



**Universidade de Aveiro** Departamento de Engenharia Civil

Ano 2013

**Rui Manuel da  
Cruz Grangeia**

**Passivhaus em Portugal: Viabilidade Económica**





**Universidade de Aveiro** Departamento de Engenharia Civil  
Ano 2013

**Rui Manuel da  
Cruz Grangeia**

## **Passivhaus em Portugal: Viabilidade Económica**

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



## **o júri**

presidente

**Professor Doutor Aníbal Guimarães da Costa**

Professor Catedrático, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro

**Professora Doutora Ana Cristina Briga de Sá Saldanha**

Professora Auxiliar, Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharias,  
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**Professora Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues**

Professora Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro

**Professor Doutor Romeu da Silva Vicente**

Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro



**Agradecimentos** Tudo começou há 6 anos atrás. A pressão era grande e um rapazinho com 18 anos não sabia o que queria fazer para o resto da sua vida. Acaba por no dia das inscrições em conversa com um amigo, tendo sempre como objetivo ir para Coimbra, por ir para o curso de Engenharia Eletrotécnica de Computadores em Coimbra. A verdade é que foi um ano cheio de grandes aventuras, mas chegado o fim desse primeiro ano, o rapaz não se sentia realizado. Sendo assim, decidiu voltar a concorrer e Aveiro era a sua grande escolha, e foi então em 2008 que começou o seu percurso em Engenharia Civil. No início estava perdido com a novidade, as praxes, novas amizades, festas e tudo a que se tem direito, não esquecendo claro o estudo árduo nas épocas devidas. Passo a passo foi percorrendo um curso complicado, que com a ajuda de bons amigos e professores, passo-a-passo se foi tornando fácil.

Quero neste momento agradecer a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para que não só este trabalho, mas sim todo o meu percurso académico fosse concluído com êxito, efetuando assim mais um grande passo na minha vida.

Gostava de começar por agradecer à Professora Doutora Maria Fernanda Rodrigues por toda a atenção e horas dispensadas, pelas dicas, empenho e capacidade de motivar, assim como por todo o conhecimento partilhado e ao Professor Doutor Romeu Vicente, pelo conhecimento transmitido e disponibilidade despendida durante todo este tempo.

A todos os meus amigos que me foram incentivando e puxando para a frente nos momentos em que era necessário, tanto no meu percurso académico como no dia-a-dia, por me aturarem e despendarem a sua paciência para as minhas coisas, em especial à minha grande amiga Marlène por todos os minutos que me aturou e deu força para continuar e ao nosso grupo de Engenharia Civil de 5ª Matricula por todas as horas e noites passadas em claro na nossa segunda casa, DEC, nas festas e aventuras. E ao Ricardo, ao Bruno, à Mónica, à Mila, à Inês, ao Rafa, ao Diogo, ao Fernas e todos os outros, não querendo esquecer ninguém, que todos os fins de semana me aturam.

Nunca esquecendo todo o apoio existente em casa dos meus grandes papás, Romy e Carlos, e de todos os primos e tios presentes ou mais distantes, apenas no espaço.

...MUITO OBRIGADO





**palavra-chave**

Passive House, desempenho energético, eficiência, custos, economia

**resumo**

O elevado consumo energético do sector dos edifícios residenciais e não residenciais e a consequente emissão de Gases Efeito Estufa levou a União Europeia a criar um plano com o objetivo de reduzir em 20%, até 2020, o consumo de energia dos edifícios novos. Com este objetivo foi publicada a Diretiva 2010/31/EU que contém na sua génese o conceito de edifício eficiente, cujo alcance se consegue através da aplicação dos princípios da *Passive House*, que alia a sustentabilidade energética e económica levando a que se atinja efetivamente os Nearly Zero Energy Buildings.

O objetivo desta dissertação é apresentar a viabilidade económica da aplicação do conceito *Passive House* em Portugal. Para isso, avaliou-se o desempenho energético dum edifício construído segundo o *standard* energético em vigor no país e segundo os requisitos *Passive House*, bem como os custos de construção das duas soluções. Com as respetivas necessidades energéticas efetuaram-se estudos económicos quer em termos globais quer em termos da energia poupada por elemento construtivo.

Foi possível concluir que é viável efetuar um investimento adicional para se construir segundo os requisitos *Passive House* em Portugal, obtendo-se períodos de retorno aceitáveis tendo em conta a vida útil dos edifícios.



**keywords**

*Passive House, energy performance, efficiency, cost, economy*

**abstract**

The high energy consumption of the residential and non-residential buildings sector and the consequent emissions of Green House Gases brought the European Union to create a plan with the objective of reducing by 20% the energy consumption of new buildings until 2020. To this end, the Directive 2010/31/EU was published, it contains in its genesis, the concept of efficient building. This is achieved by the application of the principles of Passive House, which, combined with the energy and economic sustainability, leads to an effectively achievement of the Nearly Zero Energy Buildings.

The objective of this thesis is to present the feasibility of applying the Passive House concept in Portugal. For this, the energy performance of a building constructed according to the energetic standard in Portugal and another with the Passive House standard were evaluated, as well as the construction costs of both solutions. Having the respective energy needs, we performed an economic study in terms of overall energy saved and of energy saved by constructive element.

It was concluded that it is possible to perform an investment to build Passive House according to the requirements in Portugal, yielding acceptable return periods taking into account the lifetime of a building.



*"The problems that we have in the world  
cannot be solved with the same type of thinking  
that created them." (Albert Einstein)*



# *Índice*

---





# Índice

Índice .....	III
Índice de Figuras .....	VII
Índice de tabelas .....	IX
Lista de Acrónimos.....	XI
1. Introdução.....	3
1.1. Considerações Gerais.....	3
1.2. Objetivos.....	8
1.2.1. Geral.....	8
1.2.2. Específicos .....	8
1.3. Metodologia.....	8
1.4. Estrutura da Dissertação .....	9
2. Passive House.....	13
2.1. O conceito Passive House.....	13
2.2. Requisitos energéticos .....	17
2.2.1. Exigências europeias “EPBD” .....	17
2.2.2. Exigências portuguesas “RCCTE” .....	18
2.2.3. Exigências da Passive House .....	20
2.2.3.1. Estanquidade.....	20
2.2.3.2. Ventilação com recuperação de calor .....	22
2.2.3.3. Isolamento contínuo da envolvente externa .....	23
2.2.3.4. Orientação solar.....	24
2.2.3.5. Eliminação de pontes térmicas .....	25
2.2.3.6. Vãos envidraçados.....	27
2.2.3.7. Energias renováveis.....	29
2.2.4. Critérios de certificação .....	30

3.	Conceitos económicos .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1	Introdução.....	33
3.2	Conceitos Económicos .....	33
3.2.1	Valor Líquido Atual.....	33
3.2.2	Período de retorno .....	35
3.2.3	Taxa de atualização .....	35
3.2.4	Anuidade.....	36
3.3	Metodologias aplicadas no caso de estudo.....	37
3.3.1	Metodologia utilizada no estudo do tempo de retorno .....	37
3.3.2	Metodologia utilizada no estudo do consumo de elementos isolados .....	39
4.	Caso de Estudo.....	45
4.1	Introdução.....	45
4.1.1	Custos médios da construção regulamentar em Portugal .....	45
4.1.2	Custos médios da Passive House.....	47
4.2	Metodologia .....	48
4.3	Caraterização .....	48
4.4	Medição e Orçamentação .....	57
4.4.1	Considerações efetuadas neste capítulo.....	57
4.5	Balanço Energético .....	62
4.6	Caso de estudo (2).....	67
4.7	Simulação da anuidade.....	72
4.8	Avaliação de diferentes componentes isoladamente.....	73
4.8.1	Comparação entre os requisitos do RCCTE (2006) e da Passive House.....	74
4.8.2	Envidraçados .....	76
4.8.3	Paredes.....	78
4.8.4	Pavimentos.....	79

4.8.5	Coberturas .....	81
5.	Conclusões .....	87
5.1	Considerações finais .....	87
5.2	Futuros desenvolvimentos .....	91
	Bibliografia.....	94
	Anexo A: Projeto do caso de estudo.....	101
	Anexo B: Elementos Isolados.....	105
	Anexo C: Coeficientes de Transmissão Térmica .....	111



## Índice de Figuras

Figura 1 - Níveis de CO <sub>2</sub> no Mundo de 1990-2030.....	5
Figura 2 - Níveis de CO <sub>2</sub> em Portugal de 1870-2008 .....	6
Figura 3 - Consumos de eletricidade relativos às diferentes atividades domésticas .....	7
Figura 4 - Edifícios <i>Passive House</i> .....	13
Figura 5 - Edifício Reabilitado seguindo o conceito EnerPHit .....	14
Figura 6 - Edifícios de serviços .....	14
Figura 7 – Passive House certificadas pelo mundo .....	15
Figura 8 - Construções passivas certificadas na Europa .....	16
Figura 9 - Pormenor de entrada de humidade .....	20
Figura 10 – Exemplo: Falta de conforto térmico.....	21
Figura 11 - Esquema de ventilação mecânica .....	22
Figura 12 - Representação de aplicação de isolamento pelo exterior.....	24
Figura 13 - Ângulo de incidência do sol consoante as estações do ano .....	25
Figura 14 - Edifício Regular.....	26
Figura 15 - Edifício Irregular.....	26
Figura 16 – Pormenor da instalação de um envidraçado.....	27
Figura 17 - Janela clássica da <i>Passive House</i> .....	28
Figura 18 – Resistência térmica de um elemento vertical .....	40
Figura 19 - Laje de Pavimento sobre desvão.....	49
Figura 20 - Laje de Pavimento exterior .....	49
Figura 21 - Laje de Cobertura (aligeirada) .....	50
Figura 22 - Laje de Cobertura (maciça) .....	50
Figura 23 - Parede Exterior .....	51
Figura 24 - Parede interior.....	51
Figura 25 - Envidraçado SGG Climalit .....	52
Figura 26 - Laje Pavimento sobre desvão .....	53
Figura 27 - Laje Pavimento Exterior .....	53
Figura 28 - Laje de Cobertura (aligeirada) .....	54
Figura 29 - Laje de Cobertura (maciça) .....	54
Figura 30 - Parede Exterior .....	55

Figura 31 - Parede Interior .....	55
Figura 32 - Envidraçado de baixa emissividade com árgon.....	56
Figura 33 - Influência de cada parcela nas necessidades globais de energia .....	63
Figura 34 - Tempo de retorno .....	66
Figura 35 - Preço do gás.....	67
Figura 36 - Influência de cada parcela nas necessidades globais (caso de estudo 2).....	69
Figura 37 - Tempo de retorno .....	71
Figura 38 - Custo de energia perdida anualmente por m <sup>2</sup> : Envidraçados .....	77
Figura 39 - Custo de energia perdida anualmente por m <sup>2</sup> : Paredes .....	78
Figura 40 - Custo de energia perdida anual por m <sup>2</sup> : Pavimentos .....	81
Figura 41 - Custo de energia perdida anualmente por m <sup>2</sup> : Coberturas .....	83

## Índice de tabelas

Tabela 1 - Percentagem de energia proveniente de fontes renováveis por Estado Membro	18
Tabela 2 - Critérios do RCCTE .....	19
Tabela 3 - Classe de eficiência das janelas.....	28
Tabela 4 - Critérios <i>Passive House</i> .....	30
Tabela 5 - Definição das zonas.....	46
Tabela 6 - Custo médio de um edifício <i>Passive House</i> nos diferentes países .....	47
Tabela 7 – Orçamento.....	58
Tabela 8 – Balanço energético segundo o PHPP.....	62
Tabela 9 - Tempo de retorno, considerando a inflação .....	65
Tabela 10 – Orçamento (caso de estudo 2) .....	68
Tabela 11 - Dados desempenho energético (caso de estudo 2) .....	69
Tabela 12 - Tempo de retorno, com inflação (caso de estudo 2) .....	70
Tabela 13 - Tempo de retorno, com inflação (caso de estudo 2): continuação.....	71
Tabela 14 - Encargos anuais: Caso de estudo.....	72
Tabela 15 - Encargos anuais: Caso de estudo 2.....	73
Tabela 16 - Elementos construtivos: RCCTE e <i>Passive House</i> .....	75
Tabela 17 - Elementos independentes: Envidraçados .....	76
Tabela 18 - Elementos independentes: Paredes.....	78
Tabela 19 - Elementos independentes: Pavimentos (1).....	80
Tabela 20 - Elementos independentes: Pavimentos (2).....	80
Tabela 21 - Elementos independentes: Coberturas 1 a 5.....	82
Tabela 22 - Elementos independentes: Coberturas 6 a 10.....	82





## **Lista de Acrónimos**

ONU – Organização das Nações Unidas

RICS – Royal Institution of Chartered Surveyors

GEE – Gases Efeito de Estufa

PHI – Passive House Institute

iPHA – International Passive House Association

PHPP – Passivhaus Planning Package

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

EPBD – Energy Performance of Building Directive

AQS – Águas Quentes Sanitárias

$N_{ic}$  – Necessidades Nominais de Aquecimento

$N_{vc}$  – Necessidades Nominais de Arrefecimento

VLA – Valor Líquido Atual



# *Capítulo 1*

---

INTRODUÇÃO

# **1. Introdução**

- 1.1. Considerações Gerais
- 1.2. Objetivos
- 1.3. Metodologia
- 1.4. Estrutura da Dissertação

# 1. Introdução

## 1.1. Considerações Gerais

As preocupações por um mundo mais saudável e sustentável começaram a intensificar-se em 1972 quando a ONU convocou a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente, que se realizou em Estocolmo, na qual se estabeleceu que *“Defender e melhorar o meio ambiente para as atuais e futuras gerações se tornou uma meta fundamental para a humanidade.”* Estocolmo (1972).

Esta conferência constituiu um marco e foi um impulso para novas ações das quais se ressalva em 1984 a reunião da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, e 900 dias depois, em 1987, a publicação do Relatório de Brundtland, onde pela primeira vez se ouve falar do conceito de desenvolvimento sustentável:

*“Desenvolvimento Sustentável não é um estado permanente de harmonia, mas um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, a orientação dos investimentos, os rumos do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão de acordo com as necessidades atuais e futuras. Sabemos que este não é um processo fácil, sem tropeços. Escolhas difíceis terão que ser feitas.”* Relatório de Brundtland (1991).

Depois disso surge em 1992 no Rio de Janeiro a primeira grande cimeira, a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e Desenvolvimento, conhecida também como ECO-92, da qual resultou a elaboração de um documento intitulado de Agenda 21, onde foram abordadas as medidas a tomar relativamente ao estudo de soluções para os problemas socio-ambientais, contribuindo para uma maior consciência de todos os danos que os países desenvolvidos inculciam no ambiente (Ganhão, 2011 e Gaspar, 2012).

Segundo David Lorenz membro das relações públicas Europeias da RICS (Royal Institution of Chartered Surveyors), *“Os edifícios sustentáveis traduzem menor impacto no uso do solo e introduzem novas fontes de energia e materiais inovadores, diminuindo o impacto no ambiente global e local. Estes edifícios não são mais caros que os edifícios convencionais quando construídos de raiz, mas os seus resultados têm vários benefícios para os investidores, menores custos operacionais, comercialização mais fácil, tempo de vida útil mais longa, aumento significativo da produtividade dos ocupantes e melhoria do*

*bem-estar, bem como estabilidade nos fluxos monetários (menores custos de exploração e utilização) e os correspondentes benefícios económicos.”* (Lorenz, 2008).

Desde que a União Europeia tomou consciência de que seria necessário começar a diminuir as emissões de gases com efeito de estufa - GEE, começaram-se a implementar ações, no sentido de se atingir determinadas metas, tendo o mercado, em todos os seus setores, optado por começar a certificar os seus produtos e a atribuir categorias que os diferenciam como sendo mais ou menos eficientes a nível energético contribuindo com menores emissões de GEE. Este procedimento aplicou-se, desde a conceção e fabrico de simples eletrodomésticos, aos carros, assim como às habitações, tendo a população em geral passado a estar mais familiarizada e a interiorizar a importância de se diminuïrem as emissões de GEE e de preservar os recursos naturais. Na construção começou então a surgir a tendência para a construção sustentável, com a aplicação dos conceitos da Eco-construção, dos edifícios de energia zero (“*Zero Energy Buildings*”), assim como o da construção passiva segundo o standard “*Passivhaus*”, doravante designado por *Passive House*.

*Passive House* não é mais do que um conceito baseado na utilização extremamente baixa de energia, pois, este tipo de construção necessita em média de um quarto da energia utilizada no mesmo edifício construído de forma padrão, mantendo altos níveis de conforto. Procura também utilizar materiais, disposições construtivas, sistemas e energias renováveis que consumam o mínimo de recursos (PHI, 2013).

Este conceito é de grande importância neste momento pois contribuirá para o cumprimento do Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas, que entrou em vigor em 21 de Março de 1994, no qual a União Europeia assumiu o compromisso de reduzir as emissões globais de gases com efeito de estufa em pelo menos 20% até 2020, em relação aos níveis emitidos em 1990 (Directiva 2010/31/UE), dado que os edifícios em toda a União Europeia representam um consumo de energia de 40% relativamente ao consumo global, o que é um valor bastante significativo. Assumindo-se que o setor continua em expansão por toda a União, apesar da economia global estar neste momento a afetá-lo negativamente em alguns dos Estados Membros, é de esperar que o consumo de energia continue a aumentar e, por consequência, as emissões de GEE, se nada for feito para contrariar esta tendência. O facto de se continuarem a utilizar

combustíveis fósseis para satisfazer as necessidades energéticas levará ao aumento da temperatura do planeta, no mínimo de 1,4°C, caso se verifique a estabilização dos níveis de emissões de CO<sub>2</sub>. Caso isso não se verifique poderá chegar a um aumento de 5,8°C, o que se torna preocupante (Isolani, 2008).

De forma a reduzir o consumo de energia e a reiterar a diminuição de emissões de GEE, o Conselho Europeu tomou consciência sobre a necessidade de aumentar a eficiência energética da União, criando a 31 de Janeiro de 2008 o “Plano de Acção para a Eficiência Energética: Concretizar o Potencial”. Este plano foi criado com a finalidade de vincular como obrigatório o objetivo de redução de 20% do consumo de energia até 2020, sendo um dos seus objetivos que todos os edifícios novos até 2020 sejam autossustentáveis sob o ponto de vista energético, assim como os novos edifícios públicos de serviços até 2018. Estes objetivos foram estabelecidos na Diretiva 2010/31/UE.

Como se pode ver na Figura 1 e Figura 2 os níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera têm aumentado ao longo dos anos e as intervenções que têm sido feitas para controlar as emissões de GEE não têm tido o resultado esperado.

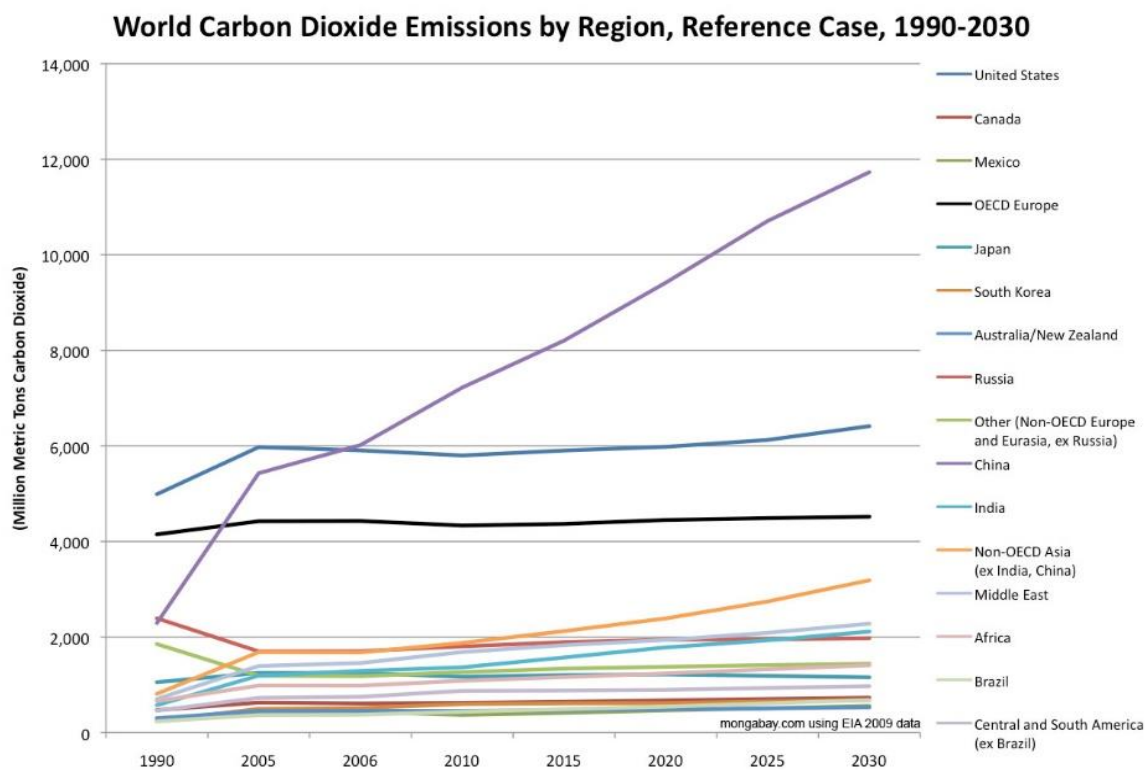


Figura 1 - Níveis de CO<sub>2</sub> no Mundo de 1990-2030 (Mongabay, 2013)

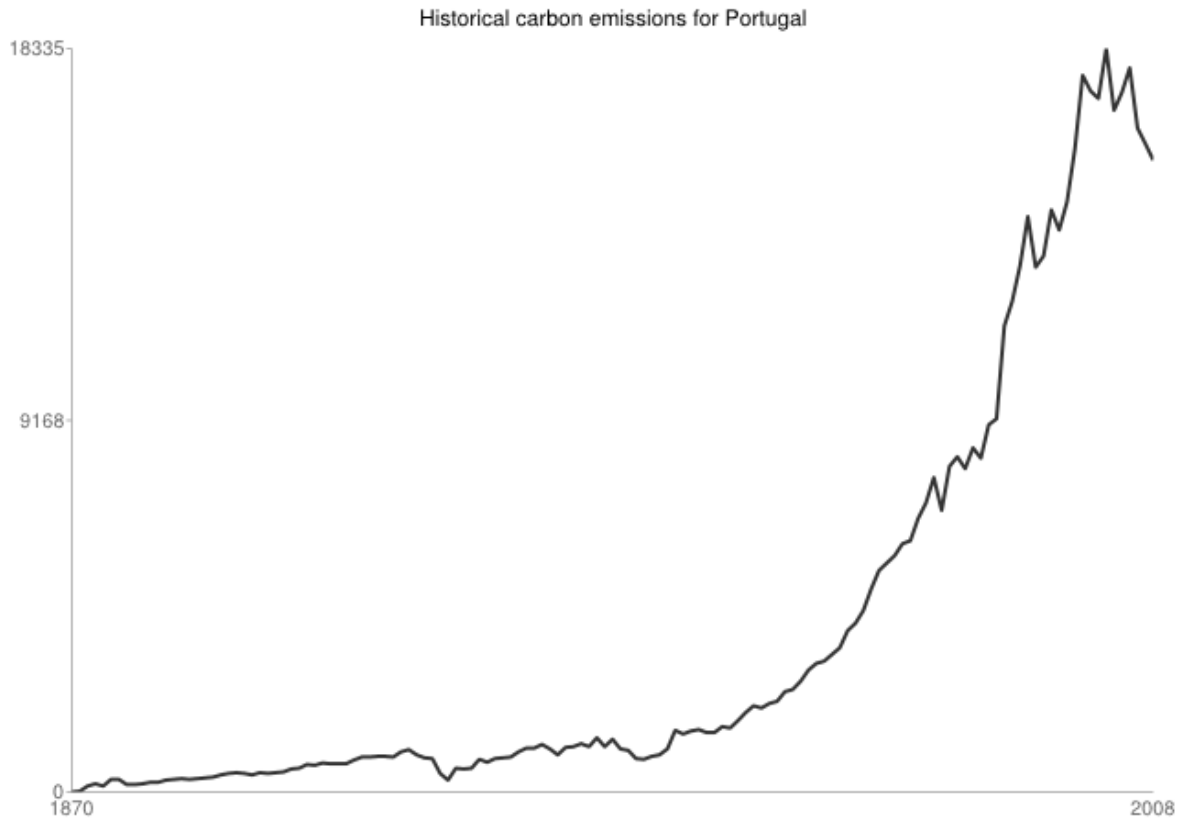


Figura 2 - Níveis de CO2 em Portugal de 1870-2008 (Mongabay, 2013)

Em Portugal a edificação é responsável pelo consumo de 30% do total de energia primária e 62% do consumo de energia elétrica, segundo dados de 2005. Os edifícios residenciais, que são cerca de 3,3 milhões, contribuem em grande parte para estes consumos, com 17% da energia primária e 29% da energia elétrica. Os edifícios Portugueses são responsáveis pelo consumo de 5,8 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Isolani, 2008).

Para além destes valores, sabe-se que num edifício residencial, como se pode verificar na Figura 3, o aquecimento do ambiente interior, a iluminação e alguns equipamentos elétricos são os responsáveis pelos maiores consumos, devendo-se incidir no aumento da sua eficiência, relevando-se, no âmbito deste trabalho, o aumento da eficiência do próprio edifício/fração.



### Repartição dos consumos de eletricidade

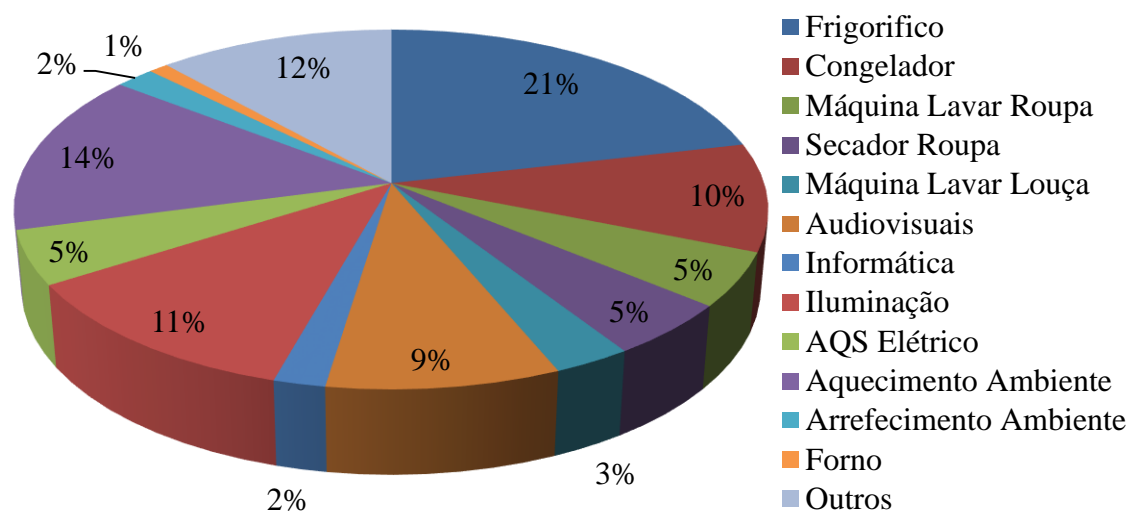


Figura 3 - Consumos de eletricidade relativos às diferentes atividades domésticas

## 1.2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade de um edifício projetado segundo os padrões *Passive House* em Portugal, ou seja determinar o investimento inicial e os gastos energéticos ao longo da sua utilização. Procura-se perceber assim, se este tipo de construção para além dos benefícios de conforto térmico e ambiental acarreta benefícios económicos.

### 1.2.1. Geral

O principal objetivo do estudo é determinar a viabilidade económica de uma construção segundo os requisitos *Passive House* em Portugal.

### 1.2.2. Específicos

- Comparar os custos de uma solução de construção segundo as exigências de eficiência energética regulamentares em vigor e uma solução segundo o *standard Passive House*;
- Avaliar o tempo de amortização de uma construção segundo o *standard Passive House*;
- Comparar a diferença entre os requisitos do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, RCCTE (2006) e os requisitos *Passive House*;
- Efetuar a comparação em termos do desempenho energético e dos custos de diferentes soluções construtivas.

## 1.3. Metodologia

Para concretizar os objetivos definidos, começou-se por estudar o conceito *Passive House* através de pesquisa bibliográfica. A pesquisa começou por ser feita em função do que é o conceito em si, o que envolve e o que já foi feito e estudado sobre o assunto. Para perceber a importância deste assunto no contexto atual, foi necessário recorrer a estudos e dados estatísticos sobre o impacto ambiental que cada país tem e perceber qual a parcela associada à construção. Existiu a necessidade de estudar as diferenças entre a construção passiva e a regulamentar para Portugal, e as diferenças entre os requisitos do RCCTE

(2006) e o *standard Passive House*. A segunda parte da pesquisa recaiu sobre os custos da casa regulamentar e os custos da *Passive House* em diferentes países.

Depois de concretizada a primeira parte, mais de pesquisa e obtenção de informação, incidu-se na determinação dos custos de construção de um edifício obedecendo aos requisitos do RCCTE (2006) e do mesmo edifício obedecendo aos requisitos do *standard Passive House*. Para isso introduziram-se as alterações construtivas necessárias ao projeto do edifício objeto de estudo para atingir os critérios de verificação *Passive House*. Realizou-se de seguida um estudo de viabilidade económica, procurando determinar o tempo de retorno do maior investimento inicial que é necessário efetuar para se obter uma *Passive House*. Foi também efetuada a comparação entre alguns elementos construtivos.

#### **1.4. Estrutura da Dissertação**

No presente capítulo, capítulo introdutório, é efetuada uma pequena introdução ao trabalho realizado e apresentam-se os objetivos que se pretende atingir. Para além deste capítulo esta dissertação encontra-se dividida em mais 4 capítulos que se descrevem de seguida sucintamente:

No capítulo 2 é feita uma apresentação sobre o conceito *Passive House*, abordando as características que o distinguem da casa regulamentar, assim como as exigências e os requisitos energéticos exigidos para que o edifício seja reconhecido como uma *Passive House*.

No capítulo 3 são apresentados alguns conceitos económicos que não eram dominados e que foram necessários aplicar ao longo da dissertação, pretende-se com este capítulo especificar e clarificar qualquer questão sobre os conceitos económicos aplicados e sobre a metodologia a aplicar no caso de estudo.

No capítulo 4 é apresentado o caso de estudo, base desta dissertação, sendo neste efetuada a caracterização dos diferentes cenários abordados no estudo, o balanço energético e a comparação entre o consumo de um edifício padrão e a *Passive House*. No final do capítulo é feita a avaliação económica de diferentes elementos isolados quanto às respetivas perdas de energia.

No capítulo final é efetuada uma breve conclusão, abordando todos os pontos discutidos ao longo da dissertação e compilando os resultados e conclusões obtidas da mesma. É feita uma abordagem relativa aos objetivos propostos inicialmente e finaliza-se com uma apresentação de futuros desenvolvimentos.

# *Capítulo 2*

---

PASSIVE HOUSE

## **2. Passive House**

2.1. O conceito Passive House

2.2. Requisitos energéticos

## 2. Passive House

### 2.1. O conceito Passive House

Em meados de 1980, os edifícios de baixo consumo energético já eram uma realidade na construção de novos edifícios na Suécia e na Dinamarca. O conceito *Passive House* surge então em 1988 a partir duma conversa entre dois professores, Bo Adamson da Lund University e Wolfgang Feist do Institut fur Wohnen, pretendendo desenvolver princípios de construção específicos, com excelente isolamento, estanquidade e ventilação controlada (Feist, 2006).

É importante referir que este conceito não é restrito apenas a novos edifícios (Figura 4), podendo ser aplicado também na reconstrução e reabilitação de edifícios existentes (Figura 5). É também importante salientar que este conceito é aplicado não só a edifícios residenciais, unifamiliares ou coletivos (Figura 4), mas também a edifícios de serviços, como jardins-de-infância, escolas, ginásios, escritórios, hotéis, etc. (Figura 6). No entanto, os requisitos para a reabilitação (conceito conhecido como “EnerPHit”), assim como para os edifícios de serviços podem sofrer algumas modificações ou ser menos exigentes no caso da reabilitação, relativamente aos aplicados a edifícios residenciais novos.



Figura 4 - Edifícios *Passive House* (Moradias Unifamiliares à esquerda e Edifícios Coletivos à direita) (Passive House Buildings, 2013)

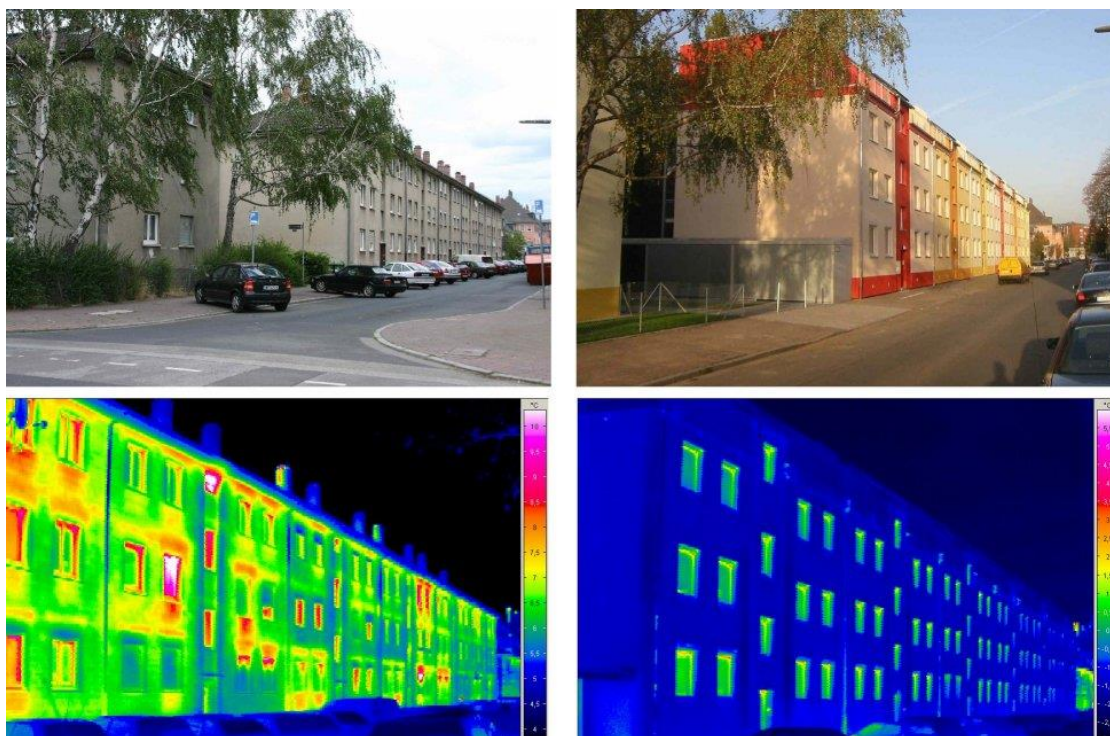


Figura 5 - Edifício Reabilitado seguindo o conceito EnerPHit (Passive House Buildings, 2013)

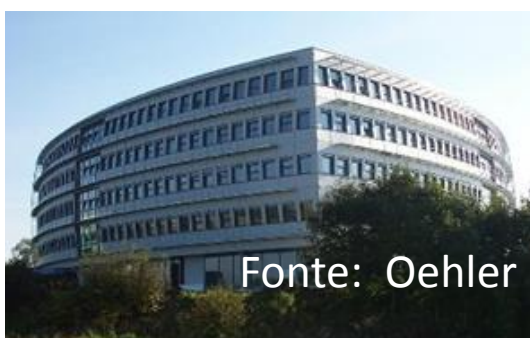


Figura 6 - Edifícios de serviços (Em cima da esquerda para a direita uma Escola e um Jardim de Infância; Em baixo um edifício de escritórios e um ginásio) (Passivhausprojekte, 2013)



Atualmente já existem casas passivas certificadas segundo este *standard*, um pouco por todo o mundo o que mostra o alcance deste projeto, como se pode ver na Figura 7.

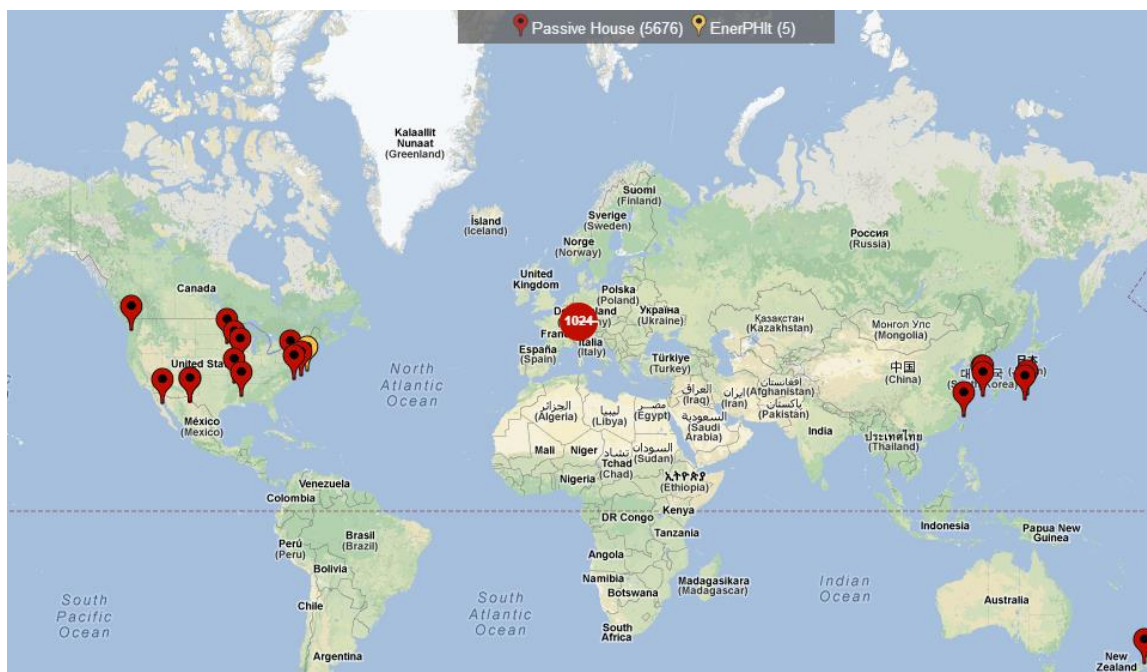


Figura 7 – Passive House certificadas pelo mundo (iPHA – I, 2013)

No entanto, como se pode verificar na Figura 8, a certificação de edifícios segundo o *standard Passive House* tem maior expressão na Europa, principalmente nas regiões mais exigentes na estação de aquecimento, tais como no centro e Norte da Europa.



Figura 8 - Construções passivas certificadas na Europa (iPHA – I, 2013)

Quanto ao conceito em si não existe uma definição concreta aceite internacionalmente do termo “*Passive House*”, mas hoje em dia, muitos trabalhos referem-se a este conceito desenvolvido pelo instituto Alemão, *Passive House Institute* (PHI), como sendo o principal no campo da construção passiva (Antonova, 2010).

Segundo o PHI a *Passive House* é um edifício que respeita a ISO 7730 relativa ao conforto térmico, e pretende que este conforto térmico seja conseguido apenas por aquecimento e arrefecimento da massa de ar, sem recorrer a equipamentos adicionais. Permitindo atingir as condições de qualidade de ar suficientes (The Passive House Definition, 2013).

Este conceito de construção procura a sustentabilidade ao nível energético e económico. Visa salvaguardar o ambiente e diminuir a emissão de gases que a casa regulamentar produz e continua a emitir para o ambiente, pretendendo que o conforto térmico seja conseguido unicamente por aquecimento ou arrefecimento da massa de ar interior necessária para garantir a qualidade do ar interior, sem ser necessário recorrer a sistemas adicionais de aquecimento ou arrefecimento. Ou seja:

Segundo Feist (2006) este conceito não consiste propriamente numa novidade, algo criado de raiz ou inovador, mas sim num acumular de conhecimentos e na interação entre diferentes aspetos que até lá não tinham sido pensados como um todo, surgindo assim este *standard* puramente funcional e independente do clima (Feist, 2006).

## **2.2. Requisitos energéticos**

### **2.2.1. Exigências europeias “EPBD”**

A diretiva 2010/31/UE relativa às exigências europeias ao nível do desempenho energético, “Energy Performance of Buildings Directive” (EPBD), do Conselho da União Europeia surge em 2002, com o objetivo de implementar um sistema de certificação energética nos edifícios, de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica do edifício que está a construir, comprar ou arrendar. Para além do simples edifício, esta diretiva abrange igualmente os grandes edifícios públicos e edifícios frequentemente visitados pelo público (EPBD, 2002).

O seu objetivo é promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na União Europeia, tendo sempre em atenção as condições climáticas, as condições locais e a rentabilidade económica, não descurando as exigências em matéria de conforto interior de cada região. Estabelece assim, requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios e uma metodologia geral de cálculo do seu desempenho energético.

Os objetivos globais de cada Estado Membro para a quota de energia proveniente de fontes renováveis em 2020, segundo a “Diretiva 2009/28/CE”, encontram-se na Tabela 1. Entre todos os países Portugal é dos que mais energia proveniente de fontes renováveis consome, pelo que, introduzindo o *standard Passive House* na construção de edifícios, e conseqüentemente diminuindo o seu consumo energético, facilmente serão ultrapassados os objetivos traçados para 2020.

Tabela 1 - Percentagem de energia proveniente de fontes renováveis por Estado Membro (Directiva 2009/28/CE)

País	Quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia, 2005 (S2005)	Objetivo para a quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia, 2020 (S2020)
Bélgica	2,2 %	13 %
Bulgária	9,4 %	16 %
República Checa	6,1 %	13 %
Dinamarca	17,0 %	30 %
Alemanha	5,8 %	18 %
Estónia	18,0 %	25 %
Irlanda	3,1 %	16 %
Grécia	6,9 %	18 %
Espanha	8,7 %	20 %
França	10,3 %	23 %
Itália	5,2 %	17 %
Chipre	2,9 %	13 %
Letónia	32,6 %	40 %
Lituânia	15,0 %	23 %
Luxemburgo	0,9 %	11 %
Hungria	4,3 %	13 %
Malta	0,0 %	10 %
Países Baixos	2,4 %	14 %
Áustria	23,3 %	34 %
Polónia	7,2 %	15 %
Portugal	20,5 %	31 %
Roménia	17,8 %	24 %
Eslovénia	16,0 %	25 %
Eslováquia	6,7 %	14 %
Finlândia	28,5 %	38 %
Suécia	39,8 %	49 %
Reino Unido	1,3 %	15 %

### 2.2.2. Exigências portuguesas “RCCTE”

Em Portugal, o regulamento que estabelece as características relativas ao comportamento térmico dos edifícios, o RCCTE (2006), determina os requisitos a serem observados nos edifícios de habitação novos e naqueles que sejam sujeitos a determinadas intervenções de reabilitação, bem como as metodologias que se têm que adotar com vista à caracterização

do seu desempenho energético. O RCCTE (2006) tem como objetivo promover a melhoria do comportamento térmico dos edifícios e a sua eficiência energética.

Para cumprir com o regulamento é necessário ter em atenção alguns aspetos, entre os quais:

- Cumprir os requisitos de qualidade térmica da envolvente;
- Cumprir os requisitos de ventilação dos espaços;
- Cumprir os limites de necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento.

Na Tabela 2 são apresentados alguns dos critérios preponderantes para a escolha dos materiais e tipologias construtivas a adotar mais tarde no caso de estudo.

Tabela 2 - Critérios do RCCTE (RCCTE, 2006)

		Zona climática	
U de referência da envolvente exterior (W/m <sup>2</sup> °C)	Paredes (zonas opacas verticais)	I1	0,70
		I2	0,60
		I3	0,50
	Coberturas (zonas opacas horizontais)	I1	0,50
		I2	0,45
		I3	0,40
U máximo da envolvente exterior (W/m <sup>2</sup> °C)	Paredes (zonas opacas verticais)	I1	1,80
		I2	1,60
		I3	1,45
	Coberturas (zonas opacas horizontais)	I1	1,25
		I2	1,00
		I3	0,90
Fator solar máximo admissível de vãos envidraçados	V1	0,56	
	V2	0,56	
	V3	0,50	
Fator solar de referência admissível de vãos envidraçados	V1	0,25	
	V2	0,20	
	V3	0,15	
Inverno	Temperatura de referência	20°C	
Verão	Temperatura e humidade relativa de referência	25°C e 50% HR	
Taxa de referência para a renovação do ar		Mínimo 0,6 r/h	
Consumo de referência de água quente sanitária		40 Litros a 60°C por pessoa e por dia	

### 2.2.3. Exigências da Passive House

*Passive House* é o conceito que poderá vir a liderar a construção mundial ao nível da eficiência energética, mantendo os padrões de qualidade, conforto e eficiência energética elevados. Este tipo de construção requer quantidades de energia bastante baixas para manter níveis de conforto elevados. Para que isto se verifique é importante que os materiais utilizados sejam de grande qualidade, que exista um planeamento cuidadoso de todas as etapas, uma correta interação entre os diferentes materiais e entre as diferentes fases do projeto e da obra (Cardoso e Ascenso, 2011).

Existem alguns aspetos importantes a seguir no planeamento destes edifícios:

- Estanquidade da envolvente
- Ventilação com recuperação de calor
- Isolamento contínuo da envolvente externa
- Orientação solar
- Eliminação de pontes térmicas e envolvente compacta
- Vãos envidraçados
- Energias renováveis

#### 2.2.3.1. Estanquidade

A estanquidade dos edifícios é importante pelo facto de que a existência de infiltrações de ar leva também à entrada de água e humidades pelas mesmas vias de entrada (Figura 9).

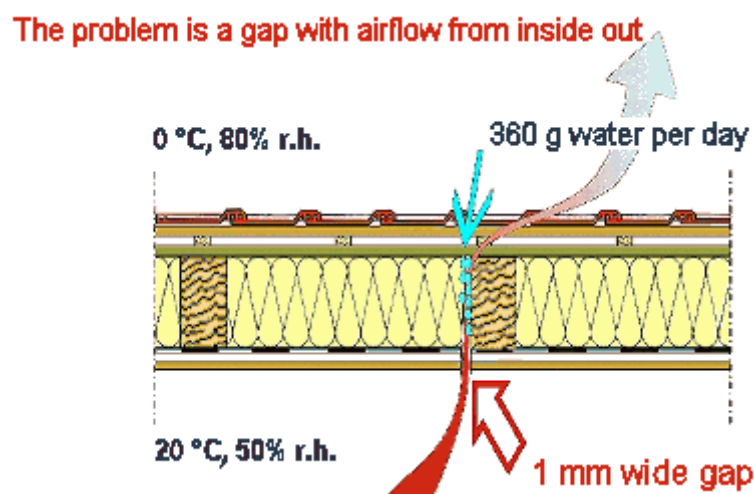


Figura 9 - Pormenor de entrada de humidade (Airtight-construction, 2013)



Como se pode ver na Figura 9, a existência de uma descontinuidade na envolvente do edifício leva ao humedecimento dos elementos construtivos do edifício e ao conseqüente aparecimento de anomalias. Este processo deve-se ao facto do ar dentro e fora do edifício ter temperaturas diferentes. Devido a estas diferenças de temperatura, nas descontinuidades tende a ocorrer a saída do ar quente e húmido do interior para o exterior. Como o ar interior tem uma quantidade de vapor de água superior ao ar exterior, no processo de saída de ar a probabilidade da existência de condensação é elevada provocando danos nos elementos que atravessa (Airtight-construction, 2013).

Para além de provocar problemas no edifício ao nível da degradação dos materiais, a falta de estanquidade de um edifício também não é benéfico para o ambiente nem para os utilizadores do edifício, dado que provoca correntes de ar e gradientes de temperatura desconfortáveis como representado na Figura 10, bem como perdas energéticas significativas. O grande objetivo de um edifício *Passive House* é procurar ter uma temperatura constante por volta dos 20°C, promovendo o conforto térmico para os ocupantes do edifício. Para o ser humano, a variação da temperatura dentro de um espaço, para que este esteja termicamente confortável, deve ser de  $\pm 4,2^{\circ}\text{C}$ , horizontalmente entre superfícies envidraçadas e o ambiente interior, ao contrário do sucedido na Figura 10 (Nicol e Humphreys, 2002).

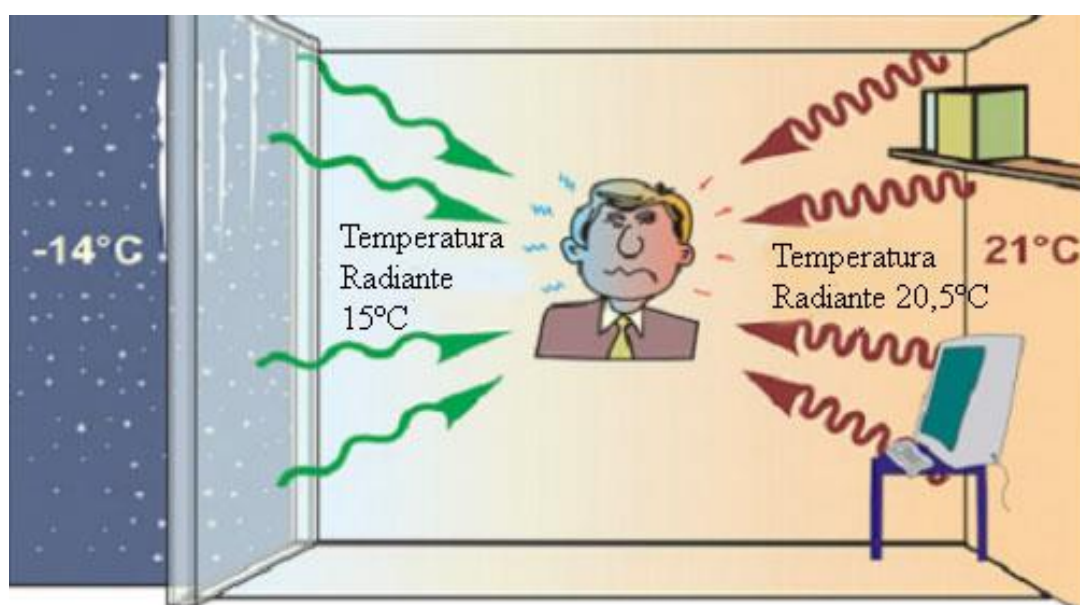


Figura 10 – Exemplo: Falta de conforto térmico (adaptado: PHI, 2012)

Para evitar este tipo de problemas que destruiriam qualquer tentativa de obter os resultados propostos pelo *standard Passive House*, deve ter-se em atenção os materiais a utilizar, o tipo de caixilharia, os envidraçados, os pormenores construtivos no que respeita às ligações entre elementos construtivos e uma boa ventilação, de forma a evitar ao máximo que existam grandes diferenças térmicas entre as diferentes superfícies dum compartimento.

A forma económica de atingir a estanquidade é através dum bom planeamento na fase de projeto e de uma verificação rigorosa durante a construção. As exigências para a estanquidade são verificadas através de um teste de pressurização, o “*blower door test*”, no qual a taxa de renovação de ar a uma pressão de 50 Pascais tem que ser inferior a  $0,6\text{h}^{-1}$ , ou seja  $n_{50} \leq 0,6\text{ h}^{-1}$  (Sé, 2012).

### 2.2.3.2. Ventilação com recuperação de calor

A qualidade do ar no interior do edifício é uma das prioridades da *Passive House*, qualidade essa que não poderia ser atingida sem recorrer a ventilação mecânica controlada, feita com recuperação de calor, através dum equipamento de pequeno porte e com consumos de energia bastante baixos, Figura 11. No período de arrefecimento a ventilação pode e deve ser feita pela abertura de janelas em locais diferentes do edifício, permitindo a ventilação cruzada.

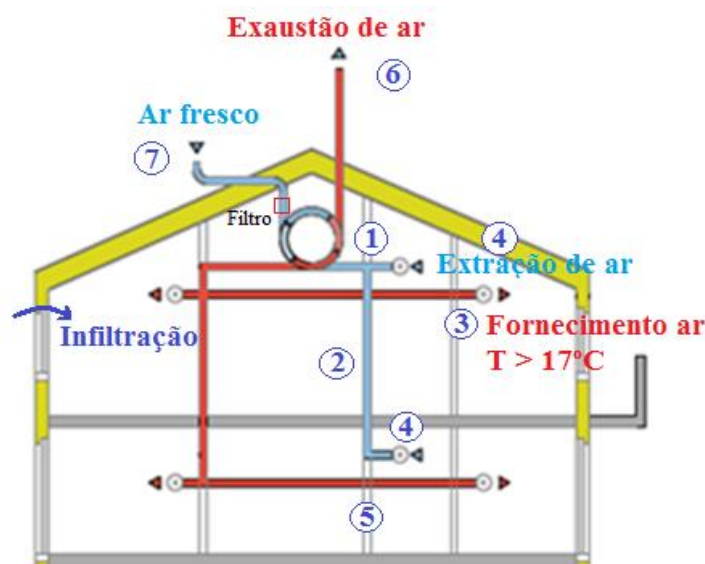


Figura 11 - Esquema de ventilação mecânica (adaptada: Passipedia, 2013)



Como se pode ver na Figura 11, o ar é extraído dos locais em que a contaminação é maior, como a cozinha e instalações sanitárias, e inserido em locais onde a necessidade de ar limpo é maior, sala e quartos.

Assegurar níveis constantes de ventilação é fundamental, pois ao ter-se um edifício estanque, a ventilação natural vai diminuir resultando assim em concentrações de CO<sub>2</sub> e de humidade elevadas no seu interior.

### **2.2.3.3. Isolamento contínuo da envolvente externa**

Um bom isolamento da envolvente é essencial de forma a minimizar as perdas de energia, pelo que os valores de U [W/m<sup>2</sup>°C] (coeficiente de transmissão térmica) para a envolvente opaca não deverão ser superiores a 0,15 W/m<sup>2</sup>°C (para as condições climáticas do centro e norte da Europa). Segundo estudos já desenvolvidos para os requisitos climáticos de Portugal o valor de U deve situar-se entre 0,23 e 0,32 W/m<sup>2</sup>°C (Project Passive-On, 2007).

O isolamento pelo exterior (Figura 12) é reconhecido como a solução que melhores resultados proporciona, pois permite obter:

- Maior inércia térmica interior do edifício;
- Redução da espessura dos elementos construtivos;
- Aumento da proteção dos elementos construtivos face aos agentes atmosféricos;
- Redução das pontes térmicas;
- Poupança energética;
- Aumento do conforto térmico interior.

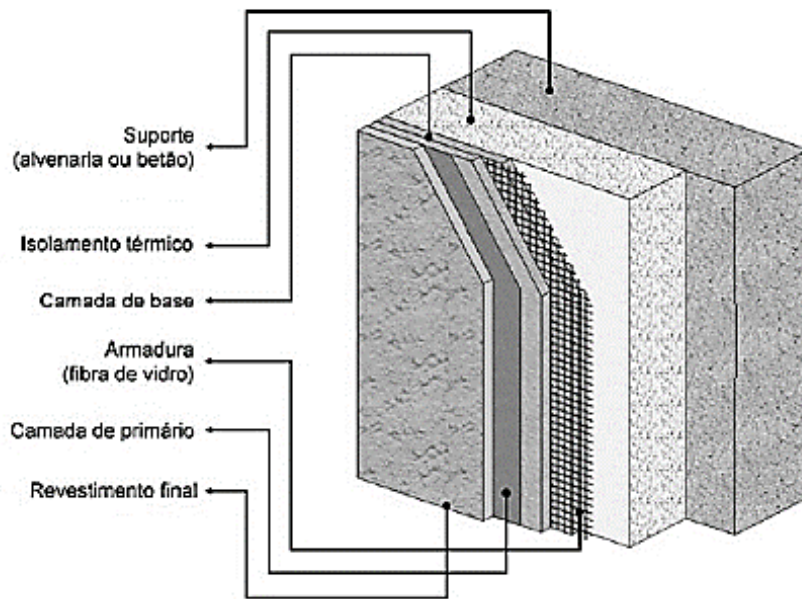


Figura 12 - Representação de aplicação de isolamento pelo exterior

O isolamento pelo exterior do edifício deve ser feito de forma contínua com o objetivo de eliminar ao máximo as pontes térmicas e garantir a estanquidade da envolvente.

#### **2.2.3.4. Orientação solar**

Na maioria dos países onde o conceito *Passive House* já foi implantado, as condições solares são bastante menos favoráveis do que em Portugal e, mesmo assim, conseguem obter-se excelentes resultados ao nível do conforto térmico e do aproveitamento da luz solar, diminuindo assim as necessidades energéticas do edifício.

De acordo com a situação geográfica, em Portugal ao longo do dia é o quadrante Sul que recebe maior radiação solar, no qual se podem obter maiores ganhos solares (Figura 13). A Poente e a Nascente recebe-se radiação solar respetivamente na parte da manhã e da tarde. O Norte é a direção que menos radiação solar recebe, sendo portanto a zona onde mais perdas térmicas vão ocorrer (Gonçalves e Graça, 2004).

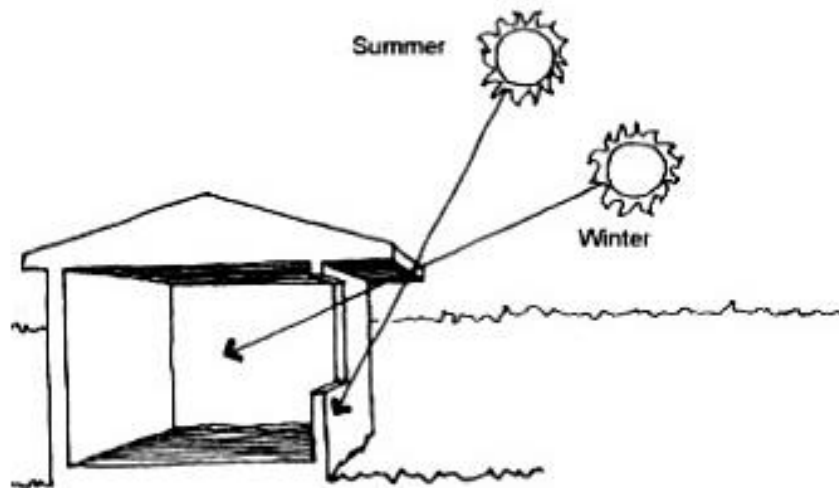


Figura 13 - Ângulo de incidência do sol consoante as estações do ano

A correta orientação solar dum edifício em Portugal é um dos fatores que potencia a eficiência energética dos edifícios.

#### 2.2.3.5. Eliminação de pontes térmicas

A eliminação das pontes térmicas é um dos aspetos mais importantes, senão o principal, a ter em conta quando se projeta uma *Passive House*. Esta medida implica um custo mais elevado de mão-de-obra e de materiais. A opção mais fácil para proceder à eliminação das pontes térmicas é sem dúvida a de aumentar a distância que o calor tem de percorrer através do elemento construtivo, conseguindo-se através do aumento da sua espessura, recorrendo a isolamento. Os pormenores construtivos e os remates das zonas de finalização do isolamento são fundamentais para se eliminarem zonas através das quais possa existir perda de energia.

Um dos aspetos importantes para a minimização das pontes térmicas é a forma do edifício: quanto mais regular e menos arestas o edifício tiver menos pontes térmicas existirão, conseqüentemente menos perdas de energia ocorrerão (Figura 14 e Figura 15).



Figura 14 - Edifício Regular (Chile, Arquitetos: Mobil Arquitectos, Cruz & Browne)



Figura 15 - Edifício Irregular (Edifício de Apartamentos: Atelier Thomas Pucher)

Em média as pontes térmicas numa casa regulamentar são responsáveis por cerca de 20% a 30% das perdas de energia que existem, enquanto numa *Passive House* estas baixam bastante, sendo praticamente insignificantes, cerca de 4% a 8% (Valério, 2007).

### 2.2.3.6. Vãos envidraçados

A escolha do tipo de vidro e do tipo de caixilharia, assim como controlar a sua aplicação em obra, para garantir a estanquidade dos vãos envidraçados, é um dos requisitos a cumprir na conceção e construção de edifícios segundo o conceito *Passive House*. Para os países do centro e norte da Europa este conceito estabelece a aplicação de envidraçados com vidros triplos (Figura 17) e caixilharias isoladas termicamente, devendo ser certificadas (Tabela 3). Nos países do sul, envidraçados com vidros duplos de baixa emissividade são suficientes, embora em alguns casos o vidro duplo incolor possa ser mais viável economicamente (Project Passive-On, 2007).

Um ponto que é importante não descurar numa *Passive House* é a instalação do envidraçado, pois uma incorreta instalação compromete a estanquidade, a ventilação e o conforto térmico do edifício. Como se pode ver na Figura 16 aquando da instalação de um envidraçado é necessário ter em consideração alguns pontos importantes, que se encontram identificados na Figura 16.

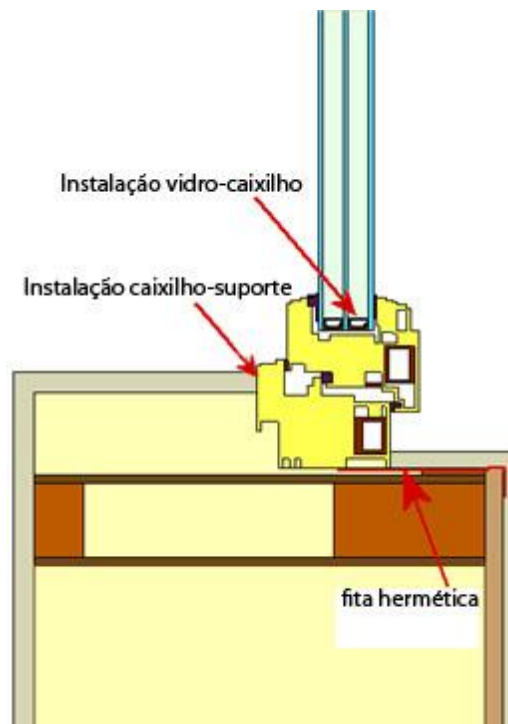


Figura 16 – Pormenor da instalação de um envidraçado (adaptado: passipedia 2013)

Tabela 3 - Classe de eficiência das janelas (passiv.de, 2012)

Classe de eficiência das janelas		
$\Psi_{opaq}$	PH Classe de Eficiência	Designação
$\leq 0.245 \text{ W/(mK)}$	phD	
$\leq 0.200 \text{ W/(mK)}$	phC	Componente certificável
$\leq 0.155 \text{ W/(mK)}$	phB	Componente Básico
$\leq 0.110 \text{ W/(mK)}$	phA	Componente Avançado
$\leq 0.065 \text{ W/(mK)}$	phA+	Componente muito avançado



Figura 17 - Janela clássica da *Passive House*

Os aspetos importantes a serem verificados quando se projetam vãos envidraçados são:

- Orientação do vão
- Redução da razão entre caixilharia e vidro
- Janelas de abrir em todos os compartimentos
- Caixilharia de boa qualidade
- Uma boa instalação do envidraçado
- Sombreamento no verão

### 2.2.3.7. Energias renováveis

Energias renováveis são energias provenientes de matérias-primas renováveis existindo diversas formas de as aproveitar e utilizar, tais como:

- Energia hidráulica
- Biomassa
- Energia solar
- Energia eólica
- Energia geotérmica
- Energia maremotriz
- Energia do hidrogénio

Em Portugal, a que se torna mais interessante é a energia solar, que, para além de já ser obrigatório o seu aproveitamento na construção/reabilitação de edifícios, é o recurso natural mais abundante, ao alcance de todos e fácil de aproveitar, com possibilidade de ser utilizado para o aquecimento de água ou como energia térmica e elétrica. Contudo, os coletores solares e os painéis solares correntes não são os mais eficientes, pois têm bastantes perdas térmicas, principalmente os coletores solares.

As energias renováveis não são um requisito da *Passive House* mas sim uma vantagem para a otimização do conceito.

### 2.2.4. Critérios de certificação

Para além dos aspetos mencionados, o edifício para poder ser certificado pela norma *Passive House* tem de seguir os critérios que se indicam na Tabela 4:

Tabela 4 - Critérios *Passive House* (ÍPHA, 2012; passiv.de, 2012)

Necessidade de energia primária	$\leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{ano}$
Necessidades de aquecimento	$\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{ano}$
Carga de aquecimento e de arrefecimento	$\leq 10 \text{ W/m}^2$ <sup>[1]</sup>
Necessidades de arrefecimento	$\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{ano} + 0,3 \text{ W/m}^2\text{aK} * \text{DDH}$ <sup>[2]</sup>
	$\leq 10 \text{ W/m}^2$ e $\leq 45 \text{ kWh(m}^2\text{a)} + 0,3 \text{ W/(m}^2\text{aK)} * \text{DDH}$ <sup>[3]</sup>
Estanquidade ( $\eta_{50}$ )	$\leq 0.6 \text{ r/h}$

Em que:

$\eta_{50}$  – Renovações horárias

DDH – Período seco (diferença do período entre o qual a temperatura do ponto de orvalho e a temperatura de referência de 13°C é positiva)

<sup>[1]</sup> – Carga máxima de aquecimento

<sup>[2]</sup> – Carga máxima para desumidificação quando necessário

<sup>[3]</sup> – Carga máxima para arrefecimento e para desumidificação

Tem ainda que se verificar:

- Velocidade do ar na habitação tem que ser inferior a 0,1 m/s
- Coeficiente de transmissão da envolvente opaca  $U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
- O teste de pressão de ar é feito a 50 Pa e o resultado tem de ser  $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ , embora para climas em que a temperatura seja superior a 0°C possa ser  $\leq 1 \text{ h}^{-1}$ . (Project Passive-On, 2007)



# *Capítulo 3*

---

METODOLOGIA APLICADA

### **3. Metodologia Aplicada**

3.1. Introdução

3.2. Conceitos Económicos

3.3. Metodologia aplicada

## 3. Metodologia Aplicada

### 3.1 Introdução

O conceito *Passive House*, como já foi referido, visa fundamentalmente reduzir os consumos energéticos do edifício, melhorando ao mesmo tempo o conforto do edifício para o consumidor, tendo no entanto de se avaliar se existe um custo adicional relativo à sua construção, bem como as vantagens e desvantagens económicas que acarreta. Estes dados permitirão ao projetista, no momento em que é procurado pelo cliente, desmistificar o conceito, mostrar as opções existentes no mercado, apresentando as vantagens e as desvantagens.

A avaliação económica dos projetos elaborados segundo estes requisitos é um fator preponderante quando se pretende satisfazer os interesses do consumidor, obtendo-se dados concretos de custos, consumos e ganhos.

De modo a efetuar-se a avaliação económica foi necessário recorrer a alguns conceitos da área da economia, que não são dominados plenamente pelos engenheiros civis, conceitos esses que vão ser abordados no ponto que se segue.

### 3.2 Conceitos Económicos

#### 3.2.1 Valor Líquido Atual

O critério de Valor Líquido Atual (VLA) ou *Net Present Value* (NPV) consiste no somatório de todos os *cash-flows* líquidos previstos, permitindo avaliar e selecionar se um projeto é rentável ou não, sendo este o critério de avaliação mais adequado para se efetuar a avaliação financeira de projetos. Por *cash-flow* líquido entende-se a diferença entre as receitas e as despesas existentes ao longo do projeto.

A expressão mais utilizada pela bibliografia de avaliação financeira e de seleção de projetos consultada, é a seguinte:

$$VLA = \sum_{j=1}^T \frac{CF_j}{(1+p)^j} \quad (1)$$

Em que:

VLA – valor líquido atual ou *net present value*

CF – cash-flows líquido ou lucro previsto

$p$  – taxa de desconto ou taxa de atualização

$T$  – tempo de duração do projeto

O critério do VLA considera a variação do dinheiro no tempo, e admite como hipótese implícita que os lucros obtidos são reinvestidos à taxa de atualização. Por este motivo torna-se inadequado aplicar este critério na comparação de projetos em que a duração e os custos sejam distintos (Myers, 2003; Valente, 2008).

De forma a seguir os estudos desenvolvidos pelo *Passive House Institute* e aplicar as expressões utilizadas optou-se por calcular o VLA de um projeto ao longo do tempo através da soma das parcelas que permitem calcular a taxa de desconto em cada ano, como se representa na expressão (2).

$$\frac{1}{1+p} + \frac{1}{(1+p)^2} + \frac{1}{(1+p)^3} + \dots + \frac{1}{(1+p)^n} \quad (2)$$

Uma vez que se trata de uma progressão geométrica, de termo geral  $u_n$  e razão  $r$ , dadas pelas expressões (3):

$$u_n = \frac{1}{1+p} \quad e \quad r = \frac{1}{1+p} \quad (3)$$

e cuja soma dos  $n$  primeiros termos da progressão é dada pela expressão (4):

$$S_n = u_1 \frac{1-r^n}{1-r} \quad (4)$$

Substituindo na expressão (4)  $r$  e  $u_n$  obtém-se a expressão (5):

$$S_n = \frac{1-(1+p)^{-n}}{p} \quad (5)$$

A expressão (5) representa o fator do valor atual e a expressão (6) permite determinar o valor líquido atual.

$$VLA = CF \frac{1-(1+p)^{-n}}{p} \quad (6)$$

Em que:

*VLA* – valor líquido atual ou *net presente value*

*CF* – cash-flows líquido ou lucro previsto

*p* – taxa de desconto ou taxa de atualização

*n* – número de anos

### 3.2.2 Período de retorno

O conceito de período de retorno, *payback*, é o período em que o investimento efetuado é recuperado, ou seja, é o período de tempo necessário para que a soma dos cash-flows líquidos, seja igual ao investimento inicial. Qualquer projeto de investimento possui no início um período de despesas, ao qual se segue um período de receitas. Sendo assim, o período de retorno é o tempo necessário para as receitas cobrirem todas as despesas efetuadas (Barros, 2000).

Matematicamente falando, o período de retorno é atingido quando:

$$VLA = CF \frac{1-(1+p)^{-n}}{p} - I = 0 \quad (7)$$

em que *I* representa o investimento efetuado.

A partir do momento em que o valor líquido atual é igual a 0, ou seja, o investimento é coberto pelos lucros gerados, começa-se a obter efetivamente retorno do investimento efetuado (Valente, 2008).

### 3.2.3 Taxa de atualização

É necessário efetuar a aplicação da taxa de atualização no cálculo do VLA para se ter em conta a variação do valor do Euro, uma vez que um Euro hoje vale mais do que valerá um Euro no futuro, e para se ter em conta que, para além do investimento que se está a propor se tem que considerar que existe sempre a alternativa de se investir em aplicações ou depósitos a prazo.

A taxa de atualização ou desconto significa que sempre que se investe uma determinada quantia em aplicações correntes ou de pouco risco, esta tem uma determinada rentabilidade que é calculada através da taxa de juro existente naquele momento e que varia consoante a aplicação que se faz. Se o *cash-flow* futuro é seguro, a taxa a aplicar será a semelhante a aplicações de pouco risco. Por sua vez se o *cash-flow* for incerto então a taxa de desconto deverá ser semelhante ao investimento em aplicações de risco.

A taxa de atualização é um parâmetro importante a ter em conta no cálculo do VLA, uma vez que é esta taxa que permite efetuar a aceitação ou rejeição de um determinado investimento (Myers, 2003; Barros, 2000).

Tendo em conta a rentabilidade dos depósitos bancários em Portugal, em que as alternativas de investimentos em aplicações são variáveis, mas em que as taxas sugeridas para as diferentes aplicações existentes possuem valores próximos, e após alguma pesquisa nos depósitos a prazo existentes no mercado, decidiu-se aplicar a este estudo a taxa de 3,75%, por ser a mais atrativa que se encontrou.

### 3.2.4 Anuidade

Com o critério da anuidade pretende-se obter o valor anual despendido quando existe a necessidade de se recorrer a empréstimos para se efetuar um investimento, neste caso um empréstimo para a construção de um edifício. A importância deste critério nesta dissertação é o facto de se querer perceber quais os encargos anuais de uma família, comparando os encargos entre investir num edifício regulamentar ou num edifício *Passive House* (Myers, 2003; Barros, 2000).

A expressão que será utilizada, de acordo com a bibliografia consultada é a seguinte:

$$V_{Empréstimo} = A \times \left[ \frac{1}{p} - \frac{1}{p(1+p)^n} \right] \quad (8)$$

Em que:

$V_{Empréstimo}$  – valor total do empréstimo

$A$  – representa o valor que se terá de pagar anualmente

$p$  – taxa de juro

$n$  – número de anos do empréstimo

### 3.3 Metodologias aplicadas no caso de estudo

Neste capítulo é descrita a metodologia que será adotada para atingir os objetivos definidos. Para atingir esses objetivos foi utilizado como caso de estudo um edifício cuja caracterização se efetuará no capítulo seguinte.

O estudo económico foi elaborado através de folhas de cálculo desenvolvidas no *software* Excel.

#### 3.3.1 Metodologia utilizada no estudo do tempo de retorno

A determinação do tempo de retorno do investimento é um dos objetivos da dissertação, de modo a obter-se informação sobre a viabilidade de se efetuar um investimento inicial mais elevado em relação à casa regulamentar.

O estudo começa pela análise do desempenho energético da casa projetada sob o ponto de vista energético segundo o RCCTE (2006). Obtendo-se o valor das necessidades de energia primária, é contabilizada para a energia primária as necessidades nominais de aquecimento (Nic), as necessidades nominais de arrefecimento (Nvc), iluminação, equipamentos elétricos e de preparação de águas quentes sanitárias (AQS). Este mesmo projeto foi alterado no que respeita às soluções construtivas de modo a cumprir com os requisitos do *standard Passive House* tendo sido efetuado o respetivo balanço energético através da metodologia do *Passive House Planning Package* (PHPP), de onde se retirou o valor das necessidades de energia primária.

Para se poder comparar os custos com a energia gasta em ambas as situações (casa regulamentar e *Passive House*), é efetuado o cálculo da energia final consumida pelo edifício, através da expressão (9), considerando-se as necessidades de energia primária e de AQS.

$$Q_E = A \times \frac{N_{primária}}{fator\ eficiência} (kWh/a) \quad (9)$$

Em que:

$Q_E$  – representa a energia final que o edifício consome anualmente

$A$  – representa a área útil

$N_{primária}$  – representa a parcela da energia primária do edifício

Para calcular os custos a partir da equação anterior, é necessário dividir a expressão em duas partes, pois o fator de eficiência para a energia primária excluindo AQS (denominado  $N_e$ ) e para AQS é diferente, assim como no caso de estudo (2) o custo da energia para AQS a gás é diferente. Obtêm-se assim duas expressões:

$$Q_{E,Nic} = A \times \frac{N_e}{\text{fator eficiência}} \text{ (kWh/a)} \quad (10)$$

$$Q_{E,AQS} = A \times \frac{AQS}{\text{fator eficiência}} \text{ (kWh/a)} \quad (11)$$

Através das equações anteriores obtém-se a equação do custo da energia anual:

$$\text{Caso de estudo} \rightarrow \text{Custo energia anual} = Q_{E,Nic} \times \text{€}_{eletr.} + Q_{E,AQS} \times \text{€}_{eletr.} \quad (12)$$

$$\text{Caso de estudo (2)} \rightarrow \text{Custo energia anual} = Q_{E,Nic} \times \text{€}_{eletr.} + Q_{E,AQS} \times \text{€}_{gás} \quad (13)$$

Após se obter o custo da energia anual da “casa regulamentar” e da *Passive House* torna-se possível obter o custo de energia poupada em cada ano e analisar a viabilidade do investimento extra efetuado, através da expressão (14).

$$\text{Custo energia poupada} = C_{\text{energia anual}_{Regulamentar}} - C_{\text{energia anual}_{PH}} \quad (14)$$

O tempo de retorno pode ser calculado de forma direta, assumindo que o custo da energia no momento da realização do investimento inicial será o mesmo custo que a energia terá daqui a 10, 20, 30 anos, o que não corresponde à realidade. Aplicando esta metodologia, o tempo de retorno será calculado pela equação do valor líquido atual apresentada no ponto 3.2.2., ou seja, no momento em que VAL tomar o valor 0, corresponde ao ano em que o retorno do investimento inicial extra efetuado para se atingir os requisitos duma *Passive House*, é recuperado e se começa a obter benefícios.

Apesar da forma de obtenção do tempo de retorno apresentada anteriormente não estar completamente errada, a não contabilização da inflação do custo da energia ao longo do tempo de vida do edifício será uma falha grande. Assim, efetuou-se este cálculo considerando também a inflação do custo da energia elétrica e do custo do gás ao longo de



cada ano com uma taxa constante, que apesar de não ser real torna o cálculo do tempo de retorno mais correto.

### 3.3.2 Metodologia utilizada no estudo do consumo de elementos isolados

De forma a atingir o quarto objetivo específico da dissertação será efetuado o estudo separadamente de quatro elementos fundamentais de um edifício nos quais as perdas de energia são mais significativas e importantes no balanço energético: as paredes exteriores, os pavimentos, a cobertura e as janelas. Foi assim seguida a seguinte metodologia:

- Num primeiro estudo será tido em conta os valores do coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) dos elementos de acordo com o especificado pelo RCCTE (2006) quanto a valores de referência e máximos, assim como os valores limite para uma *Passive House*. Neste estudo pretende-se obter a comparação do custo de energia que cada elemento perde para o exterior em €/m<sup>2</sup>.
- No segundo estudo será efetuada a comparação de diversas soluções de cada elemento e comparados os custos da energia que cada solução perde para o exterior, assim como as melhorias que uma solução apresenta perante a outra.

Para se efetuar os estudos consideraram-se os seguintes conceitos fundamentais:

O coeficiente de transmissão térmica,  $U$ , de elementos constituídos por um ou vários materiais, em camadas de espessura constante, é calculado pela expressão (15). O valor da resistência térmica de um elemento (o inverso do valor de  $U$ ), é representado esquematicamente na Figura 18 (Rodrigues, 2009).

A expressão (15) permite efetuar o cálculo do coeficiente de transmissão térmica para elementos opacos horizontais e verticais.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)} \quad (15)$$

Em que:

$U$  – coeficiente de transmissão térmica em zona corrente do elemento construtivo (W/m<sup>2</sup>K)

$R_{se}$  e  $R_{si}$  – resistências térmicas superficiais exterior e interior

$R_i$  – resistência térmica de um elemento  $i$  dada pela expressão (16)

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} (\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}) \quad (16)$$

Em que:

$d$  – representa a espessura do elemento

$\lambda$  – representa a condutibilidade térmica do elemento

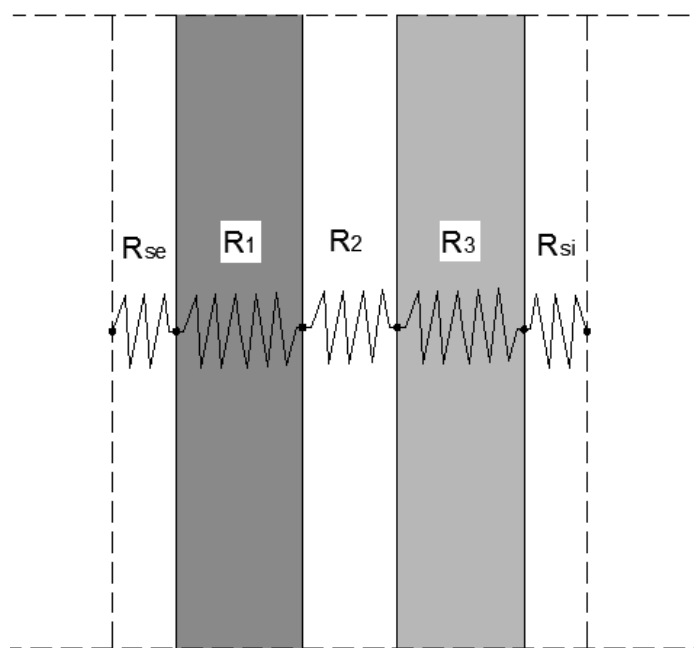


Figura 18 – Resistência térmica de um elemento vertical

Para se efetuar a comparação do custo da energia perdida através de cada elemento construtivo em análise calcula-se a perda de energia através de cada um, aplicando a expressão (17), para o cálculo das perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçados, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior. O fator  $f_T$  representa o coeficiente de redução de perdas térmicas para locais não aquecidos ( $\tau$ ), coeficiente adimensional que pretende exprimir a aproximação entre a temperatura do espaço não útil com a temperatura do espaço útil e da temperatura atmosférica exterior, que toma o valor 1 sempre que se trate de um elemento da envolvente exterior (RCCTE 2006).

$$Q_T = A \times U \times f_T \times G_T \text{ (kWh)} \text{ (17)}$$

Em que:

$Q_T$  – representa a energia final anual

$A$  – área útil

$U$  – coeficiente de transmissão térmica do elemento

$f_T$  – fator de correção da temperatura

$G_T$  – graus dia de aquecimento

### **Comparação entre os requisitos do RCCTE (2006) e da Passive House**

Neste estudo será efetuado o cálculo do valor de energia perdida pelos elementos opacos da envolvente externa de um edifício, comparando-se as soluções que apresentam valores de coeficiente de transmissão térmica máximos e de referência de acordo com o RCCTE (2006) com as soluções que cumprem com U máximo admitido pela *Passive House*.

O custo da energia perdida por cada elemento será obtido multiplicando o valor da energia final, obtido pela expressão (17) pelo custo de energia.

### **Comparação entre diferentes soluções do mesmo elemento**

Ao contrário do anterior, neste será efetuada a avaliação de diferentes soluções construtivas para um mesmo elemento, procurando-se conhecer a solução que menos energia perde. Para além dos elementos opacos, neste estudo será efetuada a comparação de diferentes soluções de envidraçados.

O cálculo dos custos será efetuado de forma semelhante ao abordado no ponto anterior para as soluções da envolvente opaca. No entanto para se efetuar o cálculo do custo de energia desperdiçada pelos vãos envidraçados efetuar-se-á o cálculo do seu coeficiente de transmissão térmica, através da expressão (18) (EN ISO 10077, 2000), expressão usada pelo *Passive House Institute*.

$$U_{w,inst} = \frac{U_g \times A_g + U_f \times A_f + \varphi_g \times L_g + \varphi_{inst} \times L_{inst}}{A_f + A_g} (W/m^2K) \quad (18)$$

Em que:

$U_g$  – coeficiente de transmissão térmica do vidro

$U_f$  – coeficiente de transmissão térmica do caixilho

$A_g$  – área de envidraçado

$A_f$  – área de caixilho

$\varphi_g$  – coeficiente de transmissão térmico linear envidraçado-caixilho

$L_g$  – perímetro do vidro

$\varphi_{inst}$  – coeficiente de transmissão térmico linear caixilho-parede

$L_{inst}$  – perímetro do caixilho

# *Capítulo 4*

---

CASO DE ESTUDO

## **4. Caso de Estudo**

4.1. Introdução

4.2. Metodologia

4.3. Definição dos diferentes cenários

4.4. Medição e Orçamentação

4.5. Balanço Energético

4.6. Alteração do caso de estudo

4.7. Simulação da anuidade

4.8. Avaliação de diferentes componentes isoladamente

## 4. Caso de Estudo

### 4.1 Introdução

Neste capítulo é feito o estudo de um edifício e a comparação entre os dois cenários estudados de forma a entender e comprovar os conceitos abordados anteriormente. Pretende-se com este capítulo chegar a números concretos acerca do custo dos materiais e especificações construtivas que serão necessárias aplicar na construção de uma *Passive House*, tendo sempre a preocupação de adequar essas soluções às aplicadas comumente na construção em Portugal.

Servem de base a este capítulo as medições e orçamentos de um mesmo edifício habitacional construído segundo os requisitos do RCCTE (2006) e segundo os critérios da *Passive House*. É também analisado o balanço energético das duas soluções, com o objetivo de se concluir sobre a aplicabilidade do conceito *Passive House* em Portugal, comparando os consumos energéticos das duas soluções, assim como o investimento extra efetuado na solução Passiva e o seu tempo de retorno, face à solução considerada como padrão.

Por fim, neste capítulo efetua-se a avaliação de diferentes elementos construtivos isoladamente, para se analisar a influência de cada elemento no edifício em termos de desempenho energético e em termos de custos.

#### 4.1.1 Custos médios da construção regulamentar em Portugal

Os custos inerentes à construção nova em Portugal, para além da localização, do tipo de construção, dos materiais, da qualidade da construção, do tamanho, das exigências e funcionalidades, são influenciados pela localização do edifício. Devido a este fator, o mesmo edifício pode custar mais 20% a 30% nas zonas costeiras do que no interior, ou ter um custo no Algarve bem mais elevado que em quase todo o país. Assim, nem sempre o custo de um edifício depende apenas e exclusivamente dos materiais ou das tipologias utilizadas na sua implementação (Just-Landed, 2012).

O valor de um edifício varia então em função da localização, das necessidades de conforto, dos materiais utilizados, das dimensões, da geometria, da pormenorização, entre outros

fatores. Os valores médios para a construção em Portugal variam normalmente entre 500€ e 1500€ por metro quadrado, em função do que foi mencionado (Just-Landed, 2012).

Anualmente é publicado em Portugal o valor por metro quadrado da construção, estando atualmente em vigor a Portaria nº 358/2012, de 31 de Outubro. Esta portaria define os preços da habitação por metro quadrado, por zona (Tabela 5), para o ano de 2013 (Portaria nº358 2012):

Na zona I – 793,21€/m<sup>2</sup>

Na zona II – 693,38€/m<sup>2</sup>

Na zona III – 628,19€/m<sup>2</sup>

Estes preços são preços base pelo que os que se praticam no mercado são geralmente diferentes.

Tabela 5 - Definição das zonas

<b>Zonas do País</b>	<b>Municípios</b>
<b>Zona I</b>	Sedes de distrito e municípios das Regiões Autónomas, bem como Almada, Amadora, Barreiro, Cascais, Gondomar, Loures, Maia, Matosinhos, Moita, Montijo, Odivelas, Oeiras, Póvoa de Varzim, Seixal, Sintra, Valongo, Vila do Conde, Vila Franca de Xira e Vila Nova de Gaia
<b>Zona II</b>	Abrantes, Albufeira, Alenquer, Caldas da Rainha, Chaves, Covilhã, Elvas, Entroncamento, Espinho, Estremoz, Figueira da Foz, Guimarães, Ílhavo, Lagos, Loulé, Olhão, Palmela, Peniche, Peso da Régua, Portimão, Santiago do Cacém, São João da Madeira, Sesimbra, Silves, Sines, Tomar, Torres Novas, Torres Vedras, Vila Real de Santo António e Vizela.
<b>Zona III</b>	Restantes municípios do continente. (Aveiro)

Os valores apresentados, servem apenas como uma aproximação, visto o valor da construção ser efetuado de forma detalhada posteriormente.



#### 4.1.2 Custos médios da Passive House

O custo de construção de uma casa seguindo os requisitos de construção *Passive House* é mais elevado quando comparado, no ato de construção, com a construção da mesma casa seguindo os requisitos padrão. Em média a *Passive House* fica mais cara cerca de 0 – 15% em relação ao custo da casa regulamentar. A grande vantagem da *Passive House*, como já foi mencionado anteriormente, é o facto de ter consumos energéticos muito baixos, tanto para aquecimento como para arrefecimento, diminuindo os respetivos custos ao longo dos anos de utilização. Permite assim, que a longo prazo o investimento inicial seja amortizado e se comece a ter benefícios económicos, para além dos outros benefícios de conforto, qualidade do ar interior e de durabilidade, não quantificáveis.

Na Tabela 6 encontram-se os custos médios da construção, segundo os requisitos da *Passive House*, em alguns países nos quais já foi implementado o conceito. Tem que se ter em conta que a diferença de preços apresentada é condicionada pela diferença de preços da mão-de-obra e pela exigência das soluções construtivas em função das exigências climáticas.

Tabela 6 - Custo médio de um edifício Passive House nos diferentes países (Passive-On, 2012)

País	Custo médio
Alemanha	1375 €/m <sup>2</sup>
Dinamarca	1313 - 2010 €/m <sup>2</sup>
Inglaterra	820 - 2050 €/m <sup>2</sup>
Irlanda	1140 €/m <sup>2</sup> (exemplo de construção com 150 m <sup>2</sup> )
Hungria	965 €/m <sup>2</sup> (exemplo de construção com 126 m <sup>2</sup> )
Áustria	1100 – 2428 €/m <sup>2</sup>
Republica Checa	1420 €/m <sup>2</sup>
Suíça	2000 – 2500 €/m <sup>2</sup>
Itália	1600 - 2500 €/m <sup>2</sup>
Nova Zelândia	≤ 2423 €/m <sup>2</sup>
EUA	900 €/m <sup>2</sup>
Portugal	Investimento extra de 57€/m <sup>2</sup>

As soluções *Passive House* não se aplicam igualmente em todos os países sendo necessário adequar as soluções aos diferentes climas e ao tipo de construção de cada país, pelo que em Portugal é necessário efetuar um estudo mais aprofundado para adequar as exigências deste

conceito quer ao tipo de construção do país quer às respetivas exigências climáticas (Passive-On, 2012).

## 4.2 Metodologia

Para efetuar o cálculo dos custos da construção de um edifício segundo os requisitos *Passive House* vai-se começar por se recorrer a um projeto de uma habitação e efetuar a sua orçamentação, tendo em conta o respetivo projeto de conforto térmico segundo os critérios do RCCTE (2006) e da *Passive House*.

## 4.3 Caraterização

O caso de estudo tem por objeto uma habitação unifamiliar na região de Aveiro (zona climática: I<sub>1</sub> V<sub>1</sub> com 136 m<sup>2</sup> de área útil, com rés-do-chão e primeiro andar, constituída por 3 quartos, uma cozinha, 3 instalações sanitárias e uma sala, o projeto encontra-se presente no Anexo A.

### Descrição das soluções adotadas na solução regulamentar:

A estrutura é constituída por pórticos de betão armado, lajes pré-fabricadas de vigotas de betão pré-esforçado, aligeiradas com abobadilhas cerâmicas, com uma lâmina de compressão em betão (Figura 19). A laje do rés-do-chão é do mesmo tipo das utilizadas nos restantes pisos, apoiada em muros resistentes de blocos de betão, formando caixa-de-ar com pequenas aberturas de ventilação. Pontualmente são usadas lajes maciças de betão armado com isolamento em poliestireno extrudido (Figura 20).

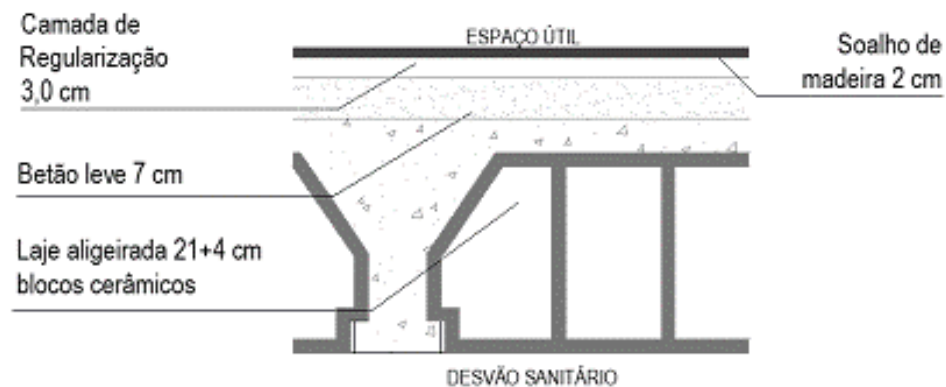


Figura 19 - Laje de Pavimento sobre desvão

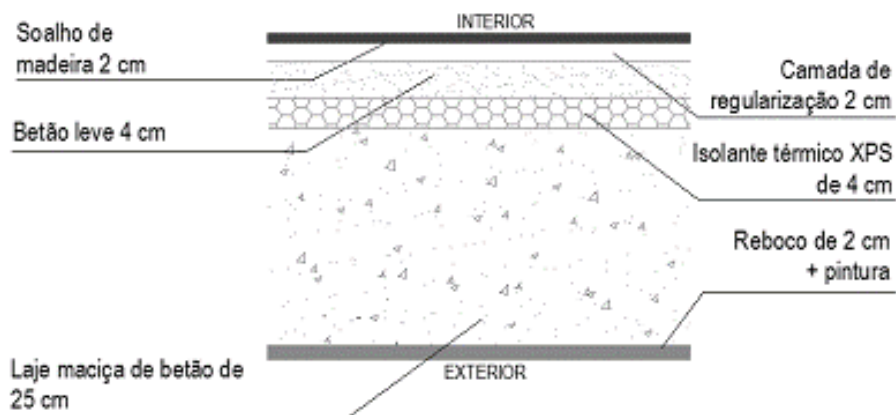


Figura 20 - Laje de Pavimento exterior

A cobertura é constituída por painéis metálicos do tipo chapa de zinco inclinados e apoiados sobre a laje aligeirada pré-esforçada plana, com desvão não útil fortemente ventilado, com isolamento em poliestireno extrudido de 4 cm de espessura, aplicado sobre a laje horizontal. Na face interior a laje é revestida com painéis de gesso cartonado suspensos (Figura 21). Em determinadas áreas são usadas lajes maciças de betão armado com isolamento em poliestireno extrudido (Figura 22).

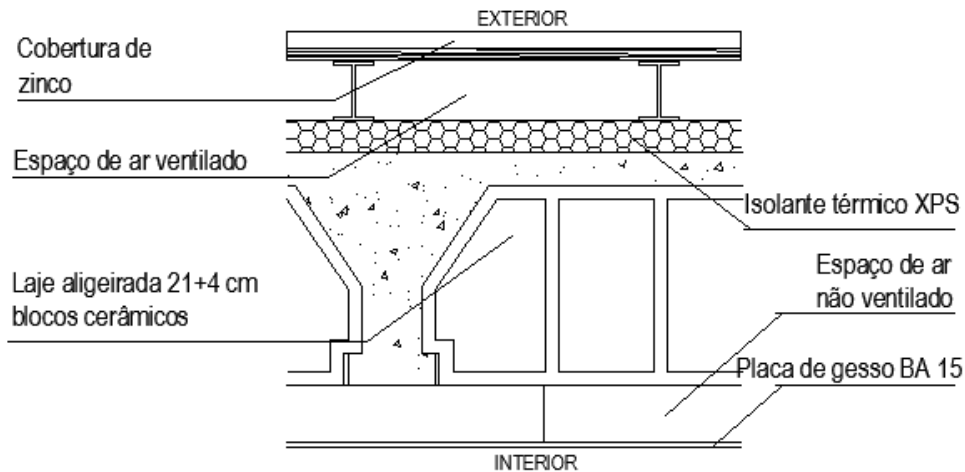


Figura 21 - Laje de Cobertura (aligeirada)

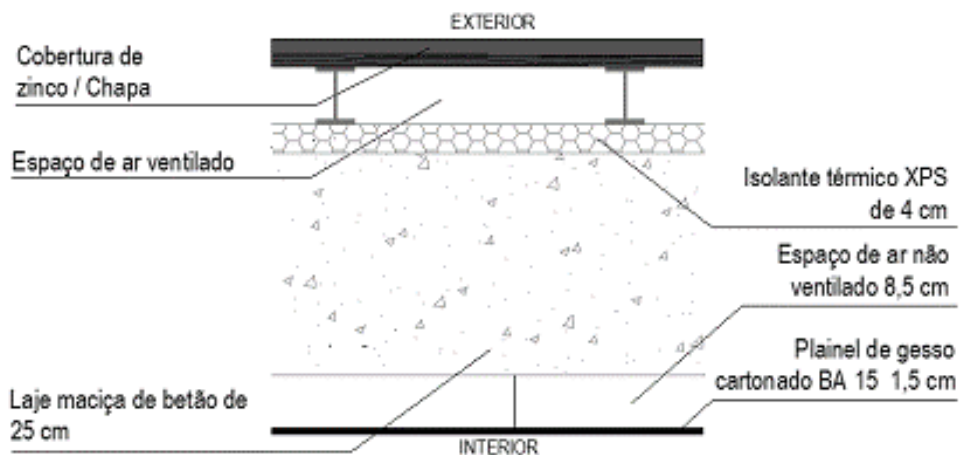


Figura 22 - Laje de Cobertura (maciça)

As paredes exteriores são em alvenaria dupla, constituída por tijolo furado de 15cm no pano exterior + caixa-de-ar semipreenchida com poliestireno extrudido de 4cm de espessura + tijolo furado de 11cm no pano interior, rebocadas em ambas as faces com argamassa (Figura 23). O isolamento em poliestireno extrudido será fixo ao pano interior. Devem-se evitar ao máximo as ligações entre o pano de parede exterior e o pano de parede interior.

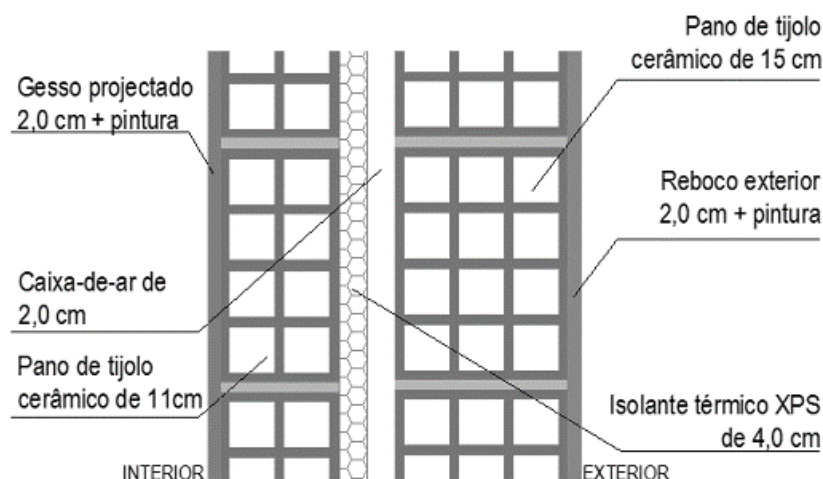


Figura 23 - Parede Exterior

As paredes interiores são em alvenaria simples, executadas com tijolo cerâmico furado de 11cm, devidamente rebocadas com argamassa de areia e cimento com a espessura de 2cm (Figura 24). Executa-se a parede que divide a instalação sanitária e a secção do lance de escadas da sala recorrendo-se à utilização de pano de tijolo cerâmico furado de 22 cm e com acabamento a gesso projectado ou revestimento cerâmico.

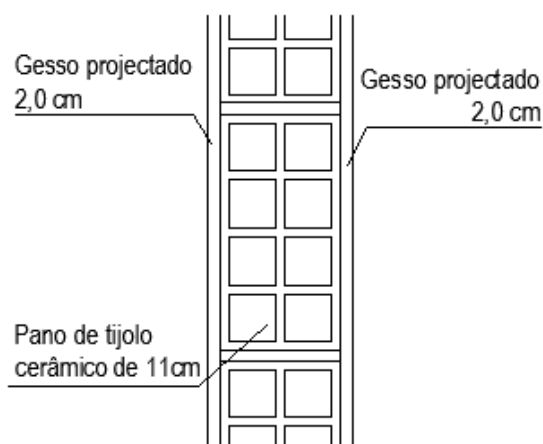


Figura 24 - Parede interior

Os vãos envidraçados são constituídos por vidro duplo incolor, do tipo SGG Climalit (Figura 25), com 6x12x8 mm na sala e no quarto sobre a sala e com 6x10x4 mm nos

restantes espaços, com lâmina de ar e caixilharia simples de alumínio com corte térmico. Nas janelas e sacadas deve ter-se em conta a colocação de bons vedantes com o objetivo de se obter uma melhor estanquidade ao ar.

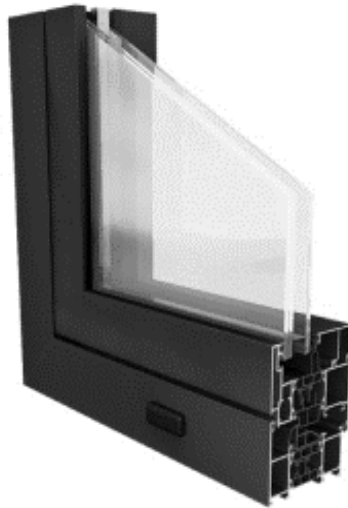


Figura 25 - Envidraçado SGG Climalit

Descrição das soluções adotadas na solução Passive House:

A estrutura é constituída por pórticos de betão armado, com lajes pré-fabricadas de vigotas de betão pré-esforçado, aligeiradas com abobadilhas cerâmicas, com uma lâmina de compressão em betão de 7 cm e 6cm de isolamento em poliestireno extrudido. A laje do rés-do-chão é do mesmo tipo das utilizadas nos restantes pisos, apoiada em muros resistentes de blocos de betão, formando caixa-de-ar com pequenas aberturas de ventilação (Figura 26). Pontualmente são usadas lajes maciças em betão isoladas pelo exterior com 15 cm de poliestireno extrudido (Figura 27).

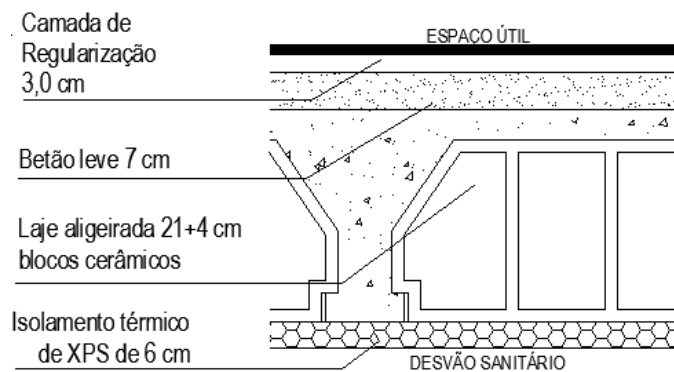


Figura 26 - Laje Pavimento sobre desvão

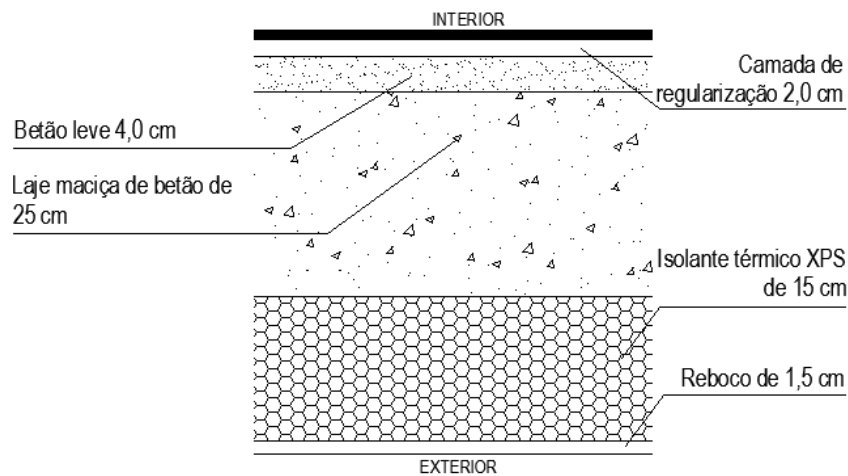


Figura 27 - Laje Pavimento Exterior

A cobertura é constituída por painéis metálicos do tipo chapa de zinco inclinados, apoiados sobre a laje aligeirada pré-esforçada plana, com desvão não útil fortemente ventilado, com isolamento em poliestireno extrudido de 15 cm de espessura aplicado sobre a laje horizontal. Na face interior, a laje é revestida com painéis de gesso cartonado suspensos (Figura 28). Em determinadas áreas são usadas lajes maciças de betão isoladas pelo exterior com 15 cm de poliestireno extrudido (Figura 29).

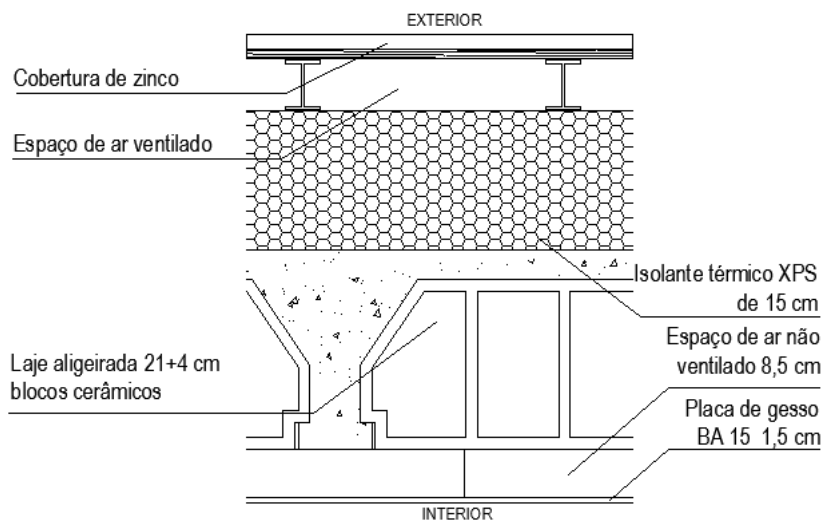


Figura 28 - Laje de Cobertura (aligeirada)

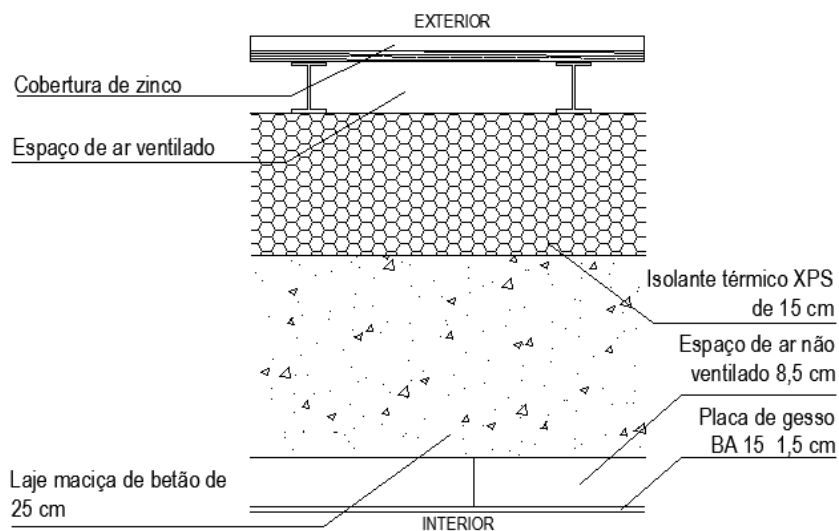


Figura 29 - Laje de Cobertura (maciça)

As paredes exteriores foram executadas em bloco térmico de 25cm, com isolamento em poliestireno extrudido de 10cm de espessura, rebocadas em ambas as faces com argamassa. O isolamento em poliestireno extrudido será fixo ao pano exterior (Figura 30). Devem-se evitar ao máximo interrupções na aplicação do isolamento.



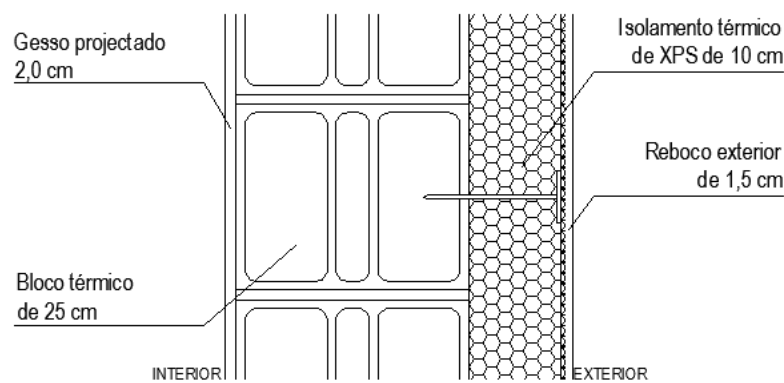


Figura 30 - Parede Exterior

As paredes interiores serão em alvenaria simples iguais às executadas na casa regulamentar, com tijolo cerâmico furado de 11cm, devidamente rebocadas com argamassa de areia e cimento com a espessura de 2cm (Figura 31). Excetua-se a parede que divide a instalação sanitária e a secção do lance de escadas da sala recorrendo à utilização de bloco térmico de 25cm com uma camada de regularização de 2cm e um isolamento em poliestireno extrudido com 10cm de espessura e com um acabamento em gesso projetado ou revestimento cerâmico.

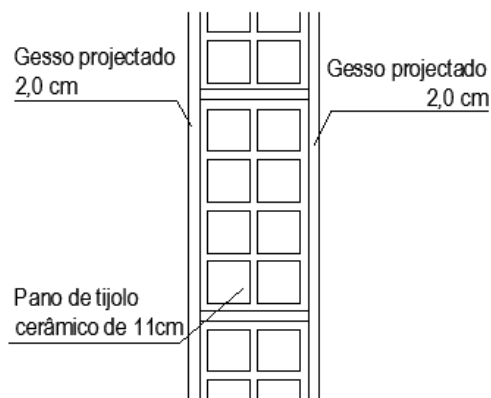


Figura 31 - Parede Interior

Relativamente aos vãos envidraçados considera-se que serão constituídos por vidro duplo de baixa emissividade, com 4x15x4 mm, lâmina de árgon e com caixilharia em PVC (Figura 32). Em todos os vãos deve ter-se em conta a colocação de sistemas que garantam a estanquidade ao ar.

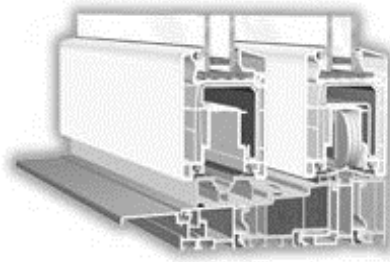


Figura 32 - Envidraçado de baixa emissividade com árgon

Foram efetuadas algumas alterações ao nível dos equipamentos em ambas as situações, sendo as mais importantes a modificação da solução do envidraçado e a eliminação do piso radiante na solução *Passive House*.

#### **Casa regulamentar**

- Piso radiante
- Bomba de calor de 11kw
- Envidraçados: vidro duplo incolor, 6x10x4 mm com lâmina de ar, corte térmico e caixilharia em alumínio

#### ***Passive House***

- Ventilação com a recuperação de calor
- Bomba de calor de 5kw
- Envidraçados: vidro duplo de baixa emissividade, 4x15x4 mm com lâmina de árgon, corte térmico e caixilharia em PVC

## 4.4 Medição e Orçamentação

As medições na engenharia civil são extremamente importantes pois permitem quantificar os trabalhos previstos em projeto e os executados em obra. Para além disso são a base para a elaboração dos orçamentos, permitindo uma melhor gestão e controlo económico de todas as fases, desde o planeamento à execução. Sem serem efetuadas as medições e a respetiva orçamentação, seria impossível analisar propostas e efetuar o controlo financeiro da obra.

Para se estimar o custo do projeto objeto de estudo foram elaboradas medições do mesmo com base no Curso sobre Regras de Medição na Construção, publicado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) em 1998 (LNEC 1998).

### 4.4.1 Considerações efetuadas neste capítulo

Na medição e orçamentação do projeto utilizado no caso de estudo foram tomadas algumas considerações quanto aos artigos que entrariam no mapa de medições. Os artigos listados de seguida não foram considerados ou por não existirem ou por serem exatamente iguais quer na casa regulamentar quer na *Passive House*. Estas considerações foram tomadas assegurando sempre que não se prejudicaria todo o processo de cálculo efetuado no balanço energético.

Lista de Artigos que não foram considerados:

- Estaleiro
- Trabalhos preparatórios
- Demolições
- Movimento de terras
- Estruturas metálicas
- Cantarias
- Carpintarias
- Serralharias

Dos artigos que constam do mapa de medições alguns foram agregados a outros formando grandes grupos, de modo a facilitar a orçamentação. No entanto, foram previamente

calculados separadamente e agregados posteriormente no orçamento de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 – Orçamento

		Casa regulamentar		Passive House	
Estrutura	Fundações	-		-	
	Lajes	-	36.900,00 €	-	36.900,00 €
	Pilares	-		-	
	Vigas	-		-	
Alvenarias	-	5.535,00 €	5.535,00 €	3.996,21 €	3.996,21 €
Isolamento	-	1.353,00 €	1.353,00 €	5.450,00 €	5.450,00 €
Impermeabilização	-	2.460,00 €	2.460,00 €	2.460,00 €	2.460,00 €
Acabamentos	Reboco	6.500,00 €		6.500,00 €	
	Pintura	4.500,00 €		4.500,00 €	
	Revestimento cerâmico	8.610,00 €		8.610,00 €	
	Revestimento madeira	5.412,00 €	30.033,04 €	5.412,00 €	30.033,04 €
	Gesso cartonado	3.011,04 €		3.011,04 €	
	Cobertura de Zinco	2.000,00 €		2.000,00 €	
Envidraçados	-	10.304,00 €	10.304,00 €	14.835,00 €	14.835,00 €
Especialidades	Aguas Esgotos	3.628,50 €		3.885,90 €	
	Gás	824,10 €	9.200,40 €	824,10 €	9.457,80 €
	Eletricidade	3.007,35 €		3.007,35 €	
	ITED	1.740,45 €		1.740,45 €	
Equipamentos	Pavimento Radiante	4.920,00 €		-	
	Bomba de Calor	7.134,00 €		6.642,00 €	
	Painéis Solares	2.460,00 €	26.322,00 €	2.460,00 €	
	Cozinha	9.348,00 €		9.348,00 €	30.803,00 €
	I.S.	2.460,00 €		2.460,00 €	
	Ventilação com RC	-		8.393,00 €	
	Radiadores	-		1.500,00 €	
		Total	122.107,44 €		136.613,75 €
		<b>Investimento Adicional</b>		<b>14.506,3 € s/IVA</b>	

É necessário referir que o projeto utilizado como caso de estudo, foi construído e encontra-se em fase de acabamentos na data de conclusão desta dissertação. Assim, recolheram-se os preços unitários praticados na obra e recolheram-se preços de mais duas entidades de forma a verificar-se que estariam a ser utilizados preços o mais próximo possível dos preços de mercado praticados atualmente na região de Aveiro. É importante referir que o mercado imobiliário e da construção está constantemente a sofrer oscilação de preços, pelo que os aqui apresentados podem não ser exatamente correspondentes aos que irão ser praticados em datas ou em regiões diferentes.

Especificação de cada artigo mencionado na Tabela 7:

- Estrutura – O artigo estrutura inclui fundações, lajes, pilares e vigas. Todos estes artigos foram alvo de medições separadas. No entanto, optou-se por colocar o custo conjunto de toda a estrutura, dado que este valor foi fornecido desta maneira pelo dono de obra. O preço composto deste artigo inclui todos os custos inerentes ao fabrico de cofragem e descofragem, armaduras e betonagem. Dada a natureza dos trabalhos não existe nesta rubrica diferença de custos entre a casa regulamentar e a *Passive House*.
- Alvenarias – Este artigo inclui paredes interiores e exteriores. Na casa regulamentar inclui a mão-de-obra, o material e equipamentos utilizados na execução da parede dupla ou simples de tijolo conforme o caso, sem contar com o isolamento que será orçamentado num artigo separado. De igual modo na *Passive House* são considerados os mesmos custos para a contabilização da parede simples em bloco térmico ou da parede simples de tijolo. Para a casa regulamentar foi fornecido o preço global da execução de todas as alvenarias. Para a *Passive House* calculou-se o preço por m<sup>2</sup> de cada um dos tipos de alvenaria já referidos.
- Isolamento – A rubrica isolamentos é apenas referente ao custo do material de isolamento, dado que a mão-de-obra para a aplicação do mesmo foi contabilizada tanto nas alvenarias como nas lajes no caso dos pavimentos e cobertura. As medições foram efetuadas em m<sup>2</sup> devido a ser isolamento em placas ou painéis. O

orçamento mais elevado na *Passive House* deve-se ao aumento considerável da espessura do mesmo.

- Impermeabilização – O artigo impermeabilização inclui todo o material inerente à impermeabilização dos elementos opacos horizontais, pavimentos e cobertura. As zonas a impermeabilizar e o material necessário quer na casa regulamentar, quer na *Passive House* são exatamente os mesmos.
- Acabamentos – O artigo dos acabamentos inclui diferentes tópicos, reboco, pintura, revestimentos cerâmico e madeira, gesso cartonado e a cobertura de zinco. Estes tópicos incluem material e aplicação. O custo dos acabamentos é igual quer na casa regulamentar, quer na *Passive House*.
- Envidraçados – Os envidraçados é um dos artigos que mais diverge em termos de orçamento, pois a perda de energia que existe nos envidraçados é um dos aspetos a melhorar entre a casa regulamentar e a *Passive House*. O orçamento dos envidraçados na casa regulamentar foi elaborado por unidade (por vão), pois foi usado o orçamento dado pela empresa que os forneceu e aplicou. Para a *Passive House* não foi possível ter o orçamento por unidade, pois foram solicitados alguns orçamentos a empresas da especialidade, tendo-se obtido o preço do material e da aplicação por m<sup>2</sup>.
- Especialidades – neste artigo são abordados todos os projetos de especialidade, Águas, Esgotos, Gás, Eletricidade e ITED. A única diferença ou valor adicional que é necessário considerar no orçamento da *Passive House*, é a necessidade de efetuar um trabalho cuidado em obra tendo em vista a estanquidade da envolvente, pelo que se agravou ligeiramente o orçamento desta rubrica. Não existe qualquer outra diferença entre os dois orçamentos.
- Equipamentos – O artigo dos equipamentos engloba os equipamentos necessários para aquecimento e ventilação, mas também os equipamentos base que equipam a cozinha e as instalações sanitárias. Na casa regulamentar assim como na *Passive*

*House* a cozinha e as instalações sanitárias são equipadas com os mesmos equipamentos, bem como com coletores solares com as mesmas características. Na casa regulamentar aliados a estes existe um sistema de apoio constituído por uma bomba de calor com um depósito de 300 l para alimentar o pavimento radiante existente e aquecer a água (AQS) de toda a casa. Por sua vez na *Passive House* o pavimento radiante é dispensável, podendo diminuir a dimensão do depósito para 200 l, e é necessário colocar um sistema de ventilação com recuperador de calor para garantir a qualidade do ar e o conforto na habitação, assim como a colocação de um radiador em cada uma das 3 instalações sanitárias como precaução que podem ser acionados nos dias mais frios.

Dado que na *Passive House* a colocação do isolamento pelo exterior envolve um trabalho mais cuidado em termos de mão-de-obra, para se evitarem as pontes térmicas lineares, foi aplicada uma majoração ao valor total do orçamento de 2%.

#### 4.5 Balanço Energético

Antes de mais é importante ter em conta que o projeto estudado tem como base a comparação entre um projeto padrão, que possui uma boa qualidade de construção e de pormenorização, e o seu consequente melhoramento para atingir os requisitos do conceito *Passive House*. As soluções utilizadas no caso de estudo foram as referidas anteriormente.

Como referido, o objetivo desta dissertação é a determinação dos custos de construção de uma *Passive House* em comparação com um projeto que cumpra os requisitos legais em vigor no âmbito do conforto térmico. Assim, utilizaram-se os valores do balanço energético quer do projeto do caso de estudo, quer do da *Passive House*, estes últimos determinados através do PHPP, no âmbito de outra dissertação que se desenvolveu em simultâneo. Os dados relativos a ambas as soluções encontram-se na Tabela 8.

Analisando a Figura 33 é possível perceber a influência de cada parcela no consumo de energia do edifício, sendo que a parcela para aquecimento do edifício e aquecimento de águas implicam quase a totalidade das necessidades da casa regulamentar. As restantes parcelas representam apenas 20% do total, sendo que as necessidades foram calculadas para o clima de Aveiro (I1, V1). Noutras regiões no Sul ou Norte do País essas necessidades alteram-se de acordo com as respetivas exigências climáticas.

Tabela 8 – Balanço energético segundo o PHPP

	<b>Casa regulamentar:</b>		<b>Passive House</b>	
Necessidades aquecimento	66	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Necessidades arrefecimento	14	kWh/(m <sup>2</sup> a)	8	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Iluminação	5	kWh/(m <sup>2</sup> a)	5	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Equipamentos elétricos	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Água quente	48	kWh/(m <sup>2</sup> a)	48	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Eficiência da distribuição	0,89	-	0,91	-



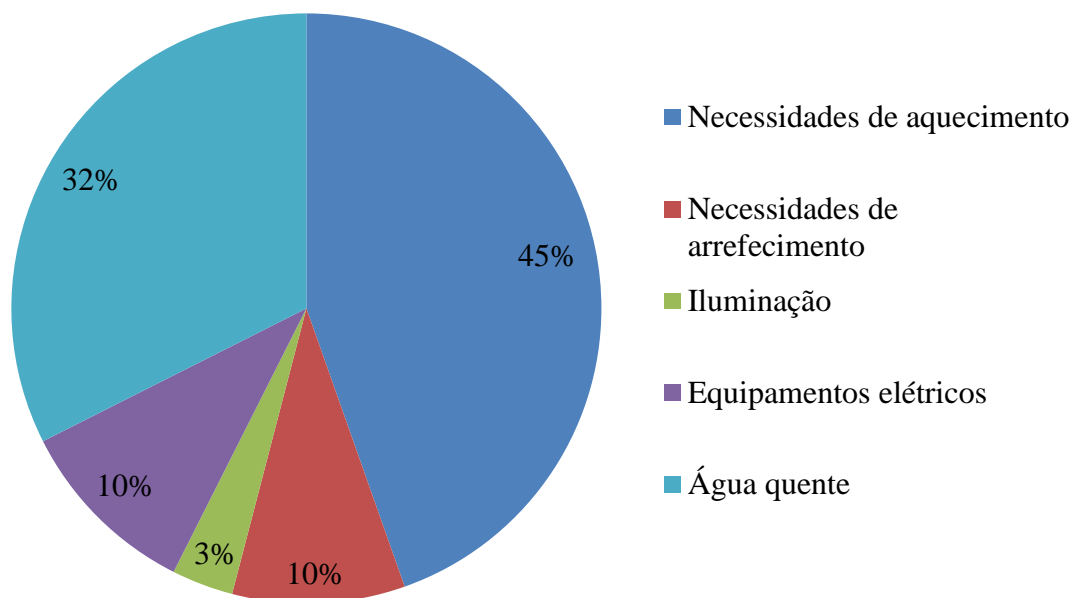


Figura 33 - Influência de cada parcela nas necessidades globais de energia: casa regulamentar

Procurando calcular os gastos anuais com a energia, efetua-se com os dados apresentados na Tabela 8 através das expressões (9 e 12) o cálculo do custo energético de cada tipologia de construção, sendo na casa regulamentar de 2.916,22€/ano e na *Passive House* de 1.813,91€/ano. Pode-se obter então o custo da energia poupada anualmente pela *Passive House* através da expressão (14), que é de 1.102,31€/ano.

O tempo de retorno foi obtido de duas formas diferentes como foi explicado na secção 3.3.1. A primeira de forma direta considerando o valor da energia poupada constante no tempo, durante a vida útil do edifício, enquanto na segunda foi considerada a inflação da energia ao longo de cada ano, ilustrando de forma mais adequada a realidade. O preço considerado para o consumo elétrico foi de 0.1393 €/kWh (valores praticados pela EDP em 05/2013 retirado da fatura da EDP) e o valor da inflação considerado para a energia elétrica foi de 2,8%, tendo sido considerado o aplicado a 1 de Janeiro de 2013. Como o valor da inflação é variável e impossível de prever, foram considerados estes valores constantes ao longo do intervalo de tempo em análise neste caso de estudo.

O tempo de retorno calculado sem considerar a inflação da energia será de 19 anos, para o investimento inicial de 14.506,3€ e para uma poupança anual de 1.102,31€ de energia (expressão 7):

$$VLA = CF \frac{1 - (1 + p)^{-n}}{p} - I = 0$$

$$1.102,31\text{€} \cdot \frac{1 - (1 + 0,0375)^{-n}}{0,0375} - 14.506,3\text{€} = 0$$

$$n = 18,5 \text{ anos}$$

Conclui-se assim que no 19º ano se paga o investimento inicial acrescido pela construção de uma *Passive House*, apenas com a poupança anual em energia, e começa-se, a partir deste ano, a obter-se benefícios económicos bastante significativos, correspondentes ao valor da energia poupada anualmente.

Calculando o tempo de retorno com o valor da poupança energética, tendo em conta a inflação da energia obtém-se os resultados apresentados na Tabela 9.

O procedimento para obter o valor inflacionado foi o descrito na secção 3.3.1 e que se passa a explicar mais detalhadamente. Foi efetuado o cálculo do valor energético em cada ano isoladamente, aplicando o valor da inflação energética em ambas as situações, casa regulamentar e *Passive House*, tendo-se, através da diferença entre ambas, obtido o custo de energia poupada. Aplicando-se a equação do VLA em cada ano, obteve-se o valor líquido atual em cada ano, com a respetiva inflação, podendo-se efetuar o somatório do valor de energia poupada ano após ano, até ao ano em que o somatório é superior ao investimento inicial, correspondendo este ao tempo de retorno.

Pelo facto de o VLA considerar o reinvestimento dos lucros anuais à taxa apresentada, como sendo a taxa indicada para um depósito a prazo, leva a uma melhor comparação quando se comparam os lucros entre investir numa *Passive House* ou colocar o dinheiro no banco a render. A taxa de juro utilizada para o cálculo do VLA em ambos os casos foi de 3,75%, sendo a taxa mais atrativa que se encontra atualmente a ser praticada, para depósitos a médio/longo prazo.

Na Figura 34 e na Tabela 9 verifica-se que o tempo de retorno do edifício em estudo, calculado aplicando a inflação da energia, corresponde ao 13º ano, sendo que a partir deste ano o investimento adicional inicial fica pago apenas com a poupança anual em energia e começam-se a ter lucros anuais correspondentes a essa poupança.

Tabela 9 - Tempo de retorno, considerando a inflação (2,8% constante)

Ano	Consumo Casa regulamentar	Consumo Casa Passiva	Poupança	Poupança ao longo do tempo (c/ inflação do preço da eletricidade)	Tempo de Retorno
0	0,0 €	0,0 €	0,0 €	-	Saldo Negativo
1	2.916,2 €	1.813,9 €	1.102,3 €	1.062,47 €	Saldo Negativo
2	2.997,9 €	1.864,7 €	1.133,2 €	2.144,95 €	Saldo Negativo
3	3.079,5 €	1.915,5 €	1.164,0 €	3.245,70 €	Saldo Negativo
4	3.161,2 €	1.966,3 €	1.194,9 €	4.363,05 €	Saldo Negativo
5	3.242,8 €	2.017,1 €	1.225,8 €	5.495,44 €	Saldo Negativo
6	3.324,5 €	2.067,9 €	1.256,6 €	6.641,39 €	Saldo Negativo
7	3.406,1 €	2.118,6 €	1.287,5 €	7.799,53 €	Saldo Negativo
8	3.487,8 €	2.169,4 €	1.318,4 €	8.968,55 €	Saldo Negativo
9	3.569,5 €	2.220,2 €	1.349,2 €	10.147,22 €	Saldo Negativo
10	3.651,1 €	2.271,0 €	1.380,1 €	11.334,40 €	Saldo Negativo
11	3.732,8 €	2.321,8 €	1.411,0 €	12.529,00 €	Saldo Negativo
12	3.814,4 €	2.372,6 €	1.441,8 €	13.730,02 €	Saldo Negativo
13	3.896,1 €	2.423,4 €	1.472,7 €	14.936,50 €	Saldo Positivo
14	3.977,7 €	2.474,2 €	1.503,6 €	16.147,56 €	Saldo Positivo
15	4.059,4 €	2.525,0 €	1.534,4 €	17.362,36 €	Saldo Positivo
16	4.141,0 €	2.575,8 €	1.565,3 €	18.580,13 €	Saldo Positivo
17	4.222,7 €	2.626,5 €	1.596,1 €	19.800,13 €	Saldo Positivo
18	4.304,3 €	2.677,3 €	1.627,0 €	21.021,70 €	Saldo Positivo
19	4.386,0 €	2.728,1 €	1.657,9 €	22.244,20 €	Saldo Positivo
20	4.467,7 €	2.778,9 €	1.688,7 €	23.467,05 €	Saldo Positivo

Custo da eletricidade: 0,1393 €/kWh (EDP 05/2013)

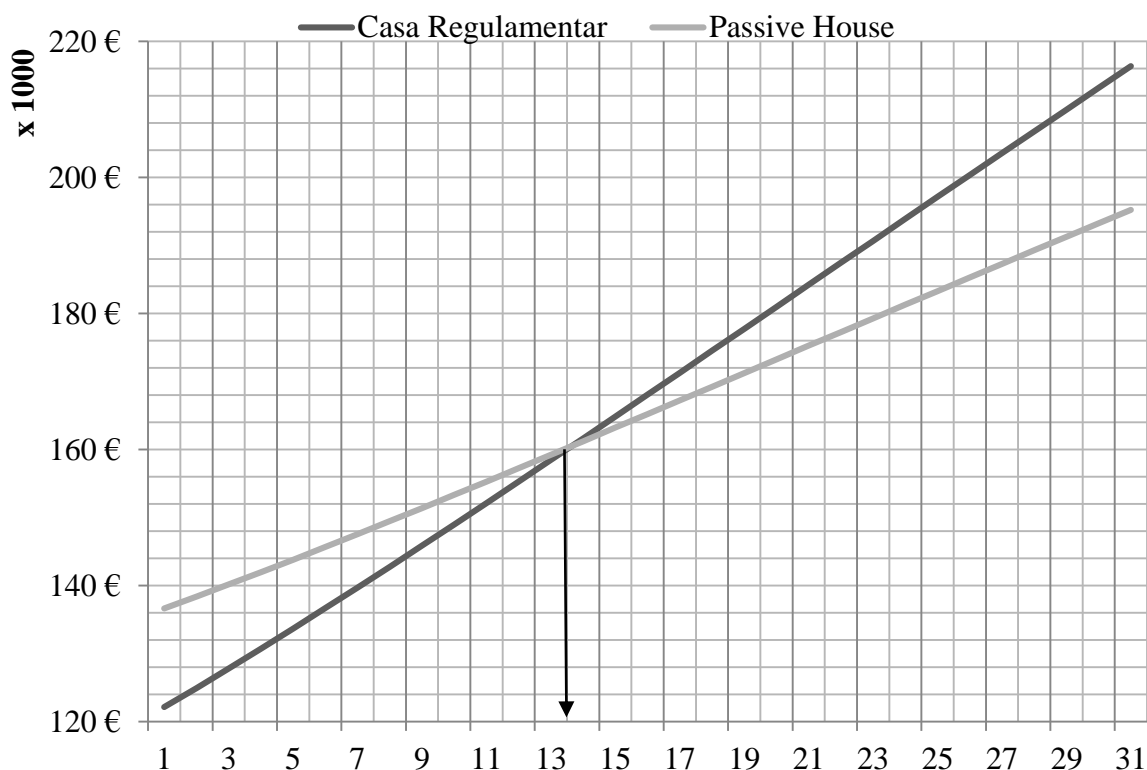


Figura 34 - Tempo de retorno (construção gráfica)

Após o edifício *Passive House* atingir o tempo de vida de 20 anos existe uma poupança de 8.960€, aos 30 anos de 21.105€. Esta análise é pertinente, uma vez que um edifício quando se constrói, ao contrário de outros bens que a população adquire tem como finalidade a durabilidade, pelo que o horizonte de 20 e 30 anos é visto como natural para um edifício, dado que a vida útil dum edifício é no mínimo de 50 anos. Verifica-se através deste estudo, que os tempos de retorno obtidos em investimentos que visam a eficiência energética de edifícios, não correspondem a intervalos de tempo curtos, mas, tendo em conta o tempo de vida útil quer do edifício, quer dos seus elementos construtivos, os valores obtidos não são excessivos. Releva-se ainda a sustentabilidade deste tipo de investimento, dada a sua segurança e o facto de tornar os utilizadores dos edifícios quase que independentes do valor da oscilação do preço da energia, passando a lucrar com as poupanças obtidas. Num edifício padrão apesar do investimento inicial ser inferior, os utilizadores estão durante todo o tempo de vida útil do edifício sujeitos aos aumentos do custo da energia que se traduzem num elevado esforço financeiro devido ao elevado consumo destes edifícios.

#### 4.6 Caso de estudo (2)

Nesta secção pretende-se apresentar algumas alterações ao caso de estudo procurando que o mesmo se assemelhe ainda mais à realidade da construção em Portugal, dado que o edifício analisado possui alguns sistemas que usualmente não são encontrados nos edifícios, tais como o piso radiante e a bomba de calor. É mais usual existir uma caldeira que funciona a gás, e que permite o aquecimento das AQS e do ambiente interior através de radiadores. No projeto do caso de estudo o funcionamento de todo o edifício é assegurado pelo consumo de energia elétrica, pelo que ao considerar-se o aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS) a gás, será necessário obter um preço para o gás. O preço utilizado foi calculado através do valor médio praticado por diversas empresas de distribuição, tendo-se obtido o valor de 0.071€/kWh (Figura 35). Para o gás a taxa de inflação utilizada será de 2,5%, tendo sido considerada a aplicada a 1 de Janeiro de 2013.

GÁS NATURAL		galp ON	
Operador de rede de distribuição	Escalão (m <sup>3</sup> /ano)	Termo Fixo (€/dia)	Energia (€/kWh)
Lisboagás	1º Escalão (0-220)	0,0638	0,0727
	2º Escalão (221-500)	0,1218	0,0679
Lusitâniagás	1º Escalão (0-220)	0,0638	0,0720
	2º Escalão (221-500)	0,1218	0,0679
Setgás	1º Escalão (0-220)	0,0638	0,0723
	2º Escalão (221-500)	0,1218	0,0685
Beiragás	1º Escalão (0-220)	0,0820	0,0750
	2º Escalão (221-500)	0,1218	0,0687
Duriensegás Medigás, Dianagás Paxgás e Sonorgás	1º Escalão (0-220)	0,0920	0,0709
	2º Escalão (221-500)	0,1218	0,0660
EDP gás	1º Escalão (0-220)	0,0685	0,0736
	2º Escalão (221-500)	0,1218	0,0660
	3º Escalão (501-1000)	0,1820	0,0625
Tagusgás	1º Escalão (0-220)	0,0804	0,0739
	2º Escalão (221-500)	0,1218	0,0685

Figura 35 - Preço do gás (GalpEnergia 05/2013)

Neste caso foi necessário efetuar algumas alterações no orçamento com o objetivo de tornar o caso de estudo ainda mais próximo da realidade, apresentando-se na Tabela 10 as diferenças do orçamento relativamente ao já apresentado. As alterações ocorrem ao nível do aquecimento do edifício e das AQS, tendo sido retirado o piso radiante e a bomba de calor e colocada uma caldeira a gás, como foi referido anteriormente, assim como a colocação de um radiador em cada divisão, sistema que é necessário para o aquecimento do edifício e é encontrado regularmente nos edifícios.

Tabela 10 – Orçamento (caso de estudo 2)

		Casa regulamentar		Passive House	
Estrutura	Fundações	-		-	
	Lajes	-	36.900,00 €	-	36.900,00 €
	Pilares	-		-	
	Vigas	-		-	
Alvenarias	-	5.535,00 €	5.535,00 €	3.996,21 €	3.996,21 €
Isolamento	-	1.353,00 €	1.353,00 €	5.450,00 €	5.450,00 €
Impermeabilização	-	2.460,00 €	2.460,00 €	2.460,00 €	2.460,00 €
Acabamentos	Reboco	6.500,00 €		6.500,00 €	
	Pintura	4.500,00 €		4.500,00 €	
	Revestimento cerâmico	8.610,00 €		8.610,00 €	
	Revestimento madeira	5.412,00 €	30.033,04 €	5.412,00 €	30.033,04 €
	Gesso cartonado	3.011,04 €		3.011,04 €	
	Cobertura de Zinco	2.000,00 €		2.000,00 €	
Envidraçados	-	10.304,00 €	10.304,00 €	14.835,00 €	14.835,00 €
Especialidades	Águas				
	Esgotos	3.628,50 €		3.885,90 €	
	Gás	824,10 €	9.200,40 €	824,10 €	9.457,80 €
	Eletricidade	3.007,35 €		3.007,35 €	
	ITED	1.740,45 €		1.740,45 €	
Equipamentos	Caldeira	2.000,00 €		2.000,00 €	
	Painéis Solares	2.460,00 €		2.460,00 €	
	Cozinha	9.348,00 €	19.768,00 €	9.348,00 €	26.161,00 €
	I.S.	2.460,00 €		2.460,00 €	
	Ventilação	-		8.393,00 €	
	Radiadores	3.500,00 €		1.500,00 €	
		Total	115.553,44 €		131.878,91 €
			<b>Investimento Adicional</b>		<b>16.325,5€ s/IVA</b>

Os dados relativos às necessidades energéticas são os apresentados na Tabela 11, apenas existindo diferença, como se pode observar, nas necessidades de energia para AQS, que são bastante menores quando se utiliza uma caldeira ao contrário de uma bomba de calor.

À semelhança da análise efetuada relativamente à Figura 33, pode-se ver na Figura 36 que neste caso a parcela para aquecimento do edifício representa a grande parcela das

necessidades de energia do edifício, com mais de metade do valor total - 58%. As restantes parcelas representam as restantes necessidades e, comparando com os dados apresentados na Figura 33, chega-se à conclusão que pelo facto de se utilizar uma caldeira as necessidades de energia para AQS diminuem.

Tabela 11 - Dados desempenho energético (caso de estudo 2)

	<b>Casa regulamentar:</b>		<b>Passive House</b>	
Necessidades aquecimento	66	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Necessidades arrefecimento	14	kWh/(m <sup>2</sup> a)	8	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Iluminação	5	kWh/(m <sup>2</sup> a)	5	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Equipamentos elétricos	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Água quente	14,5	kWh/(m <sup>2</sup> a)	14,5	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Eficiência da distribuição	0,89	-	0,91	-

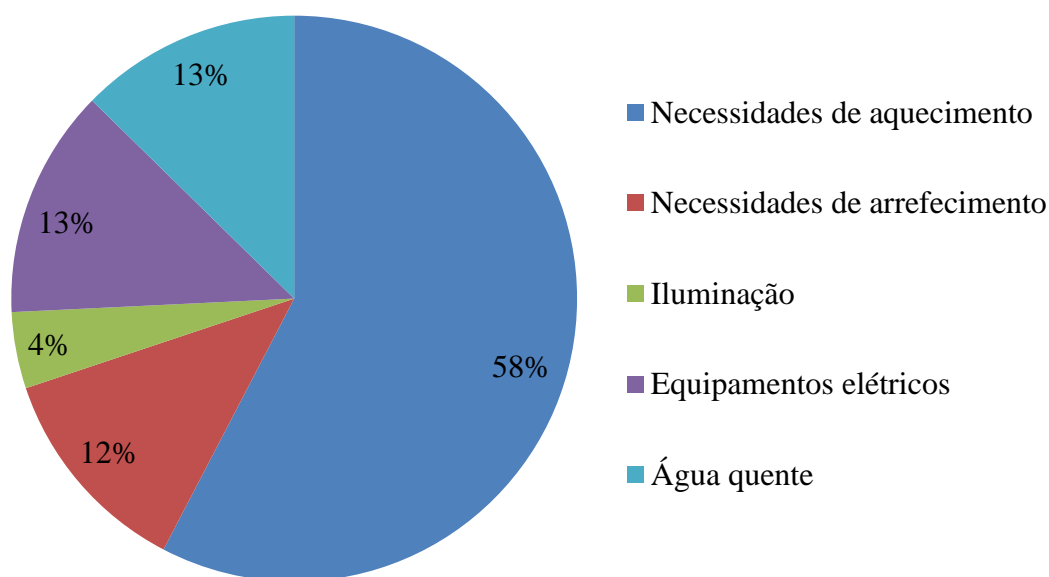


Figura 36 - Influência de cada parcela nas necessidades globais (caso de estudo 2): casa regulamentar

O procedimento para obter o valor do sobre custo do investimento inicial foi o descrito na secção 3.3.1 e igual ao procedimento detalhado no caso de estudo principal.

O tempo de retorno calculado sem considerar a inflação da energia é de 23 anos, para o investimento inicial de 16.325,5€ e com uma poupança anual de 1.086,64€.

$$VLA = CF \frac{1 - (1 + p)^{-n}}{p} - I = 0$$

$$1.086,64\text{€} \cdot \frac{1 - (1 + 0,0375)^{-n}}{0,0375} - 16.325,5\text{€} = 0$$

$$n = 23 \text{ anos}$$

Conclui-se assim que a partir do 23º ano começam-se a obter benefícios económicos bastante significativos, correspondentes ao valor da energia poupada anualmente.

O cálculo do tempo de retorno calculado com o valor da poupança de energia tendo em conta a inflação do custo desta encontra-se na Tabela 12

Na Figura 37, na Tabela 12 e Tabela 13 verifica-se que o tempo de retorno do edifício em estudo quando se aplica a taxa de inflação o custo da energia, corresponde a 15 anos, momento em que se paga o investimento inicial acrescido correspondente à construção de uma *Passive House* e a partir do qual se começam a obter lucros correspondentes à poupança energética. Após o edifício *Passive House* atingir o tempo de vida de 20 anos existe uma poupança de 6734€, aos 30 anos de 18.667€.

Tabela 12 - Tempo de retorno, com inflação (caso de estudo 2)

Ano	Consumo Casa regulamentar	Consumo Casa Passiva	Poupança	Poupança ao longo do tempo (c/ inflação do preço da eletricidade)	Tempo de Retorno
0	0,0 €	0,0 €	0,0 €	-	Saldo Negativo
1	2.050,9 €	967,6 €	1.083,3 €	1.044,14 €	Saldo Negativo
2	2.107,8 €	994,2 €	1.113,6 €	2.107,93 €	Saldo Negativo
3	2.164,8 €	1.020,8 €	1.143,9 €	3.189,65 €	Saldo Negativo
4	2.221,7 €	1.047,5 €	1.174,3 €	4.287,66 €	Saldo Negativo
5	2.278,7 €	1.074,1 €	1.204,6 €	5.400,44 €	Saldo Negativo
6	2.335,7 €	1.100,8 €	1.234,9 €	6.526,53 €	Saldo Negativo
7	2.392,6 €	1.127,4 €	1.265,2 €	7.664,59 €	Saldo Negativo
8	2.449,6 €	1.154,0 €	1.295,5 €	8.813,32 €	Saldo Negativo
9	2.506,5 €	1.180,7 €	1.325,9 €	9.971,53 €	Saldo Negativo
10	2.563,5 €	1.207,3 €	1.356,2 €	11.138,08 €	Saldo Negativo
11	2.620,4 €	1.233,9 €	1.386,5 €	12.311,92 €	Saldo Negativo
12	2.677,4 €	1.260,6 €	1.416,8 €	13.492,05 €	Saldo Negativo



Tabela 13 - Tempo de retorno, com inflação (caso de estudo 2): continuação

Ano	Consumo Casa regulamentar	Consumo Casa Passiva	Poupança	Poupança ao longo do tempo (c/ inflação do preço da eletricidade)	Tempo de Retorno
13	2.734,3 €	1.287,2 €	1.447,2 €	14.677,54 €	Saldo Negativo
14	2.791,3 €	1.313,8 €	1.477,5 €	15.867,52 €	Saldo Negativo
15	2.848,2 €	1.340,5 €	1.507,8 €	17.061,16 €	Saldo Positivo
16	2.905,2 €	1.367,1 €	1.538,1 €	18.257,72 €	Saldo Positivo
17	2.962,2 €	1.393,7 €	1.568,4 €	19.456,47 €	Saldo Positivo
18	3.019,1 €	1.420,4 €	1.598,8 €	20.656,74 €	Saldo Positivo
19	3.076,1 €	1.447,0 €	1.629,1 €	21.857,93 €	Saldo Positivo
20	3.133,0 €	1.473,6 €	1.659,4 €	23.059,44 €	Saldo Positivo

Custo da eletricidade e gás: 0,1393 €/kWh (EDP 05/2013); 0,071€/kWh (GalpEnergia 05/2013)

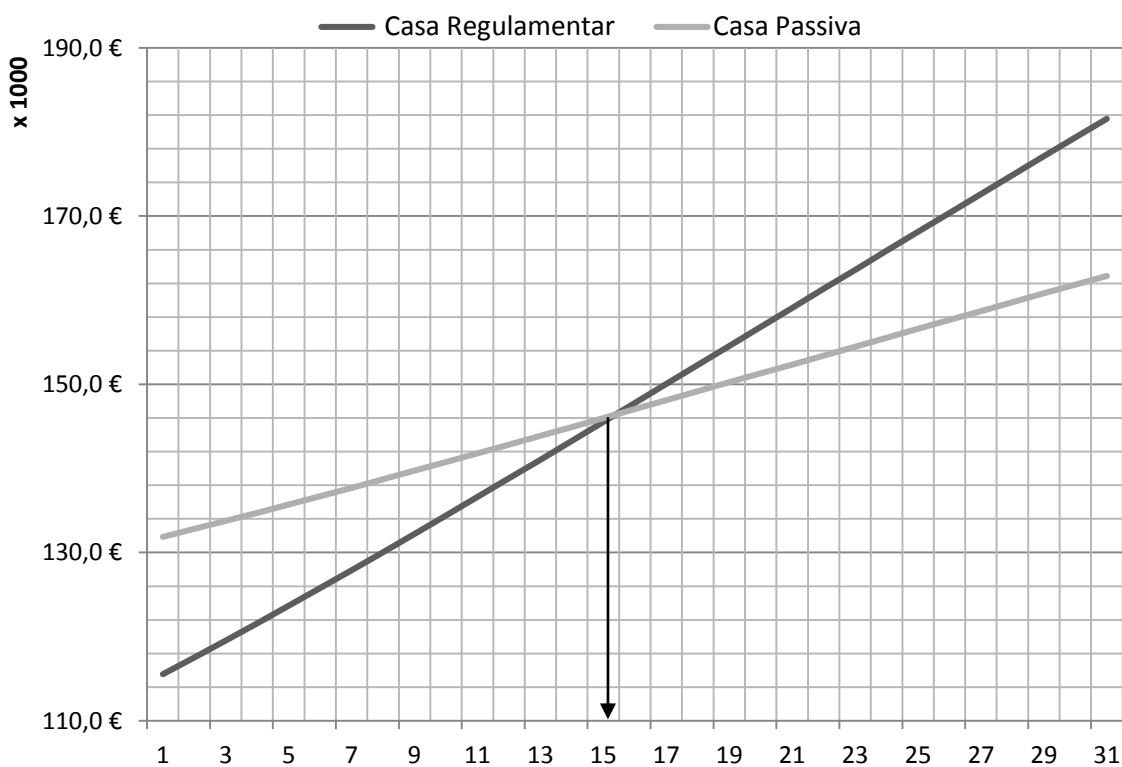


Figura 37 - Tempo de retorno (construção gráfica caso de estudo 2)

#### 4.7 Simulação da anuidade

Nesta secção é feita uma pequena simulação com o objetivo de se analisar a influência de um investimento num edifício *Passive House* comparativamente com o investimento num edifício padrão, procurando obter o valor dos encargos anuais em cada um.

Na Tabela 14 e Tabela 15 foi feito o cálculo do valor da anuidade para um empréstimo para construção, tendo como base os valores obtidos nos orçamentos de ambos os casos de estudo. Considerou-se para esta simulação empréstimos a 15, 20, 25 e 30 anos, com as respetivas taxas de juro praticadas no momento. O cálculo dos encargos anuais foi efetuado de acordo com o capítulo 3 secção 3.2.4, o valor da poupança em energia considerado foi o do primeiro ano, considerado estático ao longo do tempo.

Na Tabela 14 é possível observar que para empréstimos a longo prazo, 20 anos ou mais, existe uma poupança anual sobre o valor do investimento que se começa a verificar logo desde o primeiro ano. A coluna “Verdadeira anuidade PH” consiste na diferença entre o valor pago anualmente pelo empréstimo pedido e o valor da poupança de energia. Só para empréstimos inferiores a 20 anos é que a poupança não começa logo no primeiro ano, embora nesta simulação, o valor da poupança de energia considerado seja estático e igual ao valor da poupança no primeiro ano, sendo que, se fosse efetuada a variação da anuidade e do valor em energia poupada em cada ano, poucos anos depois já existirá uma poupança significativa igualmente para empréstimos a 15 anos.

Tabela 14 - Encargos anuais: Caso de estudo

Caso de estudo	Taxa	Casa regulamentar	Passive House	Poupança em energia	Verdadeira anuidade PH	Diferença anual
		125.000 €	140.000 €			
Valor da anuidade						
15	3%	10.470,82 €	11.727,32 €	1.102,31 €	10.625,01 €	<b>-154,19 €</b>
20	3,25%	8.597,36 €	9.629,04 €	1.102,31 €	8.526,73 €	70,63 €
25	3,50%	7.584,25 €	8.494,36 €	1.102,31 €	7.392,06 €	192,20 €
30	3,75%	7.010,95 €	7.852,27 €	1.102,31 €	6.749,96 €	261,00 €

À semelhança da Tabela 14, na Tabela 15 as considerações e conclusões efetuadas são as mesmas. Pode-se perceber assim, que para a realidade Portuguesa, na qual raramente se efetua construção nova sem se recorrer a empréstimos bancários, os investimentos num

edifício *Passive House* são uma opção viável e lucrativa a curto, médio e longo prazo, dado que a poupança em energia permite pagar o valor do sobre custo do investimento inicial. Além destes aspetos mensuráveis o conforto, qualidade do ar interior e durabilidade das soluções construtivas não são quantificáveis, sendo no entanto de elevada importância para a qualidade de vida e economia dos residentes.

Tabela 15 - Encargos anuais: Caso de estudo 2

Caso de estudo 2		Casa regulamentar 115.000,00 €	Passive House 135.000,00 €	Poupança em energia	Verdadeira anualidade PH	Diferença anual
		Valor da anuidade				
15	3%	10.470,82 €	11.727,32 €	1.086,64 €	10.640,68 €	<b>-169,86 €</b>
20	3,25%	8.597,36 €	9.629,04 €	1.086,64 €	8.542,41 €	54,95 €
25	3,50%	7.584,25 €	8.494,36 €	1.086,64 €	7.407,73 €	176,53 €
30	3,75%	7.010,95 €	7.852,27 €	1.086,64 €	6.765,63 €	245,32 €

#### 4.8 Avaliação de diferentes componentes isoladamente

Complementando a avaliação do desempenho energético do edifício segundo as duas situações estudadas, a primeira cumprindo o RCCTE (2006) e a segunda obedecendo aos requisitos *Passive House*, foi efetuado o estudo e a avaliação dos componentes mais significativos de um edifício, envidraçados, paredes, pavimento e cobertura. Este estudo foi efetuado por m<sup>2</sup> e para o clima de Aveiro, tendo como objetivo obter-se as perdas energéticas existentes através de cada elemento e os consequentes custos de energia, ou seja, energia que efetivamente se consome, mas que da qual não se tem qualquer proveito. É importante referir que as perdas obtidas foram calculadas para se atingir uma temperatura interior de conforto constante de 20°C.

O cálculo do custo de energia desperdiçada pelos elementos é efetuado de acordo com a secção 3.3.2, calculando-se através da expressão 17 o valor da energia perdida através de cada solução construtiva. Relativamente à expressão 17 são efetuadas de seguida algumas considerações necessárias à sua aplicação.

Assim em:

$$Q_T = A \times U \times f_T \times G_T$$

$A$  – área considerada (assumido  $1\text{m}^2$ )

$U$  – valor do coeficiente de transmissão térmica de cada elemento

$f_T$  – fator de correção da temperatura para elementos da envolvente externa (assumido 1)

$G_T$  – 32,55 kWh/a de acordo com a ferramenta de cálculo PHPP e com base nos dados climáticos retirados da ferramenta *Climate Data Tool*, optou-se por usar este valor e não o valor de 33,36 kWh/a obtido pelo RCCTE (2006) uma vez que o obtido através do PHPP tem como base os dados obtidos através de satélites da NASA e se encontrarem mais atualizados (ÍPHA – II, 2013).

As tabelas apresentadas neste capítulo que não permitam uma adequada visualização podem ser encontradas no Anexo B em maior escala caso exista alguma dúvida ou dificuldade devido ao tamanho, assim como no Anexo C o cálculo do coeficiente de transmissão térmico de cada solução dos elementos Parede, Pavimento e Cobertura.

#### 4.8.1 Comparação entre os requisitos do RCCTE (2006) e da Passive House

Neste ponto são analisados os requisitos do RCCTE (2006) e da Passive House para os elementos: paredes/pavimentos/coberturas, como foi explicado no capítulo 3 secção 3.3.2 [1].

Na Tabela 16 pode-se analisar comparativamente o contributo de cada um dos elementos construtivos considerados para as perdas de energia por metro quadrado. É possível através da comparação efetuada verificar, dado o menor valor de  $U$ , que as perdas de energia por transmissão térmica em qualquer um dos elementos, é bastante menor num edifício que cumpra os requisitos *Passive House*, levando assim a uma poupança bastante significativa nos custos energéticos do edifício. O custo em energia perdida seguindo os requisitos *Passive House* é sempre muito inferior relativamente a um edifício que cumpra os requisitos do RCCTE (2006).

Tabela 16 - Elementos construtivos: RCCTE e Passive House

	U (W/m <sup>2</sup> K) RCCTE		U (W/m <sup>2</sup> K) PH		Área da envolvente térmica m <sup>2</sup>	Fator de correção	Grau de Aquecimento (kKh/a)
	II (-gravoso) Ref.	I3 (+gravoso) Máx.	II (-gravoso) Ref.	I3 (+gravoso) Máx.			
Cobertura	0,50	1,25	0,40	0,90	1	1	32,55
Parede Ext.	0,70	1,80	0,50	1,45	1	1	32,55
Laje de piso*	0,50	1,25	0,40	0,90	1	1	32,55





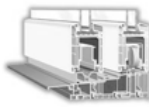

	Q <sub>T</sub> referência RCCTE		Q <sub>T</sub> máximo RCCTE		Q <sub>T</sub> PH (kWh/ m <sup>2</sup> a)	€/ano RCCTE Ref.		€/ano RCCTE Máx.		€/ano PH €/m <sup>2</sup> ano
	II (kWh/m <sup>2</sup> a)	I3 (kWh/m <sup>2</sup> a)	II (kWh/m <sup>2</sup> a)	I3 (kWh/m <sup>2</sup> a)		II €/m <sup>2</sup> ano	I3 €/m <sup>2</sup> ano	II €/m <sup>2</sup> ano	I3 €/m <sup>2</sup> ano	
Cobertura	16,27	13,02	40,68	29,29	4,88	2,27 €	1,81 €	5,67 €	4,08 €	0,68 €
Parede Ext.	22,78	16,27	58,59	47,19	4,88	3,17 €	2,27 €	8,16 €	6,57 €	0,68 €
Laje de piso*	16,27	13,02	40,68	29,29	4,88	2,27 €	1,81 €	5,67 €	4,08 €	0,68 €

\* Laje de piso\* - térrea/sobre o exterior/sobre espaço não aquecido

## 4.8.2 Envidraçados

Para os envidraçados selecionaram-se seis tipologias diferentes desde o envidraçado simples ao triplo, variando de um envidraçado com um desempenho térmico “fraco” a um envidraçado com um desempenho térmico “muito bom” (Tabela 17).

Tabela 17 - Elementos independentes: Envidraçados

	Envidraçado 1	Envidraçado 2	Envidraçado 3	Envidraçado 4	Envidraçado 5	Envidraçado 6
	Caixilharia de alumínio sem corte térmico com vidro simples de 6mm	Caixilharia de alumínio com corte térmico com vidro simples de 6mm	Caixilharia de alumínio com corte térmico com vidro duplo de 4+16+4	Caixilharia de alumínio com corte térmico, com vidro duplo de 4+16+4 de baixa emissividade com gás árgon	Caixilharia de PVC com corte térmico, com vidro duplo de 4+16+4 de baixa emissividade com gás árgon	Caixilharia de PVC com corte térmico, com vidro triplo de 4+16+4+16+4 de baixa emissividade com gás árgon
						
$U_f$ (W/m <sup>2</sup> K)	5,5	4,5	4,5	4,5	1,56	0,85
$U_g$ (W/m <sup>2</sup> K)	5,8	5,8	2,7	1,3	1,3	0,58
$U_w$ (W/m <sup>2</sup> K)	6,05	5,96	3,14	1,87	1,60	0,88
$g$	0,87	0,87	0,77	0,66	0,66	0,5
$Q_T$ (kWh/a)	196,90	193,94	102,21	60,78	52,08	28,67
€/ano.m <sup>2</sup>	27,43 €	27,02 €	14,24 €	8,47 €	7,25 €	3,99 €

O valor do coeficiente térmico dos envidraçados é obtido através da expressão 18, de acordo com o estabelecido na norma europeia EN ISO 10077, que permite entrar em consideração com fatores de correção para instalação do envidraçado, relativamente à qual foram feitas as seguintes considerações, para se efetuarem os cálculos:

$$U_{w,inst} = \frac{U_g \times A_g + U_f \times A_f + \varphi_g \times L_g + \varphi_{inst} \times L_{inst}}{A_f + A_g} \quad (W/m^2K)$$

$U_g$  – coeficiente de transmissão térmica do vidro indicado pelo fabricante

$U_f$  – coeficiente de transmissão térmica do caixilho indicado pelo fabricante

$A_g$  – área de envidraçado, que foi considerada 1m<sup>2</sup>

$A_f$  – área de caixilho, que foi considerada 10% da área do envidraçado

$\varphi_g$  – coeficiente de transmissão térmica linear envidraçado-caixilho, adotado o valor 0,04 segundo o PHPP

$L_g$  – perímetro do vidro, adotado 90% do perímetro do envidraçado

$\varphi_{inst}$  – coeficiente de transmissão térmica linear caixilho-parede, adotado o valor 0,04 segundo o PHPP

$L_{inst}$  – perímetro do caixilho, adotado 4m, correspondente a uma área de 1m<sup>2</sup>

Os custos apresentados representam o preço da energia perdida por ano por m<sup>2</sup>, ou seja por exemplo, pegando no Envidraçado 1 tem-se um valor de 27,43€/m<sup>2</sup>ano, que no caso de um edifício com 30 m<sup>2</sup> de envidraçado representaria uma perda de 822,9€/ano. Já para o Envidraçado 6, representaria uma perda de 119,7€/m<sup>2</sup>ano. A diferença entre a utilização de vidro simples e duplo é bastante significativa, sendo que no vidro simples existem duas a três vezes mais perdas de energia.

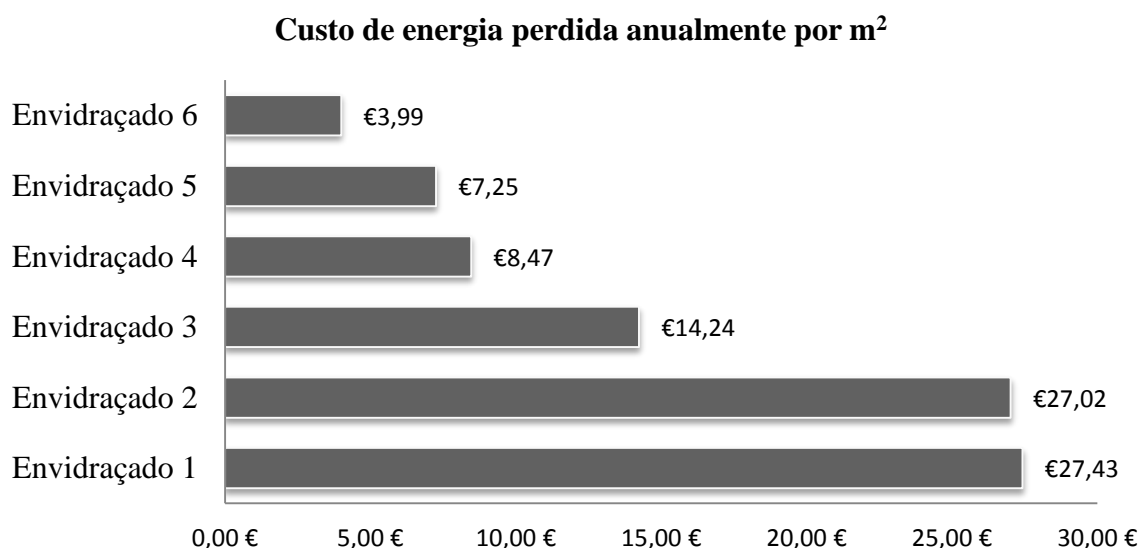


Figura 38 - Custo de energia perdida anualmente por m<sup>2</sup>: Envidraçados

Pode-se verificar assim que os envidraçados são os elementos mais frágeis de um edifício no que respeita às perdas de energia, e que com um investimento inicial superior se conseguem obter ganhos a médio/longo prazo significativos, isto sem contabilizar os ganhos de conforto do utilizador do edifício.

### 4.8.3 Paredes

Quanto às tipologias de parede decidiram-se analisar, oito, das quais as primeiras três são mais comuns na construção Portuguesa: parede simples e dupla de tijolo com ou sem isolamento, tendo-se nas restantes recorrido à utilização de bloco térmico com diferentes espessuras de isolamento (Tabela 18).

Na Tabela 18 são apresentados os custos de energia perdida por ano por m<sup>2</sup> de parede, ou seja, considerando por exemplo a Parede 1 têm-se perdas no valor de 7,66€/m<sup>2</sup>ano, que no caso de um edifício com 100 m<sup>2</sup> de parede representaria uma perda de 766€/ano. Já para a parede 8, representaria uma perda no valor de 88€/m<sup>2</sup>ano.

Tabela 18 - Elementos independentes: Paredes

	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Parede 5	Parede 6	Parede 7	Parede 8
	Parede simples 2+15+2 cm (reboco 2cm + tijolo 15cm + gesso 2cm)	Parede simples 2+5+15+2 cm (reboco 2cm + XPS 5cm+ tijolo 15cm + gesso 2cm)	Parede dupla 2+11+5+15+2 cm (gesso 2cm + tijolo 11cm + XPS 5cm + tijolo 15cm + reboco 2cm)	Parede simples Bloco térmico 2+25+1,5 cm (Gesso 2cm + bloco 25cm + Reboco 1,5cm)	Parede simples Bloco térmico 2+25+5+1,5 cm (Gesso 2cm + bloco 25cm + XPS 5cm + Reboco 1,5cm)	Parede simples Bloco térmico 2+25+5+1,5 cm (Gesso 2cm + bloco 25cm + XPS 8cm + Reboco 1,5cm)	Parede simples Bloco térmico 2+25+10+1,5 cm (Gesso 2cm + bloco 25cm + XPS 10cm + Reboco 1,5cm)	Parede simples Bloco térmico 2+25+15+1,5 cm (Gesso 2cm + bloco 25cm + XPS 15cm + Reboco 1,5cm)
U (W/m <sup>2</sup> K)	1,69	0,51	0,42	0,927	0,412	0,309	0,264	0,195
Q <sub>T</sub> (kWh/a)	55,01	16,60	13,67	30,17	13,41	10,06	8,59	6,35
€/ano.m <sup>2</sup>	7,66 €	2,31 €	1,90 €	4,20 €	1,87 €	1,40 €	1,20 €	0,88 €

### Custo de energia perdida anualmente por m<sup>2</sup>

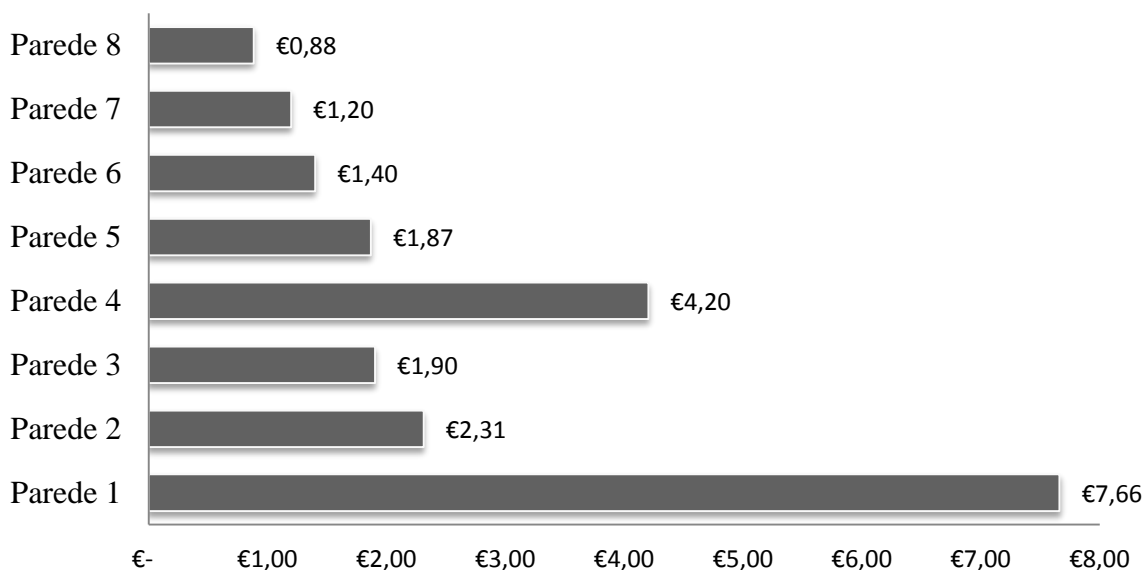


Figura 39 - Custo de energia perdida anualmente por m<sup>2</sup>: Paredes



Pode-se verificar na Figura 39 que a falta de isolamento quer se execute uma parede em tijolo ou em bloco térmico prejudica drasticamente a eficiência económica do elemento. Uma observação interessante é o facto de quer no caso da parede dupla de tijolo com 5cm de isolamento, quer no caso da parede de bloco térmico igualmente com 5cm de isolamento apresentarem uma perda de energia bastante semelhante, sendo que na posterior integração com outros elementos a parede de bloco térmico terá uma grande vantagem, pois permite a continuidade do isolamento, diminuindo as perdas de energia, logo os custos de energia perdida.

#### 4.8.4 Pavimentos

No caso dos pavimentos optou-se por duas tipologias diferentes de pavimento: um com laje maciça e outro com laje aligeirada e desvão sanitário. Em cada tipologia fez-se variar a espessura do isolamento, desde o pavimento sem isolamento e acrescentando 5cm de cada vez até perfazer 20cm (Tabela 19 e Tabela 20).

Na Tabela 19 e Tabela 20 são apresentados os custos de energia perdida por ano por m<sup>2</sup> de pavimento. De acordo com os resultados obtidos, considerando por exemplo, um pavimento com 100 m<sup>2</sup>, no caso do pavimento 1 e 6, os mais gravosos de cada tipologia, existe uma perda, quanto ao custo de energia, de 8,72€/m<sup>2</sup>ano e 5,29€/m<sup>2</sup>ano, respetivamente, que apresentam para os 100 m<sup>2</sup>, 872 €/ano e 529€/ano. Nos pavimentos 5 e 10, a solução mais eficiente, os pavimentos apresentam perdas semelhantes, de 77€/ano e de 73€/ano respetivamente.

Tabela 19 - Elementos independentes: Pavimentos (1)

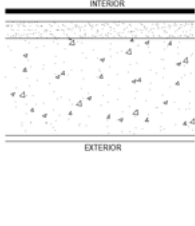
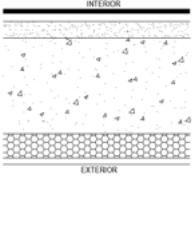
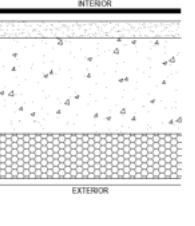
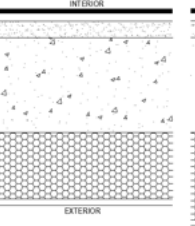
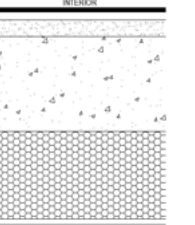
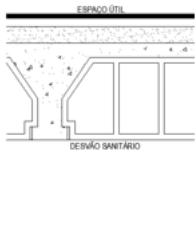
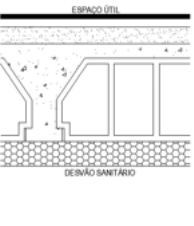
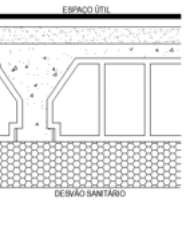
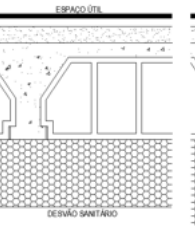
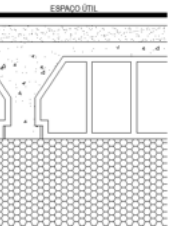
	Pavimento 1	Pavimento 2	Pavimento 3	Pavimento 4	Pavimento 5
	Soalho Madeira 2cm + camada regularização	Soalho Madeira 2cm + camada regularização	Soalho Madeira 2cm + camada regularização	Soalho Madeira 2cm + camada regularização	Soalho Madeira 2cm + camada regularização
	2cm + betão leve 4cm + Laje Maciça 25cm + Reboco 1,5cm	2cm + betão leve 4cm + XPS 5cm + Laje Maciça 25cm + Reboco 1,5cm	2cm + betão leve 4cm + XPS 10cm + Laje Maciça 25cm + Reboco 1,5cm	2cm + betão leve 4cm + XPS 15cm + Laje Maciça 25cm + Reboco 1,5cm	2cm + betão leve 4cm + XPS 20cm + Laje Maciça 25cm + Reboco 1,5cm
					
U (W/m <sup>2</sup> K)	1,923	0,534	0,31	0,219	0,169
Q <sub>T</sub> (kWh/a)	62,59	17,38	10,09	7,13	5,50
€/ano.m <sup>2</sup>	8,72 €	2,42 €	1,41 €	0,99 €	0,77 €

Tabela 20 - Elementos independentes: Pavimentos (2)

	Pavimento 6	Pavimento 7	Pavimento 8	Pavimento 9	Pavimento 10
	Soalho Madeira 2cm + camada regularização	Soalho Madeira 2cm + camada regularização	Soalho Madeira 2cm + camada regularização	Soalho Madeira 2cm + camada regularização	Soalho Madeira 2cm + camada regularização
	3cm + betão leve 7cm + Laje Aligeirada 25cm	3cm + betão leve 7cm + Laje Aligeirada 25cm + XPS 5cm	3cm + betão leve 7cm + Laje Aligeirada 25cm + XPS 10cm	3cm + betão leve 7cm + Laje Aligeirada 25cm + XPS 15cm	3cm + betão leve 7cm + Laje Aligeirada 25cm + XPS 20cm
					
U (W/m <sup>2</sup> K)	1,167	0,453	0,281	0,204	0,16
Q <sub>T</sub> (kWh/a)	37,99	14,75	9,15	6,64	5,21
€/ano.m <sup>2</sup>	5,29 €	2,05 €	1,27 €	0,92 €	0,73 €

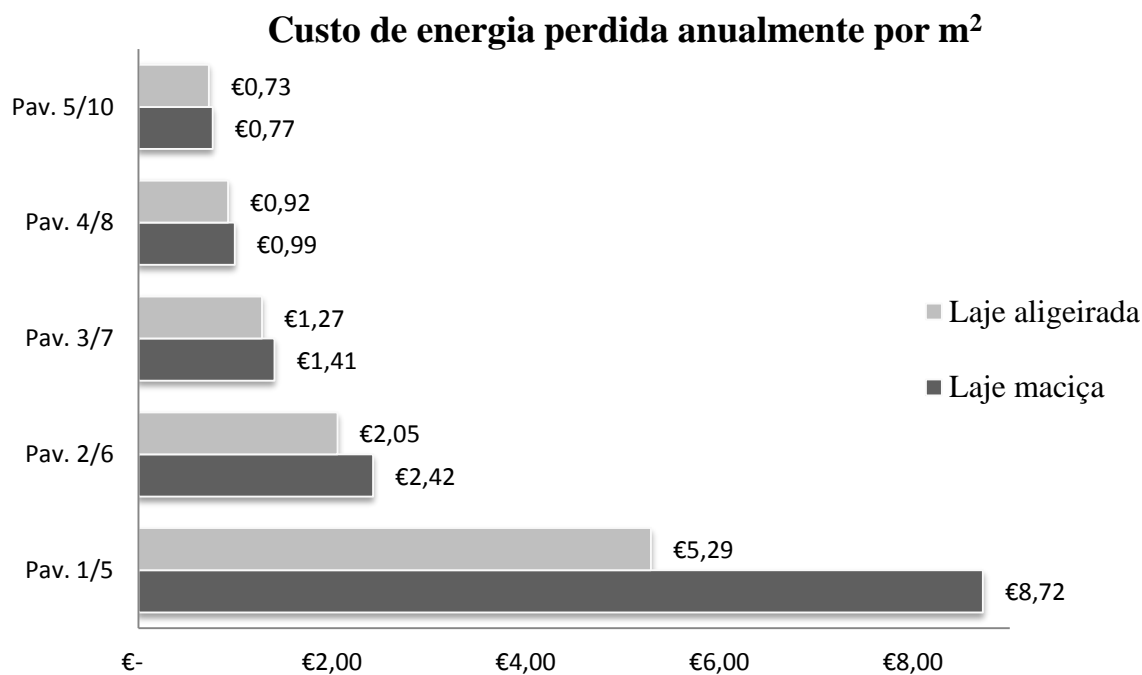


Figura 40 - Custo de energia perdida anual por m<sup>2</sup>: Pavimentos

À semelhança do elemento construtivo anterior, confirma-se mais uma vez que a falta ou a insuficiência de isolamento, afeta gravemente a eficiência do elemento. Dada a diferença existente entre os respetivos valores de U, o pavimento com laje aligeirada na falta de isolamento tem um comportamento térmico bastante melhor que o pavimento com laje maciça. Assim que se começa a colocar isolamento o seu comportamento torna-se bastante semelhante.

#### 4.8.5 Coberturas

À semelhança dos pavimentos, na cobertura optou-se por duas tipologias diferentes de cobertura: uma com laje maciça e outra com laje aligeirada e em cada tipologia fez-se variar a espessura do isolamento, desde a cobertura sem isolamento, acrescentando 5cm de cada vez até perfazer 20cm (Tabela 21 e Tabela 22).

Na Tabela 21 e Tabela 22 são apresentados os custos de energia perdida por ano por m<sup>2</sup> de cada tipologia. Comparando a cobertura 1 e 6, as mais gravosas de cada tipologia, verifica-se que existe uma perda de energia correspondente a 8,32€/m<sup>2</sup>ano e a 6,30€/m<sup>2</sup>ano, respetivamente. Considerando uma cobertura com uma área de 100 m<sup>2</sup>, existira uma perda em cada cobertura de 832€/ano e 630€/ano, respetivamente. Nas coberturas 5 e 10,

situação menos gravosa, as coberturas apresentam perdas semelhantes de 76€/ano e de 74€/ano.

Tabela 21 - Elementos independentes: Coberturas 1 a 5

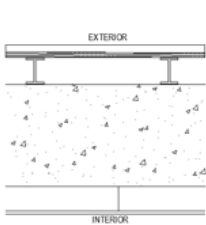
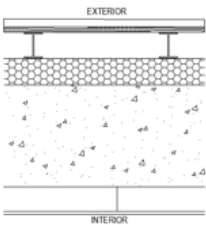
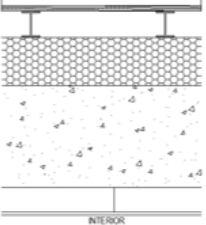
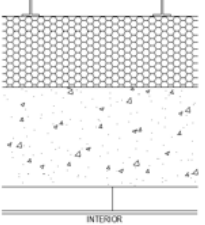
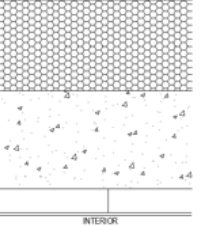
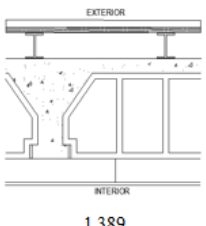
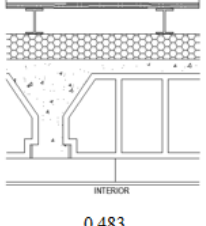
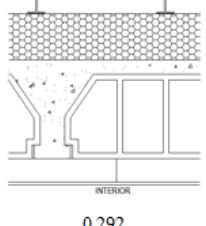
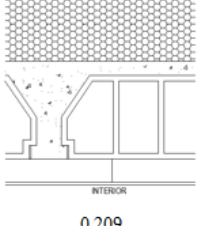
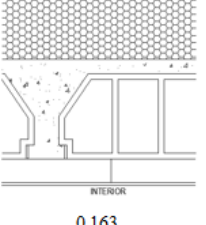
	Cobertura 1	Cobertura 2	Cobertura 3	Cobertura 4	Cobertura 5
	Laje Maciça 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	XPS 5cm + Laje Maciça 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	XPS 10cm + Laje Maciça 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	XPS 15cm + Laje Maciça 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	XPS 20cm + Laje Maciça 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm
					
U (W/m <sup>2</sup> K)	1,835	0,527	0,308	0,217	0,168
Q <sub>T</sub> (kWh/a)	59,73	17,15	10,03	7,06	5,47
€/ano.m <sup>2</sup>	8,32 €	2,39 €	1,40 €	0,98 €	0,76 €

Tabela 22 - Elementos independentes: Coberturas 6 a 10

	Cobertura 6	Cobertura 7	Cobertura 8	Cobertura 9	Cobertura 10
	Laje Aligeirada 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	XPS 5cm + Laje Aligeirada 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	XPS 10cm + Laje Aligeirada 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	XPS 15cm + Laje Aligeirada 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	XPS 20cm + Laje Aligeirada 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm
					
U (W/m <sup>2</sup> K)	1,389	0,483	0,292	0,209	0,163
Q <sub>T</sub> (kWh/a)	45,21	15,72	9,50	6,80	5,31
€/ano.m <sup>2</sup>	6,30 €	2,19 €	1,32 €	0,95 €	0,74 €

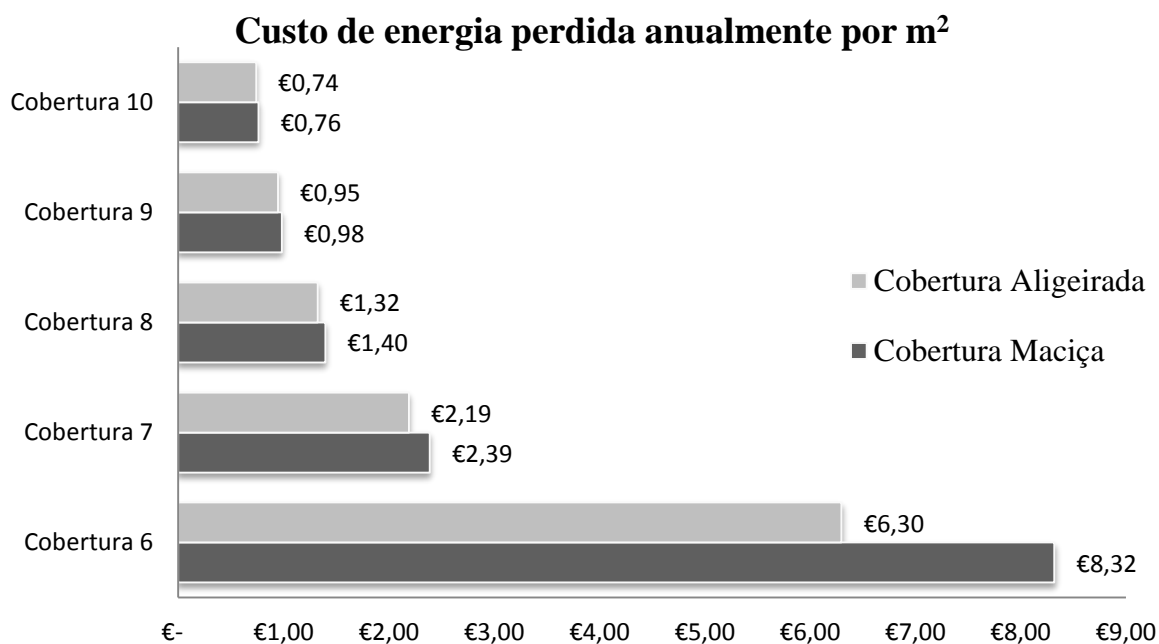


Figura 41 - Custo de energia perdida anualmente por m<sup>2</sup>: Coberturas

Nas coberturas verifica-se novamente que a falta de isolamento afeta de forma grave a eficiência do elemento, à semelhança dos pavimentos. De igual modo, a cobertura com laje aligeirada na falta de isolamento comporta-se melhor termicamente que a cobertura com laje maciça sem isolamento, começando-se a comportar de forma semelhante quando se começa a colocar isolamento.



# *Capítulo 5*

---

CONCLUSÕES

## **5. Conclusões**

5.1. Considerações finais

5.2. Futuros desenvolvimentos



## 5. Conclusões

### 5.1 Considerações finais

O mercado imobiliário deve aumentar a sua preocupação com a valorização da qualidade e do conforto que um edifício pode proporcionar aos seus utilizadores, tendo cada vez mais em conta o impacto que o edifício tem no ambiente. O mercado da construção sustentável apresenta uma procura crescente e a competitividade existente no mercado, leva a que a diferenciação do produto desperte a procura do mesmo. O conceito apresentado, conceito *Passive House*, preza pela novidade e pela incorporação de um excelente desempenho energético, aliado ao conforto e comodidade que proporciona aos utilizadores do edifício, aliando fatores económicos, benefícios sociais e ambientais, melhorando a qualidade de vida e a pegada ecológica no setor da construção.

Sendo assim, a presente dissertação foi elaborada com o objetivo de perceber qual a viabilidade económica de se construir um edifício em Portugal seguindo o conceito *Passive House*. Os estudos apresentados na mesma foram elaborados para um edifício residencial localizado na zona de Aveiro.

Para além de se estudar a viabilidade económica de construir um edifício *Passive House* em Portugal, era objetivo desta dissertação comparar os custos de construção segundo os requisitos do RCCTE (2006) e o critério *Passive House*, assim como comparar diferentes soluções construtivas de diferentes elementos de um edifício.

Nesta dissertação, o estudo de viabilidade económica incidiu sobre um edifício localizado na zona de Aveiro, no qual se efetuaram as modificações necessárias para que o mesmo pudesse satisfazer os critérios necessários para ser um edifício *Passive House*. As modificações efetuadas passaram essencialmente pela colocação do isolamento pelo exterior com uma maior espessura (XPS de 10cm nas paredes exteriores, de 15cm na laje de cobertura e 6cm na laje de pavimento interior). Optou-se ainda pela colocação de bloco térmico nas paredes exteriores, em detrimento da parede dupla de alvenaria de tijolo, pela melhoria da solução de envidraçados a utilizar (caixilharia em PVC com vidro duplo de baixa emissividade, preenchido com lâmina de argón), assim como a colocação de um sistema de ventilação com recuperação de calor. No edifício padrão existia também uma

solução de piso radiante, que no edifício *Passive House* é desnecessária. Foram num segundo caso de estudo efetuadas algumas alterações ao edifício padrão em estudo, com o objetivo de exemplificar outras soluções que são utilizadas com alguma frequência em Portugal, alterações essas que consistiram em retirar o piso radiante e a bomba de calor e adotar-se o aquecimento de água quente do edifício com recurso a uma caldeira a gás.

Do estudo efetuado, conclui-se que o investimento inicial para o edifício em causa seria 10% a 12% mais elevado caso se optasse por efetuar o mesmo edifício segundo o conceito *Passive House*, percentagem que representa um custo adicional na ordem dos 15.000€.

No caso de estudo (1) o edifício será apenas abastecido por energia elétrica e apresenta por isso mesmo, custos energéticos mais elevados quando comparado com o caso de estudo (2) em que para as AQS é utilizado gás como energia e não possui o piso radiante. Este é o ponto fulcral para perceber a viabilidade do conceito *Passive House* em Portugal.

No caso de estudo (1) a diferença de consumos entre as duas soluções, Padrão e *Passive House*, ou seja, o valor em energia poupada foi de cerca de 1.100€ no primeiro ano, sendo o consumo de cada uma de 2.900€ no edifício Padrão e de 1.800€ no edifício *Passive House*. Neste caso, o tempo de retorno do investimento inicial seria efetuado em 13 anos, sendo que para obter este valor foi considerada uma inflação de 2,8% do custo da eletricidade. Pode-se dizer que a partir dos 13 anos, o utilizador do edifício *Passive House* paga o investimento inicial e começa a ter lucro, apenas com a poupança em energia, e que 30 anos depois de ter construído o edifício, tem um lucro de 21.105€, isto para além de todo o conforto que existe, temperatura constante a cerca de 20°C, assim como a diminuição de emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Já no caso de estudo (2) o valor em energia poupada foi o mesmo, cerca de 1.100€ no primeiro ano, mas os consumos entre o edifício Padrão e a *Passive House* foram diferentes, 2.200€ e 1.100€ respetivamente. Neste caso, o tempo de retorno de 15 anos do investimento inicial é superior, quando comparado com o caso de estudo (1), devido ao edifício consumir menos e ser abastecido com energia elétrica e simultaneamente com gás. A inflação considerada para o gás foi de 2,5% sendo que para a eletricidade foi a mesma que anteriormente. Assim sendo, 30 anos depois de se ter construído o edifício, o retorno

do investimento inicial superior é conseguido e ainda se obtém um lucro de 18.666€, para além das outras vantagens.

Quando se efetuou a comparação das perdas de energia através de diferentes elementos construtivos de um edifício, foi possível concluir que as perdas de energia num edifício *Passive House* são bastante inferiores, e o custo em energia desperdiçada é cerca de três vezes menor quando comparado com um edifício que respeite os valores de referência do RCCTE (2006) e cerca de seis vezes menor quando utilizados os valores máximos admissíveis por este regulamento. Os primeiros elementos analisados foram os envidraçados, tendo-se verificado que os vidros simples apresentam perdas de energia demasiado grandes, que implicam custos de cerca de 27€/m<sup>2</sup>ano. A aplicação de um envidraçado com vidro duplo e lâmina de ar permite reduzir para metade os custos de energia desperdiçada, 14€/m<sup>2</sup>ano e, se em vez de se aplicar lâmina de ar se optar pelo preenchimento com argón, o custo diminui drasticamente para cerca de 7 a 8 €/m<sup>2</sup>ano. A aplicação de vidro triplo com lâmina de ar e argón, uma necessidade em países muito frios mas que em Portugal só será necessário na zona climática I3, diminuiria os custos da energia perdida para cerca de 4€/m<sup>2</sup>ano.

Foi feita uma análise semelhante à efetuada nos envidraçados aos elementos opacos verticais e horizontais. Nas paredes, verifica-se que a parede simples de tijolo de 15cm possui perdas bastante elevadas, o que acarreta um custo de 7,5€/m<sup>2</sup>ano e que a simples aplicação de 5cm de XPS diminui as perdas para três vezes menos, 2,3€/m<sup>2</sup>ano. A utilização de bloco térmico sem isolamento é outra das grandes fontes de perdas de energia, com um custo de 4,2€/m<sup>2</sup>ano. A parede dupla com 5cm de XPS, tão comum em Portugal, possui os mesmos custos de energia perdida que a utilização de bloco térmico com 5cm de XPS. Quanto maior for a espessura de isolamento menores serão as perdas de energia, tendo sido efetuada a análise para 8, 10 e 15cm de XPS, tendo-se obtido custos de energia desperdiçada, respetivamente, de 1,4€/m<sup>2</sup>ano, 1,2€/m<sup>2</sup>ano e 0,9€/m<sup>2</sup>ano. Nas paredes, o aconselhado é a utilização, pelo menos na região de Aveiro, de bloco térmico com 5cm ou 8cm de XPS, embora os valores do bloco térmico com 5cm de XPS sejam semelhantes aos da parede dupla com a mesma espessura de isolamento, sendo a grande vantagem do bloco térmico ser possível efetuar-se a aplicação do isolamento pelo exterior,

diminuindo drasticamente as interrupções do isolamento, ou seja, diminuindo as pontes térmicas, grande fonte de perda de energia.

Nas soluções analisadas para pavimento e cobertura a semelhança é grande, tendo sido feita a análise para laje maciça e aligeirada em ambos os casos e apenas feito o acréscimo de espessura de isolamento de 5cm em 5cm. Mesmo os valores obtidos para ambos os casos foram semelhantes, verificando-se que a laje aligeirada é sempre termicamente melhor que uma laje maciça com a mesma espessura. Os custos em energia desperdiçada pela laje maciça foram de 8,7€/m<sup>2</sup>ano e 8,3€/m<sup>2</sup>ano. No pavimento e cobertura respetivamente, adicionando isolamento essas perdas foram diminuindo bastante: para 5cm de XPS obtiveram-se custos de 2,4€/m<sup>2</sup>ano em ambas, assim como para 10cm e 15cm, com perdas de 1,4€/m<sup>2</sup>ano e 1€/m<sup>2</sup>ano. Com 20cm de isolamento existe uma pequena diferença: 0,8€/m<sup>2</sup>ano e 0,75€/m<sup>2</sup>ano para pavimento e cobertura respetivamente. No caso de se ter uma laje aligeirada, esses custos conseguem ser menores que nas lajes maciças, no caso de não possuir isolamento, 5,3€/m<sup>2</sup>ano e 6,3€/m<sup>2</sup>ano, para pavimento e cobertura respetivamente. No caso de possuir 5cm de XPS, o valor de energia desperdiçada é de 2€/m<sup>2</sup>ano e 2,2€/m<sup>2</sup>ano, para 10cm e 15cm o valor é de cerca de 1,3€/m<sup>2</sup>ano e 0,95€/m<sup>2</sup>ano respetivamente. Com 20cm de isolamento existe uma pequena diferença 0,7€/m<sup>2</sup>ano e 0,75€/m<sup>2</sup>ano para pavimento e cobertura. Quer no caso das lajes maciças quer nas aligeiradas, a espessura ideal a aplicar são os 15cm ou 20cm tendo em conta o custo em energia perdida e a zona onde foi aplicada.

Por fim, foi efetuada uma simulação quanto à necessidade de se recorrer a um empréstimo para efetuar a construção do edifício, que é o caso da maioria dos consumidores. Os resultados obtidos foram bastante interessantes, tendo em conta que foi possível perceber que para empréstimos de 20 anos ou superior, a vantagem económica do edifício *Passive House* se revela logo desde o primeiro ano. Sendo que para o empréstimo a 15 anos, tendo em conta a taxa de inflação da energia, essas vantagens surgem por volta do 7º ano.

Depois de todo o trabalho efetuado é possível chegar à conclusão que um edifício com as características do conceito *Passive House* é possível e viável economicamente em Portugal. Possível porque todos os sistemas utilizados podem ser encontrados à disposição em Portugal e viável, porque foi possível comprovar não só que o tempo de retorno não é extremamente longo e que as vantagens económicas existem e são notórias a médio e

longo prazo. Deixando um pouco de lado o sentido económico do conceito que foi comprovado, as melhorias de qualidade de vida e de bem-estar são essenciais e com este conceito é possível aliar essas melhorias a vantagens económicas, melhorando assim não só a saúde e bem-estar do utilizador, como também a saúde do seu “bolso”.

## **5.2 Futuros desenvolvimentos**

O estudo desenvolvido nesta dissertação teve como objetivo o projeto e construção de novos edifícios. Em Portugal, a construção nova encontrasse neste momento estagnada, pelo que seria importante efetuar este estudo económico e implementar estes conceitos na reabilitação de edifícios, dado que o iPHA já os aplica com o projeto denominado EnerPHit. Será importante encontrar a forma adequada de aplicar este conceito à realidade Portuguesa.

Para além de aplicar este conceito à reabilitação, seria importante nos elementos isolados perceber quais as espessuras ideais a utilizar no nosso país de acordo com a região climática, custo de energia perdida e custo de construção, procurando obter uma melhor relação entre o preço da energia poupada e o custo associado à na construção desse elemento.

É ainda necessário incentivar junto da banca este conceito de modo a facilitar o empréstimo em condições mais favoráveis a projetos de construção de casas passivas.



# *BIBLIOGRAFIA*

---

## **Bibliografia**



## Bibliografia

Airtight-construction (2013). Retirado em 05/2013 de [http://passipedia.passiv.de/passipedia\\_en/planning/airtight\\_construction](http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/planning/airtight_construction).

Antonova, A. (2010). “Passive house for Latvia - Energy efficiency and technical-economic aspects”. Thesis for the Degree of Master of Science, Department of Energy Sciences, Lund University, Sweden.

Barros, C. (2000). “Decisões de Investimento e Financiamento de Projectos”, Edições Silabo, Lisboa.

Cardoso, F. & Ascenso, R. (2011). Revista Climatização:”PassivHaus: As novas casas passivas”. N.º77 (Set./Out. 2011). Algés: Media Line – Comunicação e Imagem, 2011

Directiva 2009/28/CE: 2009. “Objectivos globais nacionais para a quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final de energia em 2020”. Parlamento Europeu e Comissão da União Europeia. Jornal Oficial da União Europeia. Pág: 46.

Directiva 2010/31/EU: 2010. “Desempenho Energético dos Edifícios”. Parlamento Europeu e Comissão da União Europeia. Europeia. Jornal Oficial da União Europeia.

EN ISO 10077: 2000. “Thermal performance of buildings and building components”. Thermal performance of windows, doors and shutters. Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames. European committee for Standardisation.

EPBD (2002). "Um projecto europeu sobre o comportamento dos consumidores face a certificação energética dos edifícios." Retirado em 10/2012 de [www.ideal-epbd.eu](http://www.ideal-epbd.eu)

Feist, D. W. (2006). "15th Anniversary of the Darmstadt - Kranichstein Passive House." Retirado em 11/2012 de [http://www.passivhaustagung.de/Kran/First\\_Passive\\_House\\_Kranichstein\\_en.html](http://www.passivhaustagung.de/Kran/First_Passive_House_Kranichstein_en.html).

Ganhão, A. M. G. D. (2011). “Construção Sustentável - Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação”. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

Gaspar, A. M. S. and M. D. Pinheiro (2012). “Arquitetura e Construção Sustentável no Mercado Imobiliário Nacional”. Em Inovação na Construção Sustentável, CINCOS'12. Pág: 851. Evento do Centro Habitat.

Gonçalves, H. & Graça, J. M. (2004). “Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal”, DGGE / IP-3E, Lisboa, Novembro 2004.

ÍPHA (2012). "Passive House certification criteria." Retirado em 11/2012 de [www.passivehouse-international.org](http://www.passivehouse-international.org)

ÍPHA – I (2013). "Map of Certified Passive House Buildings." Retirado em 04/2013 de [www.passivehouse-international.org](http://www.passivehouse-international.org)

ÍPHA – II (2013). "Climate data tool." Retirado em 04/2013 de [http://passipedia.passiv.de/passipedia\\_en/planning/calculating\\_energy\\_efficiency/phpp\\_-\\_the\\_passive\\_house\\_planning\\_package/climate\\_data\\_tool](http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/planning/calculating_energy_efficiency/phpp_-_the_passive_house_planning_package/climate_data_tool)

Isolani, P (2008). “Eficiência energética nos edifícios residenciais.” Retirado em 03/2013 de [http://www.adene.pt/pt-pt/Actividades/Documents/EE\\_EdRes\\_enerbuilding.pdf](http://www.adene.pt/pt-pt/Actividades/Documents/EE_EdRes_enerbuilding.pdf)

Just-Landed (2012). "Construindo sua própria casa em Portugal." Retirado em 10/2012 de <http://www.justlanded.com/portugues/Portugal/Guia-Portugal/Propriedades/Construindo-sua-propria-casa-em-Portugal>

LNEC (1998). “Curso sobre Regras de Medição na Construção”. LNEC, Lisboa.

Lorenz, D. (2008) “Sustainable Property Investment & Management”. Royal Institution of Chartered Surveyors.

Mongabay (2013). "Carbon Dioxide Emissions Charts, 2005." Retirado em 08/2013 de [http://rainforests.mongabay.com/09-carbon\\_emissions.htm](http://rainforests.mongabay.com/09-carbon_emissions.htm)

Myers, B. (2003). “Principles of Corporate Finance”. The McGraw–Hill Principles of Corporate Companies, 2003 Finance, Seventh Edition.

Nicol, J. F. & Humphreys, M. A. (2002). “Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings”. Oxford Centre for Sustainable Development, School of Architecture, Oxford Brookes University, UK.

Passipedia (2013). "Área de pesquisa sobre a Passivhaus." 2012, Retirado em 03/2013 de [www.passipedia.passiv.de](http://www.passipedia.passiv.de).

Passive House Buildings (2013). "Residential and non-residential Passive House buildings." Retirado em 05/2013 de [http://passipedia.passiv.de/passipedia\\_en/examples](http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/examples)

passiv.de (2012). "Certification Criteria for Residential Passive House Buildings." Retirado em 11/2012 de [http://passiv.de/en/03\\_certification/01\\_certification\\_components/02\\_certification\\_criteria/02\\_certification\\_criteria.htm](http://passiv.de/en/03_certification/01_certification_components/02_certification_criteria/02_certification_criteria.htm)

Passive-On (2012). "O modelo da Casa Passiva." Retirado em 11/2012 de [www.passive-on.org/pt](http://www.passive-on.org/pt)

Passivhausprojekte (2013). "Gebaute Passivhaus Projekte." Retirado em 05/2013 de <http://www.passivhausprojekte.de/projekte.php>

PHI (2013). "Passive House Institute - Quality Assurance." Retirado em 06/2013 de [http://www.passiv.de/old/07\\_eng/PHI/Flyer\\_quality\\_assurance.pdf](http://www.passiv.de/old/07_eng/PHI/Flyer_quality_assurance.pdf)

Portaria nº358 (2012). Determinação do preço da habitação por metro quadrado. d. M. Ministério da Agricultura, do Ambiente e do Ordenamento do Território. Diário da Republica a 31 de Outubro de 2012, Portaria nº 358/2012.

Project Passive-On (2007). "A Norma Passivhaus em Climas Quentes da Europa: Diretrizes de Projeto para Casa Confortáveis de Baixo Consumo Energético: Parte 1." Retirado em 02/2013 de [http://www.passive-on.org/en/planning\\_package.php](http://www.passive-on.org/en/planning_package.php)

RCCTE (2006). "Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios". Diário da Republica a 4 de Abril de 2006, Decreto-Lei nº80/2006.

Relatório de Brundtland (1991). "Nosso Futuro Comum", Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: 10.

Rodrigues, A. M., et al. (2009). "Térmica de Edifícios". Editora ORION, Amadora.

Sé, G. Ó. (2012). "Guidelines for Blower Door Testing of Passive Houses." Retirado em 02/2013 de <http://www.greenbuild.ie/PassiveHouseBlowerDoorTesting.pdf>

The Passive House Defenition (2013) Retirado em 05/2013 de [http://passipedia.passiv.de/passipedia\\_en/basics/the\\_passive\\_house\\_-\\_definition](http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/basics/the_passive_house_-_definition)

Valente, D. N. R. (2008). “Decisões de Investimento em Condições de Incerteza: Uma Abordagem com Opções Reais Equivalentes”. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre apresentada à Universidade de São Paulo.

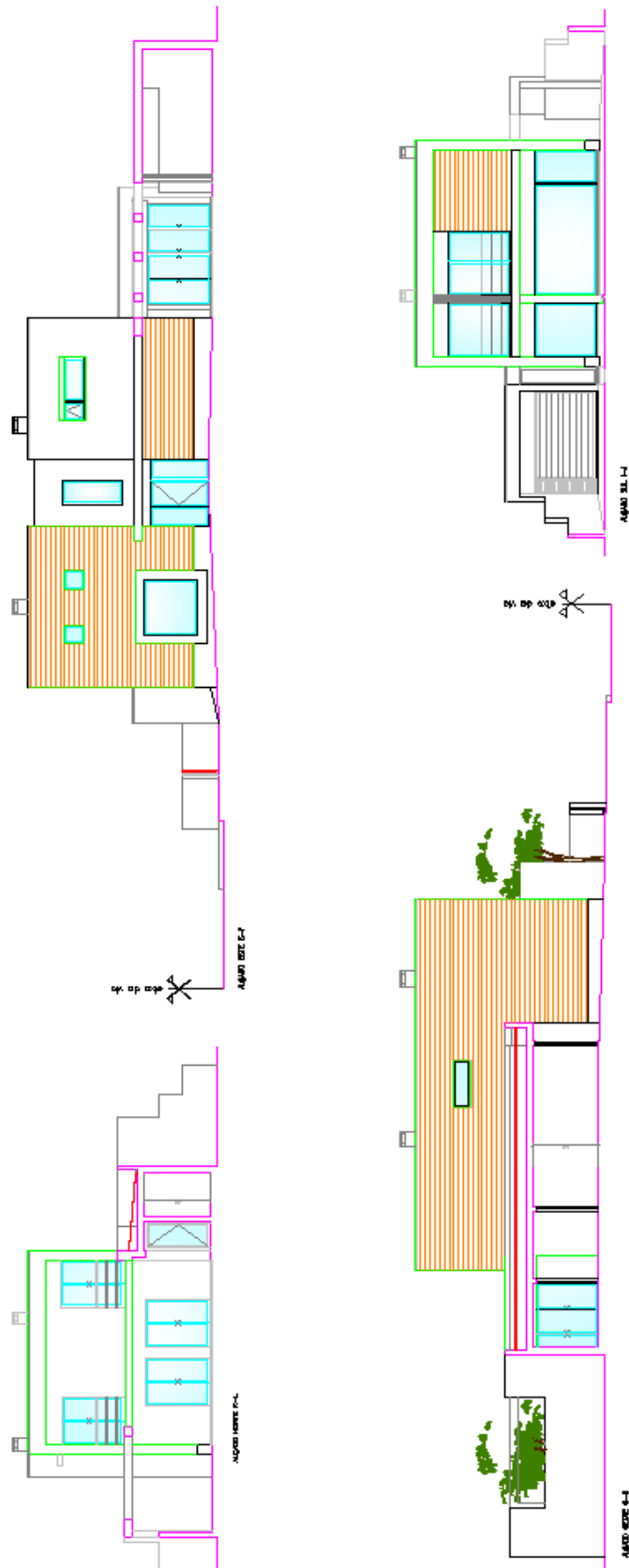
Valério, J. G. M. A. P. (2007). “Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes”. Dissertação para a obteção do Grau de Mestre apresentada ao Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

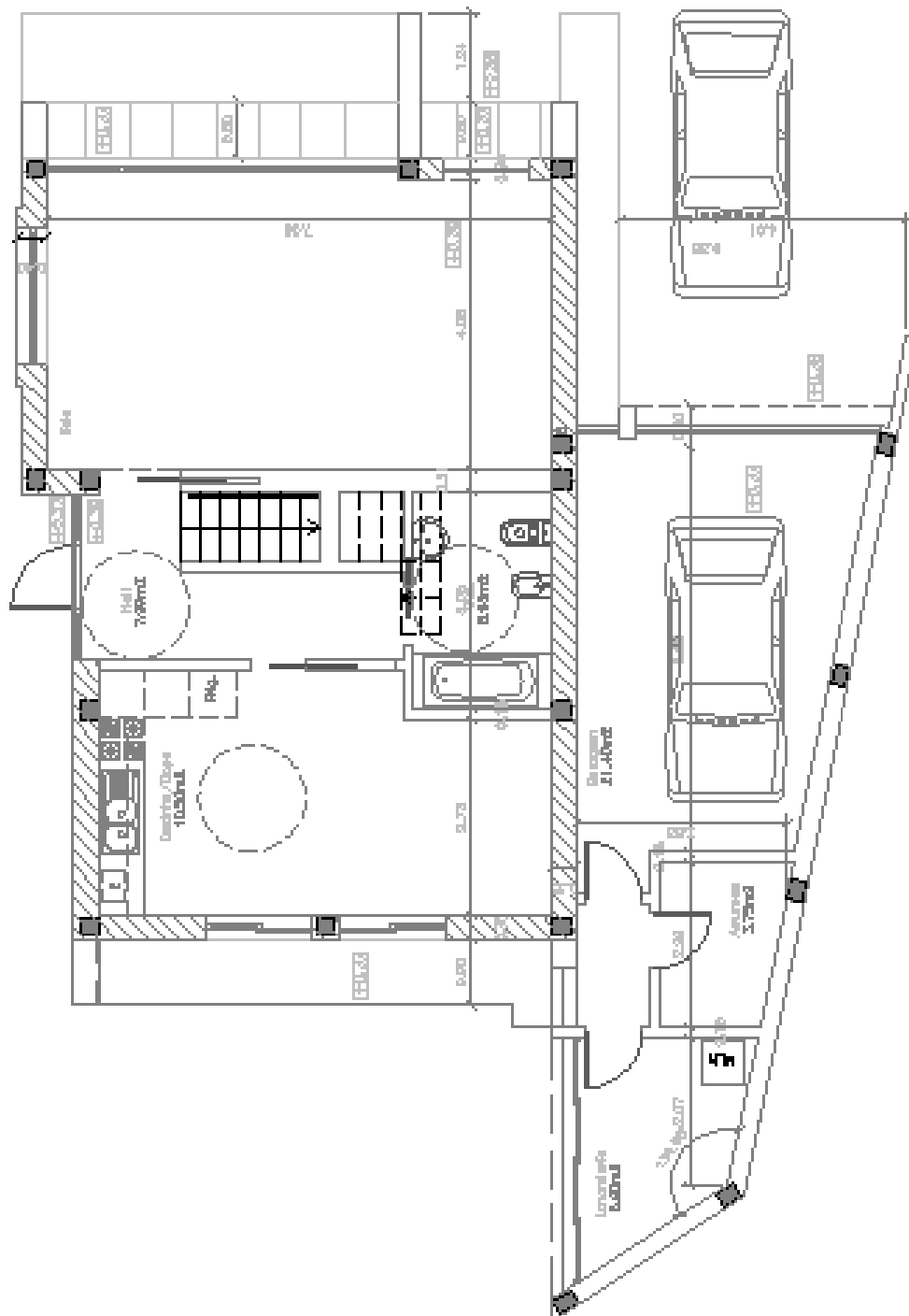
# *ANEXOS*

---

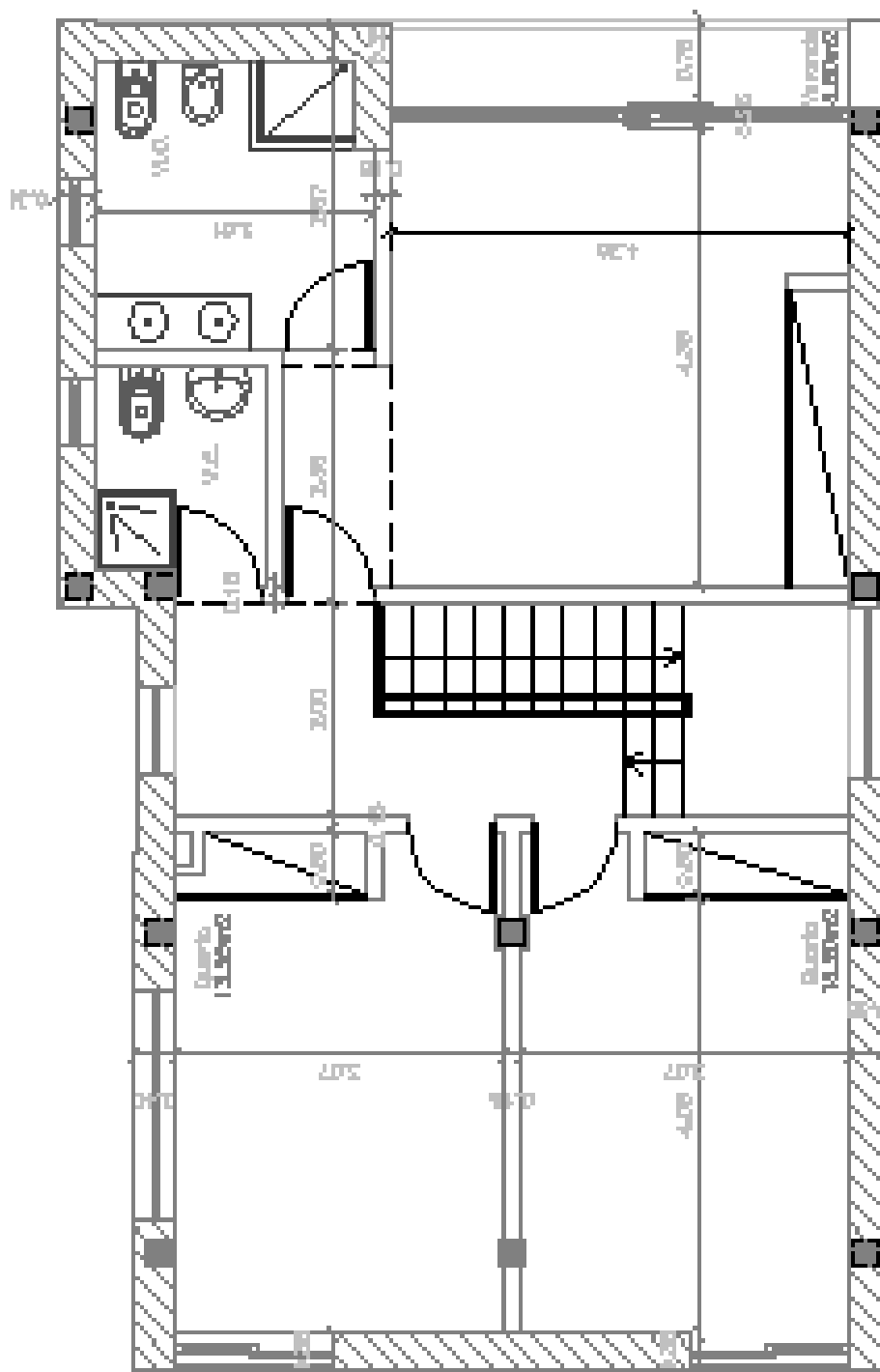


## Anexo A: Projeto do caso de estudo



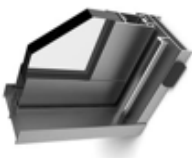




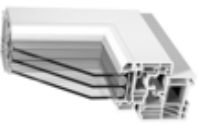


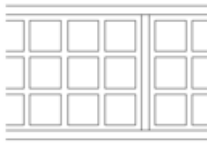
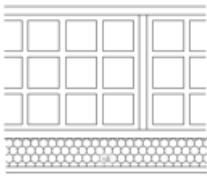
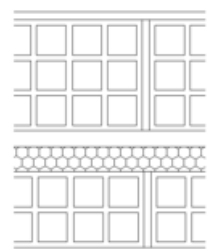
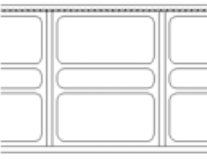
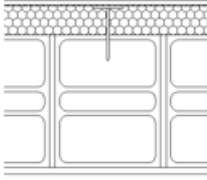
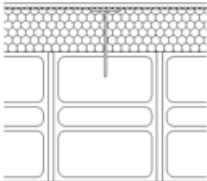
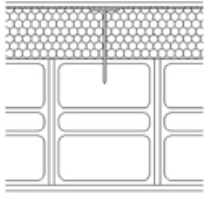
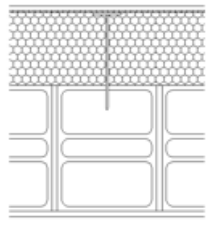


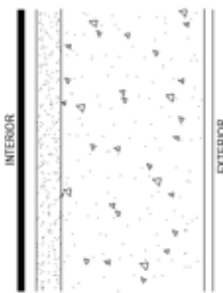
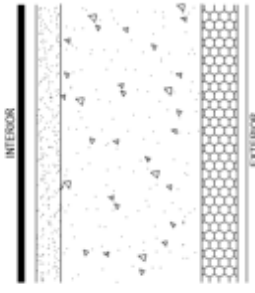
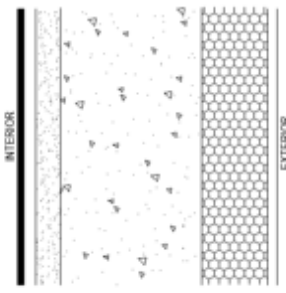
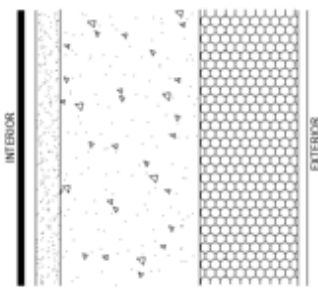
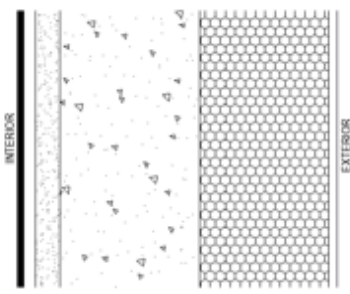


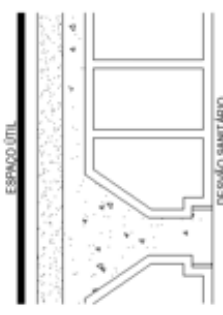
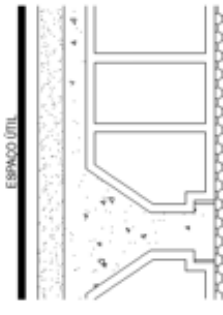
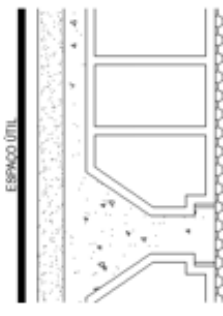
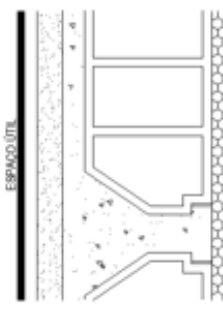
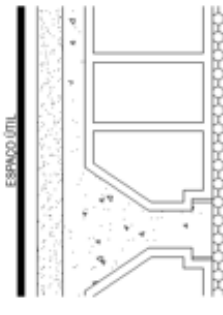


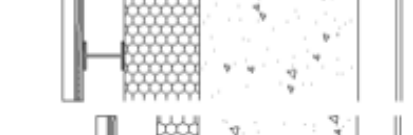
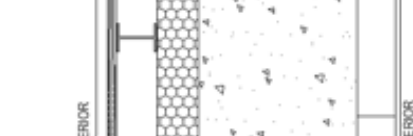
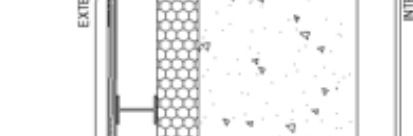


## Anexo B: Elementos Isolados


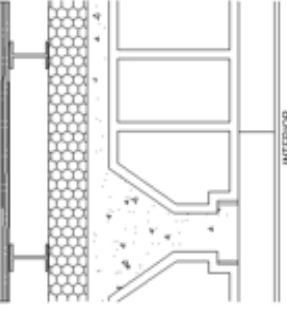
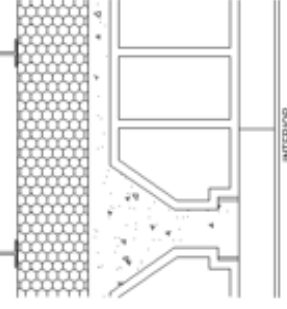
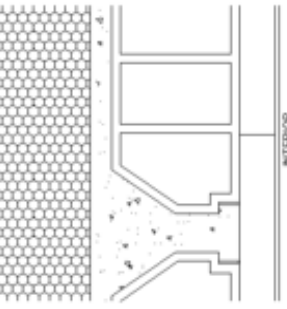
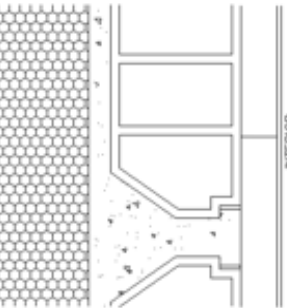
	Envidraçado 1	Envidraçado 2	Envidraçado 3	Envidraçado 4	Envidraçado 5	Envidraçado 6
	Caixilharia de alumínio sem corte térmico com vidro simples de 6mm	Caixilharia de alumínio com corte térmico com vidro simples de 6mm	Caixilharia de alumínio com corte térmico com vidro duplo de 4+16+4	Caixilharia de alumínio com corte térmico, com vidro duplo de 4+16+4 de baixa emissividade com gás argon	Caixilharia de PVC com corte térmico, com vidro duplo de 4+16+4 de baixa emissividade com gás argon	Caixilharia de PVC com corte térmico, com vidro duplo de 4+16+4+16+4 de baixa emissividade com gás argon
						
$U_f$ (W/m <sup>2</sup> K)	5,5	4,5	4,5	4,5	1,56	0,85
$U_g$ (W/m <sup>2</sup> K)	5,8	5,8	2,7	1,3	1,3	0,58
$U_w$ (W/m <sup>2</sup> K)	6,05	5,96	3,14	1,87	1,60	0,88
$g$	0,87	0,87	0,77	0,66	0,66	0,5
$Q_T$ (kWh/a)	196,90	193,94	102,21	60,78	52,08	28,67
€/ano.m <sup>2</sup>	27,43 €	27,02 €	14,24 €	8,47 €	7,25 €	3,99 €

	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Parede 5	Parede 6	Parede 7	Parede 8
	Parede simples 2+15+2 cm (reboco 2cm + tijolo 15cm + gesso 2cm)	Parede simples 2+5+15+2 cm (reboco 2cm + XPS 5cm+ tijolo 15cm + gesso 2cm)	Parede dupla 2+11+5+15+2 cm (gesso 2cm + tijolo 11cm + XPS 5cm + tijolo 15cm + reboco 2cm)	Parede simples Bloco termico 2+25+1,5 cm (Gesso 2cm + bloco 25cm + Reboco 1,5cm)	Parede simples Bloco termico 2+25+5+1,5 cm (Gesso 2cm + bloco 25cm + XPS 5cm + Reboco 1,5cm)	Parede simples Bloco termico 2+25+5+1,5 cm (Gesso 2cm + bloco 25cm + XPS 8cm + Reboco 1,5cm)	Parede simples Bloco termico 2+25+10+1,5 cm (Gesso 2cm + bloco 25cm + XPS 10cm + Reboco 1,5cm)	Parede simples Bloco termico 2+25+15+1,5 cm (Gesso 2cm + bloco 25cm + XPS 15cm + Reboco 1,5cm)
								
U (W/m <sup>2</sup> K)	1,69	0,51	0,42	0,927	0,412	0,309	0,264	0,195
Q <sub>T</sub> (kWh/a)	55,01	16,60	13,67	30,17	13,41	10,06	8,59	6,35
€/ano.m <sup>2</sup>	7,66 €	2,31 €	1,90 €	4,20 €	1,87 €	1,40 €	1,20 €	0,88 €

	Pavimento 1	Pavimento 2	Pavimento 3	Pavimento 4	Pavimento 5
	Soalho Madeira 2cm + camada regularização 2cm + betão leve 4cm + Laje Maciça 25cm + Reboco 1,5cm	Soalho Madeira 2cm + camada regularização 2cm + betão leve 4cm + XPS 5cm + Laje Maciça 25cm + Reboco 1,5cm	Soalho Madeira 2cm + camada regularização 2cm + betão leve 4cm + XPS 10cm + Laje Maciça 25cm + Reboco 1,5cm	Soalho Madeira 2cm + camada regularização 2cm + betão leve 4cm + XPS 15cm + Laje Maciça 25cm + Reboco 1,5cm	Soalho Madeira 2cm + camada regularização 2cm + betão leve 4cm + XPS 20cm + Laje Maciça 25cm + Reboco 1,5cm
					
U (W/m <sup>2</sup> K)	1,923	0,534	0,31	0,219	0,169
Q <sub>T</sub> (kWh/a)	62,59	17,38	10,09	7,13	5,50
€/ano.m <sup>2</sup>	8,72 €	2,42 €	1,41 €	0,99 €	0,77 €

	Pavimento 6	Pavimento 7	Pavimento 8	Pavimento 9	Pavimento 10
	Soalho Madeira 2cm + camada regularização 3cm + betão leve 7cm + Laje Aligeirada 25cm	Soalho Madeira 2cm + camada regularização 3cm + betão leve 7cm + Laje Aligeirada 25cm + XPS 5cm	Soalho Madeira 2cm + camada regularização 3cm + betão leve 7cm + Laje Aligeirada 25cm + XPS 10cm	Soalho Madeira 2cm + camada regularização 3cm + betão leve 7cm + Laje Aligeirada 25cm + XPS 15cm	Soalho Madeira 2cm + camada regularização 3cm + betão leve 7cm + Laje Aligeirada 25cm + XPS 20cm
					
U (W/m <sup>2</sup> K)	1,167	0,453	0,281	0,204	0,16
Q <sub>T</sub> (kWh/a)	37,99	14,75	9,15	6,64	5,21
€/ano.m <sup>2</sup>	5,29 €	2,05 €	1,27 €	0,92 €	0,73 €

	Cobertura 1	Cobertura 2	Cobertura 3	Cobertura 4	Cobertura 5
	Laje Maciça 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	XPS 5cm + Laje Maciça 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	XPS 10cm + Laje Maciça 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	XPS 15cm + Laje Maciça 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	XPS 20cm + Laje Maciça 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm
					
U (W/m <sup>2</sup> K)	1,835	0,527	0,308	0,217	0,168
Q <sub>T</sub> (kWh/a)	59,73	17,15	10,03	7,06	5,47
€/ano.m <sup>2</sup>	8,32 €	2,39 €	1,40 €	0,98 €	0,76 €

	Cobertura 6	Cobertura 7	Cobertura 8	Cobertura 9	Cobertura 10	
	Laje Aligeirada 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	XPS 5cm + Laje Aligeirada 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	XPS 10cm + Laje Aligeirada 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	XPS 15cm + Laje Aligeirada 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	XPS 20cm + Laje Aligeirada 25cm + Espaço de ar não ventilado 8,5cm + Gesso Cartonado 1,5cm	
						
U (W/m <sup>2</sup> K)	1,389	0,483	0,292	0,209	0,163	
Q <sub>T</sub> (kWh/a)	45,21	15,72	9,50	6,80	5,31	
€/ano.m <sup>2</sup>	6,30 €	2,19 €	1,32 €	0,95 €	0,74 €	



## Anexo C: Coeficientes de Transmissão Térmica

### Paredes

<b>Parede 1</b>				R <sub>si</sub>	0,13
				R <sub>se</sub>	0,04
Descrição	d <sub>j</sub> (m)	λ <sub>j</sub> (W/m.°C)	R <sub>j</sub> = d <sub>j</sub> /λ <sub>j</sub> R <sub>j</sub> (m <sup>2</sup> .°C/W)		
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	R <sub>si</sub> +∑R <sub>j</sub> +R <sub>se</sub> = 0,642	
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (15 cm)	0,150	–	0,390	U = 1,56 W/m <sup>2</sup> °C	
Gesso projetado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	1/(R <sub>si</sub> +∑R <sub>j</sub> +R <sub>se</sub> )	
<b>Parede 2</b>					
Descrição	d <sub>j</sub> (m)	λ <sub>j</sub> (W/m.°C)	R <sub>j</sub> = d <sub>j</sub> /λ <sub>j</sub> R <sub>j</sub> (m <sup>2</sup> .°C/W)		
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	R <sub>si</sub> +∑R <sub>j</sub> +R <sub>se</sub> = 1,993	
Isolamento térmico - XPS (5 cm)	0,050	0,037	1,351	U = 0,50 W/m <sup>2</sup> °C	
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (15 cm)	0,150	–	0,390	1/(R <sub>si</sub> +∑R <sub>j</sub> +R <sub>se</sub> )	
Gesso projetado (2 cm)	0,020	0,300	0,067		
<b>Parede 3</b>					
Descrição	d <sub>j</sub> (m)	λ <sub>j</sub> (W/m.°C)	R <sub>j</sub> = d <sub>j</sub> /λ <sub>j</sub> R <sub>j</sub> (m <sup>2</sup> .°C/W)		
Reboco (2 cm)	0,020	1,300	0,015	R <sub>si</sub> +∑R <sub>j</sub> +R <sub>se</sub> = 2,438	
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (15 cm)	0,150	–	0,390	U = 0,41 W/m <sup>2</sup> °C	
Caixa-de-ar (2 cm)	0,020	–	0,175	1/(R <sub>si</sub> +∑R <sub>j</sub> +R <sub>se</sub> )	
Isolamento térmico - XPS (5 cm)	0,050	0,037	1,351		
Pano de alvenaria de tijolo furado normal (11 cm)	0,110	–	0,270		
Gesso projetado (2 cm)	0,020	0,300	0,067		
<b>Parede 4</b>					
Descrição	d <sub>j</sub> (m)	λ <sub>j</sub> (W/m.°C)	R <sub>j</sub> = d <sub>j</sub> /λ <sub>j</sub> R <sub>j</sub> (m <sup>2</sup> .°C/W)		
Reboco (1,5 cm)	0,015	1,300	0,012	R <sub>si</sub> +∑R <sub>j</sub> +R <sub>se</sub> = 1,079	
Bloco térmico	0,250	0,301	0,831	U = 0,93 W/m <sup>2</sup> °C	
Gesso projetado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	1/(R <sub>si</sub> +∑R <sub>j</sub> +R <sub>se</sub> )	

**Parede 5**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	
Reboco (1,5 cm)	0,015	1,300	0,012	$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 2,430$ $U = 0,41 \text{ W/m}^2\text{°C}$ $1/(R_{si} + \sum R_j + R_{se})$
XPS	0,050	0,037	1,351	
Bloco térmico	0,250	0,301	0,831	
Gesso projetado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	

**Parede 6**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	
Reboco (1,5 cm)	0,015	1,300	0,012	$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 3,781$ $U = 0,264 \text{ W/m}^2\text{°C}$ $1/(R_{si} + \sum R_j + R_{se})$
XPS	0,100	0,037	2,703	
Bloco térmico	0,250	0,301	0,831	
Gesso projetado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	

**Parede 7**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	
Reboco (1,5 cm)	0,015	1,300	0,012	$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 5,133$ $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{°C}$ $1/(R_{si} + \sum R_j + R_{se})$
XPS	0,150	0,037	4,054	
Bloco térmico	0,250	0,301	0,831	
Gesso projetado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	

**Parede 8**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	
Reboco (1,5 cm)	0,015	1,300	0,012	$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 6,484$ $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{°C}$ $1/(R_{si} + \sum R_j + R_{se})$
XPS	0,200	0,037	5,405	
Bloco térmico	0,250	0,301	0,831	
Gesso projetado (2 cm)	0,020	0,300	0,067	

## Pavimento

### Pavimento 1

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)
Soalho de Madeira (2cm)	0,020	0,180	0,111
Camada de regularização (2cm)	0,020	1,300	0,015
Betão Leve (4cm)	0,040	0,850	0,047
Laje Maciça (25cm)	0,250	2,000	0,125
Reboco (1,5cm)	0,015	1,300	0,012

$$R_{si} = 0,17$$

$$R_{se} = 0,04$$

$$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 0,520$$

$$U = \frac{1}{(R_{si} + \sum R_j + R_{se})} = 1,92 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

### Pavimento 2

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)
Soalho de Madeira (2cm)	0,020	0,180	0,111
Camada de regularização (2cm)	0,020	1,300	0,015
Betão Leve (4cm)	0,040	0,850	0,047
XPS (5cm)	0,050	0,037	1,351
Laje Maciça (25cm)	0,250	2,000	0,125
Reboco (1,5cm)	0,020	1,300	0,015

$$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 1,875$$

$$U = \frac{1}{(R_{si} + \sum R_j + R_{se})} = 0,53 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

### Pavimento 3

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)
Soalho de Madeira (2cm)	0,020	0,180	0,111
Camada de regularização (2cm)	0,020	1,300	0,015
Betão Leve (4cm)	0,040	0,850	0,047
XPS (5cm)	0,100	0,037	2,703
Laje Maciça (25cm)	0,250	2,000	0,125
Reboco (1,5cm)	0,020	1,300	0,015

$$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 3,227$$

$$U = \frac{1}{(R_{si} + \sum R_j + R_{se})} = 0,31 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

### Pavimento 4

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)
Soalho de Madeira (2cm)	0,020	0,180	0,111
Camada de regularização (2cm)	0,020	1,300	0,015
Betão Leve (4cm)	0,040	0,850	0,047
XPS (5cm)	0,150	0,037	4,054
Laje Maciça (25cm)	0,250	2,000	0,125
Reboco (1,5cm)	0,020	1,300	0,015

$$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 4,578$$

$$U = \frac{1}{(R_{si} + \sum R_j + R_{se})} = 0,22 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

**Pavimento 5**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	
Soalho de Madeira (2cm)	0,020	0,180	0,111	$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 5,929$ $U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{°C}$ $1/(R_{si} + \sum R_j + R_{se})$
Camada de regularização (2cm)	0,020	1,300	0,015	
Betão Leve (4cm)	0,040	0,850	0,047	
XPS (5cm)	0,200	0,037	5,405	
Laje Maciça (25cm)	0,250	2,000	0,125	
Reboco (1,5cm)	0,020	1,300	0,015	

$$R_{si} = 0,17$$

$$R_{se} = 0,17$$

**Pavimento 6**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	
Soalho de Madeira (2cm)	0,020	0,180	0,111	$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 0,857$ $U = 1,167 \text{ W/m}^2\text{°C}$ $1/(R_{si} + \sum R_j + R_{se})$
Camada de regularização (3cm)	0,030	1,300	0,023	
Betão Leve (7cm)	0,070	0,850	0,082	
Laje Aligeirada (25cm)	0,250	0,833	0,300	

**Pavimento 7**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	
Soalho de Madeira (2cm)	0,020	0,180	0,111	$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 2,208$ $U = 0,453 \text{ W/m}^2\text{°C}$ $1/(R_{si} + \sum R_j + R_{se})$
Camada de regularização (3cm)	0,030	1,300	0,023	
Betão Leve (7cm)	0,070	0,850	0,082	
Laje Aligeirada (25cm)	0,250	0,833	0,300	
XPS (5cm)	0,050	0,037	1,351	

**Pavimento 8**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	
Soalho de Madeira (2cm)	0,020	0,180	0,111	$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 3,559$ $U = 0,281 \text{ W/m}^2\text{°C}$ $1/(R_{si} + \sum R_j + R_{se})$
Camada de regularização (3cm)	0,030	1,300	0,023	
Betão Leve (7cm)	0,070	0,850	0,082	
Laje Aligeirada (25cm)	0,250	0,833	0,300	
XPS (5cm)	0,100	0,037	2,703	

**Pavimento 9**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)
Soalho de Madeira (2cm)	0,020	0,180	0,111
Camada de regularização (3cm)	0,030	1,300	0,023
Betão Leve (7cm)	0,070	0,850	0,082
Laje Aligeirada (25cm)	0,250	0,833	0,300
XPS (5cm)	0,150	0,037	4,054

$$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 4,911$$

$$U = \frac{1}{(R_{si} + \sum R_j + R_{se})} = 0,204 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

**Pavimento 10**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)
Soalho de Madeira (2cm)	0,020	0,180	0,111
Camada de regularização (3cm)	0,030	1,300	0,023
Betão Leve (7cm)	0,070	0,850	0,082
Laje Aligeirada (25cm)	0,250	0,833	0,300
XPS (5cm)	0,200	0,037	5,405

$$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 6,262$$

$$U = \frac{1}{(R_{si} + \sum R_j + R_{se})} = 0,160 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

**Cobertura****Cobertura 1**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)
Laje de betão (25cm)	0,250	2,000	0,125
Placa de gesso cartonado (1,5cm)	0,015	0,250	0,060
Espaço de ar (8,5cm)	0,085	0,531	0,160

$$R_{si} = 0,10$$

$$R_{se} = 0,10$$

$$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 0,545$$

$$U = \frac{1}{(R_{si} + \sum R_j + R_{se})} = 1,835 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

**Cobertura 2**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)
XPS	0,050	0,037	1,351
Laje de betão (25cm)	0,250	2,000	0,125
Placa de gesso cartonado (1,5cm)	0,015	0,250	0,060
Espaço de ar (8,5cm)	0,085	0,531	0,160

$$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 1,896$$

$$U = \frac{1}{(R_{si} + \sum R_j + R_{se})} = 0,527 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

**Cobertura 3**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	
XPS	0,100	0,037	2,703	$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 3,248$
Laje de betão (25cm)	0,250	2,000	0,125	$U = 0,308 \text{ W/m}^2\text{°C}$
Placa de gesso cartonado (1,5cm)	0,015	0,250	0,060	$1/(\sum R_j + R_{se})$
Espaço de ar (8,5cm)	0,085	0,531	0,160	

**Cobertura 4**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	
XPS	0,150	0,037	4,054	$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 4,599$
Laje de betão (25cm)	0,250	2,000	0,125	$U = 0,217 \text{ W/m}^2\text{°C}$
Placa de gesso cartonado (1,5cm)	0,015	0,250	0,060	$1/(\sum R_j + R_{se})$
Espaço de ar (8,5cm)	0,085	0,531	0,160	

**Cobertura 5**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	
XPS	0,200	0,037	5,405	$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 5,950$
Laje de betão (25cm)	0,250	2,000	0,125	$U = 0,168 \text{ W/m}^2\text{°C}$
Placa de gesso cartonado (1,5cm)	0,015	0,250	0,060	$1/(\sum R_j + R_{se})$
Espaço de ar (8,5cm)	0,085	0,531	0,160	

**Cobertura 6**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	
Laje Aligeirada (25cm)	0,250	0,833	0,300	$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 0,720$
Placa de gesso cartonado (1,5cm)	0,015	0,250	0,060	$U = 1,389 \text{ W/m}^2\text{°C}$
Espaço de ar (8,5cm)	0,085	0,531	0,160	$1/(\sum R_j + R_{se})$

**Cobertura 7**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	
XPS	0,050	0,037	1,351	$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 2,072$
Laje Aligeirada (25cm)	0,250	0,833	0,300	$U = 0,483 \text{ W/m}^2\text{°C}$
Placa de gesso cartonado (1,5cm)	0,015	0,250	0,060	$1/(\sum R_j + R_{se})$
Espaço de ar (8,5cm)	0,085	0,531	0,160	

**Cobertura 8**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	
XPS	0,100	0,037	2,703	$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 3,423$
Laje Aligeirada (25cm)	0,250	0,833	0,300	$U = 0,292 \text{ W/m}^2\text{°C}$
Placa de gesso cartonado (1,5cm)	0,015	0,250	0,060	$1/(R_{si} + \sum R_j + R_{se})$
Espaço de ar (8,5cm)	0,085	0,531	0,160	

**Cobertura 9**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	
XPS	0,150	0,037	4,054	$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 4,774$
Laje Aligeirada (25cm)	0,250	0,833	0,300	$U = 0,209 \text{ W/m}^2\text{°C}$
Placa de gesso cartonado (1,5cm)	0,015	0,250	0,060	$1/(R_{si} + \sum R_j + R_{se})$
Espaço de ar (8,5cm)	0,085	0,531	0,160	

**Cobertura 10**

Descrição	$d_j$ (m)	$\lambda_j$ (W/m.°C)	$R_j = d_j/\lambda_j$ $R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	
XPS	0,200	0,037	5,405	$R_{si} + \sum R_j + R_{se} = 6,126$
Laje Aligeirada (25cm)	0,250	0,833	0,300	$U = 0,163 \text{ W/m}^2\text{°C}$
Placa de gesso cartonado (1,5cm)	0,015	0,250	0,060	$1/(R_{si} + \sum R_j + R_{se})$
Espaço de ar (8,5cm)	0,085	0,531	0,160	