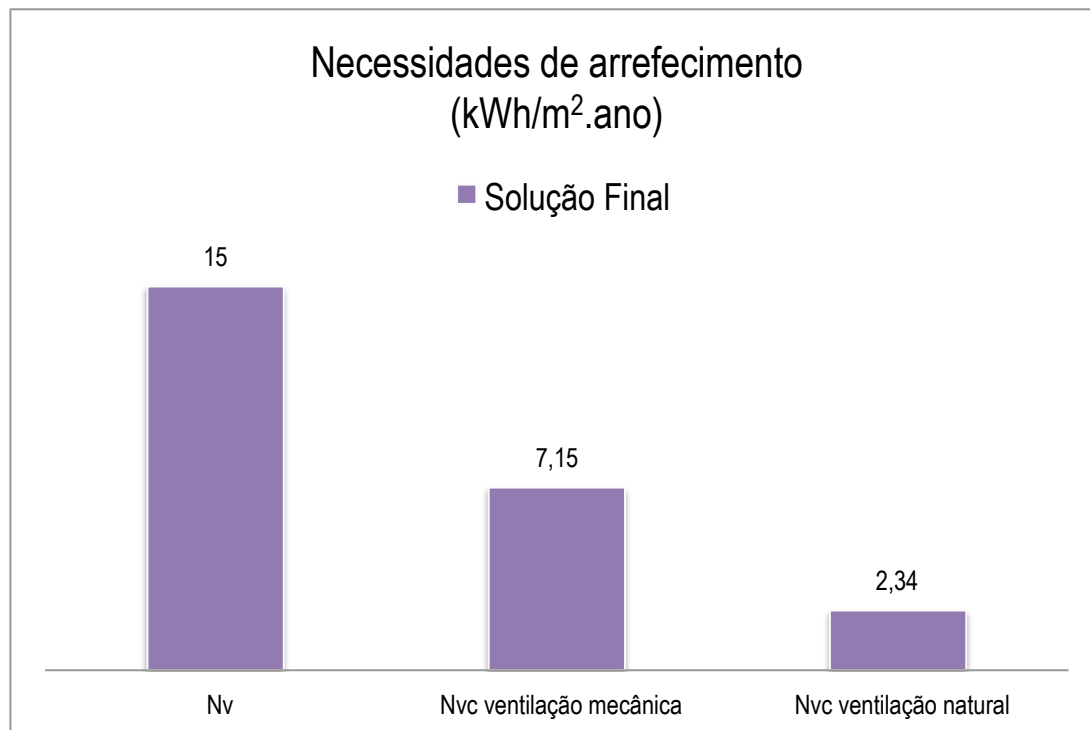


Figura 4.13 – Necessidades de arrefecimento com ventilação mecânica e ventilação natural.

Na tabela 4.12 estão os resultados da solução final já com a ventilação natural implementada apenas na estação de arrefecimento .

Tabela 4.12 – Necessidades de aquecimento, de arrefecimento, de energia primária, de águas quentes sanitárias e de energia primária.

N <sub>ic</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	N <sub>i</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	N <sub>vc</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	N <sub>v</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	N <sub>ac</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	N <sub>a</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	N <sub>tc</sub> (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	N <sub>t</sub> (kgep/m <sup>2</sup> .ano)
14,99	74,82	2,34	16,00	14,11	43,48	1,43	6,69

De acordo com os requisitos mínimos da norma Passivhaus, pressupõe-se que:

⇒ N <sub>ic</sub>	≤	15,00	→	14,99	≤	15,00	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)	☑
⇒ N <sub>vc</sub>	≤	15,00	→	2,34	≤	15,00	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)	☑
⇒ N <sub>tc</sub>	≤	120,00	→	1,43	≤	120,00	(kgep/m <sup>2</sup> .ano)	☑
⇒ R <sub>ph</sub>	≤	1,00	→	0,6	≤	1,00	(h <sup>-1</sup> )	☑

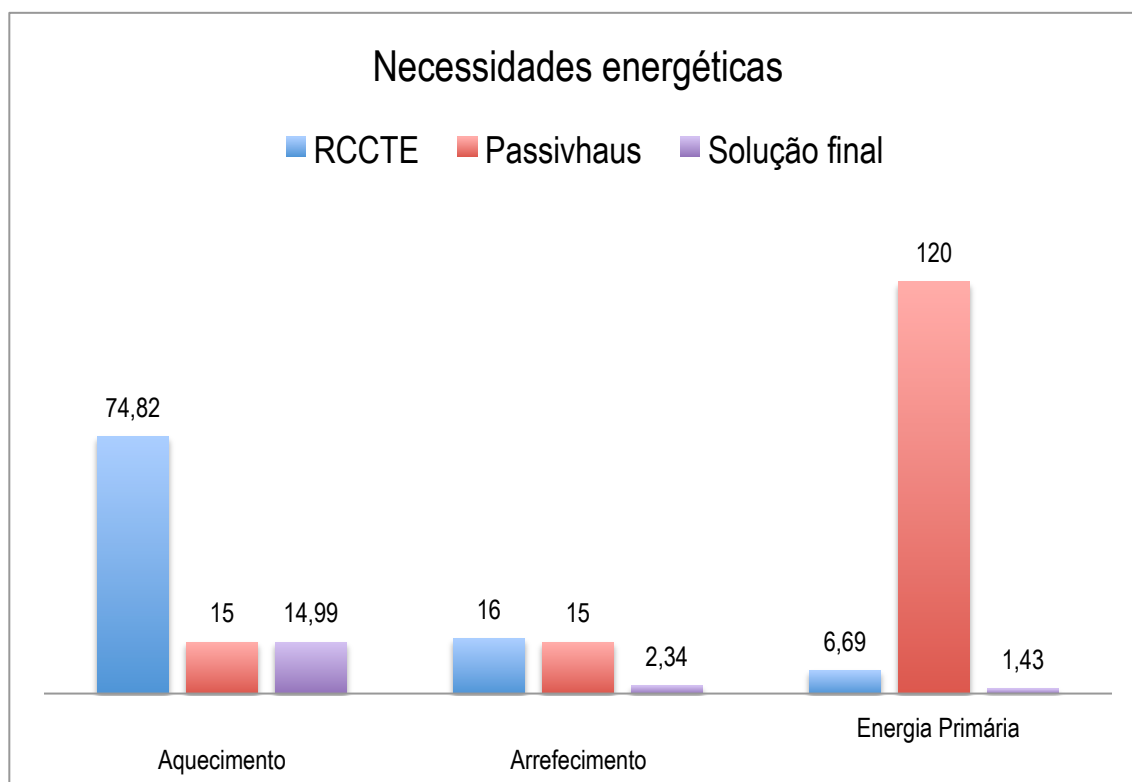


Figura 4.14 – Variação das necessidades de aquecimento, arrefecimento e energia primária.



#### 4.3.6 Síntese final

No que concerne ao material isolante, o seu modo de aplicação e espessura são dois fatores importantes de contabilizar na medida que contribuíram para uma redução significativa nas perdas térmicas pela envolvente opaca. A aplicação de espessuras de isolamento da solução A, apesar de terem representado um excelente resultado, foram consideradas exageradas e pouco justificativas para o clima português. Já a solução B, utilizando menos de metade em média das espessuras de isolamento da solução A, obteve resultados também muito bons e, como tal, foi considerada a melhor solução. A eliminação de pontes térmicas, apesar de ser possível de considerar na norma Passivhaus, o RCCTE é mais conservador e, como tal, o contributo de isolamento térmico é considerado bom, mas não suficiente para considerar coeficientes de transmissão térmica linear,  $\psi$ , negativos, como se pode encontrar no dimensionamento pela Passivhaus.

No que respeita aos vãos envidraçados, a orientação e área são dois fatores importantes de considerar. Após a sua implementação em planta, o tipo de envidraçado dependerá da fachada em questão. Fachadas a norte deverão contemplar envidraçados com baixos coeficientes de transmissão térmica, U, já a sul, envidraçados com U ligeiramente superior ao da fachada norte é considerada uma estratégia inteligente na medida que facilita a entrada de radiação solar e, como tal, ajuda no aquecimento da habitação no inverno. Neste caso de estudo a habitação já se encontrava com uma arquitetura definida e com envidraçados duplos simples, os mesmos propostos pela Passive-on para Portugal. Como tal, procurou-se apenas diminuir os ganhos térmicos na estação de arrefecimento através da aplicação de portadas de madeira de cor clara, diminuindo o fator solar do vão envidraçado.

A escolha da ventilação mecânica com recuperador de calor, estratégia Passivhaus, reduziu de forma significativa as perdas térmicas na estação de aquecimento, no entanto, o seu uso na estação de arrefecimento inflaciona as necessidades de arrefecimento. Como proposto pela Passive-on, “desligou-se” a ventilação mecânica com recuperador de calor e a ventilação natural foi considerada como o meio de renovação de ar, resultando num aumento das perdas térmicas no verão e, portanto, numa diminuição das necessidades energéticas de arrefecimento. O RCCTE não tem a capacidade de considerar dois tipos de renovação de ar para um dado projeto térmico e por isso este caso de estudo teve duas fases na folha de cálculo de renovação de ar: estação de aquecimento e estação de arrefecimento. A taxa de renovação nominal de ar é um fator importante de considerar na medida que o seu valor quanto menor, maior a temperatura interior e vice-versa.

No que respeita às emissões de CO<sub>2</sub>, esta dissertação não chegou a um valor da quantidade de CO<sub>2</sub> que a solução final emite por ano. No entanto, a redução da sua emissão para a atmosfera parte da redução dos

consumos energéticos, o que é indiscutível na solução final. Desta forma, pode-se dizer que, não só se reduziu drasticamente os níveis de consumo de energia, conseqüentemente uma redução da fatura energética, como implícita a essa redução, os níveis de CO<sub>2</sub> são muito mais baixos que na solução original.

A aplicação de estratégias Passivhaus neste caso de estudo proporcionaram reduções drásticas nas necessidades energéticas, de valores dentro dos regulamentares, tanto para a norma Passivhaus como para o RCCTE. Comparando a solução original da final, houve uma redução de 65,81 para 14,99 kWh/m<sup>2</sup>.ano, estação de aquecimento, e de 6,30 para 2,34 kWh/m<sup>2</sup>.ano, estação de arrefecimento, resultando numa poupança das necessidades energéticas de 54,78 kWh/m<sup>2</sup>.ano (76%). A Passivhaus não só é uma forma de combater a crise económica que se faz sentir mas, também, de ajudar o meio ambiente através do combate do contínuo aquecimento global.

**Capítulo 5**  
**Conclusões**

---

## **Capítulo 5 Conclusões**

### **5.1 Perspetivas de trabalho futuro**

## 5 Conclusões

A presente dissertação consistiu na análise e otimização do desempenho energético de um edifício residencial localizado em Aveiro, Portugal.

A procura de soluções energeticamente eficientes partiu de dados construtivos e considerações de sistemas, previstas no projeto original, necessárias para um cálculo inicial das necessidades e classificação energéticas do mesmo.

O objetivo principal da pesquisa foi otimizar a eficiência energética do edifício, estudando o comportamento térmico das soluções inicialmente previstas e apresentando soluções construtivas Passivhaus com vista à redução das necessidades energéticas. A fim de se perceber melhor a razão pela qual as diferentes alternativas influenciavam as necessidades energéticas da habitação, analisaram-se as variações das perdas e ganhos térmicos nas estações de aquecimento e arrefecimento, à medida que se ia otimizando energeticamente a casa.

Inicialmente, analisaram-se duas alternativas de envolvente exterior opaca (solução A e B) com diferentes espessuras de isolamento térmico, colocadas pelo exterior. A solução A considerou espessuras de isolamento utilizadas pela Passivhaus na Alemanha, e a solução B utilizou espessuras de isolamento térmico consideradas pela Passive-on para Portugal. Após este estudo, conclui-se que para otimizar a eficiência energética de uma habitação não basta ter envolventes com baixos valores de coeficiente de transmissão térmica, mas é também importante o sistema construtivo adotado. A existência de isolamento térmico pelo exterior contribui para uma correção eficaz das pontes térmicas lineares, cuja redução não só diminui a fatura energética como limita a possibilidade de condensações interiores. Ambas as soluções, A e B, reduziram as pontes térmicas lineares, com a colocação do isolamento pelo exterior, de 86,95 para 31,95 (W/°C).

Outra conclusão do estudo é relativa à contribuição das espessuras de isolamento utilizadas. Verificou-se que na solução A há uma redução drástica nas perdas térmicas pela envolvente exterior, de 182,18 para 54,35 (W/°C) enquanto que, na solução B que utiliza, em média, menos de metade das espessuras de isolamento da solução A, os resultados são apenas ligeiramente inferiores, baixando as perdas térmicas 182,18 para 76,95 (W/°C). Perante o exposto, conclui-se que apesar da solução B ser menos exigente do que a solução A e muito menos dispendiosa, também tem excelentes resultados na correção das perdas térmicas. Desta forma, e como a estação de aquecimento em Portugal não é tão rigorosa como a alemã, não se justifica a colocação de espessuras de isolamento da solução A. Para além disto, a solução B, na estação de arrefecimento tem um melhor contributo na redução das necessidades de arrefecimento, na medida em

que as perdas térmicas ajudam nas perdas de calor. Por estes motivos, a solução B foi considerada a ideal para o caso em estudo e, portanto, a escolhida.

Seguidamente, analisaram-se duas alternativas de envolvente interior opaca (solução A e B) com diferentes espessuras de isolamento térmico, colocadas pelo exterior. A solução A considera espessuras de isolamento utilizadas na Alemanha pela Passivhaus, já a solução B utiliza espessuras de isolamento térmico consideradas pela Passive-on para Portugal. À semelhança do que foi concluído nas envolventes exteriores opacas, é importante ter em atenção ao sistema construtivo adotado. Outra conclusão é relativa à contribuição das espessuras de isolamento utilizadas, em que a solução A provoca uma redução drástica das perdas térmicas pela envolvente interior, de 50,70 para 10,65 (W/°C). Contudo, a solução B que utiliza, em média, menos de metade das espessuras de isolamento da solução A, tem resultados apenas ligeiramente inferiores, baixando as perdas térmicas de 50,70 para 14,83 (W/°C). Na estação de arrefecimento, as perdas térmicas da envolvente interior não têm qualquer tipo de influência. Perante o exposto, a solução B é menos exigente do que a solução A e muito menos dispendiosa mas também tem excelentes resultados na correção das perdas térmicas. Por estes motivos, a solução B foi a escolhida.

Continuou-se o processo de optimização da eficiência energética procurando, nos vãos envidraçados, uma diminuição das perdas térmicas na estação de aquecimento e uma diminuição dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento. No que respeita a estação de aquecimento, conclui-se que para reduzir as perdas térmicas pelos envidraçados, sem reduzir os ganhos térmicos, seria necessária a mudança da arquitetura do empreendimento, algo que neste caso não podia ser feito. No que respeita à estação de arrefecimento, com o objetivo de tornar a edificação o mais eficiente energeticamente, procurou-se obter o menor fator solar de vãos envidraçados com proteção ativada a 100% ( $g'_{\perp}$ ). Aplicaram-se proteções exteriores, mais propriamente, portadas de madeira de cor clara, por serem a solução mais eficiente. Verificou-se que os ganhos solares na estação de arrefecimento eram de 2968,25 kWh e, após aplicação das proteções exteriores, passaram a ser de 1698,06 kWh.

No que respeita à renovação de ar, a Passivhaus permite fazer uso da ventilação mecânica com recuperador de calor e ventilação natural, aplicadas à estação de aquecimento e arrefecimento, respetivamente. Desse modo, a solução final do caso de estudo, na estação de aquecimento, recaiu sobre um sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor de rendimento  $\eta = 75\%$ , obtendo-se uma taxa de renovação nominal de  $R_{ph} = 0,6$  (ren/h). Comparando a solução de projeto, que fazia uso de ventilação natural, com a solução final, constatamos que as perdas térmicas passaram de 116,06 (W/°C) para 17,41 (W/°C). No que respeita à estação de arrefecimento, partindo da inexistência de ventilação mecânica e admitindo que a habitação não obtém uma taxa de renovação mínima igual a 0,6 ren/h, as perdas térmicas obtidas são as mesmas da

solução de projeto, de 116,06 (W/°C), com uma taxa de renovação nominal de 1,0 (ren/h), estando em conformidade com as disposições da norma NP 1037-1.

No que respeita às necessidades nominais de aquecimento ( $N_{ic}$ ), concluiu-se que o seu valor depende do tipo de solução construtiva, ou seja, da existência ou não de isolamento térmico e da sua posição, fator que condiciona as perdas térmicas. Concluiu-se ainda que a espessura do isolamento também contribui para a redução das perdas térmicas verificando-se que o aumento da referida espessura resulta numa diminuição do coeficiente de transmissão térmica e, conseqüentemente, numa redução das  $N_{ic}$ .

A solução B foi considerada a melhor solução para o objetivo inicial proposto.

Relativamente à taxa de renovação de ar interior, concluiu-se que esta também afeta não só as necessidades nominais de aquecimento, como também as de arrefecimento. Ao aplicar-se, na estação de aquecimento, uma ventilação mecânica com recuperador de calor, a uma taxa de renovação nominal de 0,6 ren/h, verificou-se uma redução drástica nas perdas térmicas. O recuperador de calor é um grande contributo para o aquecimento da casa e, uma renovação nominal de ar de 0,6 ren/h, mínima para Portugal, traduz-se num menor decréscimo da temperatura dentro da habitação o que, numa estação em que se pretende aquecimento, se traduz numa diminuição das perdas energéticas e conseqüente redução das  $N_{ic}$ . Conclui-se, desta forma, que a diminuição das renovações do ar interior aliada a um recuperador de calor, é uma solução bastante favorável no inverno.

No que respeita aos vãos envidraçados, conclui-se que a variação do seu fator solar, não teve qualquer influência no inverno, uma vez que na estação de aquecimento, para maximizar os ganhos solares, os dispositivos de proteção solar móveis consideram-se abertos. No entanto, deve ser considerada a existência de cortinas interiores muito transparentes e de cor clara, no cálculo do fator solar do vão envidraçado. Torna-se importante referir que, apesar do tipo de envidraçado não ter sido alvo de análise, este influencia as  $N_{ic}$ . A utilização de vidros simples corresponde a coeficientes de transmissão térmica muito superiores às dos vidros duplos, ou seja, a maiores perdas térmicas pelos vãos envidraçados. Uma vez que o projeto já continha vãos envidraçados duplos e não se podia alterar a sua área e disposição, não se propôs nada para diminuir as perdas térmicas na estação de aquecimento.

No que respeita às necessidades nominais de arrefecimento ( $N_{vc}$ ) conseguiu-se uma redução de 3,00 kWh/m<sup>2</sup>.ano (solução projeto) para 2,32 kWh/m<sup>2</sup>.ano (solução final). Observou-se que o seu valor é bastante influenciado pelos ganhos solares provenientes dos vãos envidraçados. A colocação de um dispositivo de proteção solar móvel gerou um baixo fator solar e conseqüentemente uma diminuição dos ganhos térmicos

totais. Numa estação em que se pretende arrefecer o interior da habitação, ao se diminuir os ganhos térmicos, diminui-se as necessidades de arrefecimento.

Relativamente à exclusão da ventilação mecânica, o uso da ventilação natural foi um contributo importantíssimo para o aumento das perdas térmicas e para a redução das necessidades de arrefecimento. No que respeita ao aumento do caudal horário de ar, de 0,6 para 1,0 ren/h, este aumento gerou um decréscimo da temperatura dentro da habitação o que, numa estação em que se pretende o arrefecimento, se traduz numa diminuição das  $N_{vc}$ .

O aumento das espessuras de isolamento nas envolventes exteriores opacas provocou um ligeiro aumento das necessidades de arrefecimento, ou seja, uma diminuição das perdas térmicas pela envolvente exterior. Este aumento é de evitar na medida que na estação de arrefecimento se pretende arrefecer o interior, não retendo o calor dentro da habitação.

O valor das necessidades de energia primária ( $N_{tc}$ ) depende de vários parâmetros, entre eles a necessidade de aquecimento e de arrefecimento, estudados no caso apresentado. Com a diminuição destas duas necessidades verificou-se também uma diminuição da  $N_{tc}$  de 6 kWh/m<sup>2</sup>.ano (solução de projeto) para 1,2 kWh/m<sup>2</sup>.ano (solução final).

Verificou-se também que a realização das referidas melhorias ao nível da envolvente, dos vãos envidraçados e da ventilação, foi suficiente para se passar de um edifício classificado energeticamente com "A",  $N_{tc}/N_t = 0,287$ , para um edifício de excelência ao nível térmico, com a classificação energética máxima de "A+",  $N_{tc}/N_t = 0,214$ .

As estratégias Passivhaus foram implementadas com sucesso numa habitação portuguesa, comprovando-se que a sua aplicação não se limita a um só tipo de clima.

## 5.1 Perspetivas de trabalho futuro

Nesta dissertação foi estudada a aplicação de soluções construtivas Passivhaus numa habitação portuguesa. Essas soluções construtivas foram implementadas a partir das regras/fórmulas do RCCTE. Seria interessante, num trabalho futuro, fazer um estudo da aplicação de soluções construtivas Passivhaus numa habitação portuguesa, onde essas mesmas soluções não seriam implementadas segundo o RCCTE mas sim, segundo o PHPP 2007, programa criado pela Passivhaus.



Outro trabalho futuro interessante seria o da viabilidade económica de uma Passivhaus portuguesa, comparando os custos de uma casa tradicional com os de uma construção Passivhaus.



**Capítulo 6**  
**Referências Bibliográficas**

---

## 6 Referências Bibliográficas

- ADENE - Guia de eficiência energética. Publicação On-Line. 2010. <http://www.adene.pt>
- ALMEIDA, ANÍBAL TRANÇA DE [et al.] - Manual de boas práticas de eficiência energética - Implementar o desenvolvimento sustentável nas empresas. 2005.
- ATUL SHARMA [et al.] - Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. (2007).
- ATUL SHARMA [et al.] - Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. 2009.
- BOURDEAU, LE - Study of two passive solar systems containing phase change materials for thermal storage. 1980.
- BUDDHI, D; SHARMA, SD - Measurements of transmittance of solar radiation through stearic acid: latent heat storage material. 1999.
- BUDDHI, D.; MISHRA, HS; SHARMA, A - Thermal performance studies of a test cell having a PCM window in south direction. 2003.
- CABEZA, LUISA F. [et al.] - Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings. 2007.
- CHEN, C. - A new kind of phase change material (PCM) for energy storing wallboard. 2007.
- CONSTANTINO, PEDRO - Avaliação da eficiência energética de uma residência unifamiliar em diferentes zonas climáticas de Portugal pelo RCCTE. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.
- DEGLIN, D.; CAENEGEM, L. VAN; DEHON, P. - Subsoil Heat Exchangers for the Air Conditioning of Livestock Buildings. (1998).
- FEIST, WOLFGANG- Certification as "Quality-Approved Energy Retrofit with Passive House Components". 2010.
- FENERCOM - Guía del Estándar Passivhaus. Madrid: 2011.
- FERREIRA, TIAGO - Sobre a Utilização do Sistema de Isolamento Térmico pelo Interior em Edifícios Residenciais em Portugal - Análise do Desempenho Higrotérmico. Porto: Universidade do Porto, 2006.
- FRÉDÉRIC KUZNIK [et al.] - A review on phase change materials integrated in building walls. 2010.
- FRÉDÉRIC KUZNIK; JOSEPH VIRGONE; NOEL, JEAN - Optimization of a phase change material wallboard for building use. (2008).
- HARALD MEHLING; CABEZA, LUISA F. - Heat and cold storage with PCM - an up to date introduction into basics and applications. 2008.
- <HTTP://POLYSTERM.COM/ISOLAMENTO-TERMICO.HTM> - Sistema Polysterm 2012
- <HTTP://WWW.GEOCITIES.WS/SALADEFISICA5/LEITURAS/SOLAR.HTML> - 2012
- INSTITUTE, PASSIVE HOUSE- Passipedia. 2001.

- IRELAND, SEI-SUSTAINABLE ENERGY - Retrofitted Passive Homes - Guidelines for upgrading existing dwellings in Ireland to the Passivhaus Standard. (2009).
- JIMENO, CARLOS LÓPEZ - Guía de Rehabilitación Energética de Edificios e de Viviendas. Madrid: 2008.
- KAURANEN, P.; PEIPPO, K.; LUND, P.D. - An organic PCM storage system with adjustable melting temperature. 1991.
- KNOWLER, T. - Proportioning composites for efficient-TSWs. 1983.
- LOPES, GRANDÃO - Revestimentos de Impermeabilização de Coberturas em Terraço. (1995).
- MAGALHÃES, MANUEL - Estudo de caso de residência de energia zero baseada no regulamento energético de Portugal. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.
- MCLEOD, ROB [et al.] - Passivhaus Primer - Desinger's Guide. A guide for the design team and local authorities. (2006).
- PASSIVE-ON - A descrição longa do Passive-on. (2007a).
- PASSIVE-ON- Design Guidelines for Comfortable Low Energy Homes - Part 3. Comfort, climate and passive strategies: The Passivhaus Standard in European Warm Climates. 2007b.
- PASSIVE-ON- Diretrizes de Projeto para Casas Confortáveis de Baixo Consumo Energético - Parte 1. Revisão de casas confortáveis de baixo consumo energético: A Norma Passivhaus em Climas Quentes da Europa. 2007c.
- PASSIVE-ON - Passive Home Training Module for Architects and Planners. Marketable Passive Homes for Winter and Summer Comfort. (2007d).
- PEIPPO, K.; KAURANEN, P.; LUND, P.D. - A multicomponent PCM wall optimized for passive solar heating. 1991.
- Dec. Lei - 80/2006 - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Publicação em Diário da República; 4 de Abril de 2006
- RODRIGUES, VASCO - Aplicações de PCMs na climatização de edifícios.(2009a).
- RUBEN BAETENS; BJORN PETTER JELLE; GUSTAVSEN, ARILD - Phase change materials for buildings applications: A state of art review. (2008).
- SILVA, NELSON TIAGO DIAS FERREIRA DE - Incorporação de materiais de mudança de fase em materiais de construção. 2009a.
- SILVA, NELSON TIAGO DIAS FERREIRA DE - Incorporação de materiais de mudança de fase em materiais de construção. (2009b).
- SILVA, TIAGO; VICENTE, ROMEU; SOARES, NELSON - PCM incorporation into building envelope masonry walls. 2011.
- SIMÕES, FAUSTO - Do Fator-Forma, à Vida no Espaço entre os Edifícios. (2009).
- SIMON TAYLOR A [et al.] - Reduction of greenhouse gas emissions from UK hotels in 2030. (2009).
- SOARES, NELSON MIGUEL LOPES - Desenvolvimento de um modelo numérico para um sistema de armazenamento de energia solar térmica - "PCM shutter". 2010a.

SOARES, NELSON MIGUEL LOPES - Desenvolvimento de um modelo numérico para um sistema de armazenamento de energia solar térmica - "PCM shutter". (2010b).

SOTO, JESÚS- El Estándar Passivhaus - Guía de diseño de edificios "Casi Cero" Certificados: II Congreso Hogar Digital. 2011.

STEUDLE, PETER; ANDERSON, JAMES - Passivhaus Primer. (2005).

STRITIH, U.; NOVAK, P. - Solar heat storage wall for building ventilation. 1996.

TILFORD, ADAM; MEAD, KYM; MCLEOD, TOB - Passivhaus primer - Contractor's guide. So you've been asked to build a Passivhaus? (2006).

VERSAGE, ROGÉRIO - Ventilação Natural e Desempenho Térmico de Edifícios Verticais Multifamiliares em Campo Grande, MS. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

VINEET VEER TYAGI; BUDDHI, D. - PCM thermal storage in buildings: A state of art. 2005.

<http://WWW.EDIFIQUE.ARQ.BR> - Diagrama de insolação . Publicação On-Line.2012.

XIAO M; FENG B; K, GONG - Preparation and performance of shape stabilizes phase change thermal storage materials with high thermal conductivity. Energy conversion and management. 2002.

YAMAGISHI Y [et al.] - An evaluation of microencapsulated PCM for use in cold energy transportation medium. In: Proceedings of the 31st Intersociety energy conversion engineering conference. 1996.

ZHANG, YINPING [et al.] - Thermal storage and nonlinear heat-transfer characteristic of PCM wallboard. 2008.



## **ANEXOS**



## **ANEXOS**

**ANEXO I – Folhas de cálculo do RCCTE – solução projeto**

**ANEXO II – Cálculos auxiliares – solução projeto**

**ANEXO III – Folhas de cálculo do RCCTE – solução final**

**ANEXO IV – Cálculos auxiliares – solução final**

## **ANEXO I – Folhas de cálculo do RCCTE – solução projeto**

**DADOS – Dados gerais para folhas de cálculo**

**FCIV.1A – Perdas associadas à envolvente exterior**

**FCIV.1B – Perdas associadas à envolvente interior**

**FCIV.1C – Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores**

**FCIV.1D – Perdas associadas à renovação de ar**

**FCIV.1E – Ganhos úteis na estação de aquecimento (inverno)**

**FCIV.1F – Valor máximo das necessidades de aquecimento ( $N_i$ )**

**FCIV.2 – Cálculo do indicador  $N_{ic}$**

**FCV.1A – Perdas**

**FCV.1B – Perdas associadas a coberturas e envidraçados exteriores**

**FCV.1C – Ganhos solares pela envolvente opaca**

**FCV.1D – Ganhos solares pelos envidraçados exteriores**

**FCV.1E – Ganhos internos**

**FCV.1F – Ganhos totais na estação de arrefecimento (verão)**

**FCV.1G – Valor das necessidades nominais de arrefecimento ( $N_{vc}$ )**

**FCVI – Necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária**

<b>DADOS</b>	
<b>Concelho</b>	Aveiro
<b>Edifício</b>	Edifício Residencial - Moradia
<b>Tipo de uso</b>	Residencial
<b>Tipologia da fração T -</b>	4
<b>Piso</b>	2,00
<b>Área útil do pavimento (m<sup>2</sup>)</b>	136,00
<b>Pé direito médio (m)</b>	2,51
<b>Altura da fachada ao solo (m)</b>	1,00
<b>Região</b>	Região A
<b>Altura da fachada ao solo</b>	<10m
<b>Rugosidade</b>	II
<b>Utilização</b>	Permanente
<b>Zona climática inverno</b>	I1
<b>Número Graus-dias [°C.dias]</b>	1390
<b>Duração estação aquecimento (meses)</b>	6
<b>Energia solar média incidente (kWh/m<sup>2</sup>.mês)</b>	108
<b>Zona climática verão</b>	V1-N
<b>Temperatura exterior do projeto (°C)</b>	29
<b>Amplitude térmica (°C)</b>	9
<b>Temperatura média do ar exterior (°C)</b>	19

## Folha de cálculo FC IV.1a

### Perdas Associadas à Envoltente Exterior

Paredes exteriores	Orientação	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
PE 1 - Parede exterior 1 - N	N	13,97	0,46	6,44
PE 1 - Parede exterior 1 - E	E	11,89	0,46	5,48
PE 1 - Parede exterior 1 - S	S	0,93	0,46	0,43
PE 2 - Parede exterior 1 - N	N	4,79	0,47	2,26
PE 2 - Parede exterior 1 - W	W	1,05	0,47	0,49
PE 3 - Parede exterior 1 - E	E	4,84	0,44	2,14
PE 3 - Parede exterior 1 - W	W	29,55	0,44	13,09
PE 4 - Parede exterior 1 - E	E	15,44	0,45	6,98
PE 4 - Parede exterior 1 - S	S	5,55	0,45	2,51
<b>TOTAL</b>		<b>88,01</b>	<b>TOTAL</b>	<b>39,82</b>

Pontes Térmicas Planas	Orientação	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
PTPe 1 - Pilares e vigas periféricas - N	N	0,70	0,65	0,46
PTPe 1 - Pilares e vigas periféricas - E	E	2,81	0,65	1,84
PTPe 1 - Pilares e vigas periféricas - S	S	5,49	0,65	3,59
PTPe 2 - Pilares e vigas periféricas - N	N	1,32	0,67	0,89
PTPe 3 - Pilares e vigas periféricas - E	E	1,34	0,62	0,83
PTPe 3 - Pilares e vigas periféricas - W	W	5,02	0,62	3,10
PTPe 4 - Pilares e vigas periféricas - E	E	2,57	0,64	1,63
PTPe 4 - Pilares e vigas periféricas - S	S	0,48	0,64	0,31
<b>TOTAL</b>		<b>19,73</b>	<b>TOTAL</b>	<b>12,65</b>

Pavimentos exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
LPE 1 - pavimento exterior 1	3,38	0,63	2,13
LPE 2 - pavimento exterior 2	0,95	0,67	0,63
<b>TOTAL</b>	<b>4,33</b>	<b>TOTAL</b>	<b>2,76</b>

Coberturas exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
LCE 1 - laje de cobertura 1	4,95	0,61	3,04
LCE 2 - laje de cobertura 2	65,47	0,56	36,97
<b>TOTAL</b>	<b>70,42</b>	<b>TOTAL</b>	<b>40,01</b>

<b>Pontes Térmicas lineares. Ligações entre:</b>	<b>Comprimento B (m)</b>	<b><math>\psi</math> (W/m °C)</b>	<b><math>\psi \cdot B</math> (W/°C)</b>
Fachada com pavimentos intermédios	14,53	0,3	4,36
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	30,77	0,7	21,54
Fachada com varanda	21,84	0,45	9,83
Duas paredes verticais	25	0,2	5,00
Fachada/padieira, ombreira ou peitoril	84,2	0,2	16,84
Fachada com soleira	18,4	0,5	9,20
Outra	40,36	0,5	20,18
<b>TOTAL</b>			<b>86,95</b>

**Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma (W/°C)**

**TOTAL**

**182,18**

## Folha de cálculo FC IV.1b

### Perdas Associadas à Envoltente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	t (-)	U.A.t (W/°C)
PI 1 - Parede Interior 1 - garagem	6,30	0,44	0,80	2,23
PI 2 - Parede Interior 2 - garagem	6,76	0,45	0,80	2,44
<b>TOTAL</b>				<b>4,68</b>

Pontes Térmicas Planas	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	t (-)	U.A.t (W/°C)
PTPi 1 - ponte térmica plana zona de talão de viga	0,55	0,62	0,80	0,27
PTPi 2 - ponte térmica plana zona de pilar e de talão de viga	1,21	0,64	0,80	0,62
<b>TOTAL</b>				<b>0,89</b>

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	t (-)	U.A.t (W/°C)
LPI 1 - pavimento interior 1 - Desvão sanitário	36,61	1,17	0,50	21,37
LPI 2 - pavimento interior 2 - Desvão sanitário	27,32	1,31	0,50	17,86
<b>TOTAL</b>				<b>39,23</b>

Pontes Térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não - úteis com t > 0,7	Comprimento (B) (m)	ψ (W/m°C)	t (-)	ψ.B.t (W/°C)
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	5,78	0,70	0,80	3,24
Duas paredes verticais	2,20	0,20	0,80	0,35
Outra	5,78	0,50	0,80	2,31
<b>TOTAL</b>				<b>5,90</b>

<b>Perdas pela Envoltente Interior da Fracção Autónoma (W/°C)</b>	<b>TOTAL</b>	<b>50,70</b>
---	--------------	--------------

**Folha de cálculo FC IV.1c**

**Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores**

<b>Vãos envidraçados exteriores</b>	<b>Orientação</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup> °C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
<b>Verticais</b>				
Env 1	N	3,15	2,90	9,14
Env 2	N	3,15	2,90	9,14
Env 3	E	4,60	3,30	15,18
Env 4	E	3,42	2,90	9,92
Env 5	S	10,29	2,90	29,84
Env 6	S	2,52	2,90	7,31
Env 7	N	3,15	2,90	9,14
Env 8	N	3,15	2,90	9,14
Env 9	E	1,47	2,90	4,26
Env 10	E	1,60	2,90	4,64
Env 11	E	0,42	2,90	1,22
Env 12	E	0,42	2,90	1,22
Env 13	S	4,62	2,90	13,40
Env 14	S	3,78	2,90	10,96
Env 15	W	0,96	2,90	2,78
<b>Horizontais:</b>				
-		-	-	-
<b>TOTAL</b>		<b>46,70</b>	<b>TOTAL</b>	
			<b>137,27</b>	

### Folha de cálculo FC IV.1d

#### Perdas associadas à renovação de ar

Área útil de pavimento (Ap)	136,00	(m <sup>2</sup> )
	<b>x</b>	
Pé direito médio (Pd)	2,51	(m)
	<b>=</b>	
Volume interior (V)	341,36	(m <sup>3</sup> )

#### Ventilação Natural

Cumprir NP 1037-1 ?	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>	<b>se SIM: RPH = 0.6</b>
<b>Se NÃO:</b>			
Classe da Caixilharia	(s/c, 1,2 ou 3)	<input type="text" value="Sem Classificação"/>	
Caixas de estore	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>	
			Taxa de renovação nominal :
Classe de exposição	(1,2,3 ou 4)	<input type="text" value="2"/>	<b>RPH = 1,00</b>
Aberturas autorreguladas?	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>	
Área de envidraçados >15%xAp?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>	Ver Quadro IV.1
Portas exteriores bem vedadas ?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>	

Volume	<input type="text" value="341,36"/>	
	<b>x</b>	
Taxa de renovação nominal	<input type="text" value="1,00"/>	
	<b>x</b>	
	<input type="text" value="0,34"/>	
	<b>=</b>	
<b>TOTAL</b>	<input type="text" value="116,06"/>	(W/°C)



Folha de cálculo FC IV.1e

Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Vão Envidraçado	Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área (m <sup>2</sup> )	Factor de Orientação X (-)	Factor solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs(-)=Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (Inv)	Área Efetiva (m <sup>2</sup> )
Env 1	N	Vidro Duplo	3,15	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,34
Env 2	N	Vidro Duplo	3,15	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,34
Env 3	E	Vidro Duplo	4,60	0,56	0,55	0,53	0,70	0,90	0,47
Env 4	E	Vidro Duplo	3,42	0,56	0,63	0,76	0,70	0,90	0,57
Env 5	S	Vidro Duplo	10,29	1,00	0,63	0,58	0,70	0,90	2,38
Env 6	S	Vidro Duplo	2,52	1,00	0,63	0,50	0,70	0,90	0,50
Env 7	N	Vidro Duplo	3,15	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,34
Env 8	N	Vidro Duplo	3,15	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,34
Env 9	E	Vidro Duplo	1,47	0,56	0,63	0,58	0,70	0,90	0,19

(...cont)

Vão Envidraçado	Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área (m <sup>2</sup> )	Factor de Orientação X (-)	Factor solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs(-)=Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (Inv)	Área Efetiva (m <sup>2</sup> )
Env 10	E	Vidro Duplo	1,60	0,56	0,63	0,72	0,70	0,90	0,26
Env 11	E	Vidro Duplo	0,42	0,56	0,63	0,76	0,70	0,90	0,07
Env 12	E	Vidro Duplo	0,42	0,56	0,63	0,76	0,70	0,90	0,07
Env 13	S	Vidro Duplo	4,62	1,00	0,63	0,59	0,70	0,90	1,08
Env 14	S	Vidro Duplo	3,78	1,00	0,63	0,57	0,70	0,90	0,86
Env 15	W	Vidro Duplo	0,96	0,56	0,63	0,76	0,70	0,90	0,16
Área Efetiva Total equivalente na orientação SUL (m <sup>2</sup> )									7,975
									x
Radiação incidente num envidraçado a Sul (G <sub>sul</sub> ) na zona I1 (KWh/m <sup>2</sup> .mês) - do Quadro 8 (Anexo III)									108,00
									x
Duração da Estação de Aquecimento (meses)									6,0
									=
<b>Ganhos Solares Brutos (KWh/ano)</b>									<b>5167,97</b>

**Ganhos Internos:**

Ganhos internos médios	(Quadro IV.3)	4,00	(W/m2)
		x	
Duração da Estação de Aquecimento (Q III.1)		6,0	(meses)
		x	
Área útil de pavimento		136,00	(m2)
		x	
		0,72	
		=	
<b>Ganhos Internos Brutos</b>		<b>2350,08</b>	<b>(KWh/ano)</b>

**Ganhos Totais Úteis:**

$\gamma =$	Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos		7518,05
	Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)		16220,07
Inércia do Edifício:	<b>Forte</b>	a =	4,2
		$\gamma =$	<b>0,464</b>
Factor de Utilização dos Ganhos Solares	( $\eta$ )		0,978
			x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos			7518,05
			=
<b>Ganhos Totais Úteis</b>		<b>(KWh/ano)</b>	<b>7355,45</b>

## Folha de cálculo FC IV.1f

### Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

#### FACTOR DE FORMA

Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)

(m<sup>2</sup>)

Paredes Exteriores	107,74
Coberturas Exteriores	70,42
Pavimentos Exteriores	4,33
Envidraçados Exteriores	46,70

Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A.t)

Paredes Interiores	11,86
Coberturas Interiores	0,00
Pavimentos Interiores	31,97
Envidraçados Interiores	0,00

Área Total: 273,01

/

Volume (da FC IV.1d): 341,36

=

**FF** **0,800**

**Graus-Dia no Local (°C.dia)**

1390,0

Ni = 4,5 + 0,0395 GD para FF ≤ 0,5

Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD para 0,5 < FF < =1

Ni = (4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD) (1,2 - 0,2 FF) para 1 < FF < =1,5

Ni = 4,05 + 0,06885 GD para FF > 1,5

**Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - Ni (KWh/m<sup>2</sup>.ano)**

74,82

<b>Folha de cálculo FC IV.2</b>
<b>Cálculo do Indicador (Nic)</b>

<b>Perdas térmicas associadas a:</b>	<b>(W/°C)</b>
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)	182,18
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	50,70
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	137,27
Renovação de Ar (da FC IV.1d)	116,06
<b>Coefficiente Global de Perdas (W/°C)</b>	<b>486,21</b>
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1390
	x
	0,024
	=
<b>Necessidades Brutas de Aquecimento (KWh/ano)</b>	<b>16220,07</b>
	+
Consumo de Eletricidade para os Ventiladores ( $E_v = P_v \cdot 24 \cdot 0,03 \cdot M$ (KWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (KWh/ano) (da FC IV.1e)	7355,45
	=
<b>Necessidades de Aquecimento (KWh/ano)</b>	<b>8864,62</b>
	/
Área Útil de pavimento (m <sup>2</sup> )	136,00
	=
<b>Necessidades Nominais de Aquecimento - Nic (KWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>65,18</b>
	<
<b>Necessidades Nominais Máximas de Aquecimento - Ni (KWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>74,82</b>

## Folha de cálculo FC V.1a

### Perdas

Perdas Associadas às Paredes Exteriores (U.A)	(FC IV1.a)	52,47	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas aos Pavimentos Exteriores (U.A)	(FC IV1.a)	2,76	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas às Coberturas Exteriores (U.A)	(FC V1.a)	40,01	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas aos Envidraçados Exteriores (U.A)	(FC V1.c)	137,27	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas à Renovação de Ar	(FC IV1.d)	116,06	(W/°C)
		=	
<b>Perdas Específicas Totais</b>	(Q1a)	<b>348,57</b>	<b>(W/°C)</b>

Temperatura Interior de Referência		25	(°C)
		-	
Temperatura média do Ar Exterior na Estação de Arrefecimento (Quadro III 9)		19	(°C)
		=	
Diferença de Temperatura Exterior e Interior		6	(°C)
		x	
Perdas Específicas Totais	(Q1a)	348,57	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
<b>Perdas Térmicas Totais</b>	(Q1b)	<b>6123,67</b>	<b>(KWh)</b>

**Folha de cálculo FC V.1b****Perdas Associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores****Perdas Associadas às Coberturas Exteriores:**

<b>Coberturas Exteriores</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup> °C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
LCE 1 - laje de cobertura 1	4,95	0,61	3,04
LCE 2 - laje de cobertura 2	65,47	0,56	36,97
		<b>TOTAL</b>	<b>40,01</b>

**Perdas Associadas aos Envidraçados Exteriores:**

<b>Vãos envidraçados exteriores</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U</b>	<b>U.A</b>
<b>Verticais:</b>	(m <sup>2</sup> )	(W/m <sup>2</sup> °C)	(W/°C)
Env 1	3,15	2,90	9,14
Env 2	3,15	2,90	9,14
Env 3	4,60	3,30	15,18
Env 4	3,42	2,90	9,92
Env 5	10,29	2,90	29,84
Env 6	2,52	2,90	7,31
Env 7	3,15	2,90	9,14
Env 8	3,15	2,90	9,14
Env 9	1,47	2,90	4,26
Env 10	1,60	2,90	4,64
Env 11	0,42	2,90	1,22
Env 12	0,42	2,90	1,22
Env 13	4,62	2,90	13,40
Env 14	3,78	2,90	10,96
Env 15	0,96	2,90	2,78
<b>Horizontais:</b>			
-	-	-	-
		<b>TOTAL</b>	<b>137,27</b>

Folha de cálculo FC V.1c

Ganhos Solares Pela Envolvente Opaca Exterior

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

	Paredes exteriores									Coberturas exteriores		Pontes Térmicas Planas							
	PE 1	PE 1	PE 1	PE 2	PE 2	PE 3	PE 3	PE 4	PE 4	LCE 1	LCE 2	PTPe 1	PTPe 1	PTPe 1	PTPe 2	PTPe 3	PTPe 3	PTPe 4	PTPe 4
	N	E	S	N	W	E	W	E	S	Horiz.	Horiz.	N	E	S	N	E	W	E	S
Área - A (m <sup>2</sup> )	13,97	11,89	0,93	4,79	1,05	4,84	29,55	15,44	5,55	4,95	65,47	0,70	2,81	5,49	1,32	1,34	5,02	2,57	0,48
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
U (W/m <sup>2</sup> °C)	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47	0,44	0,44	0,45	0,45	0,61	0,56	0,65	0,65	0,65	0,67	0,62	0,62	0,64	0,64
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Coefficiente de absorção - a	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,80	0,80	0,80	0,80	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,80	0,80	0,80	0,80
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
a.U.A (W/°C)	2,58	2,19	0,17	0,90	0,20	1,71	10,47	5,58	2,01	1,22	14,79	0,18	0,74	1,44	0,36	0,66	2,48	1,31	0,24
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Int. rad. solar estação. arref. (kWh/m <sup>2</sup> )	200	420	380	200	420	420	420	420	380	730	730	200	420	380	200	420	420	420	380
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
(Quadro III-9)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos solares envolvente opaca exterior (kWh)	20,62	36,85	2,61	7,22	3,32	28,81	175,88	93,75	30,49	35,56	431,76	1,47	12,36	21,84	2,85	11,13	41,70	21,95	3,71
	<b>TOTAL</b>																		
	<b>983,85</b>																		



Folha de cálculo FC V.1d

Ganhos Solares Pelos Envidraçados Exteriores

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

	Env 1	Env 2	Env 3	Env 4	Env 5	Env 6	Env 7	Env 8	Env 9	Env 10	Env 11	Env 12	Env 13	Env 14	Env 15
	N	N	E	E	S	S	N	N	E	E	E	E	S	S	W
Área - A (m <sup>2</sup> )	3,15	3,15	4,60	3,42	10,29	2,52	3,15	3,15	1,47	1,60	0,42	0,42	4,62	3,78	0,96
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor solar do vão envidraçado (1)	0,48	0,48	0,55	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fracção envidraçada - Fg (Quadro IV.5)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor de obstrução - Fs (2)	0,90	0,90	0,61	0,90	0,55	0,49	0,90	0,90	0,62	0,90	0,90	0,90	0,55	0,55	0,90
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor seletividade vidro – Fw	0,80	0,80	0,85	0,85	0,75	0,75	0,80	0,80	0,85	0,85	0,85	0,85	0,75	0,75	0,85
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Área efetiva - Ae (m <sup>2</sup> )	0,77	0,77	0,92	0,89	1,45	0,31	0,77	0,77	0,26	0,41	0,11	0,11	0,65	0,52	0,25
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Int. rad. solar estação. arref. (kWh/m <sup>2</sup> )	200	200	420	420	380	380	200	200	420	420	420	420	380	380	420
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos Sol. Env. Ext. (kWh)	153,68	153,68	385,17	372,29	550,96	119,27	153,68	153,68	109,73	174,17	45,72	45,72	246,98	199,01	104,50
	<b>TOTAL</b>														
	<b>2968,2</b>														

### Folha de cálculo FC V.1e

#### Ganhos Internos

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	4,00	(W/m <sup>2</sup> )
	x	
Área útil de pavimento	136,00	(m <sup>2</sup> )
	x	
	2,928	
	=	
<b>Ganhos Internos Totais</b>	<b>1592,83</b>	(kWh)

### Folha de cálculo FC V.1f

#### Ganhos Totais na Estação de Arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos envidraçados exteriores (FC V.1d)	2968,25	(kWh)
	+	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior (FC V.1c)	983,85	(kWh)
	+	
Ganhos Internos (FC V.1e)	1592,83	(kWh)
	=	
<b>Ganhos Térmicos Totais</b>	<b>5544,94</b>	(kWh)

## Folha de cálculo FC V.1g

### Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais	(FC V.1f)	5544,94	(kWh)
		/	
Perdas Térmicas Totais	(FC V.1a)	6123,67	(kWh)
		=	
G		0,9055	
Inércia do edifício		Forte	a = 4,2

		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos solares, $\eta$		0,846	
		=	
		0,15	
		x	
Ganhos Térmicos Totais (kWh) (FC V.1f)		5544,94	
		=	
Necessidades brutas de arrefecimento (kWh/ano)		856,48	
		+	
Consumo dos ventiladores (kWh) (se houver, exaustor da cozinha excluído)		0,0	(Ev=Pv.24.0,03.4)
		=	
	<b>TOTAL</b>	856,48	(KWh/ano)
		/	
Área útil de pavimento (m <sup>2</sup> )		136,00	
		=	
<b>Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc</b>		<b>6,30</b>	(KWh/m <sup>2</sup> .ano)
		<	
<b>Necessidades nominais de arrefecimento máximas - Nv</b>		<b>16</b>	(KWh/m <sup>2</sup> .ano)

## Folha de cálculo FC VI

### Necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária

#### Verificação das necessidades nominais de energia primária:

Necessidades nominais de aquecimento $N_{ic}$	65,18	kWh/m <sup>2</sup> .ano
Eficiência nominal dos equipamentos para aquecimento $\eta_i$	0,87	-
Fator de conversão $F_{pu}$ (aquecimento)	0,09	kgep/kWh
Necessidades nominais de arrefecimento $N_{vc}$	6,30	kWh/m <sup>2</sup> .ano
Eficiência nominal dos equipamentos para arrefecimento $\eta_{vc}$	3,00	-
Fator de conversão $F_{pu}$ (arrefecimento)	0,29	kgep/kWh
Necessidade de energia para preparação de AQS - $N_{ac}$	14,11	kWh/m <sup>2</sup> .ano
Eficiência nominal dos equipamentos para AQS $\eta_{ac}$	0,87	-
Fator de conversão $F_{pu}$ (AQS)	0,09	kgep/kWh

Necessidades nominais de aquecimento máximas $N_i$	74,82	kWh/m <sup>2</sup> .ano
Necessidades nominais de arrefecimento máximas $N_v$	16,00	kWh/m <sup>2</sup> .ano
Necessidades máximas de energia para preparação de AQS $N_a$	43,48	kWh/m <sup>2</sup> .ano

Nec. globais anuais nominais específicas de energia primária $N_{tc}$	1,92	kgep/m <sup>2</sup> .ano
---	------	--------------------------

<

Nec. globais máximas nominais anuais específicas de energia primária $N_t$	6,69	kgep/m <sup>2</sup> .ano
--	------	--------------------------

Edifício Regulamentar

$N_{tc}/N_t =$	0,287
Classe energética	A

## **ANEXO II – Cálculos auxiliares (Solução projeto)**

**i.1. Cálculo dos coeficientes de transmissão térmica, U, em elementos opacos exteriores**

**i.2. Cálculo dos coeficientes de transmissão térmica, U, em elementos opacos interiores**

**ii.1. Definição dos valores de  $\Psi$  em pontes térmicas lineares (Tabela IV.3 do RCCTE)**

**iii.1. Cálculo da inércia térmica interior**

**iv.1. Determinação dos fatores solares  $F_0$  na situação de inverno**

**iv.2. Determinação dos fatores solares  $F_0$  na situação de verão**

**Cálculo do Coeficiente de Transmissão Térmica - U**  
**ZONAS CORRENTES E PONTES TÉRMICAS PLANAS**

**Paredes exteriores**

**PE 1 - Parede Exterior 1 - alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm ( $R_j = 0,66 \text{ m}^2/\text{W}\cdot^\circ\text{C}$ ) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ) sendo o paramento interior revestido a gesso projectado de 2 cm ( $\lambda = 0,3 \text{ W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ ( $\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ )	$R_j=d_j/\lambda_j$ ( $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (15 cm)	0,150	—	0,390	ITE 50
caixa de ar (2 cm)	0,020	—	0,175	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (4 cm)	0,040	0,037	1,081	ITE 50
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (11 cm)	0,110	—	0,270	ITE 50
Gesso projectado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	600 - 900 kg/m <sup>3</sup>
		<b>R<sub>si</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>se</sub></b>	0,04	
		<b>R<sub>si</sub> + <math>\sum R_j</math> + R<sub>se</sub> =</b>	2,17	
		<b>U = 1/(R<sub>si</sub> + <math>\sum R_j</math> + R<sub>se</sub>)</b>	<b>0,46</b>	W/m <sup>2</sup> °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>max</sub></b>		<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub>      1,80</b>

**PE 2 - Parede Exterior 2 - alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm ( $R_j = 0,66 \text{ m}^2/\text{W}\cdot^\circ\text{C}$ ) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm na face exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ) e revestimento cerâmico de 1,5 cm na face interior - zona da cozinha e IS ( $\lambda = 1,04 \text{ W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ ( $\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ )	$R_j=d_j/\lambda_j$ ( $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (15 cm)	0,150	—	0,390	ITE 50
caixa de ar (2 cm)	0,020	—	0,175	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (4 cm)	0,040	0,037	1,081	ITE 50
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (11 cm)	0,110	—	0,270	ITE 50
Reboco (1 cm)	0,010	1,300	0,008	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Revestimento Cerâmico (1,5 cm)	0,015	1,040	0,014	ITE 50
		<b>R<sub>si</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>se</sub></b>	0,04	
		<b>R<sub>si</sub> + <math>\sum R_j</math> + R<sub>se</sub> =</b>	2,12	
		<b>U = 1/(R<sub>si</sub> + <math>\sum R_j</math> + R<sub>se</sub>)</b>	<b>0,47</b>	W/m <sup>2</sup> °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>max</sub></b>		<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub>      1,80</b>

**PE 3 - Parede Exterior 3 - alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm ( $R_j = 0,66 \text{ m}^2/\text{W}\cdot^\circ\text{C}$ ) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ) sendo o paramento interior revestido a gesso projectado de 2 cm ( $\lambda = 0,3 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ). A parede é dotada de um sistema de fachada ventilada constituído por ripado de madeira acente sobre suporte perfazendo uma caixa de ar ventilada.**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ ( $\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ )	$R_j=d_j/\lambda_j$ ( $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (15 cm)	0,150	–	0,390	ITE 50
caixa de ar (2 cm)	0,020	–	0,175	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (4 cm)	0,040	0,037	1,081	ITE 50
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (11 cm)	0,110	–	0,270	ITE 50
Gesso projectado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	600 - 900 kg/m <sup>3</sup>
		<b>R<sub>si</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>se</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>=</b>	2,26	
		<b>U = 1/(R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>)</b>	<b>0,44</b>	W/m <sup>2</sup> °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>max</sub></b>		<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub></b> <b>1,80</b>

**PE 4 - Parede Exterior 4 - alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm ( $R_j = 0,66 \text{ m}^2/\text{W}\cdot^\circ\text{C}$ ) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm na face exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ) e revestimento cerâmico de 1,5 cm na face interior - zona da cozinha e IS ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ). A parede é dotada de um sistema de fachada ventilada constituído por ripado de madeira acente sobre suporte perfazendo uma caixa de ar ventilada.**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ ( $\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ )	$R_j=d_j/\lambda_j$ ( $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (15 cm)	0,150	–	0,390	ITE 50
caixa de ar (2 cm)	0,020	–	0,175	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (4 cm)	0,040	0,037	1,081	ITE 50
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (11 cm)	0,110	–	0,270	ITE 50
Reboco (1 cm)	0,010	1,300	0,008	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Revestimento Cerâmico (1,5 cm)	0,015	1,040	0,014	ITE 50
		<b>R<sub>si</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>se</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>=</b>	2,21	
		<b>U = 1/(R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>)</b>	<b>0,45</b>	W/m <sup>2</sup> °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>max</sub></b>		<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub></b> <b>1,80</b>

**PTPe 1 - Ponte térmica plana exterior 1 - zona de pilar e de talão de viga - correcção pelo exterior. Pilar / Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) corrigidos pelo exterior com 4 cm de XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e por forra cerâmica de 3 cm ( $R_j = 0,07 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e paramento interior revestido a gesso projectado de 2 cm ( $\lambda = 0,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ\text{C}$ )	$R_j=dj/\lambda_j$ (m $^2$ . $^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m $^3$
Forra cerâmica (3 cm)	0,030	—	0,070	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (4 cm)	0,040	0,037	1,081	ITE 50
Pano de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50
Gesso projectado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	600 - 900 kg/m $^3$

$$\begin{aligned}
 R_{si} &= 0,13 \\
 R_{se} &= 0,04 \\
 R_{si} + \sum R_j + R_{se} &= 1,53 \\
 U = 1/(R_{si} + \sum R_j + R_{se}) &= \mathbf{0,65} \quad \text{W/m}^2\text{C}
 \end{aligned}$$

**Verificação dos requisitos mínimos**

$$U_{p.t.plana} \leq U_{max}$$

$$U_{p.t.plana} \leq 2 \cdot U_{z.corrente}$$

	Umáx	<b>1,80</b>
sim	Uz.corrente	<b>0,46</b>
sim	2 x Uz.corrente	<b>0,92</b>

**PTPe 2 - Ponte térmica plana exterior 2 - zona de pilar e de talão de viga - correcção pelo exterior. Pilar / Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) corrigidos pelo exterior com 4 cm de XPS ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e por forra cerâmica de 3 cm ( $R_j = 0,07 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm na face exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e revestimento cerâmico de 1,5 cm na face interior - zona da cozinha e IS ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ\text{C}$ )	$R_j=dj/\lambda_j$ (m $^2$ . $^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m $^3$
Forra cerâmica (3 cm)	0,030	—	0,070	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (4 cm)	0,040	0,037	1,081	ITE 50
Pano de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50
Reboco (1 cm)	0,010	1,300	0,008	1800 - 2000 kg/m $^3$
Revestimento Cerâmico (1,5 cm)	0,015	1,040	0,014	ITE 50

$$\begin{aligned}
 R_{si} &= 0,13 \\
 R_{se} &= 0,04 \\
 R_{si} + \sum R_j + R_{se} &= 1,48 \\
 U = 1/(R_{si} + \sum R_j + R_{se}) &= \mathbf{0,67} \quad \text{W/m}^2\text{C}
 \end{aligned}$$

**Verificação dos requisitos mínimos**

$$U_{p.t.plana} \leq U_{max}$$

$$U_{p.t.plana} \leq 2 \cdot U_{z.corrente}$$

	Umáx	<b>1,80</b>
sim	Uz.corrente	<b>0,47</b>
sim	2 x Uz.corrente	<b>0,94</b>



**PTPe 3 - Ponte térmica plana exterior 3 - zona de pilar e de talão de viga - correcção pelo exterior. Pilar / Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) corrigidos pelo exterior com 4 cm de XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e por forra cerâmica de 3 cm ( $R_j = 0,07 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e paramento interior revestido a gesso projectado de 2 cm ( $\lambda = 0,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ). A parede é dotada de um sistema de fachada ventilada constituído por ripado de madeira acente sobre suporte perfazendo uma caixa de ar ventilada.**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ\text{C}$ )	$R_j=d_j/\lambda_j$ (m $^2$ . $^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m $^3$
Forra cerâmica (3 cm)	0,030	—	0,070	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (4 cm)	0,040	0,037	1,081	ITE 50
Pano de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50
Gesso projectado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	600 - 900 kg/m $^3$
		<b>Rsi</b>	0,13	
		<b>Rse</b>	0,13	
		<b>Rsi+<math>\sum R_j</math>+Rse=</b>	1,62	
		<b>U = 1/(Rsi+<math>\sum R_j</math>+Rse)</b>	<b>0,62</b>	W/m $^2$ $^\circ\text{C}$
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>				<b>Umáx</b>   <b>1,80</b>
	<b>Up.t.plana <math>\leq</math> Umax</b>		<b>sim</b>	<b>Uz.corrente</b>   <b>0,44</b>
	<b>Up.t.plana <math>\leq</math> 2*Uz.corrente</b>		<b>sim</b>	<b>2 x Uz.corrente</b>   <b>0,89</b>

**PTPe 4 - Ponte térmica plana exterior 4 - zona de pilar e de talão de viga - correcção pelo exterior. Pilar / Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) corrigidos pelo exterior com 4 cm de XPS ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e por forra cerâmica de 3 cm ( $R_j = 0,07 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm na face exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e revestimento cerâmico de 1,5 cm na face interior - zona da cozinha e IS ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ). A parede é dotada de um sistema de fachada ventilada constituído por ripado de madeira acente sobre suporte perfazendo uma caixa de ar ventilada.**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ\text{C}$ )	$R_j=d_j/\lambda_j$ (m $^2$ . $^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m $^3$
Forra cerâmica (3 cm)	0,030	—	0,070	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (4 cm)	0,040	0,037	1,081	ITE 50
Pano de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50
Reboco (1 cm)	0,010	1,300	0,008	1800 - 2000 kg/m $^3$
Revestimento Cerâmico (1,5 cm)	0,015	1,040	0,014	1800 - 2000 kg/m $^3$
		<b>Rsi</b>	0,13	
		<b>Rse</b>	0,13	
		<b>Rsi+<math>\sum R_j</math>+Rse=</b>	1,57	
		<b>U = 1/(Rsi+<math>\sum R_j</math>+Rse)</b>	<b>0,64</b>	W/m $^2$ $^\circ\text{C}$
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>				<b>Umáx</b>   <b>1,80</b>
	<b>Up.t.plana <math>\leq</math> Umax</b>		<b>sim</b>	<b>Uz.corrente</b>   <b>0,45</b>
	<b>Up.t.plana <math>\leq</math> 2*Uz.corrente</b>		<b>sim</b>	<b>2 x Uz.corrente</b>   <b>0,90</b>

## Pavimentos exteriores

**LPE 1 - Laje de pavimento exterior 1 - laje maciça de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); ii) enchimento em betão leve com uma espessura média de 4 cm ( $\lambda = 0,85 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); iii) camada de regularização com a espessura média de 2 cm ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); iv) soalho de madeira de 2 cm ( $\lambda = 0,18 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ). Na face inferior a laje é rebocada com 2 cm de reboco ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ$ C)	Rj=dj/ $\lambda_j$ Rj (m $^2$ . $^\circ$ C/W)	Referências
laje de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (4 cm)	0,040	0,037	1,081	ITE 50
Camada de betão leve (4 cm)	0,040	0,850	0,047	ITE 50
Camada de regularização (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m $^3$
soalho de madeira (2 cm)	0,020	0,180	0,111	ITE 50
		<b>Rsi</b>	0,17	
		<b>Rse</b>	0,04	
		<b>Rsi+<math>\sum</math>Rj+Rse=</b>	1,59	
		<b>U = 1/(Rsi+<math>\sum</math>Rj+Rse)</b>	<b>0,63</b>	W/m $^2$ °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>Uz.corrente <math>\leq</math> Umax</b>		<b>sim</b>	<b>Umax</b> <b>1,25</b>

**LPE 2 - Laje de pavimento exterior 2 - laje maciça de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); ii) enchimento em betão leve com uma espessura média de 4 cm ( $\lambda = 0,85 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); iii) camada de regularização com a espessura média de 2 cm ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); iv) revestimento cerâmico de 2 cm ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ). Na face inferior a laje é rebocada com 2 cm de reboco ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ$ C)	Rj=dj/ $\lambda_j$ Rj (m $^2$ . $^\circ$ C/W)	Referências
laje de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (4 cm)	0,040	0,037	1,081	ITE 50
Camada de betão leve (4 cm)	0,040	0,850	0,047	ITE 50
Camada de regularização (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m $^3$
Revestimento Cerâmico superior (2 cm)	0,020	1,040	0,019	ITE 50
		<b>Rsi</b>	0,17	
		<b>Rse</b>	0,04	
		<b>Rsi+<math>\sum</math>Rj+Rse=</b>	1,50	
		<b>U = 1/(Rsi+<math>\sum</math>Rj+Rse)</b>	<b>0,67</b>	W/m $^2$ °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>Uz.corrente <math>\leq</math> Umax</b>		<b>sim</b>	<b>Umax</b> <b>1,25</b>

## Coberturas exteriores

**LCE 1 - Laje de cobertura exterior 1 - laje plana de 25 cm de betão maciça ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) isolante térmico XPS com 4 cm de espessura ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); ii) cobertura em chapa de zinco sobre apoios perfazendo um espaço de ar ventilado. A laje está revestida na face inferior com tecto falso suspenso com painel de gesso cartonado de 1,5 cm ( $\lambda = 0,25 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ), com uma caixa-de-ar de 8,5 cm bem vedada - fluxo ascendente ( $R_j = 0,16 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ$ C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ Rj (m $^2$ . $^\circ$ C/W)	Referências	
Isolamento térmico - XPS (4 cm)	0,040	0,037	1,081	ITE 50	
laje de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50	
placa de gesso cartonado	0,015	0,250	0,060	ITE 50	
espaço de ar	--	--	0,160	ITE 50	
		<b>Rsi</b>	0,10	W/m $^2$ °C	
		<b>Rse</b>	0,10		
		<b>Rsi + <math>\sum</math>Rj + Rse =</b>	1,63		
		<b>U = 1/(Rsi + <math>\sum</math>Rj + Rse)</b>	<b>0,61</b>		
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>Uz.corrente <math>\leq</math> Umax</b>		<b>sim</b>	<b>Umax</b>	<b>1,25</b>

**LCE 2 - Laje de cobertura exterior 2 - laje plana aligeirada de abobadilhas cerâmicas com 21 cm de espessura incluindo camada de betão complementar de 4 cm ( $R_j = 0,27 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) isolante térmico XPS com 4 cm de espessura ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); ii) cobertura em chapa de zinco sobre apoios perfazendo um espaço de ar ventilado. A laje está revestida na face inferior com tecto falso suspenso com painel de gesso cartonado de 1,5 cm ( $\lambda = 0,25 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ), com uma caixa-de-ar de 8,5 cm bem vedada - fluxo ascendente ( $R_j = 0,16 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ$ C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ Rj (m $^2$ . $^\circ$ C/W)	Referências	
Isolamento térmico - XPS (4 cm)	0,040	0,037	1,081	ITE 50	
Laje aligeirada de 0,25m - blocos cerâmicos - fluxo ascendente	0,250	--	0,270	ITE 50	
placa de gesso cartonado	0,015	0,250	0,060	ITE 50	
espaço de ar	0,085	--	0,160	ITE 50	
		<b>Rsi</b>	0,10	W/m $^2$ °C	
		<b>Rse</b>	0,10		
		<b>Rsi + <math>\sum</math>Rj + Rse =</b>	1,77		
		<b>U = 1/(Rsi + <math>\sum</math>Rj + Rse)</b>	<b>0,56</b>		
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>Uz.corrente <math>\leq</math> Umax</b>		<b>sim</b>	<b>Umax</b>	<b>1,25</b>

## Pavimentos interiores

**LPI 1 - Laje de pavimento interior 1 - laje aligeirada de abobadilhas cerâmicas com 21 cm de espessura incluindo camada de betão complementar de 4 cm ( $R_j = 0,30 \text{ m}^2\text{°C/W}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) enchimento em betão leve com uma espessura média de 7 cm ( $\lambda = 0,85 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ); ii) camada de regularização com a espessura média de 3 cm ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ); iii) soalho de madeira de 2 cm ( $\lambda = 0,18 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ).**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j=d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referências
Laje aligeirada de 0,25m - blocos cerâmicos - fluxo descendente	0,250	–	0,300	ITE 50
Camada de betão leve (7 cm)	0,070	0,850	0,082	ITE 50
Camada de regularização (3 cm)	0,030	1,300	0,023	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
soalho de madeira (2 cm)	0,020	0,180	0,111	ITE 50
		<b>R<sub>si</sub></b>	0,17	
		<b>R<sub>se</sub></b>	0,17	
		<b>R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>=</b>	0,86	
		<b>U = 1/(R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>)</b>	1,17	W/m <sup>2</sup> °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>max</sub></b>		<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub></b> <b>1,65</b>

**LPI 1 - Laje de pavimento interior 1 - laje aligeirada de abobadilhas cerâmicas com 21 cm de espessura incluindo camada de betão complementar de 4 cm ( $R_j = 0,30 \text{ m}^2\text{°C/W}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) enchimento em betão leve com uma espessura média de 7 cm ( $\lambda = 0,85 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ); ii) camada de regularização com a espessura média de 3 cm ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ); iii) revestimento cerâmico de 2 cm ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ).**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j=d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referências
Laje aligeirada de 0,25m - blocos cerâmicos - fluxo descendente	0,250	–	0,300	ITE 50
Camada de betão leve (7 cm)	0,070	0,850	0,082	ITE 50
Camada de regularização (3 cm)	0,030	1,300	0,023	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Revestimento Cerâmico superior (2 cm)	0,020	1,040	0,019	ITE 50
		<b>R<sub>si</sub></b>	0,17	
		<b>R<sub>se</sub></b>	0,17	
		<b>R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>=</b>	0,76	
		<b>U = 1/(R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>)</b>	1,31	W/m <sup>2</sup> °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>max</sub></b>		<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub></b> <b>1,65</b>

## Paredes interiores com requisitos de envolvente exterior

**PI 1 - Parede Interior 1 - parede em contacto com espaço não aquecido - garagem. Alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm ( $R_j = 0,66 \text{ m}^2/\text{W}\cdot^\circ\text{C}$ ) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento da garagem ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ) sendo o paramento interior revestido a gesso projectado de 2 cm ( $\lambda = 0,3 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ ( $\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ )	$R_j=d_j/\lambda_j$ ( $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (15 cm)	0,150	–	0,390	ITE 50
caixa de ar (2 cm)	0,020	–	0,175	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (4 cm)	0,040	0,037	1,081	ITE 50
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (11 cm)	0,110	–	0,270	ITE 50
Gesso projectado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	600 - 900 kg/m <sup>3</sup>
		<b>R<sub>si</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>se</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>=</b>	2,26	
		<b>U = 1/(R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>)</b>	<b>0,44</b>	W/m <sup>2</sup> °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>máx</sub></b>	<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub></b>	<b>1,80</b>

**PI 2 - Parede Interior 2 - parede em contacto com espaço não aquecido - garagem. Alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm ( $R_j = 0,66 \text{ m}^2/\text{W}\cdot^\circ\text{C}$ ) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento da garagem ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ) e revestimento cerâmico de 1,5 cm na face interior - zona da IS ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ ( $\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ )	$R_j=d_j/\lambda_j$ ( $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (15 cm)	0,150	–	0,390	ITE 50
caixa de ar (2 cm)	0,020	–	0,175	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (4 cm)	0,040	0,037	1,081	ITE 50
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (11 cm)	0,110	–	0,270	ITE 50
Reboco (1 cm)	0,010	1,300	0,008	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Revestimento Cerâmico (1,5 cm)	0,015	1,040	0,014	ITE 50
		<b>R<sub>si</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>se</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>=</b>	2,21	
		<b>U = 1/(R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>)</b>	<b>0,45</b>	W/m <sup>2</sup> °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>máx</sub></b>	<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub></b>	<b>1,80</b>

**PTPi 1 - Ponte térmica plana interior 1 - zona de talão de viga - correcção pelo lado não útil. Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) corrigida pelo lado da garagem com 4 cm de XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e por forra cerâmica de 3 cm ( $R_j = 0,07 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e paramento interior revestido a gesso projectado de 2 cm ( $\lambda = 0,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ\text{C}$ )	$R_j = d_j / \lambda_j$ (m $^2$ . $^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências	
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m $^3$	
Forra cerâmica (3 cm)	0,030	—	0,070	ITE 50	
Isolamento térmico - XPS (4 cm)	0,040	0,037	1,081	ITE 50	
Pano de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50	
Gesso projectado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	600 - 900 kg/m $^3$	
		<b>Rsi</b>	0,13		
		<b>Rse</b>	0,13		
		<b>Rsi + <math>\sum R_j</math> + Rse =</b>	1,62		
		<b>U = 1/(Rsi + <math>\sum R_j</math> + Rse)</b>	<b>0,62</b>	W/m $^2$ °C	
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>				<b>Umáx</b>	<b>1,80</b>
	<b>Up.t.plana <math>\leq</math> Umáx</b>		<b>sim</b>	<b>Uz.corrente</b>	<b>0,44</b>
	<b>Up.t.plana <math>\leq</math> 2*Uz.corrente</b>		<b>sim</b>	<b>2 x Uz.corrente</b>	<b>0,89</b>

**PTPi 2 - Ponte térmica plana interior 2 - zona de pilar e de talão de viga - correcção pelo lado não-útil. Pilar / Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) corrigidos pelo lado da garagem com 4 cm de XPS ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e por forra cerâmica de 3 cm ( $R_j = 0,07 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm na face exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e revestimento cerâmico de 1,5 cm na face interior - zona da cozinha e IS ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ\text{C}$ )	$R_j = d_j / \lambda_j$ (m $^2$ . $^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências	
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m $^3$	
Forra cerâmica (3 cm)	0,030	—	0,070	ITE 50	
Isolamento térmico - XPS (4 cm)	0,040	0,037	1,081	ITE 50	
Pano de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50	
Reboco (1 cm)	0,010	1,300	0,008	1800 - 2000 kg/m $^3$	
Revestimento Cerâmico (1,5 cm)	0,015	1,040	0,014	1800 - 2000 kg/m $^3$	
		<b>Rsi</b>	0,13		
		<b>Rse</b>	0,13		
		<b>Rsi + <math>\sum R_j</math> + Rse =</b>	1,57		
		<b>U = 1/(Rsi + <math>\sum R_j</math> + Rse)</b>	<b>0,64</b>	W/m $^2$ °C	
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>				<b>Umáx</b>	<b>1,80</b>
	<b>Up.t.plana <math>\leq</math> Umáx</b>		<b>sim</b>	<b>Uz.corrente</b>	<b>0,45</b>
	<b>Up.t.plana <math>\leq</math> 2*Uz.corrente</b>		<b>sim</b>	<b>2 x Uz.corrente</b>	<b>0,90</b>
				<b>Uzcorrente2</b>	<b>0,44</b>
				<b>2 x Uzcorrente2</b>	<b>0,89</b>

## PONTES TÉRMICAS LINEARES

### ENVOLVENTE EXTERIOR OPACA

Tipo	Ligações entre:	Código	LOCALIZAÇÃO DO ISOLAMENTO	comprimento B (m)	$\Psi$ (W/m.°C)
C	Fachada com pavimentos intermédios	PTL C	isolamento repartido ou isolamento na caixa de ar de paredes duplas	14,53	0,3
D	Fachada com cobertura inclinada ou terraço	PTL D	isolamento repartido ou isolamento na caixa de ar da parede de fachada e isolamento pelo exterior da cobertura	30,77	0,7
E	Fachada com varanda	PTL E	isolamento repartido ou isolamento na caixa de ar de paredes duplas	21,84	0,45
F	Duas paredes verticais	PTL F	isolamento repartido ou isolamento na caixa de ar de paredes duplas	25	0,2
H	Fachada/padieira, ombreira ou peitoril	PTL H	isolamento repartido ou isolamento na caixa de ar de paredes duplas	84,2	0,2
I	Fachada com soleira	PTL I	isolamento repartido ou isolamento na caixa de ar de paredes duplas	18,4	0,5
J	Outra	PTL J		40,36	0,5

### ENVOLVENTE INTERIOR OPACA

Tip o	Ligações entre:	Código	LOCALIZAÇÃO DO ISOLAMENTO	comprimento B (m)	$\Psi$ (W/m.°C)	$\zeta$
D	Fachada com cobertura inclinada ou terraço			5,78	0,7	0,8
F	Duas paredes verticais			2,2	0,2	0,8
I	Outra			5,78	0,5	0,8

Quantificação da Inércia Térmica Interior - (It)									
Cálculo da inércia térmica interior									
	Elementos de Construção - Descrição	Elemento	Tipologia	Área (m <sup>2</sup> )	M <sub>si</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	Factor de Correção ( r )	M <sub>si</sub> .r.Área (kg)	Ri 1 (m <sup>2</sup> .°C/w)	Ri 2 (m <sup>2</sup> .°C/w)
<b>EIO1</b> Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	PI 1 - Parede Interior 1 - garagem	PI 1	EL1	6,3	150,0	1,0	945,0	0,067	–
	PI 2 - Parede Interior 2 - garagem	PI 2	EL1	6,8	150,0	1,0	1014,0	0,014	–
<b>EIO1</b> Paredes Interiores à fracção	PI FA 1 - Parede interior à fracção autonoma 1	PI FA 1	EL3	47,6	170,0	1,0	8093,7	0,067	0,067
	PI FA 2 - Parede interior à fracção autonoma 2	PI FA 2	EL3	36,6	210,0	1,0	7692,3	0,014	0,067
	PI FA 3 - Parede interior à fracção autonoma 3	PI FA 3	EL3	4,0	250,0	1,0	1007,5	0,014	0,014
	PI FA 4 - Parede interior à fracção autonoma 4	PI FA 4	EL3	8,2	250,0	1,0	2037,5	0,067	0,067
	PI FA 5 - Parede interior à fracção autonoma 5	PI FA 5	EL3	4,8	290,0	1,0	1400,7	0,067	0,014
<b>EIO3</b> Pavimentos sobre espaços não úteis	LPI 1 - pavimento interior 1 - Desvão sanitário	LPI 1	EL1	36,6	150,0	1,0	5491,5	0,111	–
	LPI 2 - pavimento interior 2 - Desvão sanitário	LPI 2	EL1	27,3	150,0	1,0	4098,0	0,019	–
<b>EIO3</b> Pavimentos Interiores de Separação entre fracções - Sem requisitos	LI FA 1 - pavimento interior à fracção autonoma 1	LIFA 1	EL3	58,3	300,0	0,0	0,0	0,111	0,220
	LI FA 2 - pavimento interior à fracção autonoma 2	LIFA 2	EL3	7,9	300,0			0,019	0,220
	LI FA 3 - pavimento interior à fracção autonoma 3	LIFA 3	EL3	8,3	300,0	1,0	2502,0	0,111	0,050



(...cont.)

	Elementos de Construção - Descrição	Elemento	Tipologia	Área (m <sup>2</sup> )	M <sub>si</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	Factor de Correção ( r )	M <sub>si</sub> .r.Área (kg)	Ri 1 (m <sup>2</sup> .°C/w)	Ri 2 (m <sup>2</sup> .°C/w)
<b>EIO41</b> Pontes térmicas planas	PTPi 1 - ponte térmica plana zona de talão de viga	PTPi 1	EL1	0,55	150,00	1,0	82,5	0,067	-
	PTPi 2 - ponte térmica plana zona de pilar e de talão de viga	PTPi 2	EL1	1,21	150,00	1,0	181,5	0,014	-
<b>EE02</b> Pavimentos exteriores	LPE 1 - pavimento exterior 1	LPE 1	EL1	3,4	113,0	1,0	381,9	0,111	-
	LPE 2 - pavimento exterior 2	LPE 2	EL1	1,0	142,0	1,0	134,9	0,019	-
<b>EE04</b> Paredes exteriores	PE 1 - Parede exterior 1 - N	PE 1	EL1	14,0	150,0	1,0	2095,5	0,067	-
	PE 1 - Parede exterior 1 - E	PE 1	EL1	11,9	150,0	1,0	1783,5	0,067	-
	PE 1 - Parede exterior 1 - S	PE 1	EL1	0,9	150,0	1,0	139,5	0,067	-
	PE 2 - Parede exterior 1 - N	PE 2	EL1	4,8	150,0	1,0	718,5	0,014	-
	PE 2 - Parede exterior 1 - W	PE 2	EL1	1,1	150,0	1,0	157,5	0,014	-
	PE 3 - Parede exterior 1 - E	PE 3	EL1	4,8	150,0	1,0	726,0	0,067	-
	PE 3 - Parede exterior 1 - W	PE 3	EL1	29,6	150,0	1,0	4432,5	0,067	-
	PE 4 - Parede exterior 1 - E	PE 4	EL1	15,4	150,0	1,0	2316,0	0,014	-
PE 4 - Parede exterior 1 - S	PE 4	EL1	5,6	150,0	1,0	832,5	0,014	-	
<b>EE05</b> Coberturas exteriores	LCE 1 - laje de cobertura 1	LCE 1	EL1	5,0	150,0	0,5	371,3	0,220	-
	LCE 2 - laje de cobertura 2	LCE 2	EL1	65,5	150,0	0,5	4910,3	0,220	-

(...cont.)

	Elementos de Construção - Descrição	Elemento	Tipologia	Área (m <sup>2</sup> )	M <sub>si</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	Factor de Correção ( r )	M <sub>si</sub> .r.Área (kg)	Ri 1 (m <sup>2</sup> .°C/w)	Ri 2 (m <sup>2</sup> .°C/w)
<b>EEO61</b> Pontes térmicas planas envolvente exterior	PTPe 1 - Pilares e vigas periféricas - N	PTPe 1	EL1	0,7	150,0	1,0	105,0	0,067	-
	PTPe 1 - Pilares e vigas periféricas - E	PTPe 1	EL1	2,8	150,0	1,0	421,5	0,067	-
	PTPe 1 - Pilares e vigas periféricas - S	PTPe 1	EL1	5,5	150,0	1,0	823,5	0,067	-
	PTPe 2 - Pilares e vigas periféricas - N	PTPe 2	EL1	1,3	150,0	1,0	198,0	0,014	-
	PTPe 3 - Pilares e vigas periféricas - E	PTPe 3	EL1	1,3	150,0	1,0	201,0	0,067	-
	PTPe 3 - Pilares e vigas periféricas - W	PTPe 3	EL1	5,0	150,0	1,0	753,0	0,067	-
	PTPe 4 - Pilares e vigas periféricas - E	PTPe 4	EL1	2,6	150,0	1,0	385,5	0,014	-
	PTPe 4 - Pilares e vigas periféricas - S	PTPe 4	EL1	0,5	150,0	1,0	72,0	0,014	-

<b>Classe de Inércia Térmica</b>	
Classe de Inércia	Massa superficial útil por m <sup>2</sup> de área de pavimento (Kg/m <sup>2</sup> )
Fraca	It > 150
Média	150 ≤ it ≤ 400
Forte	It > 400
Classe de inércia térmica:	
a =	<b>Forte</b> 4,2

Fatores solares  $F_0$  na situação de inverno

Vão Env.	Orientação	U (W/m <sup>2</sup> °C)	Tipo (Simples ou Duplo)	Área (m <sup>2</sup> )	Factor de Orientação X (-)	Factor Solar do Vidro $g_{\perp}$ (-)	$g_{\perp}$ (Inv)	$g_{\perp}$ (Ver)	Ângulos			Estação de Aquecimento - Inverno					
									$\alpha$ - Fh	$\alpha$ - Fo	$\beta$ - Ff	Fh	Fo	Ff	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)
Env 1	N	2,90	Duplo	3,15	0,27	0,370	0,63	0,484	0,0	30,20	69,2 esq e 12,4 dir	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,90
Env 2	N	2,90	Duplo	3,15	0,27	0,370	0,63	0,484	0,0	30,20	55,0 esq e 22,1 dir	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,90
Env 3	E	3,30	Duplo	4,60	0,56	0,550	0,55	0,55	20,0	45,90	31,60	0,84	0,73	0,86	0,53	0,70	0,90
Env 4	E	2,90	Duplo	3,42	0,56	0,370	0,63	0,484	20,0	0,00	0,00	0,84	1,00	1,00	0,76	0,70	0,90
Env 5	S	2,90	Duplo	10,29	1,00	0,370	0,63	0,484	20,0	27,30	18,0 esq e 39,7 dir	0,90	0,75	0,86	0,58	0,70	0,90
Env 6	S	2,90	Duplo	2,52	1,00	0,370	0,63	0,484	20,0	27,30	65,9 esq e 41,2 dir	0,90	0,75	0,74	0,50	0,70	0,90
Env 7	N	2,90	Duplo	3,15	0,27	0,370	0,63	0,484	0,0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,90
Env 8	N	2,90	Duplo	3,15	0,27	0,370	0,63	0,484	0,0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,90
Env 9	E	2,90	Duplo	1,47	0,56	0,370	0,63	0,484	20,0	47,60	8,70	0,84	0,72	0,96	0,58	0,70	0,90
Env 10	E	2,90	Duplo	1,60	0,56	0,370	0,63	0,484	20,0	0,00	33,40	0,84	1,00	0,85	0,72	0,70	0,90
Env 11	E	2,90	Duplo	0,42	0,56	0,370	0,63	0,484	230,0	0,00	0,00	0,84	1,00	1,00	0,76	0,70	0,90
Env 12	E	2,90	Duplo	0,42	0,56	0,370	0,63	0,484	20,0	0,00	0,00	0,84	1,00	1,00	0,76	0,70	0,90

(...cont.)

Vão Env.	Orientação	U (W/m <sup>2</sup> °C)	Tipo (Simples ou Duplo)	Área (m <sup>2</sup> )	Factor de Orientação X (-)	Factor Solar do Vidro g <sup>⊥</sup> (-)	g <sup>⊥</sup> (Inv)	g <sup>⊥</sup> (Ver)	Ângulos			Estação de Aquecimento - Inverno					
									α - Fh	α - Fo	β - Ff	Fh	Fo	Ff	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)
Env 13	S	2,90	Duplo	4,62	1,00	0,370	0,63	0,484	20,0	28,70	35,3 esq e 14,6 dir	0,90	0,74	0,88	0,59	0,70	0,90
Env 14	S	2,90	Duplo	3,78	1,00	0,370	0,63	0,484	20,0	28,70	13,0 esq e 42,0 dir	0,90	0,74	0,86	0,57	0,70	0,90
Env 15	W	2,90	Duplo	0,96	0,56	0,370	0,63	0,484	20,0	0,00	0,00	0,84	1,00	1,00	0,76	0,70	0,90

g <sup>⊥</sup> máx (v <sub>1</sub> ) =	0,56	<	0,370	OK!
--	------	---	-------	-----

Fatores solares  $F_0$  na situação de verão

Vão Env.	Orientação	U (W/m <sup>2</sup> °C)	Tipo (Simple ou Duplo)	Área (m <sup>2</sup> )	Factor de Orientação X (-)	Factor Solar do Vidro $g_{\perp}$ (-)	$g_{\perp}$ (Inv)	$g_{\perp}$ (Ver)	Ângulos			Estação de Arrefecimento - Verão					
									$\alpha$ - Fh	$\alpha$ - Fo	$\beta$ - Ff	Fh	Fo	Ff	Factor de Obstrução $F_s$ (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada $F_g$ (-)	Factor de Sel. Angular $F_w$ (-)
Env 1	N	2,90	Duplo	3,15	0,27	0,370	0,63	0,484	0,0	30,20	69,2 esq e 12,4 dir	1,00	0,98	1,00	0,90	0,70	0,80
Env 2	N	2,90	Duplo	3,15	0,27	0,370	0,63	0,484	0,0	30,20	55,0 esq e 22,1 dir	1,00	0,98	1,00	0,90	0,70	0,80
Env 3	E	3,30	Duplo	4,60	0,56	0,550	0,55	0,55	20,0	45,90	31,60	1,00	0,63	0,96	0,61	0,70	0,85
Env 4	E	2,90	Duplo	3,42	0,56	0,370	0,63	0,484	20,0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,85
Env 5	S	2,90	Duplo	10,29	1,00	0,370	0,63	0,484	20,0	27,30	18,0 esq e 39,7 dir	1,00	0,66	0,84	0,55	0,70	0,75
Env 6	S	2,90	Duplo	2,52	1,00	0,370	0,63	0,484	20,0	27,30	65,9 esq e 41,2 dir	1,00	0,66	0,74	0,49	0,70	0,75
Env 7	N	2,90	Duplo	3,15	0,27	0,370	0,63	0,484	0,0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,80
Env 8	N	2,90	Duplo	3,15	0,27	0,370	0,63	0,484	0,0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,80
Env 9	E	2,90	Duplo	1,47	0,56	0,370	0,63	0,484	20,0	47,60	8,70	1,00	0,62	0,99	0,62	0,70	0,85
Env 10	E	2,90	Duplo	1,60	0,56	0,370	0,63	0,484	20,0	0,00	33,40	1,00	1,00	0,96	0,90	0,70	0,85

(...cont.)

Vão Env.	Orientação	U (W/m <sup>2</sup> °C)	Tipo (Simple ou Duplo)	Área (m <sup>2</sup> )	Factor de Orientação X (-)	Factor Solar do Vidro g <sub>⊥</sub> (-)	g <sub>⊥</sub> (Inv)	g <sub>⊥</sub> (Ver)	Ângulos			Estação de Arrefecimento - Verão					
									α - Fh	α - Fo	β - Ff	Fh	Fo	Ff	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)
Env 11	E	2,90	Duplo	0,42	0,56	0,370	0,63	0,484	230,0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,85
Env 12	E	2,90	Duplo	0,42	0,56	0,370	0,63	0,484	20,0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,85
Env 13	S	2,90	Duplo	4,62	1,00	0,370	0,63	0,484	20,0	28,70	35,3 esq e 14,6 dir	1,00	0,65	0,86	0,55	0,70	0,75
Env 14	S	2,90	Duplo	3,78	1,00	0,370	0,63	0,484	20,0	28,70	13,0 esq e 42,0 dir	1,00	0,65	0,84	0,55	0,70	0,75
Env 15	W	2,90	Duplo	0,96	0,56	0,370	0,63	0,484	20,0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,85

g <sub>⊥</sub> máx (v <sub>i</sub> ) =	0,56	<	0,370	OK!
--	------	---	-------	-----

### **ANEXO III – Folhas de cálculo do RCCTE – solução final**

**FCIV.1A – Perdas associadas à envolvente exterior**

**FCIV.1B – Perdas associadas à envolvente interior**

**FCIV.1C – Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores**

**FCIV.1D – Perdas associadas à renovação de ar**

**FCIV.1E – Ganhos úteis na estação de aquecimento (inverno)**

**FCIV.1F – Valor máximo das necessidades de aquecimento ( $N_i$ )**

**FCIV.2 – Cálculo do indicador  $N_{ic}$**

**FCV.1A – Perdas**

**FCV.1B – Perdas associadas a coberturas e envidraçados exteriores**

**FCV.1C – Ganhos solares pela envolvente opaca**

**FCV.1D – Ganhos solares pelos envidraçados exteriores**

**FCV.1E – Ganhos internos**

**FCV.1F – Ganhos totais na estação de arrefecimento (verão)**

**FCV.1G – Valor das necessidades nominais de arrefecimento ( $N_{vc}$ )**

**FCVI – Necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária**

Folha de cálculo FC IV.1a

Perdas Associadas à Envoltente Exterior

Paredes exteriores	Orientação	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
PE 1 - Parede exterior 1 - N	N	13,97	0,26	3,69
PE 1 - Parede exterior 1 - E	E	11,89	0,26	3,14
PE 1 - Parede exterior 1 - S	S	0,93	0,26	0,25
PE 2 - Parede exterior 1 - N	N	4,79	0,27	1,28
PE 2 - Parede exterior 1 - W	W	1,05	0,27	0,28
PE 3 - Parede exterior 1 - E	E	4,84	0,26	1,25
PE 3 - Parede exterior 1 - W	W	29,55	0,26	7,62
PE 4 - Parede exterior 1 - E	E	15,44	0,26	4,03
PE 4 - Parede exterior 1 - S	S	5,55	0,26	1,45
<b>TOTAL</b>		<b>88,01</b>	<b>TOTAL</b>	<b>22,97</b>

Pontes Térmicas Planas	Orientação	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
PTPe 1 - Pilares e vigas periféricas - N	N	0,70	0,32	0,22
PTPe 1 - Pilares e vigas periféricas - E	E	2,81	0,32	0,89
PTPe 1 - Pilares e vigas periféricas - S	S	5,49	0,32	1,74
PTPe 2 - Pilares e vigas periféricas - N	N	1,32	0,32	0,43
PTPe 3 - Pilares e vigas periféricas - E	E	1,34	0,31	0,41
PTPe 3 - Pilares e vigas periféricas - W	W	5,02	0,31	1,55
PTPe 4 - Pilares e vigas periféricas - E	E	2,57	0,31	0,88
PTPe 4 - Pilares e vigas periféricas - S	S	0,48	0,31	0,15
<b>TOTAL</b>		<b>19,73</b>	<b>TOTAL</b>	<b>6,20</b>

Pavimentos exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
LPE 1 - pavimento exterior 1	3,38	0,22	0,74
LPE 2 - pavimento exterior 2	0,95	0,22	0,21
<b>TOTAL</b>		<b>4,33</b>	<b>TOTAL</b> <b>0,95</b>

Coberturas exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
LCE 1 - laje de cobertura 1	4,95	0,2	1,08
LCE 2 - laje de cobertura 2	65,47	0,21	13,80
<b>TOTAL</b>		<b>70,42</b>	<b>TOTAL</b> <b>14,88</b>



(...cont.)

<b>Pontes Térmicas lineares. Ligações entre:</b>	<b>Comprimento B (m)</b>	<b><math>\psi</math> (W/m °C)</b>	<b><math>\psi \cdot B</math> (W/°C)</b>
Fachada com pavimentos intermédios	14,53	0,10	1,45
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	30,77	0,55	16,92
Fachada com varanda	21,84	0,45	9,83
Doas paredes verticais	25	0,15	3,75
Fachada/padieira, ombreira ou peitoril	84,2	0	0
Fachada com soleira	18,4	0	0
<b>TOTAL</b>			<b>31,95</b>

**Perdas pela envolvente exterior da fracção autónoma (W/°C)**

**TOTAL**

**76,95**

Folha de cálculo FC IV.1b

Perdas Associadas à Envoltente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	t (-)	U.A.t (W/°C)
PI 1 - Parede Interior 1 - garagem	6,30	0,26	0,80	1,30
PI 2 - Parede Interior 2 - garagem	6,76	0,26	0,80	1,41
<b>TOTAL</b>				<b>2,71</b>

Pontes Térmicas Planas	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	t (-)	U.A.t (W/°C)
PTPi 1 - ponte térmica plana zona de talão de viga	0,55	0,31	0,80	0,14
PTPi 2 - ponte térmica plana zona de pilar e de talão de viga	1,21	0,31	0,80	0,30
<b>TOTAL</b>				<b>0,44</b>

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	t (-)	U.A.t (W/°C)
LPI 1 - pavimento interior 1 - Desvão sanitário	36,61	0,20	0,50	3,73
LPI 2 - pavimento interior 2 - Desvão sanitário	27,32	0,21	0,50	2,83
<b>TOTAL</b>				<b>6,56</b>

Pontes Térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não - úteis com t > 0,7	Comprimento (B) (m)	ψ (W/m°C)	t (-)	ψ.B.t (W/°C)
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	5,78	0,55	0,80	2,54
Duas paredes verticais	2,20	0,15	0,80	0,26
Outra	5,78	0,50	0,80	2,31
<b>TOTAL</b>				<b>5,12</b>

<b>Perdas pela Envoltente Interior da Fracção Autónoma (W/°C)</b>	<b>TOTAL</b>	<b>50,70</b>
---	--------------	--------------

Folha de cálculo FC IV.1c

Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Orientação	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
Verticais				
Env 1	N	3,15	2,90	9,14
Env 2	N	3,15	2,90	9,14
Env 3	E	4,60	3,30	15,18
Env 4	E	3,42	2,90	9,92
Env 5	S	10,29	2,90	29,84
Env 6	S	2,52	2,90	7,31
Env 7	N	3,15	2,90	9,14
Env 8	N	3,15	2,90	9,14
Env 9	E	1,47	2,90	4,26
Env 10	E	1,60	2,90	4,64
Env 11	E	0,42	2,90	1,22
Env 12	E	0,42	2,90	1,22
Env 13	S	4,62	2,90	13,40
Env 14	S	3,78	2,90	10,96
Env 15	W	0,96	2,90	2,78
<b>Horizontais:</b>				
-		-	-	-
<b>TOTAL</b>		<b>46,70</b>	<b>TOTAL</b>	<b>137,27</b>

Folha de cálculo FC IV.1d

Perdas associadas à renovação de ar

Área útil de pavimento (Ap)	136,00	(m <sup>2</sup> )
	<b>x</b>	
Pé direito médio (Pd)	2,51	(m)
	<b>=</b>	
Volume interior (V)	341,36	(m <sup>3</sup> )

Ventilação Mecânica

Ventilação mecânica (excluir exaustor da cozinha)

Caudal de insuflação	$V_{ins} - (m^3/h)$	204,82		
Caudal extraído	$V_{ev} - (m^3/h)$	204,82		$V_f = 204,82$
Diferença entre Vins e Vev	$(m^3/h)$	0	/	$V = 341,36$ (volume interior) (RPH)
Infiltrações	$(V_x)$	0,00		
Recuperador de calor	(S ou N)	S		se SIM: $\eta = 0,75$ se NÃO: $\eta = 0$
Taxa de renovação nominal	(mínimo: 0,6)	0,60		$(V_f + V_x) / V$
Consumo de electricidade para os ventiladores		216		$E_v = P_v \cdot 24 \cdot 0,03 M (Kwh)$

Volume	341,36	
	<b>x</b>	
Taxa de renovação nominal	0,60	
	<b>x</b>	
	0,34	
	<b>=</b>	
<b>TOTAL</b>	<b>17,41</b>	(W/°C)

Folha de cálculo FC IV.1e

Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Vão envidraçado	Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área (m <sup>2</sup> )	Factor de Orientação X (-)	Factor solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs(-)=Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (Inv)	Área Efetiva (m <sup>2</sup> )
Env 1	N	Vidro Duplo	3,15	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,34
Env 2	N	Vidro Duplo	3,15	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,34
Env 3	E	Vidro Duplo	4,60	0,56	0,55	0,53	0,70	0,90	0,47
Env 4	E	Vidro Duplo	3,42	0,56	0,63	0,76	0,70	0,90	0,57
Env 5	S	Vidro Duplo	10,29	1,00	0,63	0,58	0,70	0,90	2,38
Env 6	S	Vidro Duplo	2,52	1,00	0,63	0,50	0,70	0,90	0,50
Env 7	N	Vidro Duplo	3,15	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,34
Env 8	N	Vidro Duplo	3,15	0,27	0,63	0,90	0,70	0,90	0,34
Env 9	E	Vidro Duplo	1,47	0,56	0,63	0,58	0,70	0,90	0,19

(...cont.)

Env 10	E	Vidro Duplo	1,60	0,56	0,63	0,72	0,70	0,90	0,26
Env 11	E	Vidro Duplo	0,42	0,56	0,63	0,76	0,70	0,90	0,07
Env 12	E	Vidro Duplo	0,42	0,56	0,63	0,76	0,70	0,90	0,07
Env 13	S	Vidro Duplo	4,62	1,00	0,63	0,59	0,70	0,90	1,08
Env 14	S	Vidro Duplo	3,78	1,00	0,63	0,57	0,70	0,90	0,86
Env 15	W	Vidro Duplo	0,96	0,56	0,63	0,76	0,70	0,90	0,16
Área Efetiva Total equivalente na orientação SUL (m <sup>2</sup> )									7,975
									x
Radiação incidente num envidraçado a Sul (G <sub>sul</sub> ) na zona <b>I1</b> (KWh/m <sup>2</sup> .mês) - do Quadro 8 (Anexo III)									108,00
									x
Duração da Estação de Aquecimento (meses)									6,0
									=
<b>Ganhos Solares Brutos</b> (KWh/ano)									<b>5167,97</b>

**Ganhos Internos:**

Ganhos internos médios	(Quadro IV.3)	4,00	(W/m2)
		x	
Duração da Estação de Aquecimento (Q III.1)		6,0	(meses)
		x	
Área útil de pavimento		136,00	(m2)
		x	
		0,72	
		=	
<b>Ganhos Internos Brutos</b>		<b>2350,08</b>	<b>(KWh/ano)</b>

**Ganhos Totais Úteis:**

$\gamma =$	Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos		7518,05
	Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)		8437,88
Inércia do Edifício:	<b>Forte</b>	a =	4,2
		$\gamma =$	<b>0,891</b>
Factor de Utilização dos Ganhos Solares	( $\eta$ )		0,851
		x	
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos			7518,05
		=	
<b>Ganhos Totais Úteis</b>		<b>(KWh/ano)</b>	<b>6399,71</b>

Folha de cálculo FC IV.1f

Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

**FACTOR DE FORMA**

Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)

(m<sup>2</sup>)

Paredes Exteriores	107,74
Coberturas Exteriores	70,42
Pavimentos Exteriores	4,33
Envidraçados Exteriores	46,70

Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A.t)

Paredes Interiores	11,86
Coberturas Interiores	0,00
Pavimentos Interiores	31,97
Envidraçados Interiores	0,00

Área Total: 273,01

/

Volume (da FC IV.1d): 341,36

=

**FF** 0,800

Graus-Dia no Local (°C.dia)

1390,0

Ni = 4,5 + 0,0395 GD para FF ≤ 0,5

Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD para 0,5 < FF < =1

Ni = (4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD) (1,2 - 0,2 FF) para 1 < FF < =1,5

Ni = 4,05 + 0,06885 GD para FF > 1,5

Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - Ni (KWh/m<sup>2</sup>.ano)

74,82



**Folha de cálculo FC IV.2**

**Cálculo do Indicador (Nic)**

<b>Perdas térmicas associadas a:</b>	<b>(W/°C)</b>
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)	76,95
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	14,83
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	137,27
Renovação de Ar (da FC IV.1d)	17,41
<b>Coefficiente Global de Perdas (W/°C)</b>	<b>246,46</b>
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1390
	x
	0,024
	=
<b>Necessidades Brutas de Aquecimento (KWh/ano)</b>	<b>8437,88</b>
	+
Consumo de Eletricidade para os Ventiladores ( $E_v = P_v \cdot 24 \cdot 0,03 \cdot M$ (KWh))	216
	-
Ganhos Totais Úteis (KWh/ano) (da FC IV.1e)	6399,71
	=
<b>Necessidades de Aquecimento (KWh/ano)</b>	<b>2038,17</b>
	/
Área Útil de pavimento (m <sup>2</sup> )	136,00
	=
<b>Necessidades Nominais de Aquecimento - Nic (KWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>14,99</b>
	<
<b>Necessidades Nominais Máximas de Aquecimento - Ni (KWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>74,82</b>

Folha de cálculo FC V.1a

Perdas

Perdas Associadas às Paredes Exteriores (U.A)	(FC IV1.a)	29,17	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas aos Pavimentos Exteriores (U.A)	(FC IV1.a)	0,95	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas às Coberturas Exteriores (U.A)	(FC V1.a)	14,88	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas aos Envidraçados Exteriores (U.A)	(FC V1.c)	137,27	(W/°C)
		+	
Perdas Associadas à Renovação de Ar	(FC IV1.d)	116,06	(W/°C)
		=	
Perdas Específicas Totais	(Q1a)	298,33	(W/°C)

Temperatura Interior de Referência		25	(°C)
		-	
Temperatura média do Ar Exterior na Estação de Arrefecimento (Quadro III 9)		19	(°C)
		=	
Diferença de Temperatura Exterior e Interior		6	(°C)
		x	
Perdas Específicas Totais	(Q1a)	298,33	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
Perdas Térmicas Totais	(Q1b)	5241,02	(KWh)

Nota: Na estação de arrefecimento desliga-se a ventilação mecânica e faz-se uso apenas da ventilação natural.

Folha de cálculo FC V.1b

Perdas Associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores

Perdas Associadas às Coberturas Exteriores:

Coberturas Exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
LCE 1 - laje de cobertura 1	4,95	0,22	1,08
LCE 2 - laje de cobertura 2	65,47	0,21	13,80
<b>TOTAL</b>			<b>14,88</b>

Perdas Associadas aos Envidraçados Exteriores:

Vãos envidraçados exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U	U.A
<b>Verticais:</b>	(m <sup>2</sup> )	(W/m <sup>2</sup> °C)	(W/°C)
Env 1	3,15	2,90	9,14
Env 2	3,15	2,90	9,14
Env 3	4,60	3,30	15,18
Env 4	3,42	2,90	9,92
Env 5	10,29	2,90	29,84
Env 6	2,52	2,90	7,31
Env 7	3,15	2,90	9,14
Env 8	3,15	2,90	9,14
Env 9	1,47	2,90	4,26
Env 10	1,60	2,90	4,64
Env 11	0,42	2,90	1,22
Env 12	0,42	2,90	1,22
Env 13	4,62	2,90	13,40
Env 14	3,78	2,90	10,96
Env 15	0,96	2,90	2,78
<b>Horizontais:</b>			
-	-	-	-
<b>TOTAL</b>			<b>137,27</b>

Folha de cálculo FC V.1c

Ganhos Solares Pela Envolvente Opaca Exterior

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

	Paredes exteriores									Coberturas exteriores		Pontes Térmicas Planas							
	PE 1	PE 1	PE 1	PE 2	PE 2	PE 3	PE 3	PE 4	PE 4	LCE 1	LCE 2	PTPe 1	PTPe 1	PTPe 1	PTPe 2	PTPe 3	PTPe 3	PTPe 4	PTPe 4
	N	E	S	N	W	E	W	E	S	Horiz.	Horiz.	N	E	S	N	E	W	E	S
Área - A (m <sup>2</sup> )	13,97	11,89	0,93	4,79	1,05	4,84	29,55	15,44	5,55	4,95	65,47	0,70	2,81	5,49	1,32	1,34	5,02	2,57	0,48
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
U (W/m <sup>2</sup> °C)	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,22	0,21	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Coefficiente de absorção - a	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,80	0,80	0,80	0,80	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,80	0,80	0,80	0,80
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
a.U.A (W/°C)	1,47	1,25	0,10	0,51	0,11	1,00	6,09	3,22	1,16	0,43	5,52	0,09	0,36	0,70	0,17	0,33	1,24	0,64	0,12
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Int. rad. solar estação. arref. (kWh/m <sup>2</sup> )	200	420	380	200	420	420	420	420	380	730	730	200	420	380	200	420	420	420	380
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
(Quadro III-9)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos solares envolvente opaca exterior (kWh)	11,80	21,08	1,49	4,09	1,88	16,77	102,37	54,11	17,60	12,57	161,19	0,71	6,00	10,60	1,36	5,56	20,83	10,81	1,83
	<b>TOTAL</b>																		
	<b>462,63</b>																		

Folha de cálculo FC V.1d

Ganhos Solares Pelos Envidraçados Exteriores

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

	Env 1	Env 2	Env 3	Env 4	Env 5	Env 6	Env 7	Env 8	Env 9	Env 10	Env 11	Env 12	Env 13	Env 14	Env 15	
	N	N	E	E	S	S	N	N	E	E	E	E	S	S	W	
Área - A (m <sup>2</sup> )	3,15	3,15	4,60	3,42	10,29	2,52	3,15	3,15	1,47	1,60	0,42	0,42	4,62	3,78	0,96	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Factor solar do vão envidraçado (1)	0,25	0,25	0,55	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Fracção envidraçada - Fg (Quadro IV.5)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Factor de obstrução - Fs (2)	0,90	0,90	0,61	0,90	0,55	0,49	0,90	0,90	0,62	0,90	0,90	0,90	0,55	0,55	0,90	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Factor seletividade vidro – Fw	0,80	0,80	0,85	0,85	0,75	0,75	0,80	0,80	0,85	0,85	0,85	0,85	0,75	0,75	0,85	
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
Área efetiva - Ae (m <sup>2</sup> )	0,39	0,39	0,92	0,45	0,74	0,16	0,39	0,39	0,13	0,21	0,06	0,06	0,33	0,27	0,13	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Int. rad. solar estação. arref. (kWh/m <sup>2</sup> )	200	200	420	420	380	380	200	200	420	420	420	420	380	380	420	
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
Ganhos Sol. Env. Ext. (kWh)	78,11	78,11	385,17	189,22	280,03	60,62	78,11	78,11	55,77	88,52	23,24	23,24	125,53	101,15	53,11	<b>1698,06</b>

TOTAL

Folha de cálculo FC V.1e

Ganhos Internos

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	4,00	(W/m <sup>2</sup> )
	x	
Área útil de pavimento	136,00	(m <sup>2</sup> )
	x	
	2,928	
	=	
<b>Ganhos Internos Totais</b>	<b>1592,83</b>	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1f

Ganhos Totais na Estação de Arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos envidraçados exteriores (FC V.1d)	1698,06	(kWh)
	+	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior (FC V.1c)	462,63	(kWh)
	+	
Ganhos Internos (FC V.1e)	1592,83	(kWh)
	=	
<b>Ganhos Térmicos Totais</b>	<b>3753,52</b>	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais	(FC V.1f)	3753,52	(kWh)
		/	
Perdas Térmicas Totais	(FC V.1a)	5241,02	(kWh)
		=	
g		0,7162	
Inércia do edifício		Forte	a = 4,2

		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos solares, $\eta$		0,915	
		=	
		0,08	
		x	
Ganhos Térmicos Totais (kWh) (FC V.1f)		3753,52	
		=	
Necessidades brutas de arrefecimento (kWh/ano)		318,26	
		+	
Consumo dos ventiladores (kWh) (se houver, exaustor da cozinha excluído)		0,0	(Ev=Pv.24.0,03.4)
		=	
	<b>TOTAL</b>	318,26	(KWh/ano)
		/	
Área útil de pavimento (m <sup>2</sup> )		136,00	
		=	
<b>Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc</b>		<b>2,34</b>	(KWh/m <sup>2</sup> .ano)
		<	
<b>Necessidades nominais de arrefecimento máximas - Nv</b>		<b>16</b>	(KWh/m <sup>2</sup> .ano)

Folha de cálculo FC VI

**Necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária**

**Verificação das necessidades nominais de energia primária:**

Necessidades nominais de aquecimento $N_{ic}$	14,99	kWh/m <sup>2</sup> .ano
Eficiência nominal dos equipamentos para aquecimento $\eta_i$	0,87	-
Fator de conversão $F_{pu}$ (aquecimento)	0,09	kgep/kWh
Necessidades nominais de arrefecimento $N_{vc}$	2,34	kWh/m <sup>2</sup> .ano
Eficiência nominal dos equipamentos para arrefecimento $\eta_{vc}$	3,00	-
Fator de conversão $F_{pu}$ (arrefecimento)	0,29	kgep/kWh
Necessidade de energia para preparação de AQS - $N_{ac}$	14,11	kWh/m <sup>2</sup> .ano
Eficiência nominal dos equipamentos para AQS $\eta_{ac}$	0,87	-
Fator de conversão $F_{pu}$ (AQS)	0,09	kgep/kWh

Necessidades nominais de aquecimento máximas $N_i$	74,82	kWh/m <sup>2</sup> .ano
Necessidades nominais de arrefecimento máximas $N_v$	16,00	kWh/m <sup>2</sup> .ano
Necessidades máximas de energia para preparação de AQS $N_a$	43,48	kWh/m <sup>2</sup> .ano

Nec. globais anuais nominais específicas de energia primária $N_{tc}$	1,43	kgep/m <sup>2</sup> .ano
---	------	--------------------------

<

Nec. globais máximas nominais anuais específicas de energia primária $N_t$	6,69	kgep/m <sup>2</sup> .ano
--	------	--------------------------

Edifício Regulamentar

$N_{tc}/N_t =$	0,214
Classe energética	A+



## **ANEXO IV – Cálculos auxiliares (Solução final)**

**i.1. Cálculo dos coeficientes de transmissão térmica, U, em elementos opacos exteriores**

**i.2. Cálculo dos coeficientes de transmissão térmica, U, em elementos opacos interiores**

**ii.1. Definição dos valores de  $\Psi$  em pontes térmicas lineares (Tabela IV.3 do RCCTE)**

**iii.1. Cálculo da inércia térmica interior**

**iv.1. Determinação dos fatores solares  $F_0$  na situação de inverno**

**iv.2. Determinação dos fatores solares  $F_0$  na situação de verão**

**Cálculo do Coeficiente de Transmissão Térmica - U**  
**ZONAS CORRENTES E PONTES TÉRMICAS PLANAS**

**Paredes exteriores**

**PE 1 - Parede Exterior 1 - alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm ( $R_j = 0,66 \text{ m}^2/\text{W}\cdot^\circ\text{C}$ ) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ) sendo o paramento interior revestido a gesso projectado de 2 cm ( $\lambda = 0,3 \text{ W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ ( $\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ )	$R_j=d_j/\lambda_j$ ( $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (15 cm)	0,150	—	0,390	ITE 50
caixa de ar (2 cm)	0,020	—	0,175	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (10 cm)	0,100	0,037	2,703	ITE 50
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (11 cm)	0,110	—	0,270	ITE 50
Gesso projectado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	600 - 900 kg/m <sup>3</sup>
		<b>Rsi</b>	0,13	
		<b>Rse</b>	0,04	
		<b>Rsi+<math>\sum R_j</math>+Rse=</b>	3,79	
		<b>U = 1/(Rsi+<math>\sum R_j</math>+Rse)</b>	<b>0,26</b>	W/m <sup>2</sup> °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>max</sub></b>	<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub></b>	<b>1,80</b>

**PE 2 - Parede Exterior 2 - alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm ( $R_j = 0,66 \text{ m}^2/\text{W}\cdot^\circ\text{C}$ ) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm na face exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ) e revestimento ceramico de 1,5 cm na face interior - zona da cozinha e IS ( $\lambda = 1,04 \text{ W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ ( $\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ )	$R_j=d_j/\lambda_j$ ( $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (15 cm)	0,150	—	0,390	ITE 50
caixa de ar (2 cm)	0,020	—	0,175	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (10 cm)	0,100	0,037	2,703	ITE 50
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (11 cm)	0,110	—	0,270	ITE 50
Reboco (1 cm)	0,010	1,300	0,008	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Revestimento Cerâmico (1,5 cm)	0,015	1,040	0,014	ITE 50
		<b>Rsi</b>	0,13	
		<b>Rse</b>	0,04	
		<b>Rsi+<math>\sum R_j</math>+Rse=</b>	3,745	
		<b>U = 1/(Rsi+<math>\sum R_j</math>+Rse)</b>	<b>0,27</b>	W/m <sup>2</sup> °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>max</sub></b>	<b>Sim</b>	<b>U<sub>máx</sub></b>	<b>1,80</b>

**PE 3 - Parede Exterior 3 - alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm ( $R_j = 0,66 \text{ m}^2/\text{W}\cdot^\circ\text{C}$ ) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ) sendo o paramento interior revestido a gesso projectado de 2 cm ( $\lambda = 0,3 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ). A parede é dotada de um sistema de fachada ventilada constituído por ripado de madeira acente sobre suporte perfazendo uma caixa de ar ventilada.**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ ( $\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ )	$R_j=d_j/\lambda_j$ ( $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (15 cm)	0,150	–	0,390	ITE 50
caixa de ar (2 cm)	0,020	–	0,175	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (10 cm)	0,100	0,037	2,703	ITE 50
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (11 cm)	0,110	–	0,270	ITE 50
Gesso projectado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	600 - 900 kg/m <sup>3</sup>
		<b>R<sub>si</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>se</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>=</b>	3,880	
		<b>U = 1/(R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>)</b>	<b>0,26</b>	W/m <sup>2</sup> °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>max</sub></b>		<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub></b> <b>1,80</b>

**PE 4 - Parede Exterior 4 - alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm ( $R_j = 0,66 \text{ m}^2/\text{W}\cdot^\circ\text{C}$ ) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm na face exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ) e revestimento cerâmico de 1,5 cm na face interior - zona da cozinha e IS ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ). A parede é dotada de um sistema de fachada ventilada constituído por ripado de madeira acente sobre suporte perfazendo uma caixa de ar ventilada.**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ ( $\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ )	$R_j=d_j/\lambda_j$ ( $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (15 cm)	0,150	–	0,390	ITE 50
caixa de ar (2 cm)	0,020	–	0,175	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (10 cm)	0,100	0,037	2,703	ITE 50
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (11 cm)	0,110	–	0,270	ITE 50
Reboco (1 cm)	0,010	1,300	0,008	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Revestimento Cerâmico (1,5 cm)	0,015	1,040	0,014	ITE 50
		<b>R<sub>si</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>se</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>=</b>	3,835	
		<b>U = 1/(R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>)</b>	<b>0,26</b>	W/m <sup>2</sup> °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>max</sub></b>		<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub></b> <b>1,80</b>

**PTPe 1 - Ponte térmica plana exterior 1 - zona de pilar e de talão de viga - correcção pelo exterior. Pilar / Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) corrigidos pelo exterior com 4 cm de XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e por forra cerâmica de 3 cm ( $R_j = 0,07 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e paramento interior revestido a gesso projectado de 2 cm ( $\lambda = 0,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ\text{C}$ )	$R_j=dj/\lambda_j$ (m $^2$ . $^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m $^3$
Forra cerâmica (3 cm)	0,030	—	0,070	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (10 cm)	0,100	0,037	2,703	ITE 50
Pano de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50
Gesso projectado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	600 - 900 kg/m $^3$
		<b>Rsi</b>	0,13	
		<b>Rse</b>	0,04	
		<b>Rsi+<math>\sum</math>Rj+Rse=</b>	3,15	
		<b>U = 1/(Rsi+<math>\sum</math>Rj+Rse)</b>	<b>0,32</b>	W/m $^2$ °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>				<b>Umáx</b> <b>1,80</b>
	<b>Up.t.plana <math>\leq</math> Umax</b>		<b>sim</b>	<b>Uz.corrente</b> <b>0,26</b>
	<b>Up.t.plana <math>\leq</math> 2*Uz.corrente</b>		<b>sim</b>	<b>2 x Uz.corrente</b> <b>0,53</b>

**PTPe 2 - Ponte térmica plana exterior 2 - zona de pilar e de talão de viga - correcção pelo exterior. Pilar / Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) corrigidos pelo exterior com 4 cm de XPS ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e por forra cerâmica de 3 cm ( $R_j = 0,07 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm na face exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e revestimento cerâmico de 1,5 cm na face interior - zona da cozinha e IS ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ\text{C}$ )	$R_j=dj/\lambda_j$ (m $^2$ . $^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m $^3$
Forra cerâmica (3 cm)	0,030	—	0,070	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (10 cm)	0,100	0,037	2,703	ITE 50
Pano de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50
Reboco (1 cm)	0,010	1,300	0,008	1800 - 2000 kg/m $^3$
Revestimento Cerâmico (1,5 cm)	0,015	1,040	0,014	ITE 50
		<b>Rsi</b>	0,13	
		<b>Rse</b>	0,04	
		<b>Rsi+<math>\sum</math>Rj+Rse=</b>	3,11	
		<b>U = 1/(Rsi+<math>\sum</math>Rj+Rse)</b>	<b>0,32</b>	W/m $^2$ °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>				<b>Umáx</b> <b>1,80</b>
	<b>Up.t.plana <math>\leq</math> Umax</b>		<b>sim</b>	<b>Uz.corrente</b> <b>0,27</b>
	<b>Up.t.plana <math>\leq</math> 2*Uz.corrente</b>		<b>sim</b>	<b>2 x Uz.corrente</b> <b>0,53</b>

**PTPe 3 - Ponte térmica plana exterior 3 - zona de pilar e de talão de viga - correcção pelo exterior. Pilar / Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) corrigidos pelo exterior com 4 cm de XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e por forra cerâmica de 3 cm ( $R_j = 0,07 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e paramento interior revestido a gesso projectado de 2 cm ( $\lambda = 0,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ). A parede é dotada de um sistema de fachada ventilada constituído por ripado de madeira acente sobre suporte perfazendo uma caixa de ar ventilada.**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ\text{C}$ )	$R_j=dj/\lambda_j$ (m $^2$ . $^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m $^3$
Forra cerâmica (3 cm)	0,030	—	0,070	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (10 cm)	0,100	0,037	2,703	ITE 50
Pano de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50
Gesso projectado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	600 - 900 kg/m $^3$
		<b>Rsi</b>	0,13	
		<b>Rse</b>	0,13	
		<b>Rsi+<math>\sum R_j</math>+Rse=</b>	3,24	
		<b>U = 1/(Rsi+<math>\sum R_j</math>+Rse)</b>	<b>0,31</b>	W/m $^2$ $^\circ\text{C}$
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>				<b>Umáx</b>   <b>1,80</b>
	<b>Up.t.plana <math>\leq</math> Umax</b>		<b>sim</b>	<b>Uz.corrente</b>   <b>0,26</b>
	<b>Up.t.plana <math>\leq</math> 2*Uz.corrente</b>		<b>sim</b>	<b>2 x Uz.corrente</b>   <b>0,52</b>

**PTPe 4 - Ponte térmica plana exterior 4 - zona de pilar e de talão de viga - correcção pelo exterior. Pilar / Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) corrigidos pelo exterior com 4 cm de XPS ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e por forra cerâmica de 3 cm ( $R_j = 0,07 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm na face exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e revestimento cerâmico de 1,5 cm na face interior - zona da cozinha e IS ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ). A parede é dotada de um sistema de fachada ventilada constituído por ripado de madeira acente sobre suporte perfazendo uma caixa de ar ventilada.**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ\text{C}$ )	$R_j=dj/\lambda_j$ (m $^2$ . $^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m $^3$
Forra cerâmica (3 cm)	0,030	—	0,070	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (10 cm)	0,100	0,037	2,703	ITE 50
Pano de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50
Reboco (1 cm)	0,010	1,300	0,008	1800 - 2000 kg/m $^3$
Revestimento Cerâmico (1,5 cm)	0,015	1,040	0,014	1800 - 2000 kg/m $^3$
		<b>Rsi</b>	0,13	
		<b>Rse</b>	0,13	
		<b>Rsi+<math>\sum R_j</math>+Rse=</b>	3,20	
		<b>U = 1/(Rsi+<math>\sum R_j</math>+Rse)</b>	<b>0,31</b>	W/m $^2$ $^\circ\text{C}$
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>				<b>Umáx</b>   <b>1,80</b>
	<b>Up.t.plana <math>\leq</math> Umax</b>		<b>sim</b>	<b>Uz.corrente</b>   <b>0,26</b>
	<b>Up.t.plana <math>\leq</math> 2*Uz.corrente</b>		<b>sim</b>	<b>2 x Uz.corrente</b>   <b>0,52</b>

## Pavimentos exteriores

**LPE 1 - Laje de pavimento exterior 1 - laje maciça de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); ii) enchimento em betão leve com uma espessura média de 4 cm ( $\lambda = 0,85 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); iii) camada de regularização com a espessura média de 2 cm ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); iv) soalho de madeira de 2 cm ( $\lambda = 0,18 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ). Na face inferior a laje é rebocada com 2 cm de reboco ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ$ C)	Rj=dj/ $\lambda_j$ Rj (m $^2$ . $^\circ$ C/W)	Referências
laje de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (15 cm)	0,150	0,037	4,054	ITE 50
Camada de betão leve (4 cm)	0,040	0,850	0,047	ITE 50
Camada de regularização (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m $^3$
soalho de madeira (2 cm)	0,020	0,180	0,111	ITE 50
		<b>Rsi</b>	0,17	
		<b>Rse</b>	0,04	
		<b>Rsi+<math>\sum</math>Rj+Rse=</b>	4,56	
		<b>U = 1/(Rsi+<math>\sum</math>Rj+Rse)</b>	<b>0,22</b>	W/m $^2$ °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>Uz.corrente <math>\leq</math> Umax</b>		<b>sim</b>	<b>Umax</b>
				<b>1,25</b>

**LPE 2 - Laje de pavimento exterior 2 - laje maciça de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); ii) enchimento em betão leve com uma espessura média de 4 cm ( $\lambda = 0,85 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); iii) camada de regularização com a espessura média de 2 cm ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); iv) revestimento cerâmico de 2 cm ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ). Na face inferior a laje é rebocada com 2 cm de reboco ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ$ C)	Rj=dj/ $\lambda_j$ Rj (m $^2$ . $^\circ$ C/W)	Referências
laje de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (15 cm)	0,150	0,037	4,054	ITE 50
Camada de betão leve (4 cm)	0,040	0,850	0,047	ITE 50
Camada de regularização (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m $^3$
Revestimento Cerâmico superior (2 cm)	0,020	1,040	0,019	ITE 50
		<b>Rsi</b>	0,17	
		<b>Rse</b>	0,04	
		<b>Rsi+<math>\sum</math>Rj+Rse=</b>	4,47	
		<b>U = 1/(Rsi+<math>\sum</math>Rj+Rse)</b>	<b>0,22</b>	W/m $^2$ °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>Uz.corrente <math>\leq</math> Umax</b>		<b>sim</b>	<b>Umax</b>
				<b>1,25</b>

## Coberturas exteriores

**LCE 1 - Laje de cobertura exterior 1 - laje plana de 25 cm de betão maciça ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) isolante térmico XPS com 4 cm de espessura ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); ii) cobertura em chapa de zinco sobre apoios perfazendo um espaço de ar ventilado. A laje está revestida na face inferior com tecto falso suspenso com painel de gesso cartonado de 1,5 cm ( $\lambda = 0,25 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ), com uma caixa-de-ar de 8,5 cm bem vedada - fluxo ascendente ( $R_j = 0,16 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ )	$R_j = d_j / \lambda_j$ $R_j$ ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ )	Referências	
Isolamento térmico - XPS (15 cm)	0,150	0,037	4,054	ITE 50	
laje de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50	
placa de gesso cartonado	0,015	0,250	0,060	ITE 50	
espaço de ar	--	--	0,160	ITE 50	
		<b>R<sub>si</sub></b>	0,10	$\text{W/m}^2\text{C}$	
		<b>R<sub>se</sub></b>	0,10		
		<b>R<sub>si</sub> + <math>\sum R_j</math> + R<sub>se</sub> =</b>	4,60		
		<b>U = 1 / (R<sub>si</sub> + <math>\sum R_j</math> + R<sub>se</sub>)</b>	<b>0,22</b>		
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>max</sub></b>		<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub></b>	<b>1,25</b>

**LCE 2 - Laje de cobertura exterior 2 - laje plana aligeirada de abobadilhas cerâmicas com 21 cm de espessura incluindo camada de betão complementar de 4 cm ( $R_j = 0,27 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) isolante térmico XPS com 4 cm de espessura ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ); ii) cobertura em chapa de zinco sobre apoios perfazendo um espaço de ar ventilado. A laje está revestida na face inferior com tecto falso suspenso com painel de gesso cartonado de 1,5 cm ( $\lambda = 0,25 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ), com uma caixa-de-ar de 8,5 cm bem vedada - fluxo ascendente ( $R_j = 0,16 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ )	$R_j = d_j / \lambda_j$ $R_j$ ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ )	Referências	
Isolamento térmico - XPS (15 cm)	0,150	0,037	4,054	ITE 50	
Laje aligeirada de 0,25m - blocos cerâmicos - fluxo ascendente	0,250	--	0,270	ITE 50	
placa de gesso cartonado	0,015	0,250	0,060	ITE 50	
espaço de ar	0,085	--	0,160	ITE 50	
		<b>R<sub>si</sub></b>	0,10	$\text{W/m}^2\text{C}$	
		<b>R<sub>se</sub></b>	0,10		
		<b>R<sub>si</sub> + <math>\sum R_j</math> + R<sub>se</sub> =</b>	4,74		
		<b>U = 1 / (R<sub>si</sub> + <math>\sum R_j</math> + R<sub>se</sub>)</b>	<b>0,21</b>		
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>max</sub></b>		<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub></b>	<b>1,25</b>

## Pavimentos interiores

**LPI 1 - Laje de pavimento interior 1 - laje aligeirada de abobadilhas cerâmicas com 21 cm de espessura incluindo camada de betão complementar de 4 cm ( $R_j = 0,30 \text{ m}^2\text{°C/W}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) enchimento em betão leve com uma espessura média de 7 cm ( $\lambda = 0,85 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ); ii) camada de regularização com a espessura média de 3 cm ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ); iii) soalho de madeira de 2 cm ( $\lambda = 0,18 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ).**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j=d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referências
Laje aligeirada de 0,25m - blocos cerâmicos - fluxo descendente	0,250	—	0,300	ITE 50
Camada de betão leve (7 cm)	0,070	0,850	0,082	ITE 50
Camada de regularização (3 cm)	0,030	1,300	0,023	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
soalho de madeira (2 cm)	0,020	0,180	0,111	ITE 50
		<b>R<sub>si</sub></b>	0,17	
		<b>R<sub>se</sub></b>	0,17	
		<b>R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>=</b>	0,86	
		<b>U = 1/(R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>)</b>	1,17	W/m <sup>2</sup> °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>max</sub></b>		<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub></b> <b>1,65</b>

**LPI 1 - Laje de pavimento interior 1 - laje aligeirada de abobadilhas cerâmicas com 21 cm de espessura incluindo camada de betão complementar de 4 cm ( $R_j = 0,30 \text{ m}^2\text{°C/W}$ ), revestida superiormente com os seguintes materiais: i) enchimento em betão leve com uma espessura média de 7 cm ( $\lambda = 0,85 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ); ii) camada de regularização com a espessura média de 3 cm ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ); iii) revestimento cerâmico de 2 cm ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ).**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j=d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referências
Laje aligeirada de 0,25m - blocos cerâmicos - fluxo descendente	0,250	—	0,300	ITE 50
Camada de betão leve (7 cm)	0,070	0,850	0,082	ITE 50
Camada de regularização (3 cm)	0,030	1,300	0,023	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Revestimento Cerâmico superior (2 cm)	0,020	1,040	0,019	ITE 50
		<b>R<sub>si</sub></b>	0,17	
		<b>R<sub>se</sub></b>	0,17	
		<b>R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>=</b>	0,76	
		<b>U = 1/(R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>)</b>	1,31	W/m <sup>2</sup> °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>max</sub></b>		<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub></b> <b>1,65</b>



## Paredes interiores com requisitos de envolvente exterior

**PI 1 - Parede Interior 1 - parede em contacto com espaço não aquecido - garagem. Alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm ( $R_j = 0,66 \text{ m}^2/\text{W}\cdot^\circ\text{C}$ ) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento da garagem ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ) sendo o paramento interior revestido a gesso projectado de 2 cm ( $\lambda = 0,3 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ ( $\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ )	$R_j=d_j/\lambda_j$ ( $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (15 cm)	0,150	–	0,390	ITE 50
caixa de ar (2 cm)	0,020	–	0,175	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (10 cm)	0,100	2,703	1,081	ITE 50
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (11 cm)	0,110	–	0,270	ITE 50
Gesso projectado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	600 - 900 kg/m <sup>3</sup>
		<b>R<sub>si</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>se</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>=</b>	3,88	
		<b>U = 1/(R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>)</b>	<b>0,26</b>	W/m <sup>2</sup> °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>máx</sub></b>	<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub></b>	<b>1,80</b>

**PI 2 - Parede Interior 2 - parede em contacto com espaço não aquecido - garagem. Alvenaria de tijolo cerâmico furado normal de 15+11 cm ( $R_j = 0,66 \text{ m}^2/\text{W}\cdot^\circ\text{C}$ ) com caixa de ar de 6 cm preenchida com 4 cm de isolante térmico XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento da garagem ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ) e revestimento cerâmico de 1,5 cm na face interior - zona da IS ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ ( $\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ )	$R_j=d_j/\lambda_j$ ( $\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (15 cm)	0,150	–	0,390	ITE 50
caixa de ar (2 cm)	0,020	–	0,175	ITE 50
Isolamento térmico - XPS (10 cm)	0,100	0,037	2,703	ITE 50
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (11 cm)	0,110	–	0,270	ITE 50
Reboco (1 cm)	0,010	1,300	0,008	1800 - 2000 kg/m <sup>3</sup>
Revestimento Cerâmico (1,5 cm)	0,015	1,040	0,014	ITE 50
		<b>R<sub>si</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>se</sub></b>	0,13	
		<b>R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>=</b>	3,84	
		<b>U = 1/(R<sub>si</sub>+∑R<sub>j</sub>+R<sub>se</sub>)</b>	<b>0,26</b>	W/m <sup>2</sup> °C
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>	<b>U<sub>z.corrente</sub> ≤ U<sub>máx</sub></b>	<b>sim</b>	<b>U<sub>máx</sub></b>	<b>1,80</b>

**PTPi 1 - Ponte térmica plana interior 1 - zona de talão de viga - correcção pelo lado não útil. Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) corrigida pelo lado da garagem com 4 cm de XPS ( $\lambda = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e por forra ceramica de 3 cm ( $R_j = 0,07 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm no paramento exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e paramento interior revestido a gesso projectado de 2 cm ( $\lambda = 0,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ\text{C}$ )	$R_j = d_j / \lambda_j$ (m $^2$ . $^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências	
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m $^3$	
Forra cerâmica (3 cm)	0,030	—	0,070	ITE 50	
Isolamento térmico - XPS (10 cm)	0,100	0,037	2,703	ITE 50	
Pano de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50	
Gesso projectado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	600 - 900 kg/m $^3$	
		<b>Rsi</b>	0,13	W/m $^2$ °C	
		<b>Rse</b>	0,13		
		<b>Rsi + <math>\sum R_j</math> + Rse =</b>	3,24		
		<b>U = 1/(Rsi + <math>\sum R_j</math> + Rse)</b>	<b>0,31</b>		
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>				<b>U<sub>máx</sub></b>	<b>1,80</b>
<b>Up.t.plana <math>\leq</math> U<sub>max</sub></b>				<b>sim</b>	<b>Uz.corrente</b>
<b>Up.t.plana <math>\leq</math> 2*Uz.corrente</b>				<b>sim</b>	<b>2 x Uz.corrente</b>
					<b>0,26</b>
					<b>0,52</b>

**PTPi 2 - Ponte térmica plana interior 2 - zona de pilar e de talão de viga - correcção pelo lado não-útil. Pilar / Viga de betão de 25 cm ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) corrigidos pelo lado da garagem com 4 cm de XPS ( $\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e por forra ceramica de 3 cm ( $R_j = 0,07 \text{ m}^2/\text{W}^\circ\text{C}$ ); reboco de 2 cm na face exterior ( $\lambda = 1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) e revestimento ceramico de 1,5 cm na face interior - zona da cozinha e IS ( $\lambda = 1,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).**

Constituição	dj (m)	$\lambda_j$ (W/m. $^\circ\text{C}$ )	$R_j = d_j / \lambda_j$ (m $^2$ . $^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referências	
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	1800 - 2000 kg/m $^3$	
Forra cerâmica (3 cm)	0,030	—	0,070	ITE 50	
Isolamento térmico - XPS (10 cm)	0,100	0,037	2,703	ITE 50	
Pano de betão de 25 cm	0,250	2,000	0,125	ITE 50	
Reboco (1 cm)	0,010	1,300	0,008	1800 - 2000 kg/m $^3$	
Revestimento Cerâmico (1,5 cm)	0,015	1,040	0,014	1800 - 2000 kg/m $^3$	
		<b>Rsi</b>	0,13	W/m $^2$ °C	
		<b>Rse</b>	0,13		
		<b>Rsi + <math>\sum R_j</math> + Rse =</b>	3,20		
		<b>U = 1/(Rsi + <math>\sum R_j</math> + Rse)</b>	<b>0,31</b>		
<b>Verificação dos requisitos mínimos</b>				<b>U<sub>máx</sub></b>	<b>1,80</b>
<b>Up.t.plana <math>\leq</math> U<sub>max</sub></b>				<b>sim</b>	<b>Uz.corrente</b>
<b>Up.t.plana <math>\leq</math> 2*Uz.corrente</b>				<b>sim</b>	<b>2 x Uz.corrente</b>
					<b>0,26</b>
					<b>0,26</b>
					<b>0,52</b>

**PONTES TÉRMICAS LINEARES**

**ENVOLVENTE EXTERIOR OPACA**

<b>Tipo</b>	<b>Ligações entre:</b>	<b>Código</b>	<b>LOCALIZAÇÃO DO ISOLAMENTO</b>	<b>comprimento B (m)</b>	<b><math>\Psi</math> (W/m.°C)</b>
C	Fachada com pavimentos intermédios	PTL C	isolamento repartido ou isolamento na caixa de ar de paredes duplas	14,53	0,1
D	Fachada com cobertura inclinada ou terraço	PTL D	isolamento repartido ou isolamento na caixa de ar da parede de fachada e isolamento pelo exterior da cobertura	30,77	0,55
E	Fachada com varanda	PTL E	isolamento repartido ou isolamento na caixa de ar de paredes duplas	21,84	0,45
F	Duas paredes verticais	PTL F	isolamento repartido ou isolamento na caixa de ar de paredes duplas	25	0,15
H	Fachada/padieira, ombreira ou peitoril	PTL H	isolamento repartido ou isolamento na caixa de ar de paredes duplas	84,2	0,0
I	Fachada com soleira	PTL I	isolamento repartido ou isolamento na caixa de ar de paredes duplas	18,4	0,0

**ENVOLVENTE INTERIOR OPACA**

<b>Tipo</b>	<b>Ligações entre:</b>	<b>Código</b>	<b>LOCALIZAÇÃO DO ISOLAMENTO</b>	<b>comprimento B (m)</b>	<b><math>\Psi</math> (W/m.°C)</b>	<b><math>\zeta</math></b>
D	Fachada com cobertura inclinada ou terraço		Isolamento pelo exterior	5,78	0,55	0,8
F	Duas paredes verticais		Isolamento pelo exterior	2,2	0,15	0,8
I	Outra		Isolamento pelo exterior	5,78	0,5	0,8

Quantificação da Inércia Térmica Interior - (It)									
Cálculo da inercia térmica interior									
	Elementos de Construção - Descrição	Elemento	Tipologia	Área (m <sup>2</sup> )	M <sub>si</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	Factor de Correção ( r )	M <sub>si</sub> .r.Área (kg)	Ri 1 (m <sup>2</sup> .°C/w)	Ri 2 (m <sup>2</sup> .°C/w)
<b>EIO1</b> Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	PI 1 - Parede Interior 1 - garagem	PI 1	EL1	6,3	150,0	1,0	945,0	0,067	-
	PI 2 - Parede Interior 2 - garagem	PI 2	EL1	6,8	150,0	1,0	1014,0	0,014	-
<b>EIO1</b> Paredes Interiores à fracção	PI FA 1 - Parede interior à fracção autonoma 1	PI FA 1	EL3	47,6	170,0	1,0	8093,7	0,067	0,067
	PI FA 2 - Parede interior à fracção autonoma 2	PI FA 2	EL3	36,6	210,0	1,0	7692,3	0,014	0,067
	PI FA 3 - Parede interior à fracção autonoma 3	PI FA 3	EL3	4,0	250,0	1,0	1007,5	0,014	0,014
	PI FA 4 - Parede interior à fracção autonoma 4	PI FA 4	EL3	8,2	250,0	1,0	2037,5	0,067	0,067
	PI FA 5 - Parede interior à fracção autonoma 5	PI FA 5	EL3	4,8	290,0	1,0	1400,7	0,067	0,014
<b>EIO3</b> Pavimentos sobre espaços não úteis	LPI 1 - pavimento interior 1 - Desvão sanitário	LPI 1	EL1	36,6	150,0	1,0	5491,5	0,111	-
	LPI 2 - pavimento interior 2 - Desvão sanitário	LPI 2	EL1	27,3	150,0	1,0	4098,0	0,019	-
<b>EIO3</b> Pavimentos Interiores de Separação entre fracções - Sem requisitos	LI FA 1 - pavimento interior à fracção autonoma 1	LIFA 1	EL3	58,3	300,0	0,0	0,0	0,111	0,220
	LI FA 2 - pavimento interior à fracção autonoma 2	LIFA 2	EL3	7,9	300,0			0,019	0,220
	LI FA 3 - pavimento interior à fracção autonoma 3	LIFA 3	EL3	8,3	300,0	1,0	2502,0	0,111	0,050
<b>EIO41</b> Pontes térmicas planas	PTPi 1 - ponte térmica plana zona de talão de viga	PTPi 1	EL1	0,55	150,00	1,0	82,5	0,067	-
	PTPi 2 - ponte térmica plana zona de pilar e de talão de viga	PTPi 2	EL1	1,21	150,00	1,0	181,5	0,014	-

(...cont.)

<b>EE02</b> Pavimentos exteriores	LPE 1 - pavimento exterior 1	LPE 1	EL1	3,4	113,0	1,0	381,9	0,111	-
	LPE 2 - pavimento exterior 2	LPE 2	EL1	1,0	142,0	1,0	134,9	0,019	-
<b>EE04</b> Paredes exteriores	PE 1 - Parede exterior 1 - N	PE 1	EL1	14,0	150,0	1,0	2095,5	0,067	-
	PE 1 - Parede exterior 1 - E	PE 1	EL1	11,9	150,0	1,0	1783,5	0,067	-
	PE 1 - Parede exterior 1 - S	PE 1	EL1	0,9	150,0	1,0	139,5	0,067	-
	PE 2 - Parede exterior 1 - N	PE 2	EL1	4,8	150,0	1,0	718,5	0,014	-
	PE 2 - Parede exterior 1 - W	PE 2	EL1	1,1	150,0	1,0	157,5	0,014	-
	PE 3 - Parede exterior 1 - E	PE 3	EL1	4,8	150,0	1,0	726,0	0,067	-
	PE 3 - Parede exterior 1 - W	PE 3	EL1	29,6	150,0	1,0	4432,5	0,067	-
	PE 4 - Parede exterior 1 - E	PE 4	EL1	15,4	150,0	1,0	2316,0	0,014	-
PE 4 - Parede exterior 1 - S	PE 4	EL1	5,6	150,0	1,0	832,5	0,014	-	
<b>EE05</b> Coberturas exteriores	LCE 1 - laje de cobertura 1	LCE 1	EL1	5,0	150,0	0,5	371,3	0,220	-
	LCE 2 - laje de cobertura 2	LCE 2	EL1	65,5	150,0	0,5	4910,3	0,220	-
<b>EE061</b> Pontes térmicas planas envolvente exterior	PTPe 1 - Pilares e vigas periféricas - N	PTPe 1	EL1	0,7	150,0	1,0	105,0	0,067	-
	PTPe 1 - Pilares e vigas periféricas - E	PTPe 1	EL1	2,8	150,0	1,0	421,5	0,067	-
	PTPe 1 - Pilares e vigas periféricas - S	PTPe 1	EL1	5,5	150,0	1,0	823,5	0,067	-
	PTPe 2 - Pilares e vigas periféricas - N	PTPe 2	EL1	1,3	150,0	1,0	198,0	0,014	-
	PTPe 3 - Pilares e vigas periféricas - E	PTPe 3	EL1	1,3	150,0	1,0	201,0	0,067	-
	PTPe 3 - Pilares e vigas periféricas - W	PTPe 3	EL1	5,0	150,0	1,0	753,0	0,067	-
	PTPe 4 - Pilares e vigas periféricas - E	PTPe 4	EL1	2,6	150,0	1,0	385,5	0,014	-
	PTPe 4 - Pilares e vigas periféricas - S	PTPe 4	EL1	0,5	150,0	1,0	72,0	0,014	-

(...cont.)

Total	56505,5
-------	---------

/

Área útil de pavimento, $A_p$ (m <sup>2</sup> )	136,00
---	--------

=

Massa superficial útil por m <sup>2</sup> de área de pavimento, $I_t$ (kg/m <sup>2</sup> )	415,5
--	-------

Classe de Inércia Térmica	
Classe de Inércia	Massa superficial útil por m <sup>2</sup> de área de pavimento (Kg/m <sup>2</sup> )
Fraca	$I_t > 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

Classe de inércia térmica:	Forte
a =	4,2

Fatores solares  $F_0$  na situação de inverno

Vão Env.	Orientação	U (W/m <sup>2</sup> C)	Tipo (Simples ou Duplo)	Área (m <sup>2</sup> )	Factor de Orientação X (-)	Factor Solar do Vidro $g_{\perp}$ (-)	$g_{\perp}$ (Inv)	$g_{\perp}$ (Ver)	Ângulos			Estação de Aquecimento - Inverno					
									$\alpha$ - Fh	$\alpha$ - Fo	$\beta$ - Ff	Fh	Fo	Ff	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)
Env 1	N	2,90	Duplo	3,15	0,27	0,030	0,63	0,246	0,0	30,20	69,2 esq e 12,4 dir	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,90
Env 2	N	2,90	Duplo	3,15	0,27	0,030	0,63	0,246	0,0	30,20	55,0 esq e 22,1 dir	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,90
Env 3	E	3,30	Duplo	4,60	0,56	0,550	0,55	0,55	20,0	45,90	31,60	0,84	0,73	0,86	0,53	0,70	0,90
Env 4	E	2,90	Duplo	3,42	0,56	0,030	0,63	0,246	20,0	0,00	0,00	0,84	1,00	1,00	0,76	0,70	0,90
Env 5	S	2,90	Duplo	10,29	1,00	0,030	0,63	0,246	20,0	27,30	18,0 esq e 39,7 dir	0,90	0,75	0,86	0,58	0,70	0,90
Env 6	S	2,90	Duplo	2,52	1,00	0,030	0,63	0,246	20,0	27,30	65,9 esq e 41,2 dir	0,90	0,75	0,74	0,50	0,70	0,90
Env 7	N	2,90	Duplo	3,15	0,27	0,030	0,63	0,246	0,0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,90
Env 8	N	2,90	Duplo	3,15	0,27	0,030	0,63	0,246	0,0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,90
Env 9	E	2,90	Duplo	1,47	0,56	0,030	0,63	0,246	20,0	47,60	8,70	0,84	0,72	0,96	0,58	0,70	0,90
Env 10	E	2,90	Duplo	1,60	0,56	0,030	0,63	0,246	20,0	0,00	33,40	0,84	1,00	0,85	0,72	0,70	0,90
Env 11	E	2,90	Duplo	0,42	0,56	0,030	0,63	0,246	230,0	0,00	0,00	0,84	1,00	1,00	0,76	0,70	0,90
Env 12	E	2,90	Duplo	0,42	0,56	0,030	0,63	0,246	20,0	0,00	0,00	0,84	1,00	1,00	0,76	0,70	0,90
Env 13	S	2,90	Duplo	4,62	1,00	0,030	0,63	0,246	20,0	28,70	35,3 esq e 14,6 dir	0,90	0,74	0,88	0,59	0,70	0,90
Env 14	S	2,90	Duplo	3,78	1,00	0,370	0,63	0,484	20,0	28,70	13,0 esq e 42,0 dir	0,90	0,74	0,86	0,57	0,70	0,90

(...cont.)

Env 15	W	2,90	Duplo	0,96	0,56	0,370	0,63	0,484	20,0	0,00	0,00	0,84	1,00	1,00	0,76	0,70	0,90
--------	---	------	-------	------	------	-------	------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Fatores solares $F_0$ na situação de verão																	
Vão Env.	Orientação	U (W/m <sup>2</sup> °C)	Tipo (Simple ou Duplo)	Área (m <sup>2</sup> )	Factor de Orientação X (-)	Factor Solar do Vidro $g_{\perp}$ (-)	$g_{\perp}$ (Inv)	$g_{\perp}$ (Ver)	Ângulos			Estação de Arrefecimento - Verão					
									$\alpha$ - Fh	$\alpha$ - Fo	$\beta$ - Ff	Fh	Fo	Ff	Factor de Obstrução $F_s$ (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada $F_g$ (-)	Factor de Sel. Angular $F_w$ (-)
Env 1	N	2,90	Duplo	3,15	0,27	0,370	0,63	0,484	0,0	30,20	69,2 esq e 12,4 dir	1,00	0,98	1,00	0,90	0,70	0,80
Env 2	N	2,90	Duplo	3,15	0,27	0,370	0,63	0,484	0,0	30,20	55,0 esq e 22,1 dir	1,00	0,98	1,00	0,90	0,70	0,80
Env 3	E	3,30	Duplo	4,60	0,56	0,550	0,55	0,55	20,0	45,90	31,60	1,00	0,63	0,96	0,61	0,70	0,85
Env 4	E	2,90	Duplo	3,42	0,56	0,370	0,63	0,484	20,0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,85
Env 5	S	2,90	Duplo	10,29	1,00	0,370	0,63	0,484	20,0	27,30	18,0 esq e 39,7 dir	1,00	0,66	0,84	0,55	0,70	0,75
Env 6	S	2,90	Duplo	2,52	1,00	0,370	0,63	0,484	20,0	27,30	65,9 esq e 41,2 dir	1,00	0,66	0,74	0,49	0,70	0,75
Env 7	N	2,90	Duplo	3,15	0,27	0,370	0,63	0,484	0,0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,80
Env 8	N	2,90	Duplo	3,15	0,27	0,370	0,63	0,484	0,0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,80



(...cont.)

Env 9	E	2,90	Duplo	1,47	0,56	0,370	0,63	0,484	20,0	47,60	8,70	1,00	0,62	0,99	0,62	0,70	0,85
Env 10	E	2,90	Duplo	1,60	0,56	0,370	0,63	0,484	20,0	0,00	33,40	1,00	1,00	0,96	0,90	0,70	0,85
Env 11	E	2,90	Duplo	0,42	0,56	0,370	0,63	0,484	230,0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,85
Env 12	E	2,90	Duplo	0,42	0,56	0,370	0,63	0,484	20,0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,85
Env 13	S	2,90	Duplo	4,62	1,00	0,370	0,63	0,484	20,0	28,70	35,3 esq e 14,6 dir	1,00	0,65	0,86	0,55	0,70	0,75
Env 14	S	2,90	Duplo	3,78	1,00	0,370	0,63	0,484	20,0	28,70	13,0 esq e 42,0 dir	1,00	0,65	0,84	0,55	0,70	0,75
Env 15	W	2,90	Duplo	0,96	0,56	0,370	0,63	0,484	20,0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,70	0,85