

Eficiência Energética de Edifícios: Conceito *Passivhaus*

Sara Luísa Pereira Gonçalves da Costa

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia do Ambiente

Orientador: Professor Doutor Olívio Godinho Patrício

Júri:

Presidente: Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor Olívio Godinho Patrício, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, orientador

Doutora Rita do Amaral Fragoso, Professora Auxiliar Convidada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu orientador Professor Olívio Patrício pela sua disponibilidade, sugestões e críticas durante este trabalho. Agradeço-lhe também as palavras de encorajamento.

Um obrigado a todos meus colegas, não só de curso mas também de faculdade, especialmente à Susana, à Sara, à Fátima, à Joana, à Sofia, à Liliana e outros que, de uma maneira ou de outra, fizeram parte do meu percurso. Um especial obrigado à Sara Peres por ter sempre algo divertido para dizer, mesmo nos dias mais cansativos e trabalhosos.

Quero também agradecer à Catarina, à Silvana e à Sofia pela amizade e compreensão.

Quero agradecer também ao meu irmão pela disponibilidade para me ajudar, principalmente na reta final.

Por fim, quero agradecer às duas pessoas sem o qual isto não seria possível: os meus pais. Um grande obrigado pela paciência, motivação e apoio. Quero agradecer especialmente à minha mãe pelo apoio incondicional durante estes meses, pelas palavras boas e menos boas, por estar sempre disposta a ajudar e a animar-me e principalmente por acreditar tanto em mim, mesmo quando eu própria não acredito. Obrigada Mãe.

Resumo

Atualmente, devido a vários fatores, uma das maiores preocupações ambientais passa pela redução do consumo energético dos edifícios e das emissões de CO₂. Para reverter essa tendência, tem-se vindo a procurar alternativas mais amigas do ambiente e mais acessíveis economicamente. O objetivo é obter edifícios com uma excelente qualidade de ar interior e elevado conforto térmico, que vão ser mais eficientes energeticamente e de baixo consumo energético.

É assim que surge o conceito de casas *Passivhaus*, onde o principal objetivo é construir edifícios energeticamente eficientes e de baixo consumo de energia, e, ao mesmo tempo, com um elevado conforto térmico. Este conceito tem vindo cada vez mais a ser utilizado na Europa, principalmente na Alemanha, onde a norma foi criada. Esta norma alemã é bastante exigente no nível de construção, apresentando uma estratégia de construção baseada em vários requisitos de forma a obter um edifício de elevada eficiência. Para um edifício ser certificado pela norma necessita de apresentar os requisitos mínimos exigidos por ela mesma.

Relativamente ao estudo realizado, realça-se o projeto de construção de casas *Passivhaus* em Portugal, onde é aplicado o conceito da norma *Passivhaus*. Assim, a norma vai ser adaptada ao clima português e aos métodos de construção realizados em Portugal. Deste modo, conclui-se que a construção de edifícios segundo os requisitos *Passivhaus* em Portugal é viável e benéfica, apesar do investimento inicial ser elevado.

Palavras – chave: Eficiência energética; Desenvolvimento Sustentável; Construção Sustentável; Edifícios de Habitação; *Passivhaus*.

Abstract

Currently, due to several factors, one of the biggest environmental concerns involves reducing the energy consumption of buildings and CO₂ emissions. To reverse this trend, alternatives that are more environmentally friendly and more economically accessible have been considered. The goal is to get buildings with an excellent air quality and high indoor thermal comfort, which will lead to more energy-efficient and low energy consumption.

Therefore appears the concept of *Passivhaus* buildings, where the main aim is to build energy efficient buildings with low energy consumption, and at the same time, high thermal comfort. This concept has been increasingly being used in Europe, especially in Germany, where the concept was created.

This german standard is very demanding, presenting a construction strategy based on several requirements in order to obtain high efficiency of a building. To a building be certified by the standard, they need to provide the minimum requirements.

Regarding the study that was done, it is based on the construction of *Passivhaus* buildings in Portugal, where it is applied the concept of the *Passivhaus* standard. Thus, the norm will be adapted to the portuguese climate and to the construction methods carried out in Portugal. So, it can be concluded that the construction of buildings according to the *Passivhaus* requirements in Portugal is viable, although the high initial investment.

Key - words: Energy Efficiency; Sustainable Development; Sustainable Building; Residential Buildings; *Passivhaus*.

Extended abstract

The Kyoto Protocol aims to set a limit on CO₂ emissions into the atmosphere and other gases responsible for increasing the greenhouse emissions and that contribute to global warming. Thus, measures were decided for each Protocol signatory to reduce greenhouse gas emissions.

As the buildings, both residential and the services responsible for more than 40 % of final energy consumption in the European Union, it is necessary to adopt a comprehensive set of measures to encourage improvements in the buildings energy efficiency. These measures include the rational use of energy in lighting and air conditioning of indoor air, for example, and also in the use of renewable energy (solar energy through solar panels, for example). In addition to these measures, guidelines were established for the energy efficiency of buildings.

The quality of buildings and thermal comfort has been increasing over the years. But to ensure thermal comfort is required additional costs that will lead to increased energy consumption and the resulting increase in emissions of greenhouse gases. The energy consumption in residential buildings is distributed by the kitchens and domestic hot water, lighting and heating and cooling. To improve thermal and energy efficiency of buildings, it is necessary to adopt strategies that promote the reduction of energy consumption and introduce new technologies. If these strategies are adopted, energy consumption will decrease and hence there will be a great economic savings.

It was because of this subject that *Passivhaus* standard was created, which aims to promote the construction of efficient buildings in order to achieve future goals required by the directives. The german concept is based on several requirements and strategies that will be needed to build a *Passivhaus* building. It will only be a certified building if it reach the requirements. To apply the rule to several different countries, there was a need to adapt it. For this, new requirements were created to match the climate of each country.

The objective of this work is the study of the concept of buildings with *Passivhaus* patterns and the application of the constructive concept to a Portuguese house. To this end, various measures are suggested to reduce the final energy consumption and energy optimization of the building. In this way, the building will be able to meet the minimum requirements of the standard and therefore get the *Passivhaus* certificate. By

applying the *Passivhaus* concept, it is possible to obtain a energy efficient building associated with low energy consumption and low CO₂ emissions.

In conclusion, this study shows that it is possible to adapt the *Passivhaus* concept to the Portuguese climate and achieving buildings with thermal comfort through reduced cost.

Índice

Índice de quadros	1
Índice de figuras	2
Lista de Abreviaturas	4
1. Introdução.....	5
1.1 Enquadramento do Tema.....	5
1.2 Objetivos	6
1.3 Estrutura da Dissertação	7
2. Desenvolvimento Sustentável	8
2.1 Evolução Histórica	8
2.2 Os Pilares do Desenvolvimento Sustentável	12
2.3 Desenvolvimento Sustentável em Portugal	16
2.4 Construção Sustentável.....	17
2.5 Conforto Térmico	19
2.5.1 Fatores que Influenciam a Sensação de Conforto Térmico	20
2.5.1.1 Fatores Individuais	20
2.5.1.2 Fatores Ambientais	22
2.6 Consumo de Energia em Portugal.....	22
2.7 Legislação	24
3. <i>Passivhaus</i>.....	26
3.1 Conceito <i>Passivhaus</i>	26
3.2 Origem da Norma <i>Passivhaus</i>	28
3.3 Requisitos <i>Passivhaus</i>	30
3.4 Certificação <i>Passivhaus</i>	31
3.5 Design <i>Passivhaus</i>	32
3.5.1 Super Isolamento	33
3.5.2 Eliminação das pontes térmicas e envolvente opaca	35

3.5.3 Estanqueidade ao ar.....	37
3.5.4 Ventilação mecânica com sistema de recuperação de calor	38
3.5.5 Vãos envidraçados de alta qualidade térmica	39
3.6 Projeto <i>Passive-On</i>	40
3.6.1 <i>Passivhaus</i> em Climas Quentes da Europa.....	41
3.6.1.1 Portugal.....	42
3.6.1.2 Reino Unido.....	45
3.6.1.3 Espanha	46
3.6.1.4 Itália.....	47
3.6.1.5 França.....	49
4. Estudo de Caso: <i>Passivhaus</i> em Portugal.....	51
4.1 Introdução	51
4.2 Implementação e Descrição do Projeto	51
4.3 Conceção do Edifício	52
4.4 Implementação dos Princípios <i>Passivhaus</i>	53
4.4.1 Envolvente do Edifício	54
4.4.2 Vãos envidraçados	56
4.4.3 Estanqueidade ao Ar	56
4.4.4 Sistema de Ventilação Mecânica.....	57
4.4.5 Equipamentos	57
4.4.6 Resultados PHPP	58
4.5 Certificação Energética do Edifício.....	58
4.5.1 Certificação Energética – Projeto LiderA.....	58
4.5.1.1 Certificação Energética das Casas <i>Passivhaus</i>	60
4.6 Viabilidade Económica	60
Conclusões	63
Referências Bibliográficas	65

Índice de quadros

Quadro 1 – As quatro grandes áreas de ação da Agenda 21 (Fonte: Adaptado de Borne, 2014).....	11
Quadro 2 – Taxa de metabolismo correspondente a várias ações.....	20
Quadro 3 – Resistência térmica do vestuário.....	21
Quadro 4 – Custos de construção típicos para casas de referência e custos de casas <i>Passivhaus</i> (Fonte: Adaptado de <i>Passive-On</i> , 2007a).....	61
Quadro 5 – Necessidades de aquecimento e arrefecimento para casas de referência de acordo com os mínimos recomendados pela legislação em vigor e pela norma <i>Passivhaus</i> (Fonte: <i>Passive-On</i> , 2007a).....	62

Índice de figuras

Figura 1 – Emissões globais de CO ₂ por sector em 2011 (Fonte: IEA, 2013)	5
Figura 2 – Objetivos da sustentabilidade na sua tripla dimensão (Fonte: Pinheiro, 2006)	13
Figura 3 – Desequilíbrio do Desenvolvimento Sustentável (Fonte: Antunes, 2010)	14
Figura 4 – Contributo da construção sustentável para o desenvolvimento sustentável (Fonte: Antunes, 2010)	15
Figura 5 – Evolução das preocupações no sector da construção civil (Fonte: Pinheiro, 2006)	19
Figura 6 – Versão comparativa do consumo das diferentes fontes de energia em Portugal em 2004 e em 2013 (Fonte: DGEG, 2015)	23
Figura 7 – Consumo de Energia a nível setorial (Fonte: DGEG, 2015)	24
Figura 8 – Funcionamento de uma casa <i>Passivhaus</i> (Fonte: Adaptado de Passipedia, 2014)	28
Figura 9 - Primeira Casa <i>Passivhaus</i> em Darmstadt, na Alemanha (Fonte: Passipedia, 2014)	29
Figura 10 - Consumo de energia anual para aquecimento para casas individuais (Adaptado de Koukkari e Bragança, 2011)	30
Figura 11 - Isolamento na envolvente do edifício (Fonte: <i>Passive House Institute</i> , 2014)	35
Figura 13 - Condensação devido a fissuras (Fonte: Adaptado de <i>Passive House Institute</i> , 2014)	37
Figura 16 – Incidência solar de verão, vista de sudoeste (Fonte: <i>Passive-On</i> , 2007b)	43
Figura 17 – Estratégia de ventilação no verão (Fonte: <i>Passive-On</i> , 2007b).....	44
Figura 18 – Estimativa das necessidades anuais de aquecimento (vermelho) e de arrefecimento (azul) para uma casa típica e uma casa <i>Passivhaus</i> (Fonte: <i>Passive-On</i> , 2007b)	45
Figura 19 – Estratégia de ventilação de verão e de inverno no Reino Unido, respetivamente (Fonte: <i>Passive-On</i> , 2007b).....	46
Figura 20 – Estratégia de ventilação-iluminação no verão e estratégia de aquecimento no inverno em Espanha, respetivamente (Fonte: <i>Passive-On</i> , 2007b).....	47
Figura 21 – Estratégias de inverno para a Itália (Fonte: <i>Passive-On</i> , 2007b).....	48
Figura 22 – Estratégias de verão para a Itália (Fonte: <i>Passive-On</i> , 2007b)	49

Figura 23 – Estratégia de verão e de inverno para a França, respetivamente (Fonte: <i>Passive-On</i> , 2007b)	50
Figura 24 – Associação <i>Passivhaus</i> Portugal (Fonte: Homegrid, 2013)	52
Figura 25 – Vista da parte exterior do edifício (Fonte: PHI, 2014)	53
Figura 26 – Princípios básicos da construção <i>Passivhaus</i> (Fonte: PZE-PP, 2014)	54
Figura 27 – Solução final da parede exterior (Fonte: Adaptado de Marcelino e Gavião, 2012)	55
Figura 28 – Solução final da cobertura (Fonte: Adaptado de Marcelino e Gavião, 2012)	55
Figura 29 – Solução final dos vãos envidraçados (Fonte: Adaptado de Marcelino e Gavião, 2012)	56
Figura 30 – Vertentes mais e menos relevantes (Fonte: Adaptado de Pinheiro, 2011)	59
Figura 31 – Níveis de desempenho (Fonte: Pinheiro, 2011)	59
Figura 32 – Certificado LiderA atribuído ao projeto “Passive House” (Fonte: Homegrid, 2013)	60

Lista de Abreviaturas

AQS - Águas Quentes Sanitárias

CE - Comissão Europeia

CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia

ENDS - Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável

EPBD - Energy Performance of Buildings Directive

GEE - Gases com Efeito de Estufa

IEA - International Energy Agency

MDGs - Millennium Development Goals

ONG - Organização Não Governamental

ONU - Organização das Nações Unidas

PHI - Passive House Institute

PHPP - Passive House Planning Package

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios

SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

SDGs - Sustainable Development Goals

UE - União Europeia

UNCED - Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento

UNEP - United Nations Environment Programme

WCED - World Commission on Environment and Development

1. Introdução

1.1 Enquadramento do Tema

Com o aumento das exigências da sociedade moderna, houve um grande impacto no meio ambiente, nomeadamente no que respeita às alterações climáticas e à escassez dos recursos naturais. Para assegurar a vivência da sociedade atual e garantir o futuro das gerações futuras, é necessário que o comportamento humano seja baseado em critérios de sustentabilidade.

Tendo em consideração que na União Europeia, os edifícios representam cerca de 40% do consumo total de energia (35% em Portugal), é importante tomar medidas para reduzir essas necessidades e, conseqüentemente, reduzir a dependência energética da UE, bem como as emissões de gases de efeito estufa, de acordo com o prescrito na Diretiva 2002/91/CE em matéria de Eficiência Energética em Edifícios. No entanto, esta proposta de consumo consiste em duas partes: a operação de sistemas técnicos (aquecimento, arrefecimento, ventilação, água quente) e a utilização para o trabalho e vida (iluminação, eletrodomésticos, elevadores, computadores, entretenimento doméstico). A importância desta separação é devida ao papel dos utilizadores, sendo que a última parte depende do comportamento do utilizador.

Os edifícios são responsáveis por 10% das emissões globais de CO₂. Ao incluir as emissões do uso de energia elétrica e de aquecimento para o funcionamento dos edifícios, o número aumenta para 42% (IEA, 2013).

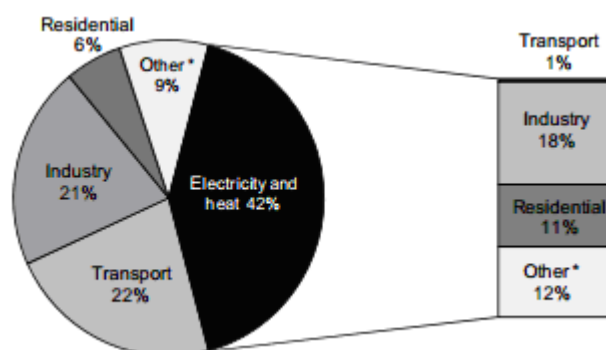


Figura 1 – Emissões globais de CO₂ por sector em 2011 (Fonte: IEA, 2013)

Isto significa que, aproximadamente, um terço de emissões globais de CO₂ estão relacionadas com edifícios e funcionamento dos mesmos. Portanto, ações para reduzir as emissões de gases de efeito estufa a partir de edifícios e do seu funcionamento são importantes para mitigar o efeito de estufa.

Nos últimos anos, o aumento da sensibilidade do público para questões ambientais, resultou numa crescente preocupação para alcançar novas soluções de construção sustentável, de modo a garantir o desenvolvimento sustentável do planeta. Assim, é essencial adotar medidas mais eficientes nas etapas do processo de construção, recorrendo a soluções construtivas e a materiais mais sustentáveis e eficientes a nível energético.

A integração de sistemas construtivos atualmente pouco utilizados, como por exemplo, os sistemas solares passivos, constitui uma das soluções que permite obter reduções bastante significativas no consumo energético para aquecimento e arrefecimento de edifícios. A construção de edifícios eficientes de baixo consumo energético, aliados a uma boa estratégia de construção, adequada ao clima de um determinado país é indispensável no contexto energético e de mudanças climáticas.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é introduzir o conceito da norma *Passivhaus*, onde serão descritos os vários requisitos construtivos e tecnológicos que são necessários para o seu cumprimento.

Pretende-se, também, avaliar a viabilidade do ponto de vista sustentável da aplicação das soluções construtivas propostas pela norma *Passivhaus* em Portugal através do estudo da construção e dos requisitos das casas *Passivhaus* em Aveiro, as primeiras construídas em Portugal.

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos.

No primeiro capítulo, é efetuada uma pequena introdução ao trabalho e apresentam-se os objetivos que se pretendem atingir.

No segundo capítulo são definidos os conceitos e princípios da construção sustentável, com base no desenvolvimento sustentável.

No terceiro capítulo é apresentado o conceito *Passivhaus*, onde são descritos os princípios e as exigências necessários a adotar para a construção de uma habitação segundo esta norma. É também apresentado o projeto europeu para a aplicação da norma alemã a climas quentes.

No quarto capítulo apresenta-se o caso de estudo e faz-se uma descrição das casas e dos seus requisitos. É também abordada a certificação energética desses edifícios, bem como os custos de referência para a construção destas casas.

No quinto capítulo apresentam-se as conclusões finais do trabalho.

A dissertação é finalizada com a apresentação das referências bibliográficas.

2. Desenvolvimento Sustentável

2.1 Evolução Histórica

O conceito de desenvolvimento sustentável na sua aparência moderna foi desenvolvido a partir de quatro eventos principais. O primeiro evento de considerável significado é a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo em 1972. A Conferência de Estocolmo tornou-se um símbolo chave de reconhecimento político para o crescimento a consciência mundial do meio ambiente. Enquanto esta conferência produziu pouco em relação a políticas de Estado, conseguiu, por outro lado, alcançar dois êxitos fundamentais que atuam como precursores para a hegemonia do desenvolvimento sustentável no âmbito da ONU e no seu crescimento no discurso político. Em primeiro lugar, foi essencial em habilitar a sociedade civil em geral e suscitar a situação do ambiente no sistema das Nações Unidas. Em segundo lugar, na sequência da Conferência de Estocolmo resultou no comissionamento do Programa das Nações Unidas para o Ambiente (Borne, 2014). O PNUMA ou UNEP (*United Nations Environment Programme*), bem como uma série de outros programas da ONU têm sido fundamentais na criação do discurso global sobre desenvolvimento sustentável.

O segundo evento para o avanço do desenvolvimento sustentável foi a publicação de “*Our Common Future*” (WCED, 1987) pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, popularmente conhecida como a Comissão Brundtland. Em 1983, uma comissão internacional presidida pela Primeira-Ministra Norueguesa Gro Harlem Brundtland foi constituída pelas Nações Unidas para apresentar estratégias de desenvolvimento sustentável. O Relatório Brundtland, elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), foi então publicado em 1987 com o título de “*Our Common Future*” e serviu para definir finalmente o conceito de desenvolvimento sustentável.

A publicação do relatório veio motivar as Nações Unidas, que incentivaram várias reuniões mundiais com o tema desenvolvimento sustentável, incluindo a Conferência do Rio (1992) e a Conferência de Joanesburgo (2002). O Relatório Brundtland ficou conhecido por definir o conceito de desenvolvimento sustentável como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a capacidade

das gerações futuras para satisfazerem as suas próprias necessidades” (*World Commission on Environment and Development* - WCED, 1987). Este relatório chegou à conclusão que a continuação da situação atual de consumo energético pode levar a alterações climáticas devido ao efeito de estufa. Assim, para um desenvolvimento sustentável, é fundamental seguir-se um caminho que leve à redução dos consumos de energia.

Foi reconhecido que "*Our Common Future*" representa a reconciliação entre as noções de modernidade e ambientalismo e foi essa noção de desenvolvimento sustentável que foi utilizada no terceiro e, certamente, o evento mais conhecido, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento ou Cimeira da Terra. Em Junho de 1992, cinco anos após o relatório de Brundtland, realizou-se na cidade do Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), também conhecida por Cimeira da Terra ou Rio-92, que serviu para reafirmar o conceito de desenvolvimento sustentável. A Cimeira da Terra, que teve a participação de 170 países, originou grandes resultados.

Em termos substantivos, uma série de acordos emergiram da conferência. A Conferência Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas, estabelecendo metas internacionais para a redução das causas antropogénicas das alterações climáticas. A Convenção sobre a Diversidade Biológica, que estabeleceu metas gerais para conservar a biodiversidade internacional, com o objetivo de utilizar os componentes da biodiversidade de uma forma adequada e que permitam uma distribuição equitativa de benefícios do uso desses recursos. A Convenção sobre a Desertificação, que foi projetada para criar quadros de ação localizados para enfrentar a degradação dos ambientes de seca. O mais notável foi a produção da Agenda 21, que traçou as diretrizes para o desenvolvimento sustentável, destacando as principais questões envolvidas nas alterações ambientais globais e como podem ser resolvidas (Borne, 2014).

Agenda 21

A “Agenda 21” é um documento que está composto por quarenta capítulos contendo recomendações e medidas específicas sobre como alcançar um desenvolvimento sustentável, que deveriam ser implementadas até ao início do século XXI, pelos governos, agências de desenvolvimento, governo local e outros atores envolvidos nas questões ambientais e de desenvolvimento. A “Agenda 21” criticava o modelo de

desenvolvimento válido na altura, considerando-o socialmente injusto do ponto de vista ambiental, e ao mesmo tempo propunha uma nova sociedade, justa e ecologicamente responsável e que fosse simultaneamente produtora e produto do desenvolvimento sustentável (Mateus, 2004).

Desta forma, a “Agenda 21” estabelece uma base sólida para a promoção do desenvolvimento sustentável onde as intervenções a realizar visam principalmente a conservação e manuseamento dos recursos visando o desenvolvimento como a proteção da atmosfera, o combate à desflorestação, desertificação e à seca, a promoção da agricultura sustentável e desenvolvimento rural, a conservação da biodiversidade, a proteção dos recursos de água e dos oceanos e o manuseamento racional de produtos químicos tóxicos e de resíduos perigosos (Nebbia, 2002).

Para além das questões ambientais, a “Agenda 21” aborda outras questões de desenvolvimento como questões sociais e económicas como a cooperação internacional para acelerar o desenvolvimento sustentável, o combate à pobreza, a mudança dos padrões de consumo e as dinâmicas demográficas. De modo a terem um papel mais activo no que se refere ao desenvolvimento sustentável, é importante o fortalecimento do papel de grandes grupos incluindo mulheres, crianças e jovens, povos indígenas e suas comunidades, ONGs, iniciativas de autoridades locais em apoio à Agenda 21, trabalhadores e seus sindicatos, comércio e indústria, comunidade científica e tecnológica e agricultores (Nebbia, 2002).

Quadro 1 – As quatro grandes áreas de ação da Agenda 21 (Fonte: Adaptado de Borne, 2014)

Elementos	Questões
Dimensões sociais e económicas para o desenvolvimento	Pobreza, produção e consumo, saúde, fixação da população
Conservação e gestão dos recursos naturais	Atmosfera, oceanos e mares, florestas, solos, diversidade biológica, ecossistemas, biotecnologia, recursos hídricos, produtos químicos tóxicos, resíduos radioativos perigosos e resíduos sólidos
Reforço do papel de grandes grupos	Jovens, mulheres, povos indígenas, ONGs, autoridades locais, sindicatos, empresas, comunidades científicas e técnicas, agricultores
Meios de implementação	Finanças, tecnologia, informação, sensibilização pública, educação, instrumentos jurídicos, estruturas institucionais

Argumenta-se que a Agenda 21 é o instrumento não vinculativo mais significativo e influente no campo ambiental e estabelece um quadro de metas de longo prazo. É de referir que a Agenda 21 contém a primeira referência à Construção Sustentável.

O ano de 2002 foi palco da Cimeira Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, em Joanesburgo, onde foram reconhecidas falhas na implementação da estratégia

mundial para o desenvolvimento sustentável e ainda o mau funcionamento do financiamento para a implementação da Agenda 21.

A Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável no Rio de Janeiro em 2012 (Rio+20), acontece uma década após a Cimeira Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável em Joanesburgo (2002), também conhecida como Rio+10. No Rio+20, são estabelecidos os *Sustainable Development Goals* (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) para substituir os *Millennium Development Goals* (Objetivos de Desenvolvimento do Milénio) em 2015, data limite dos MDGs. De acordo com Lídia Brito (2012) citada por Borne (2014), os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são diferentes das metas de desenvolvimento do milénio de três diferentes maneiras. Primeiro, MDGs centralizam cerca de sete objetivos sociais e apenas um do meio ambiente. Melhorias sociais e económicas a longo prazo terão impacto no ambiente. Em segundo lugar, enquanto os MDGs estão focados em países em desenvolvimento, os SDGs dizem respeito a todas as nações. Em terceiro, os MDGs foram estabelecidos sem análise prévia e aprofundada.

2.2 Os Pilares do Desenvolvimento Sustentável

O desenvolvimento sustentável tem como base três pilares: o económico, o social e o ambiental, no qual deve existir um equilíbrio dinâmico entre os três. Às três dimensões do desenvolvimento sustentável deve acrescentar-se, ainda, a vertente institucional, que chama a atenção para as questões relativas às formas de governação, das instituições e dos sistemas legislativos e para o quadro da participação dos grupos de interesse e da sociedade civil, considerados como parceiros essenciais na promoção dos objetivos do desenvolvimento sustentável (APA, 2006). O desenvolvimento sustentável só pode ser alcançado se estes três pilares evoluírem de forma harmoniosa. Assim, pode concluir-se que a sustentabilidade envolve o ambiente, a sociedade e a economia. Na figura seguinte apresentam-se os objetivos de sustentabilidade a atingir para cada uma dessas áreas.

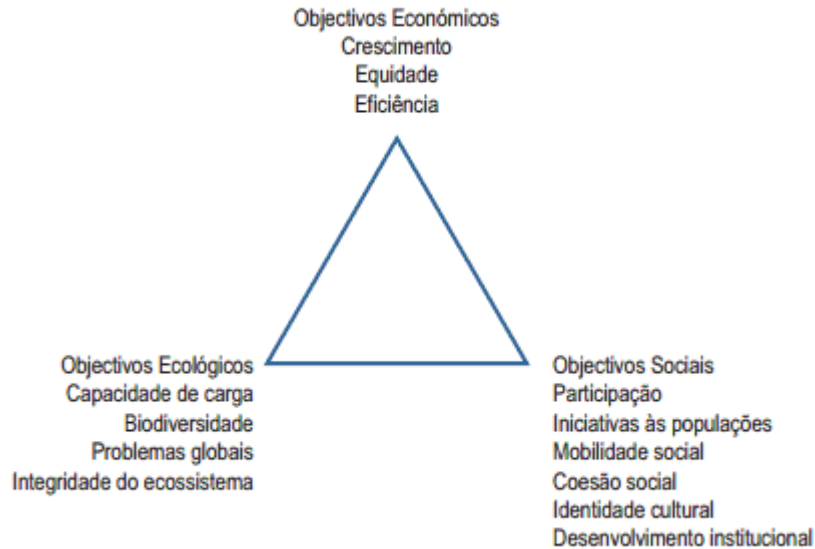


Figura 2 – Objetivos da sustentabilidade na sua tripla dimensão (Fonte: Pinheiro, 2006)

No plano económico, devem ser feitos esforços no sentido de aumentar a eficiência, quer através da redução dos custos operacionais, mas também no que respeita à otimização dos investimentos para o desenvolvimento das infraestruturas de transporte de energia elétrica e de gás natural, incluindo o armazenamento de segurança e estratégico deste importante recurso (BCSD, 2010). No plano ambiental, deve apostar-se no fornecimento de energia a partir de energias renováveis, de forma a prevenir os impactes ambientais ou, quando tal não é possível, tentar minimizar e mitigar esses impactes. No plano social, deve trabalhar-se no sentido de sensibilizar as pessoas para uma gestão ética e socialmente responsável e em que o relacionamento com os diferentes grupos de partes interessadas está assente num conjunto de sólidos valores e princípios (BCSD, 2010).

Atualmente, o pilar que apresenta maior desenvolvimento é o económico, afastando para segundo plano o pilar social, sendo praticamente nulo o desenvolvimento ao nível do pilar ambiental. Esta assimetria na maneira como Homem encara cada um destes três pilares coloca seriamente em risco, a curto prazo, a sobrevivência das gerações futuras (Mateus, 2004).

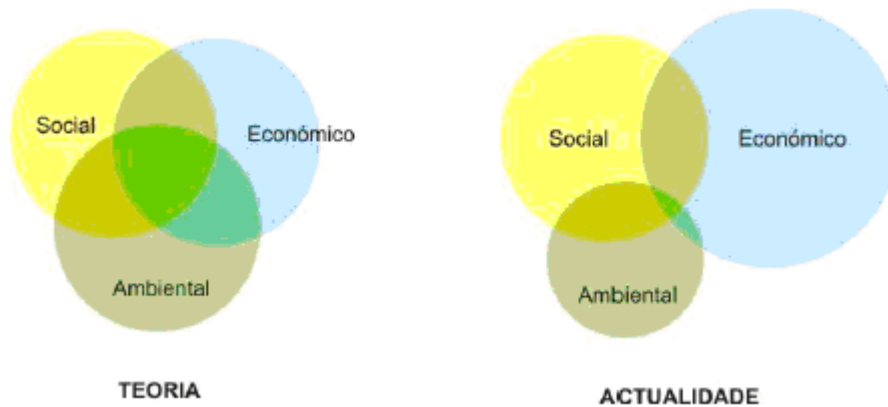


Figura 3 – Desequilíbrio do Desenvolvimento Sustentável (Fonte: Antunes, 2010)

De modo a inverter esta tendência, é necessário desafiar os vários sectores a procurar soluções que contribuam para a sustentabilidade. Para que o desenvolvimento sustentável seja alcançado, é necessário atingir as dimensões que o constituem.

Por sua vez, a indústria da construção tem um papel ativo no desequilíbrio do desenvolvimento uma vez que tem uma generosa participação no PIB (dimensão económica) e é responsável por uma grande parcela na criação de postos de trabalho (dimensão social). No entanto produz impactes significativos no ambiente, como a utilização de recursos naturais, a produção de grandes quantidades de resíduos e a modificação do ambiente natural através das suas intervenções (dimensão ambiental). Segundo Edwards (2005) citado por Antunes (2010), a procura pela sustentabilidade na construção é fundamental e deve assentar no desenvolvimento do edificado sustentável, ambientes construídos sustentáveis e até na criação de comunidades sustentáveis como contributo para a efetiva concretização do Desenvolvimento Sustentável.

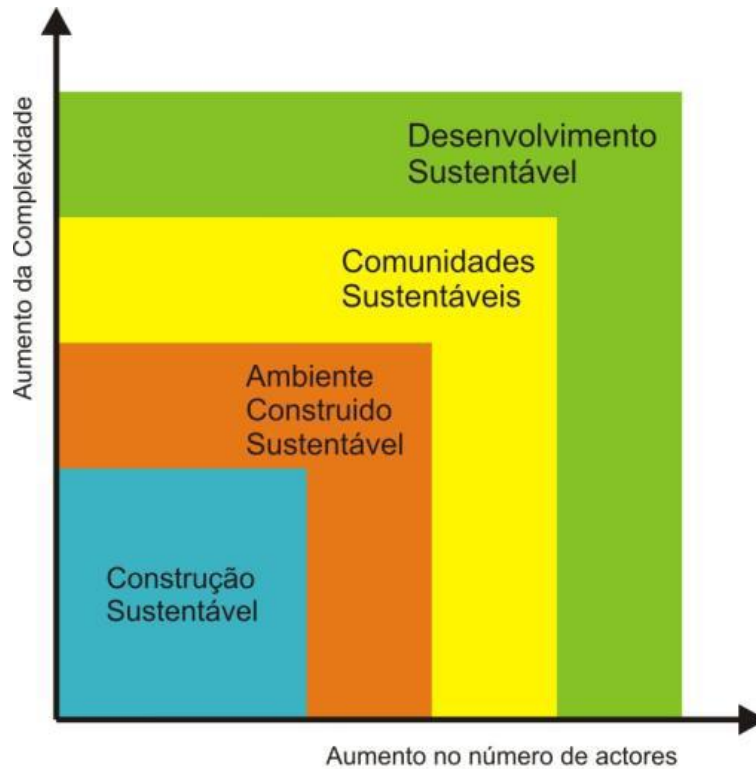


Figura 4 – Contributo da construção sustentável para o desenvolvimento sustentável (Fonte: Antunes, 2010)

O desenvolvimento sustentável possui diferentes dimensões que podem ser analisadas individualmente ou em conjunto. Segundo Sachs (1993), existem cinco dimensões de sustentabilidade: sustentabilidade social, económica, ecológica, espacial e cultural:

1. Dimensão Social: trata-se de um processo de desenvolvimento que reduza substancialmente as diferenças sociais.
2. Dimensão Económica: é baseada numa gestão mais eficiente dos recursos, permitindo um aumento da produção e da riqueza social sem dependência externa.
3. Dimensão Ecológica: baseia-se num sistema mais eficiente com soluções ecologicamente corretas e economicamente viáveis, preservando as fontes de recursos energéticos e naturais e a qualidade do meio ambiente.
4. Dimensão Espacial: pressupõe evitar o excesso de concentração geográfica de populações.
5. Dimensão cultural: propõe um novo modelo que respeita as especificidades de cada ecossistema, de cada cultura e de cada local, evitando o conflito.

2.3 Desenvolvimento Sustentável em Portugal

O desenvolvimento sustentável em Portugal é tratado pela “Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável”, ENDS, publicada em 2002 na sequência da preparação da Cimeira Mundial de Joanesburgo. Posteriormente, foi apresentado o Plano Nacional para o Desenvolvimento Sustentável, reformulando e adaptando o trabalho realizado anteriormente. Esta estratégia foi lançada à discussão pública em Julho de 2004 e assumida para uma eventual Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável, 2005-2015 (Pinheiro, 2006).

Segundo a APA (2006), entende-se por Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS) para o período 2005/15 um conjunto coordenado de atuações que, partindo da situação atual do país, com as suas fragilidades e potencialidades, permitam num horizonte de 12 anos assegurar um crescimento económico célere e vigoroso, uma maior coesão social e um elevado e crescente nível de proteção do ambiente. Este plano pretende uma integração harmoniosa das três dimensões do desenvolvimento sustentável, ambiental, social e económica na conceção e implementação das diferentes políticas públicas.

Este documento visa assegurar o equilíbrio entre a vertente económica, social e ambiental, com os seguintes objetivos (APA, 2006):

- Alteração da atual situação no que respeita à qualificação da população ativa, à formação ao longo da vida e à disponibilidade de competências necessárias para um maior potencial de inovação das empresas.
- Assegurar um crescimento mais rápido da economia portuguesa, que permita retomar a dinâmica de convergência, assentando num crescimento mais rápido da produtividade; esse crescimento deverá ser menos intensivo em consumos energéticos e recursos naturais.
- Assegurar um modelo de desenvolvimento que integre a proteção do ambiente e a valorização do património.
- Contribuir para reduzir o impacto negativo do posicionamento periférico de Portugal na Europa.
- Pretende assegurar que as instituições responsáveis pela satisfação de necessidades básicas na área da saúde, educação, formação e segurança social

sejam capazes de suportar o choque do envelhecimento da população e do amadurecimento etário da população ativa hoje residente.

- Compreende a cooperação internacional em torno da sustentabilidade global, aprofundando o relacionamento e a cooperação internacional.

Contudo, o desenvolvimento sustentável em Portugal pode enfrentar diversos obstáculos como a ineficácia de sistemas de gestão de resíduos, fragilidades nos sistemas de gestão de recursos hídricos, ocupação excessiva e concentrada de espaços de turismo, vulnerabilidade da orla costeira, dependência do desenvolvimento do setor público empresarial e grandes valores de gases de efeito de estufa como, por exemplo, o dióxido de carbono (APA, 2006).

A lógica da sustentabilidade começa a surgir nas empresas nos respetivos relatórios ambientais, sociais ou até mesmo de sustentabilidade. As associações de Defesa do Ambiente de que são exemplo a nível nacional a LPN - Liga para a Proteção da Natureza, o Geota – Grupo de Estudos de Ordenamento do Território e Ambiente, a Quercus - Associação Nacional de Conservação da Natureza ou Confederação Portuguesa das Associações de Defesa do Ambiente (CPADA), têm efetuado propostas de intervenção e contributos importantes para o desenvolvimento sustentável (Pinheiro, 2006).

Neste panorama, a preocupação nas estratégias nacionais com a sustentabilidade do ambiente construído e da construção sustentável começa a estar progressivamente presente.

2.4 Construção Sustentável

Em 1994, foi realizada a Primeira Conferência Mundial sobre Construção Sustentável (*First World Conference for Sustainable Construction*) em Tampa, Florida (EUA), onde o futuro da construção, no contexto de sustentabilidade, foi discutido. Nesta conferência, a construção sustentável foi referida no contexto de aplicação da sustentabilidade às atividades construtivas, sendo definida como a criação e responsabilidade de gestão do ambiente construído baseado nos princípios ecológicos e no uso eficiente de recursos. Foram, deste modo, definidas as seis principais linhas

orientadoras para a sustentabilidade na construção (Kibert, 1994, citado por Pinheiro, 2003):

1. Minimizar o consumo de recursos;
2. Maximizar a reutilização dos recursos;
3. Utilizar recursos renováveis e recicláveis;
4. Proteger o ambiente natural;
5. Criar um ambiente saudável e não tóxico;
6. Fomentar a qualidade ao criar o ambiente construído.

A construção sustentável pretende permitir a integração do homem com a natureza utilizando os recursos naturais. Todas preservam o ambiente e procuram soluções plausíveis. A construção sustentável difere por ser um produto da sociedade moderna tecnológica, recorrendo ou não, a materiais naturais e/ou produtos provenientes da reciclagem de resíduos (Pinheiro, 2006).

Utilizar a localização para tirar vantagem da orientação solar, das brisas dominantes e das características naturais, tais como materiais locais, constituem princípios de construção sustentável que são praticados efetivamente há séculos. Infelizmente esses princípios não são sempre aplicados, levando a que os equipamentos e a energia dita mais “barata” definam os nossos edifícios e o nosso estilo de vida (Pinheiro, 2003).

Com a crescente preocupação nacional em se atingir o conceito de desenvolvimento sustentável, o sector da construção foi alterando a sua forma de atuar e de pensar de modo a torná-lo mais sustentável. Atualmente aliam-se preocupações relativas à qualidade, ao tempo e aos custos associados com as preocupações ambientais relacionadas com o consumo de recursos, as emissões de poluentes, a saúde e a biodiversidade, sendo o grande objetivo final contribuir para a melhoria da qualidade de vida, para o desenvolvimento económico e para a equidade social.

A perspetiva evolutiva para a construção sustentável apela a um novo paradigma da construção, passando do triângulo qualidade - custo – tempo, para incluir também o consumo dos recursos – emissões e saúde – biodiversidade e qualidade do ambiente construído e equidade social – herança cultural, como se pode ver na seguinte figura.

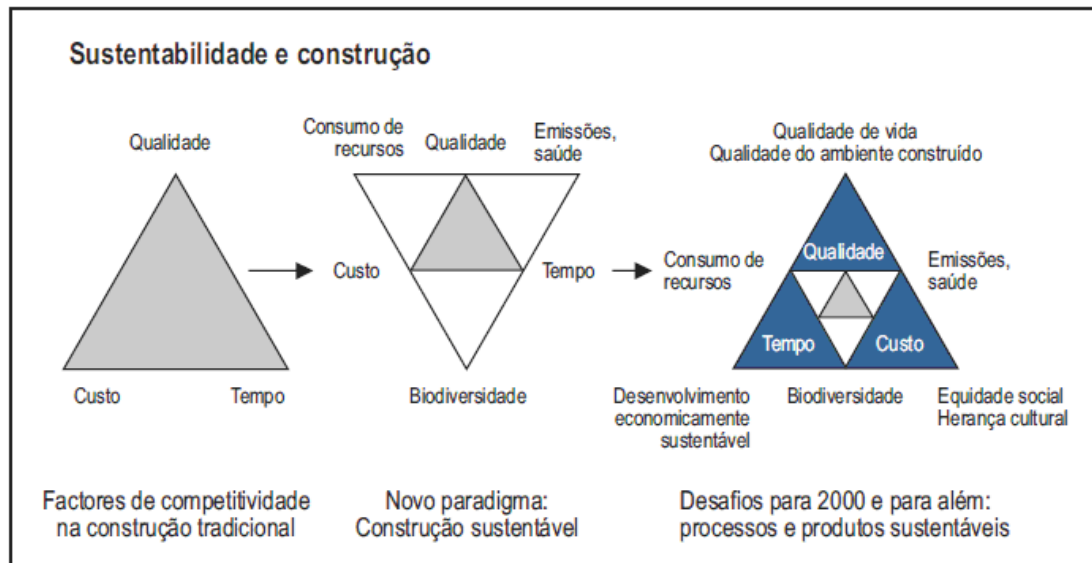


Figura 5 – Evolução das preocupações no sector da construção civil (Fonte: Pinheiro, 2006)

2.5 Conforto Térmico

Conforto térmico pode ser definido como a sensação de bem-estar, relacionada com a temperatura. Isto significa que, à temperatura corporal normal (36.5°C), a taxa de produção de calor é igual à taxa de perda. O equilíbrio da temperatura corporal depende de sete fatores, onde três dos quais dependem do próprio indivíduo: metabolismo, temperatura da pele e da roupa utilizada e os quatro restantes são fatores ambientais tais como: temperatura do ar, temperatura à superfície dos elementos no local envolvente, humidade relativa e a velocidade do ar (Cerdeira, 2011). Também podem existir outros fatores que influenciam o conforto térmico como, por exemplo, o sexo e a idade e o processo de aclimatização e adaptação.

As condições de conforto térmico são, portanto, a conjugação de uma série de variáveis. É certo que as condições ambientais capazes de proporcionar sensação de conforto térmico em habitantes de clima quente e húmido não são as mesmas que proporcionam sensação de conforto em habitantes de clima quente e seco e, muito menos, em habitantes de regiões de clima temperado ou frio (Frota e Schiffer, 2001).

2.5.1 Fatores que Influenciam a Sensação de Conforto Térmico

2.5.1.1 Fatores Individuais

Metabolismo

O balanço térmico no corpo humano é a função da energia produzida no interior do corpo e das perdas térmicas para o exterior. A taxa de utilização de energia pelo corpo é chamada de metabolismo e depende do tipo de atividade efetuada, como se pode ver no Quadro 1. A unidade utilizada para caracterizar a atividade metabólica é o *met*, que corresponde ao calor libertado por uma pessoa em descanso (100 W). Considerando que, em média, as pessoas têm uma superfície de pele de 1,8 m², 1 met corresponde a 58,2 W/m² (Dias de Castro, 2000 citado por Silva, 2006).

Quadro 2 – Taxa de metabolismo correspondente a várias ações
(Fonte: Curado, 2014 adaptado de ISO 7730, 2005)

Atividade	Metabolismo Energético	
	W/m ²	Met
Repouso, deitado	46	0,8
Repouso, sentado	58	1,0
Atividade sedentária	70	1,2
Atividade ligeira	93	1,6
Atividade média	116	2,0
Caminhada em terreno plano:		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

Vestuário

O vestuário funciona como isolante térmico que mantém, junto ao corpo, uma camada de ar mais aquecido ou menos aquecido, conforme seja mais ou menos isolante, conforme seu ajuste ao corpo e conforme a porção de corpo que cobre.

O vestuário adequado será função da temperatura média ambiente, do movimento do ar, do calor produzido pelo organismo e, em alguns casos, da humidade do ar e da atividade a ser desenvolvida pelo indivíduo. Reduz, ainda, a sensibilidade do corpo às variações de temperatura e de velocidade do ar. A sua resistência térmica depende do tipo de tecido, da fibra e do ajuste ao corpo, devendo ser medida através das trocas secas relativas de quem a usa. A sua unidade, "clo", equivale a $0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$ (Frota e Schiffer, 2001).

Quadro 3 – Resistência térmica do vestuário
(Fonte: Curado, 2014 adaptado de ISO 7730, 2005)

Tipo de vestuário	Resistência Térmica	
	$[\text{m}^2 \text{°C/W}]$	[clo]
Nu	0	0
Calções	0,1	0,016
Vestuário tropical	0,3	0,047
Vestuário leve, de verão	0,5	0,078
Vestuário de trabalho	0,7	0,124
Vestuário de inverno	1,0	0,155
Fato completo	1,5	0,233

Se a temperatura interior de um ser humano for inferior a 28 °C , este pode ter sérios problemas cardíacos e de arritmia e se estiver acima de 46 °C , pode ter danos cerebrais irreversíveis. Assim, é imperativo um bom controlo térmico. O objetivo é proporcionar condições exteriores tais, que seja reduzida ao mínimo a necessidade do corpo utilizar os seus mecanismos de regulação térmica (Silva, 2006).

2.5.1.2 Fatores Ambientais

Temperatura do Ar

A principal variável do conforto térmico é a temperatura do ar. Quando a temperatura do ar está alta, o calor produzido pelo corpo através do metabolismo vai sofrer menos perdas. Quando a temperatura está mais baixa, as perdas de calor são maiores.

Velocidade do Ar

A velocidade do ar ocorre em ambientes internos sem necessariamente a ação direta do vento. A movimentação do ar é provocada pela diferença de temperatura entre dois pontos, onde o ar quente se torna mais leve e sobe e o ar frio desce (convecção natural). Quando o ar se desloca por meios mecânicos, como um ventilador, o coeficiente de convecção aumenta, aumentando a sensação de perda de calor (convecção forçada). O deslocamento do ar também aumenta os efeitos de evaporação no corpo humano, retirando a água em contato com a pele com mais eficiência e assim, reduzindo a sensação de calor (Lamberts, 2005).

Humidade do Ar

A humidade do ar intervém na perda de calor por evaporação. Como aproximadamente 25% da energia térmica gerada pelo organismo é eliminada sob a forma de calor latente (10% por respiração e 15% por transpiração), é importante que as condições ambientais favoreçam estas perdas.

À medida que a temperatura aumenta, dificultando as perdas de calor, o organismo aumenta sua eliminação por evaporação. Quanto maior a humidade relativa, menor a eficiência da evaporação na remoção do calor (Lamberts, 2005).

2.6 Consumo de Energia em Portugal

Com o clima económico atual, o consumo de energia que tem vindo a diminuir nos recentes anos, sendo exemplo desta realidade a redução de 6% em 2013 face a 2010 do consumo de energia primária e da redução de 14,3% no consumo de energia final

(DGEG, 2015). Em relação à aposta nas energias renováveis, Portugal tem alcançado resultados positivos nos últimos anos, com a redução da dependência energética do exterior (73,9% em 2013 face a 88,8% em 2005), aumento da produção doméstica de energia para garantir níveis elevados de segurança de abastecimento (26,2% do consumo total de energia primária em 2013 contra 13,0% em 2005) e redução das emissões de GEE (-21,6% em 2012 face a 2005). Esta aposta nas energias renováveis e na eficiência energética tem permitido a Portugal baixar a sua dependência para níveis inferiores a 80%. Em 2013 a dependência energética situou-se nos 73,9% (DGEG, 2015).

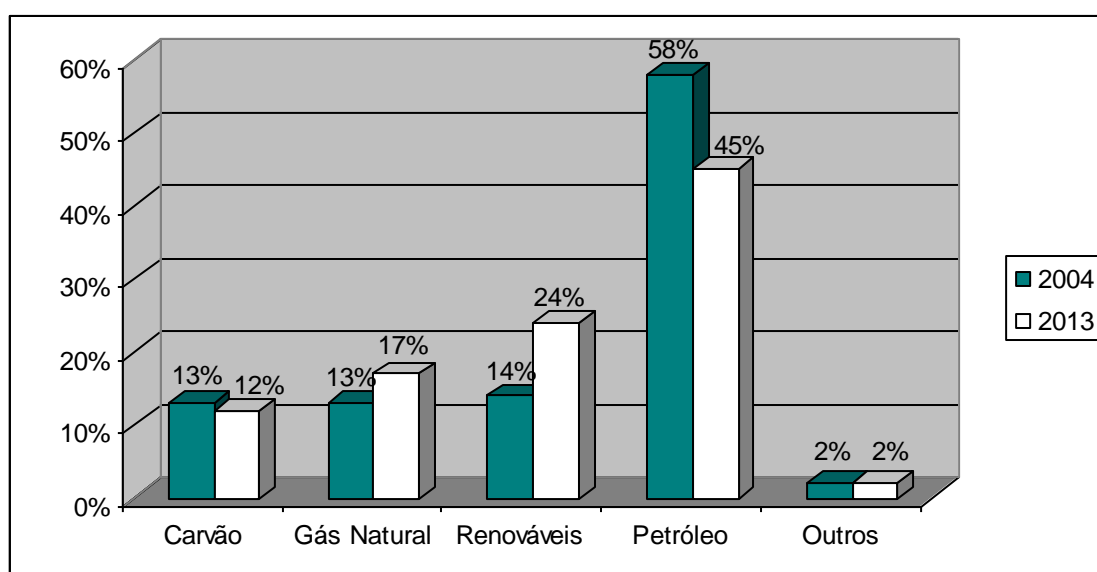


Figura 6 – Versão comparativa do consumo das diferentes fontes de energia em Portugal em 2004 e em 2013 (Fonte: DGEG, 2015)

Quanto ao consumo de energia final por tipo de fonte, verifica-se que o Petróleo, apesar de ter vindo a decrescer nos últimos anos, continua a ser a principal fonte de energia, seguido da Eletricidade e do Gás Natural. A nível setorial, o setor dos Transportes (36%) continua a ser o principal consumidor de energia, seguido da Indústria (32%), Doméstico (17%), Serviços (12%) e Agricultura e Pescas (3%).

2013

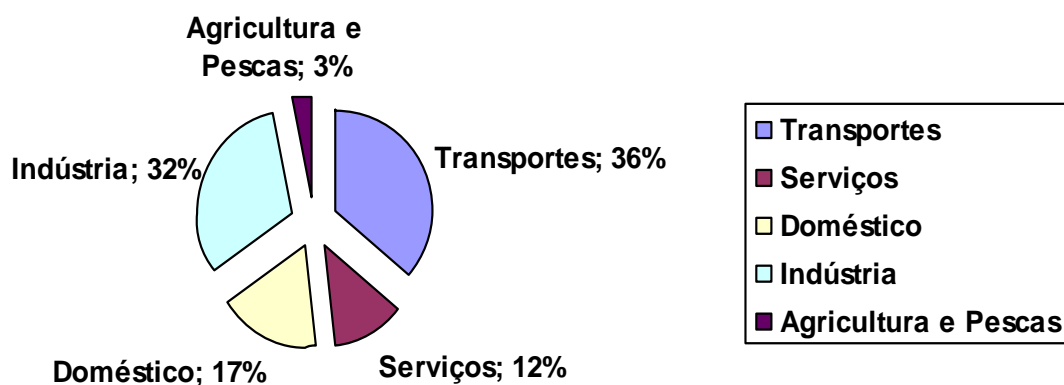


Figura 7 – Consumo de Energia a nível setorial (Fonte: DGEG, 2015)

2.7 Legislação

Em 2002, surgiu a Diretiva Europeia 2002/91/CE, de 16 de Dezembro, com o objetivo de impor limites ao consumo de energia nos edifícios em toda a Europa. Em 2006, esta directiva foi transposta para Portugal através de três Decretos-Lei:

- Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE);
- Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE);
- Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE)

Este regulamento tem como finalidade assegurar a aplicação regulamentar de utilização de sistemas de energias renováveis e condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no RCCTE e no RSECE; certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios; e identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos

edifícios e respetivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior (SCE, 2006).

Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE)

Este regulamento tem como objetivo introduzir algumas medidas de racionalização, fixando limites à potência máxima dos sistemas a instalar num edifício para evitar o seu sobredimensionamento e reduzir os consumos energéticos. É aplicado a edifícios que apresentam consumos efetivos para climatização, podendo ser de aquecimento ou de arrefecimento, conforme as necessidades. Também pode ser aplicado a edifícios residenciais em que os sistemas de climatização a instalar apresentam uma potência térmica superior a 25 kW (RSECE, 2006).

Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)

Este regulamento adota a obrigatoriedade da contabilização das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias com um objectivo específico de favorecimento da introdução dos sistemas de coletores solares ou outras alternativas renováveis. A obrigatoriedade da instalação de painéis solares para a produção de água quente sanitária contribui para o desenvolvimento da energia solar renovável e para a diminuição da poluição e da dependência energética do nosso país (RCCTE, 2006).

Em 2010, foi publicada a Diretiva 2010/31/EU, que veio reformular a diretiva anterior, introduzindo novos conceitos com vista à melhoria do desempenho energético nos edifícios. Esta nova diretiva veio originar a revisão da legislação nacional incluindo, num único diploma, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), sendo os últimos dois parte integrante do primeiro (Rodrigues, 2014). A Diretiva 2010/31/EU estabelece uma maior redução das necessidades energéticas dos edifícios, sendo que os Estados membros devem assegurar que até 2020, todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia e que até 2018, os edifícios novos públicos sejam edifícios com necessidades quase nulas de

energia. Atualmente em Portugal, esta diretiva europeia já foi transposta para o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto.

3. *Passivhaus*

3.1 Conceito *Passivhaus*

Promover a eficiência energética é uma consequência do Protocolo de Quioto. O sector da construção europeia é responsável por cerca de 40% do consumo total de energia. Para reduzir esse valor, a Comissão Europeia (CE) apresentou em 2002 a diretiva de desempenho energético dos edifícios, EPBD (2002/91/CE). Esta diretiva tem levado à introdução da certificação de desempenho energético dos edifícios em muitos países. A Comissão Europeia também destacou que o futuras adaptações do EPBD possam incluir as casas passivas e as casas “low energy” como uma exigência.

Segundo a definição da norma alemã, uma *Passivhaus* é um edifício para o qual o conforto térmico (ISO 7730) pode ser conseguido apenas por pós-aquecimento ou pós-arrefecimento da massa de ar fresco, que é necessária para atingir as condições suficientes de qualidade do ar interior sem a necessidade de recirculação adicional de ar (Feist, 2006). Ou seja, é possível o aquecimento ou arrefecimento da massa de ar sem recorrer a equipamentos adicionais e permitindo atingir as condições suficientes de qualidade de ar interior. A *Passivhaus* é um conceito construtivo que define um padrão que é eficiente sob o ponto de vista energético, confortável, economicamente acessível e ecológico.

Uma *Passivhaus* é um edifício habitacional que não possui necessidades de arrefecimento mecânico, com necessidades de aquecimento muito baixas e que consome até cerca de 90% menos que um edifício comum, apontando para um valor de necessidades de energia para aquecimento inferiores a 15 kW.h/m². Na sua construção, é tido em conta a utilização de elementos construtivos que possibilitam a obtenção do baixo consumo energético que lhe é característico. Usa fontes de calor gratuitas disponíveis (calor libertado pelos habitantes e radiação solar incidente através de envidraçados) e possui um sistema de aquecimento projetado recorrendo

às atuais tecnologias de ponta, como bombas de calor ou geotermia. O sistema inclui normalmente uma unidade de recuperação de calor que reduz as perdas na ventilação (Brandão, 2008).

A estratégia do conceito de edifício passivo considera que é sempre necessário uma renovação de ar nas divisões do edifício, de forma a garantir os requisitos de qualidade do ar interior. É possível usar essa quantidade de ar para colmatar a carga térmica de aquecimento sem aumentar o caudal mássico total, sem ruído e sem recorrer à recirculação de ar, solução que geralmente representa um grande investimento adicional no sistema de aquecimento do edifício. Obter um volume de ar novo suficiente, é imprescindível para assegurar condições saudáveis de habitabilidade do edifício, por isso a ventilação mecânica surge então como uma solução chave tanto na construção dos novos edifícios como na reabilitação dos já existentes. Pode funcionar independentemente do clima desde que se assegure que os edifícios sejam hermeticamente concebidos e assegura consumos energéticos de aquecimento e arrefecimento significativamente baixos. É verdade que os sistemas de ventilação mecânica têm um impacto elevado no investimento inicial, mas se forem concebidos eficientemente, os custos energéticos serão significativamente reduzidos, acabando por compensar o custo inicial (Brandão, 2008).

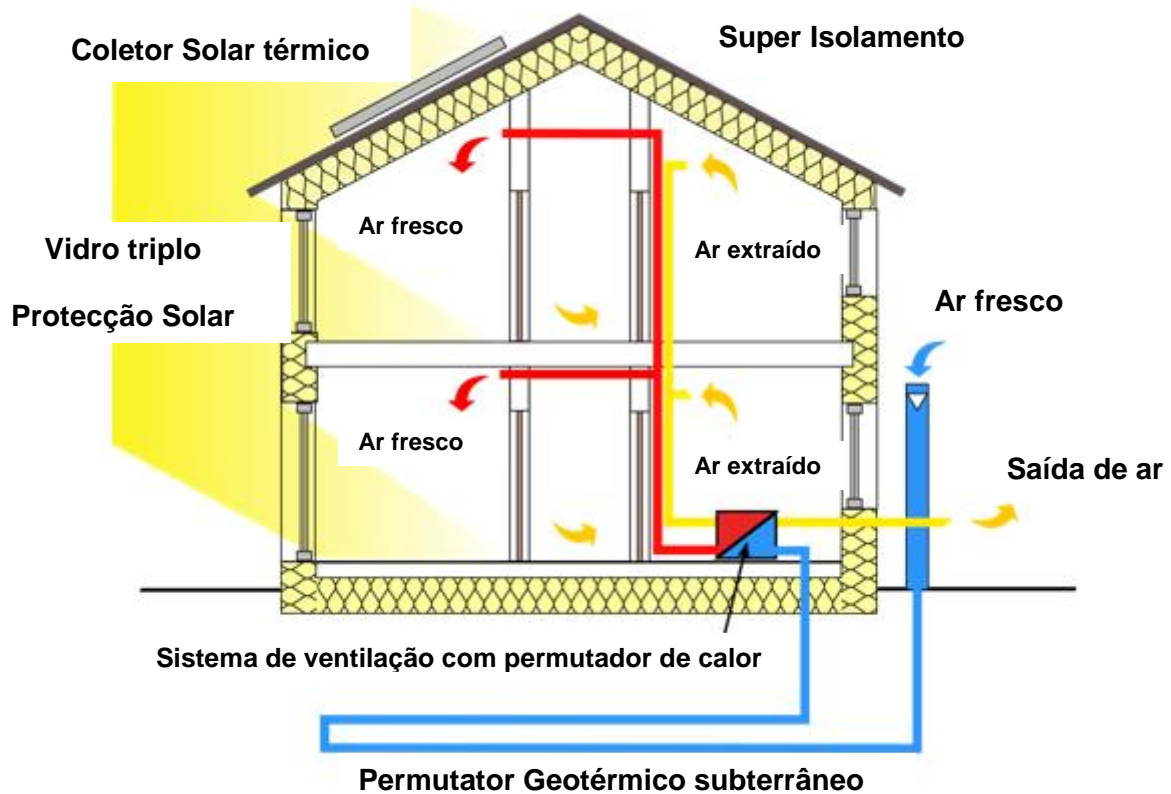


Figura 8 – Funcionamento de uma casa *Passivhaus* (Fonte: Adaptado de Passipedia, 2014)

O conforto térmico é alcançado através da utilização de medidas passivas que podem ser aplicadas não só para o setor residencial, mas também para edifícios comerciais, industriais e públicos. Algumas dessas medidas são bons níveis de isolamento com pontes térmicas mínimas, ganhos solares passivos e fontes de calor internas e boa qualidade do ar interior, fornecido por um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor altamente eficiente.

3.2 Origem da Norma *Passivhaus*

Em meados da década de 1980, o edifício de baixa energia já era um padrão de energia legalmente exigido para novos edifícios na Suécia e na Dinamarca. Mesmo naquela época, o desenvolvimento dos princípios da habitação de baixa energia estava a ser considerado, ou seja, um excelente isolamento térmico, prevenção de pontes térmicas, vidros com isolamento e ventilação controlada. Com base nestas considerações, a "Casa Passiva" foi lançada em Maio de 1988 pelo Professor

Wolfgang Feist, durante um período de pesquisa na Universidade de Lund na Suécia, juntamente com o anfitrião, o professor Bo Adamson (especializado na construção de edifícios). Este estudo resultou na construção de um edifício piloto no ano 1990 situado em Darmstadt, na Alemanha.



Figura 9 - Primeira Casa *Passivhaus* em Darmstadt, na Alemanha (Fonte: Passipedia, 2014)

Para a construção deste edifício piloto, foram produzidas janelas termicamente eficientes, reduzidas as ponte térmicas e a qualidade de ar foi garantida através de uma ventilação regulada. Estas casas foram alvo de monitorização, obtendo-se assim informações sobre a eficiência do seu isolamento, janelas, sistema de recuperação de calor, ventilação, qualidade do ar interior, funcionalidade, entre outras. Após a análise dos dados da monitorização, chegou-se à conclusão que este edifício piloto possui um bom funcionamento em todos os elementos essenciais, até aos dias de hoje. Nesta construção registou-se uma poupança de 90%, em comparação à construção tradicional, sendo que o consumo de energia em aquecimento manteve-se inferior a 10 kW.h/(m² ano) (Passipedia, 2014).

Casas *Passivhaus* foram definidas como edifícios que têm pequena exigência de energia de aquecimento, mesmo no clima da Europa Central e, portanto, não necessitam de aquecimento ativo. Estas casas podem ser mantidas aquecidas de forma passiva, exclusivamente por meio de fontes de calor internas existentes e a energia solar que entra através das janelas.

3.3 Requisitos *Passivhaus*

A norma *Passivhaus* é constituída por três elementos fundamentais: um limite energético, um requisito de qualidade e um conjunto definido de sistemas passivos economicamente viáveis que possibilitam cumprir o limite energético e atingir o requisito de qualidade. Estabelecida cinco anos após a construção da primeira casa (1995), a norma *Passivhaus* consiste fundamentalmente em três requisitos (Passive-On, 2007b):

1. Limite do consumo de energia para aquecimento e arrefecimento (o edifício deve ser concebido de forma a que necessidades anuais de aquecimento não excedam os 15 kWh/(m².ano) e consumo energético total anual em energia primária não excedam os 120 kWh/(m².ano);
2. Qualidade, relativo ao conforto térmico (estanqueidade ao ar < 0,6 h⁻¹ para uma pressão de 50 Pa e temperatura interior mínima de 20 °C e máxima de 26 °C);
3. Utilização de sistemas passivos que permitem cumprir o limite de consumo de energia e de qualidade a um custo não muito elevado.

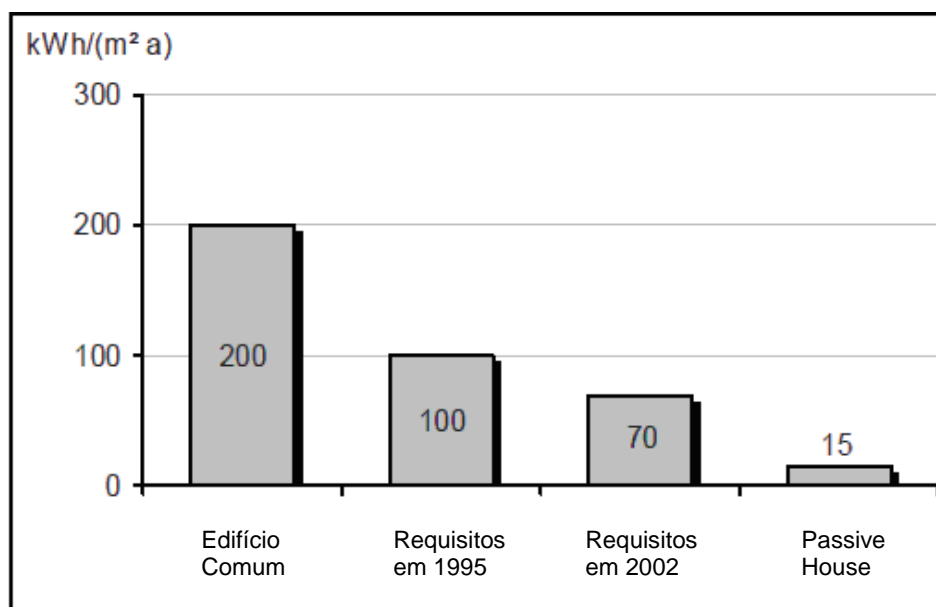


Figura 10 - Consumo de energia anual para aquecimento para casas individuais (Adaptado de Koukkari e Bragança, 2011)

A norma já contou com todas as características do que é conhecido hoje como o atual Padrão alemão *Passivhaus*: muito bom isolamento, incluindo a redução de pontes térmicas e janelas bem isoladas, boa tensão do ar e uma sistema de ventilação com recuperação de calor altamente eficiente.

3.4 Certificação *Passivhaus*

Para que um edifício seja classificado de casa passiva, ou seja, que possua um certificado "*Quality-Approved Passive House*", terá que ser qualificado na fase de projeto e após a conclusão da obra. Esta certificação é feita pelo *Passivhaus Institute* ou por outra entidade credenciada. O edifício só recebe esta certificação se cumprir todos os requisitos exigidos. Estes variam com a utilização dada, se é para habitação ou para serviços, ou caso se trate de uma construção nova ou reabilitação. O balanço térmico e energético das suas soluções adotadas é obtido através da "*Passive House Planning Package*" (PHPP).

A atual metodologia *Passivhaus* define critérios de exigência, para os países da Europa central que consistem em (*Passive-On*, 2007b):

- Critério de aquecimento: as necessidades de aquecimento não podem exceder o limite de 15 kW.h/(m² ano);
- Critério de arrefecimento: as necessidades de arrefecimento não podem exceder o limite de 15 kW.h/(m² ano);
- Critério de energia primária: o consumo de energia de todos os equipamentos elétricos, incluindo o aquecimento do ambiente e águas quentes sanitárias não deverá exceder o limite de 120 kW.h/(m² ano);
- Estanquidade do ar: é efetuado um teste de pressurização na envolvente do edifício de acordo com a norma EN 13829, em que o resultado não deve exceder 0,6 h⁻¹.
- Critério de conforto da temperatura interior no inverno: a temperatura no interior do edifício deve ser mantida acima dos 20°C.

Na Europa central (ex. Alemanha, Áustria, etc.) o desenho passivo é associado à metodologia *Passivhaus*, o que não acontece com os países do Sul da Europa (ex. Espanha, Portugal, Itália e Grécia). Nestes países para a maioria dos arquitetos e engenheiros, o conceito de casa passiva geralmente significa qualquer casa construída segundo os princípios do desenho solar passivo. Muitos profissionais da área discordam ao associar-se o termo genérico "passivo" com uma norma específica de edifícios, que propõe o uso de um sistema ativo de ventilação. Tomando em consideração as variações climáticas e filosóficas mencionadas anteriormente, em

2007, o projeto *Passive-On* elaborou uma proposta de revisão para a aplicação do conceito *Passivhaus* em climas quentes da Europa. As propostas feitas pelo projeto *Passive-On* para climas quentes da Europa são (*Passive-On*, 2007b):

- Critério de aquecimento: as necessidades de aquecimento não podem exceder o limite de 15 kW.h/(m² ano);
- Critério de arrefecimento: as necessidades de arrefecimento não podem exceder o limite de 15 kW.h/(m² ano);
- Critério de energia primária: o consumo de energia de todos os equipamentos elétricos, incluindo o aquecimento do ambiente e da água quente sanitária não deverá exceder o limite de 120 kW.h/(m² ano);
- Estanquidade do ar: a qualidade do ar interior e o elevado nível de conforto térmico é obtido através de um sistema ativo de ventilação, pelo que a envolvente deve cumprir o teste de pressurização (50 Pa), de acordo com a norma EN 13829, em não mais de 0,6 h⁻¹. Quando a sua localização possui condições de projeto com temperaturas acima dos 0°C, o teste de pressurização tem um limite até 1 h⁻¹, sendo suficiente para se atingir o critério de aquecimento.
- Critério de conforto da temperatura interior no inverno: a temperatura no interior do edifício deve ser mantida acima dos 20°C.
- Critério de conforto da temperatura interior no verão: a temperatura no interior do edifício deve permanecer no intervalo de conforto definida na norma EN 15251, se existir um sistema arrefecimento ativo consegue-se manter a temperatura abaixo dos 26°C não permitindo uma excedência da temperatura de 26°C num intervalo de tempo superior a 10% durante a estação de arrefecimento.

3.5 Design *Passivhaus*

O conceito desenvolvido pelos alemães tem como principal objetivo reduzir as necessidades de aquecimento e arrefecimento, mantendo os padrões de qualidade e conforto interior. Para isso, a norma baseia-se em sete princípios básicos fundamentais na construção de uma *Passivhaus* (Fenercom, 2011):

- Super isolamento;
- Eliminação das pontes térmicas e envolvente opaca;

-
- Estanqueidade ao ar (controlo das infiltrações);
 - Ventilação mecânica com sistema de recuperação de calor;
 - Vãos envidraçados de alta qualidade térmica;
 - Otimização dos ganhos solares e dos ganhos internos;
 - Modelação energética de ganhos e perdas através do programa PHPP.

Segundo o *Passive House Institute*, estas estratégias na construção de uma casa passiva são fundamentais para se obter um edifício de elevada eficiência. A isto terão de se juntar equipamentos, tais como eletrodomésticos ou outros consumidores de eletricidade, que sejam também eles eficientes, já que a norma contempla também um máximo para o consumo de eletricidade.

3.5.1 Super Isolamento

Em edifícios de baixo consumo energético, toda a envolvente do edifício é altamente isolada. A envolvente do edifício consiste em todos os elementos de construção que separam o interior a partir do exterior. O seu principal objetivo é proporcionar um clima interior confortável independentemente do clima exterior que é determinado pelo tempo. Durante os períodos frios, a temperatura no interior do edifício é geralmente mais elevada do que a exterior. Como resultado, o calor é perdido através da envolvente do edifício e, a menos que este calor seja substituído, o interior do edifício arrefece para se ajustar à temperatura exterior. O inverso aplica-se para períodos quentes com o calor excessivo a entrar no edifício através da sua envolvente. Portanto, é necessário restringir o fluxo de calor em qualquer edifício, independentemente do clima (Passipedia, 2014).

Este princípio é muito importante em casas passivas porque o isolamento de qualidade é uma forma de poupança de energia. As perdas de calor através das paredes externas e telhados são responsáveis por mais de 70% do total de perdas de calor em edifícios existentes (Passipedia, 2014). Portanto, melhorar o isolamento térmico é a maneira mais eficaz para economizar energia. Ao mesmo tempo, ele vai ajudar a melhorar o conforto térmico e evitar danos estruturais.

Relativamente às casas passivas, os valores do coeficiente de transmissão térmica (U) de paredes externas, lajes e telhados variam entre 0,10 - 0,15 W/(m².°C) (para o clima europeu Central; esses valores podem ser um pouco maiores ou menores,

dependendo do clima) e para um isolamento eficiente ter-se-á que colocar na envolvente exterior em média 0,30 m de isolamento (Passipedia, 2014). Para os requisitos climáticos de Portugal, são indicados 0,15 m de isolamento na cobertura e 0,10 m nas paredes, atingindo coeficientes de transmissão térmica de 0,23 W/(m².°C) e 0,32 W/(m².°C), respetivamente (*Passive-On*, 2007b).

Para se atingir este coeficiente de transmissão térmico para pavimentos não é necessário uma espessura de isolamento tão elevada como nas paredes e coberturas, tendo em conta que a temperatura do solo oscila pouco durante todo o ano e, assim, terá reduzidas perdas térmicas. As coberturas são os locais que necessitam de uma espessura de isolamento superior ao das paredes exteriores, devido ao facto de estarem expostas ao ambiente exterior durante todo o ano (Passipedia, 2014). O isolamento do pavimento (uma faixa de 0,8 m) é benéfico em climas frios, contudo, quando as cargas de arrefecimento são mais significativas que as de aquecimento, somente uma faixa de 1 m localizada debaixo do pavimento em todo o perímetro do edifício deve ser isolada para permitir que o centro da casa liberte calor para o solo durante o verão (*Passive-On*, 2007d).

As perdas de calor das paredes envolventes para o exterior durante períodos frios são bastante reduzidas e a temperatura interior é mantida durante mais tempo, reduzindo assim as necessidades de aquecimento. Isto leva a um nível elevado de conforto térmico e à prevenção de danos devido à acumulação de humidade. Em climas mais quentes ou durante os meses de verão, um bom isolamento também fornece proteção contra o calor. Sombreamento eficaz para as janelas e ventilação suficiente também são essenciais para garantir um nível máximo de conforto durante os períodos quentes (Passipedia, 2014).

Outro princípio fundamental é a minimização das pontes térmicas, onde o isolamento é aplicado em torno de todo o edifício, de modo a eliminar cantos frios, bem como as perdas de calor excessivas. Este método é outro princípio essencial garantir um elevado nível de qualidade e conforto em casas passivas, evitando danos na construção devido à humidade.

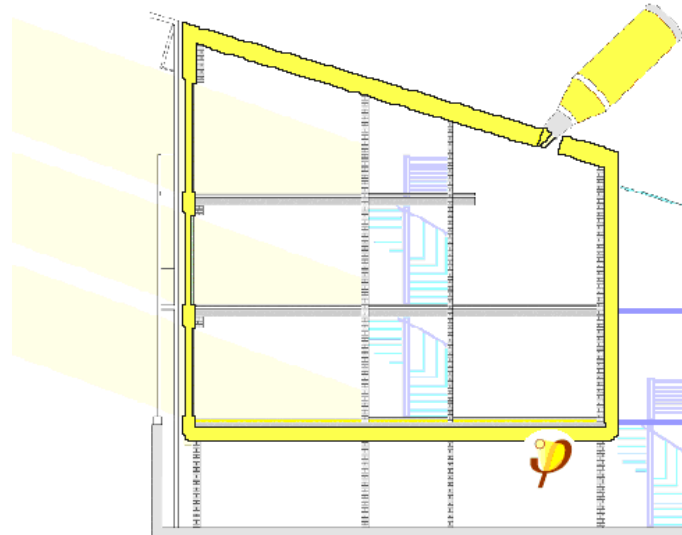


Figura 11 - Isolamento na envoltória do edifício (Fonte: *Passive House Institute*, 2014)

As paredes externas são a maior causa de calor perdido. Isolamento dos tetos, telhados e janelas oferecem um potencial de poupança de energia. Exemplos de edifícios antigos renovados mostram que pelo menos 65%, e na maioria dos casos, quase até 90% da energia de aquecimento pode ser salva através de medidas de eficiência. Isolamento do lado de fora da parede exterior também protege a estrutura do edifício, pois a parede vai estar protegida contra as influências atmosféricas e permanecerá quente e seca. Também não haverá qualquer risco de crescimento de fungos devido à humidade interna. Além disso, as superfícies interiores permanecem agradavelmente quentes, mesmo com temperaturas exteriores extremamente frias, e as paredes externas não aquecem tanto durante as temperaturas extremamente quentes (Passipedia, 2014).

3.5.2 Eliminação das pontes térmicas e envoltória opaca

O calor é transferido a partir do espaço aquecido para o espaço exterior. Ao fazer isso, segue o caminho de menor resistência. Uma ponte térmica é uma área localizada na envoltória do edifício onde o fluxo de calor é diferente (geralmente aumenta) em comparação com as áreas adjacentes (se houver uma diferença de temperatura entre o interior e o exterior).

Os efeitos de pontes térmicas podem ser perdas de calor e humidade em componentes de construção, levando ao crescimento de fungos.

Ambos os efeitos das pontes térmicas podem ser evitados em casas passivas se a temperatura interior estiver alta em toda a envolvente, evitando níveis críticos de humidade e as perdas de calor adicionais, que se tornam insignificantes. Se as perdas de calor das pontes térmicas forem menores do que um valor limite (de $0,01 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$), são cumpridos os critérios da norma para a eliminação de pontes térmicas. Assim, aumenta durabilidade da construção e a energia de aquecimento é armazenada.

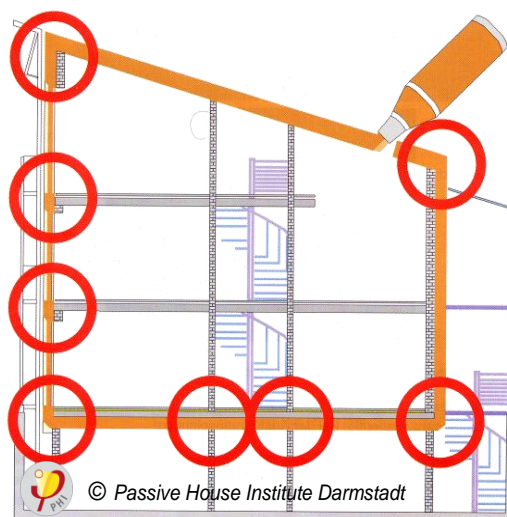


Figura 12 – Eliminação de pontes térmicas na envolvente de um edifício (Fonte: *Passive House Institute*, 2014)

A estratégia para um isolamento térmico eficiente é a redução dos efeitos das pontes térmicas. Algumas medidas que devem ser tomadas em consideração de modo a minimizar as pontes térmicas (*Passive-On*, 2007d):

- Especificar e desenhar pormenores construtivos que sirvam de apoio à execução;
- Aplicar isolamento térmico de forma contínua pela envolvente exterior do edifício;
- Se a interrupção da camada de isolamento é inevitável, usar um material com a maior resistência térmica possível;
- Instalação das janelas na camada do isolante e cobrir parte da estrutura com isolamento.

As camadas de isolamento devem ter espessura de isolamento mínimo (0,3 m na Casa Passiva) e os pontos críticos devem ser identificados, por exemplo, o ponto base da parede de tijolos no teto. Assim, as pontes térmicas deixam de ser significativas e o coeficiente de transmissão térmica nessa zona vai ser ligeiramente superior.

3.5.3 Estanqueidade ao ar

A envolvente de um edifício podem causar um grande número de problemas, particularmente em climas mais frios ou durante os períodos mais frios. Um elevado nível de estanqueidade numa casa passiva é importante para obter uma temperatura interna uniforme sem correntes de ar. Fluxos de ar a partir do interior para o exterior através de fissuras e brechas resultam num elevado risco de condensação na construção. A infiltração de ar frio vai aumentar as diferenças de temperatura entre diferentes andares de um edifício, aumentando a necessidade de aquecimento do espaço.

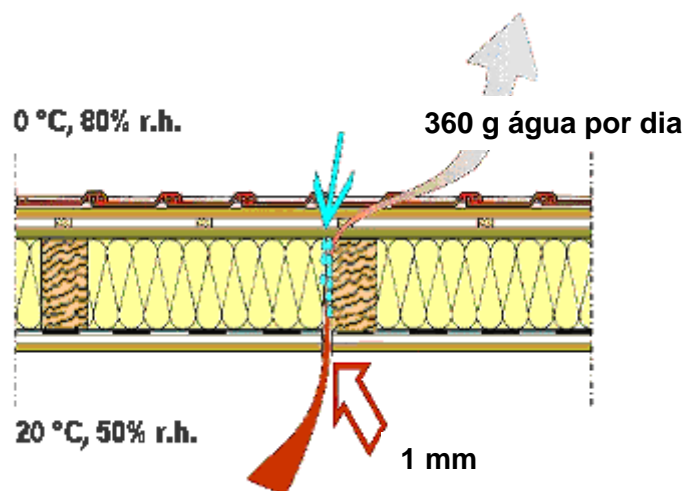


Figura 13 - Condensação devido a fissuras (Fonte: Adaptado de *Passive House Institute*, 2014)

Em muitos climas, a norma *Passivhaus* exige sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor para o fornecimento de ar. Neste caso, é exigida uma estanqueidade ao ar excelente, pois se a envolvente do edifício não é suficientemente selada, a recuperação de calor não vai funcionar corretamente, o que vai levar ao elevado consumo de energia. Em climas moderados, é possível construir uma *Passivhaus* sem sistemas de recuperação de calor. Nesse caso, se o sistema de ventilação não estiver presente, a estanqueidade não é tão importante. Pelo contrário, nos edifícios bem selados sem sistemas de ventilação poderão correr o risco de má qualidade do ar interior e excesso de humidade (*Passive-On*, 2007d).

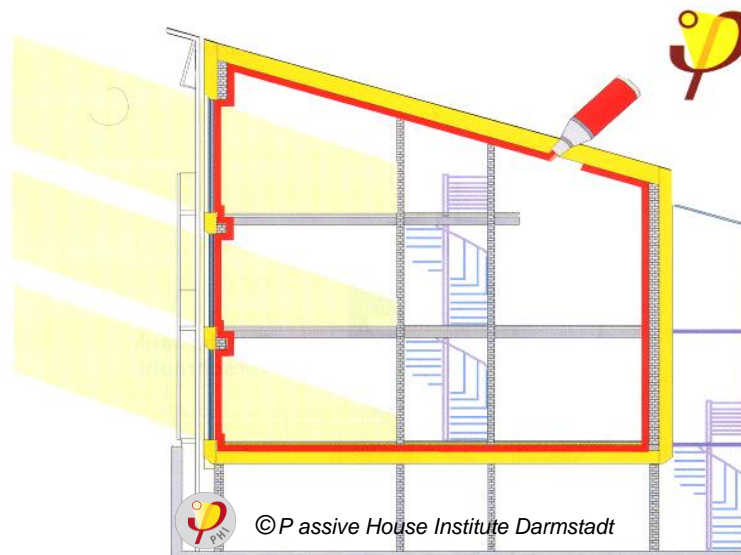


Figura 14 – Estanqueidade ao ar na envolvente de um edifício (Fonte: *Passive House Institute*, 2014)

Estanqueidade pode ser testada através de um teste chamado “*Blower Door Test*”. Neste procedimento, um ventilador é colocado numa porta exterior ou numa janela que cria uma diferença de pressão de 50 Pa. A taxa de troca de ar correspondente do edifício indica o nível de estanqueidade e a fuga de ar através da envolvente do edifício deve ser inferior a 0,6 vezes o volume de casa por hora quando a casa é pressurizada a 50 Pa (*Passive-On*, 2007d).

3.5.4 Ventilação mecânica com sistema de recuperação de calor

Perdas por ventilação são responsáveis por uma componente significativa de todas as perdas de calor num edifício com baixa eficiência energética. A única forma de reduzir estas perdas mantendo a qualidade do ar interior, é recuperar algum do calor perdido. Utilizando uma ventilação natural através de janelas abertas no inverno, todo o calor do edifício é perdido a partir da saída de ar quente.

Atualmente, a única maneira de recuperar as perdas de calor por ventilação e fornecer consistentemente boa qualidade do ar é usando Ventilação Mecânica com recuperação de calor (MVHR). O permutador aproveita o calor do ar de saída para aquecer o ar de entrada. Este sistema consiste na recuperação de energia dos fluxos de ar de saída proveniente das casas de banho e cozinhas, passando através de um permutador de calor. O ar quente de saída cruza-se, sem se misturar, com o ar de entrada que vai aquecer as restantes divisões. Estes sistemas devem ser altamente

eficientes, de baixo consumo, com baixas taxas de renovação (0,3 renovações por hora) e com bom isolante acústico (Fenercom, 2011).

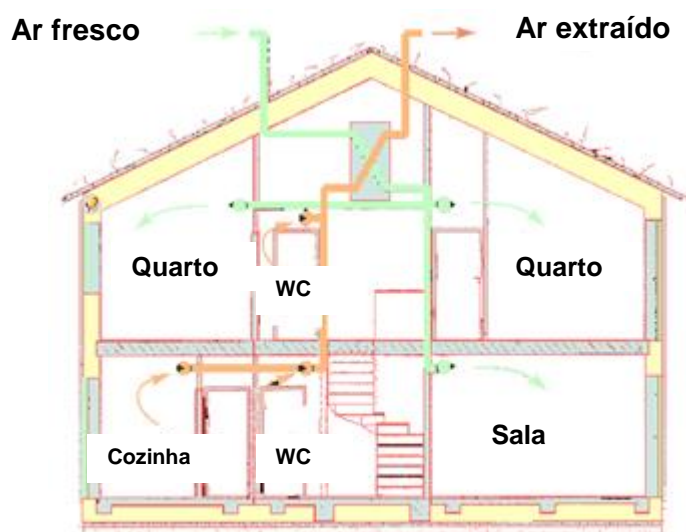


Figura 15 – Recuperação de calor através da ventilação (Fonte: Adaptado de *Passive House Institute*, 2014)

3.5.5 Vãos envidraçados de alta qualidade térmica

Os vãos envidraçados são um fator essencial para assegurar condições interiores agradáveis. Em climas frios, janelas mal isoladas vão causar superfícies relativamente frias na fachada e vão exigir aquecimento ativo perto das janelas para compensar correntes de ar e frio causado pelas superfícies frias. Janelas altamente isoladas, por outro lado, vão dar um contributo ativo para aumentar o nível de conforto. Os vãos envidraçados de alta qualidade são desenvolvidos especificamente para atender aos requisitos de casas passivas.

Num edifício passivo da Europa Central, os envidraçados possuem coeficientes de transmissão térmica baixos (entre 0,85 e 0,70 W/(m².°C)) . As janelas são constituídas de vidros triplos, com caixilharias isolantes e com baixa emissividade e um fator solar o mais elevado possível (0,5) (Passipedia, 2014). Desta forma, é mantido o calor no interior do edifício no inverno e possibilita temperaturas mais baixas no interior do edifício durante o verão, através da reflexão da radiação infravermelha do Sol para o exterior. O envidraçado de um edifício passivo pode constituir um elemento fonte de ganhos adicionais, o que implica que não esteja excessivamente sombreado e esteja predominantemente orientado a Sul (Fenercom, 2011).

3.6 Projeto *Passive-On*

O Projeto *Passive-On* é um projeto de pesquisa que foi financiado no âmbito do Programa *Intelligent Energy* para o programa SAVE europeu e é coordenado pelo grupo de investigação *Efficiency Research Group* do Politécnico de Milão. Em Portugal, os parceiros do projeto são a *Natural Works* e o INETI (Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação). O projeto trabalhou para promover casas passivas e com a norma *Passivhaus* em climas quentes. Nestas regiões, o consumo de energia para climatização do espaço interior não resulta somente da procura de casas aquecidas no inverno mas também, e em alguns casos mais significativamente, em conseguir casas frescas no verão reduzindo ao mínimo o consumo energético. Este projeto propôs algumas alterações à atual norma *Passivhaus* Alemã para a adaptar a climas quentes. Analisa, também, a questão da sua aplicabilidade a países do sul da Europa (Portugal, Espanha e Itália), mas também está associado a países como o Reino Unido e a França. Este projeto levou a três resultados principais (*Passive-On*, 2007a):

1. Para os arquitetos e *designers*, o projeto desenvolveu orientações para o desenvolvimento de Casas Passivas economicamente viáveis, com baixo investimento inicial, energeticamente eficientes em todas as estações do ano, em climas com necessidades de aquecimento e arrefecimento. As diretrizes serão dirigidas aos gabinetes de arquitetura pequenos, típicos de Espanha e de Portugal, que tendem a manter soluções antigas devido aos baixos recursos para o desenvolvimento de projetos inovadores. Uma parte integral das diretrizes do projeto é o programa Pacote de Planeamento da Casa Passiva (PHPP) desenvolvido pelo Instituto *Passivhaus* da Alemanha, onde o Projeto *Passive-On* tentará alargar o programa PHPP ao cálculo das cargas de arrefecimento e analisar soluções passivas de arrefecimento. Deste modo, ao estender o conceito da Casa Passiva à região Mediterrânica, o projeto vai adaptar a definição do modelo de Casa Passiva, tendo em conta as necessidades energéticas das habitações.

2. Para a Comissão Europeia, o projeto fornecerá um relatório do alcance e estratégia onde serão sugeridas uma série de propostas políticas, examinando as barreiras e as soluções que a UE, os governos nacionais e locais podem adotar para promover uma difusão maior de casas passivas;

3. Por último, o projeto tem procurado disseminar o conceito de Casas Passivas e o padrão *Passivhaus* em países parceiros do projeto.

O resultado da revisão da definição da norma *Passivhaus* nos países do Mediterrâneo teve como principais alterações (*Passive-On*, 2007a):

- A introdução de um limite explícito de necessidades de arrefecimento no verão (15 kW.h/(m².ano));
- Condições de conforto aceitáveis em climas quentes: requisitos mínimos para o conforto no verão; as temperaturas interiores de verão não devem exceder as temperaturas do conforto adaptativo como definidas na norma EN 15251. Utilizando o modelo de conforto adaptativo garantem-se temperaturas confortáveis compatíveis com o desenho passivo;
- Atenuação do limite da estanquidade do ar da envolvente do edifício para $n_{50} \leq 1 \text{ h}^{-1}$ possibilitando o cumprimento da norma *Passivhaus* sem a necessidade de um sistema de ventilação ativo.

Este projeto, para além de propor algumas alterações à atual norma *Passivhaus* Alemã, alcançou também alguns resultados (*Passive-On*, 2007c):

- Diretrizes de projeto: A norma *Passivhaus* em climas quentes da Europa – diretrizes de projeto;
- Revisão da definição da norma *Passivhaus* integrando cargas de arrefecimento e soluções para arrefecimento e a atualização do programa Pacote de Planeamento de Casa *Passivhaus* (PHPP);
- Um relatório de estratégia dos mecanismos de apoio ao desenvolvimento do mercado de casas passivas.

3.6.1 *Passivhaus* em Climas Quentes da Europa

O Projeto *Passive-On*, perante a eficácia da norma *Passivhaus* para países do Norte e Centro da Europa, desenvolveu uma proposta para a adaptação do conceito para os países caracterizados por climas quentes, como é o caso dos países do Sul da Europa. Esta nova norma foi aplicada a cinco países parceiros sob condições climáticas e socioeconómicas distintas da aplicação original na Alemanha: Portugal, Reino Unido, Espanha, Itália e França.

O aspeto mais interessante desta nova adaptação é a definição do limite de energia necessária para arrefecimento nos países de climas quentes, o que não se verifica nos outros países europeus devido ao seu clima frio.

3.6.1.1 Portugal

A proposta para a aplicação da norma *Passivhaus* em Portugal toma em consideração o clima local de Lisboa, as normas de construção e o contexto técnico e económico. A proposta do projeto *Passive-On* (2007b) consiste numa casa (planta retangular) com uma área útil total de 110 m² com dois quartos distribuídos por um piso único e um telhado plano, que cumpre a regulamentação energética em vigor (RCCTE, DL 80/2006).

O nível de isolamento apresentado nas paredes e na cobertura excedem os requisitos mínimos nacionais e a infiltração do ar é controlada (cerca de 0.8 rph a 50Pa). Apesar disso, o projeto tem em conta três aspetos mais importantes do que o isolamento ou a estanquidade: a relação com o sol, ventilação para arrefecimento e forte inércia térmica para controlar as variações de temperatura (*Passive-On*, 2007b).

A radiação solar em Portugal é muito elevada, logo este vai ser um aspeto importante pois a radiação solar vai ser captada diretamente (janelas) e indiretamente (sistemas solares térmicos). Consiste em grandes janelas orientadas principalmente a sul aumentando os ganhos úteis solares durante o inverno, enquanto que menores áreas de envidraçado estão localizadas a este e a oeste com áreas mínimas orientadas a norte. A proteção solar é escolhida de acordo com a orientação: palas nas janelas a sul, assim reduzindo a incidência solar no verão, e estores venezianos exteriores em todas as janelas. Outro aspeto proposto é a utilização de um sistema solar térmico que fornece a maior parte das necessidades energéticas para aquecimento da casa, onde os painéis solares são utilizados para aquecimento de águas sanitárias e, também, para aquecimento ambiente, com o aumento da área de captação de painéis e usando um sistema hidráulico de calor a baixa temperatura (por exemplo pavimento radiante). A capacidade do sistema de aquecimento e arrefecimento é limitada a 10 W/m², tal como dita a norma. O custo extra da proposta *Passivhaus* em Portugal é de 57 €/m² com um período de retorno do investimento de 12 anos (*Passive-On*, 2007b).

Para regular a temperatura interior, de modo a reduzir as perdas e os ganhos de calor, são propostos 150 mm e 100 mm de isolamento para o cobertura e paredes exteriores, com valores de U de 0,23 W/(m².°C) e 0,32 W/(m².°C), respetivamente. Quanto ao perímetro por debaixo do pavimento, deve-se isolar uma faixa de 1 m do perímetro para permitir que o centro da casa liberte calor para o solo durante o verão (*Passive-On*, 2007b).

Os envidraçados orientados a sul correspondem a cerca de 60% da área total, sendo que 20% da área envidraçada está orientada a este e outros 20% a oeste. A casa tem aproximadamente 1,2 m² de envidraçado a sul para cada 10 m² de área útil (um total de 2,1 m² de envidraçado por cada 10 m² de área útil de pavimento). Relativamente ao tipo de vidro, é sugerido o vidro duplo típico por ser economicamente mais viável em relação aos vidros duplos de baixa emissividade (valores de U de 2,9 W/(m².°C) para o vidro duplo incolor e 1,9 W/(m².°C) para o vidro de baixa emissividade) (*Passive-On*, 2007b).

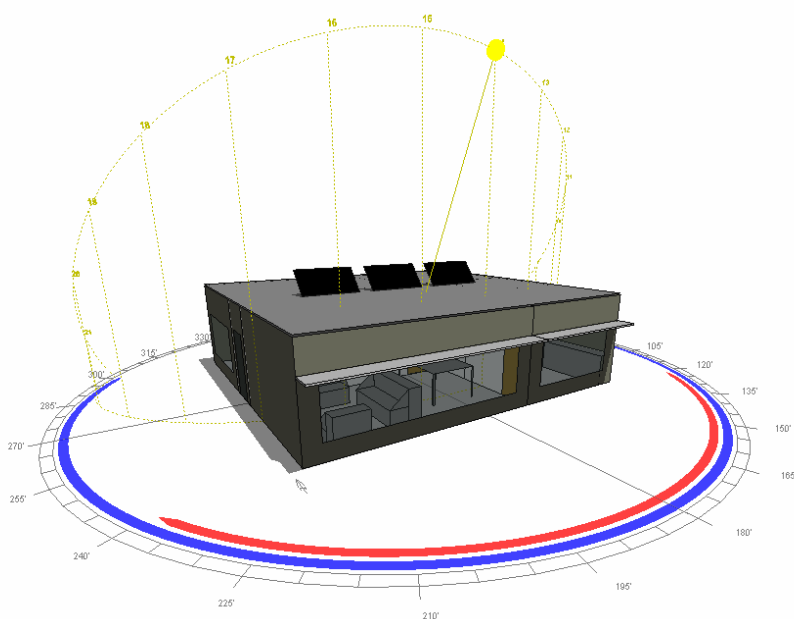


Figura 16 – Incidência solar de verão, vista de sudoeste (Fonte: *Passive-On*, 2007b)

Em relação ao sistema solar térmico, os painéis solares estão orientados a sul com uma inclinação do plano horizontal de 50°, para aumentar a eficiência durante o inverno. Devem ser utilizados dispositivos de proteção solar, principalmente em espaços orientados a sul e a oeste, como estores e palas, de modo a evitar o sobreaquecimento durante a estação de arrefecimento. Deve-se, também, combinar a forte inércia térmica com a ventilação, principalmente noturna, quando a temperatura

exterior desce consideravelmente. Para libertar o calor armazenado nas paredes e no pavimento, deve adotar uma estratégia de ventilação cruzada, onde nos quartos a ventilação deve ocorrer no início da noite e nos restantes espaços, durante a noite. É proposto a utilização da típica parede dupla de tijolo com isolamento na caixa-de-ar (*Passive-On*, 2007b).

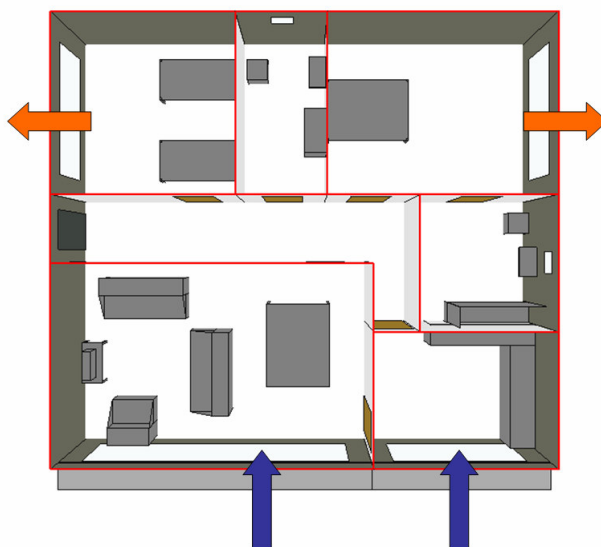


Figura 17 – Estratégia de ventilação no verão (Fonte: *Passive-On*, 2007b)

O Projeto *Passive-On* (2007b) apresenta, também, as análises feitas para os limites de necessidades energéticas e níveis de conforto da casa proposta para Portugal. As necessidades anuais de aquecimento foram estimadas em 16,9 kW.h/m², das quais 11 kW.h/m² são fornecidas pelo sistema de painéis solares (prioridade foi dada ao aquecimento, sendo a fração solar para aquecimento de águas sanitárias de 48%) e as necessidades anuais de arrefecimento são de 3,7 kW.h/m². A soma das necessidades de aquecimento e arrefecimento são de 9,6 kW.h/m².ano. A regulamentação térmica de 2006 foi cumprida, sendo que os limites para as necessidades de aquecimento e arrefecimento para esta casa, construída em Lisboa, são 73,5 e 32 kW.h/m².ano, respetivamente. Em relação à temperatura no interior do edifício, é mantida abaixo de 25°C durante 71% do tempo de ocupação e abaixo de 28°C em 98% do tempo ocupado. Durante o inverno, está em funcionamento o sistema de aquecimento com uma potência de 10 W/m², onde a temperatura resultante está abaixo de 19,5°C somente em 8% do tempo (*Passive-On*, 2007b).

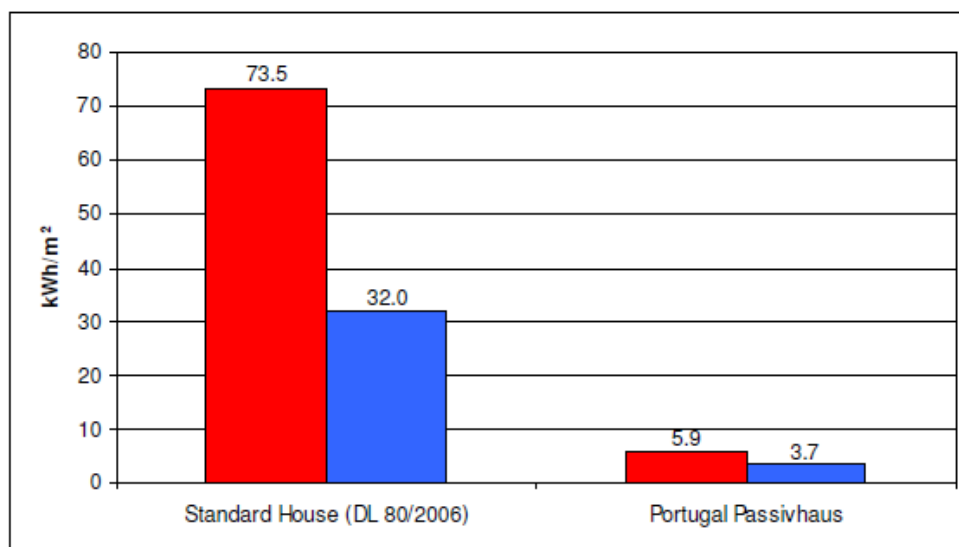


Figura 18 – Estimativa das necessidades anuais de aquecimento (vermelho) e de arrefecimento (azul) para uma casa típica e uma casa *Passivhaus* (Fonte: *Passive-On*, 2007b)

O projeto conclui que as estratégias adotadas para a construção e implementação de uma casa *Passivhaus* no clima de Lisboa podem ter sucesso relativamente aos limites de necessidades energéticas e níveis de conforto.

3.6.1.2 Reino Unido

A proposta de casa *Passivhaus* do Reino Unido foi desenvolvida pela *School of the Built Environment* (SBE) da Universidade de Nottingham, sendo uma casa típica em banda constituída por dois pisos com três quartos. Na proposta SBE a ventilação é obtida por meios naturais com um baixo controlo (controlado manualmente) ou um alto controlo (controlo automático) das janelas. Isto tem o benefício de evitar o custo inicial e o custo de manutenção do sistema mecânico. São criados dois espaços tampão, um orientado a norte e outro a sul, onde espaço tampão a norte atua como uma antecâmara de entrada e o espaço tampão do lado sul funciona como um espaço estufa, ajudando a maximizar os ganhos solares através de uma grande área envidraçada constituída por um vidro simples (*Passive-On*, 2007b).

A estratégia proposta para o inverno consiste no pré aquecimento do ar infiltrado através do espaço estufa, que pode atingir temperaturas de 20°C. Durante o verão, o espaço estufa está aberto para o exterior de modo a evitar o sobreaquecimento. Durante a noite, a ventilação é feita de forma natural e através do efeito chaminé de modo a arrefecer o edifício e a massa térmica interior. Os níveis de isolamento

apresentam níveis de coeficiente de transmissão térmica (U) entre $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ para respetivamente as paredes e a cobertura. Os envidraçados propostos para o espaço tampão é de vidro simples, enquanto os restantes são de vidro duplo de baixa emissividade. Os valores de coeficiente de transmissão térmica para as janelas são de $1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, enquanto que são assumidas infiltrações na ordem de 3 rph a 50 Pa (*Passive-On*, 2007b).

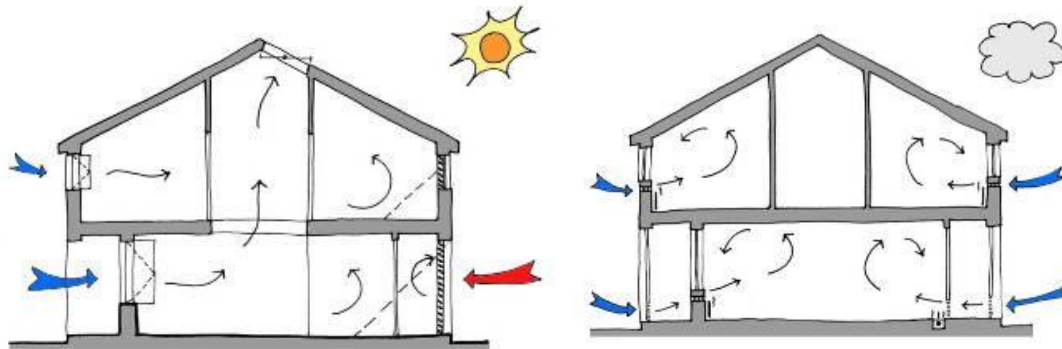


Figura 19 – Estratégia de ventilação de verão e de inverno no Reino Unido, respetivamente
(Fonte: *Passive-On*, 2007b)

O projeto conclui que o custo extra de produzir uma casa *Passivhaus* no Reino Unido comparado com uma casa típica é de 69 €/m^2 com um tempo de retorno do investimento de 19 anos.

3.6.1.3 Espanha

Para Espanha, o projeto *Passive-On* estudou uma vivenda plurifamiliar com uma área útil total de 100 m^2 localizada próximo de uma grande cidade na zona sul de Espanha. O edifício cumpre os atuais regulamentos espanhóis, nomeadamente os "Códigos Técnicos de Edifícios" obrigatório desde 2007. A estratégia de adaptação da norma *Passivhaus* ao exemplo espanhol considera os seguintes princípios (*Passive-On*, 2007b):

- Pré-aquecimento do ar admitido: não é considerado um sistema mecânico de ventilação pois não é compatível com as características dos edifícios espanhóis;
- Envidraçados: elevada área de envidraçados a sul para maximizar a captação de ganhos solares no inverno;

- Massa térmica e inércia: elevada inércia térmica quando a solução é combinada com um sistema de ventilação ou distribuição correta da massa, de modo a captar a radiação solar em superfícies com forte inércia;
- Ventilação noturna: extração do ar durante o período noturno do verão;
- Iluminação: foi projetada uma grande janela orientada a sul, que permite a admissão de luz natural na zona norte da casa.

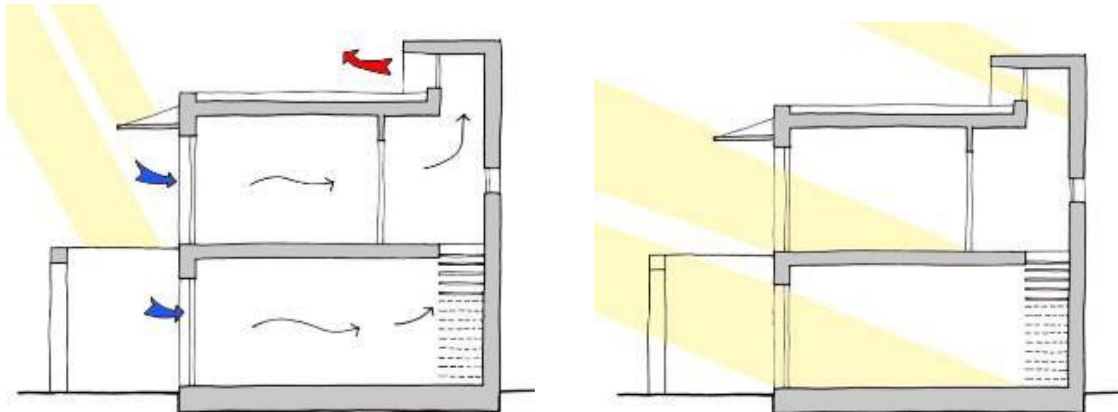


Figura 20 – Estratégia de ventilação-iluminação no verão e estratégia de aquecimento no inverno em Espanha, respetivamente (Fonte: *Passive-On*, 2007b)

O custo acrescido da casa *Passivhaus* espanhola é cerca de 25 €/m², representando um acréscimo de 5% em relação aos custos de construção típicos de edifícios e o tempo de retorno médio é cerca de 5 anos.

3.6.1.4 Itália

O projeto da casa *Passivhaus* italiana é desenvolvida a partir de elevados níveis de isolamento, inexistência de pontes térmicas e ventilação ativa com recuperação de calor. São, também, adotadas soluções tradicionais como o sombreamento proporcionado pelos beirados do telhado ou estores persas reduzindo o ganho solar através do sombreamento e uma estratégia de ventilação natural noturna por sistemas ativos de arrefecimento, através da utilização de uma bomba de calor reversível de baixo consumo. A casa é orientada a sul e apresenta uma área útil de 120 m². Os níveis de energia de conforto da norma *Passivhaus* para o exemplo italiano são atingidos através de (*Passive-On*, 2007b):

-
- Níveis de isolamento: 10 cm de isolamento nas paredes e 15 cm na cobertura é o suficiente para a casa italiana, em relação aos 25 cm de isolamento nas paredes exteriores e 40 cm na cobertura da norma alemã;
 - Estanquidade ao ar: a norma alemã exige uma renovação de ar máxima de $0,6 \text{ h}^{-1}$ para uma diferença de pressão de 50 Pa, contudo um valor de 1 h^{-1} a n50 é aceitável para a *Passivhaus* italiana.

A estratégia para o conforto no inverno na casa *Passivhaus* italiana passa por:

- Minimizar as perdas de calor no inverno devido ao elevado isolamento da envolvente do edifício e à eliminação das pontes térmicas;
- Ventilação ativa com recuperação de calor;
- Aquecimento ativo utilizando uma bomba de calor de baixo consumo;
- Captação de ganhos solares ao utilizar envidraçados em 30% da fachada a sul;

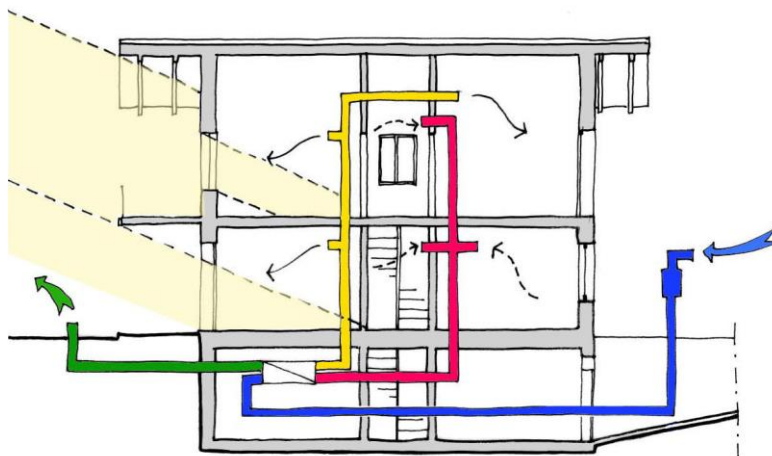


Figura 21 – Estratégias de inverno para a Itália (Fonte: *Passive-On*, 2007b)

Enquanto que para a estratégia para o conforto de verão:

- Minimizar os ganhos solares através de uma envolvente isolada e janelas sombreadas;
- Sistema de ventilação natural e ativo durante a noite.

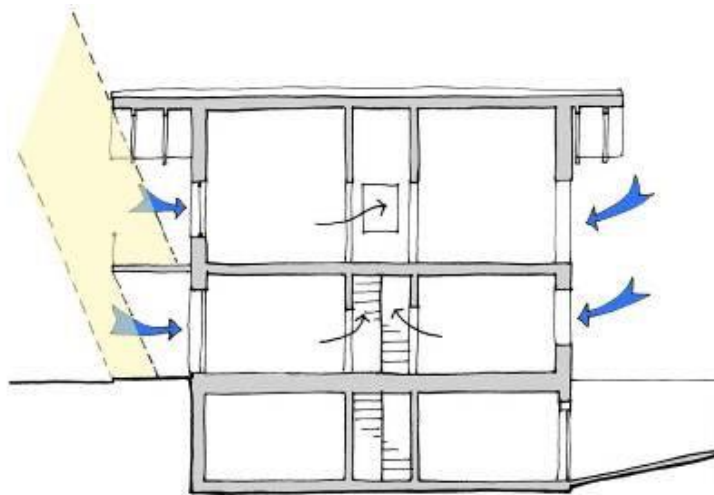


Figura 22 – Estratégias de verão para a Itália (Fonte: *Passive-On*, 2007b)

O projeto conclui que, para a Itália, o custo extra da casa *Passivhaus* está calculado em 84 €/m² o que é sensivelmente 7% mais que uma casa construída com os requisitos mínimos da regulamentação em vigor. Considerando uma poupança energética da ordem dos 924 €/ano isto resulta num tempo de retorno sensivelmente de 12 anos.

3.6.1.5 França

A estratégia utilizada para a casa *Passivhaus* francesa é semelhante à utilizada para a Alemanha, pois os climas são semelhantes sendo o clima de França um pouco mais ameno. Assim, a proposta passa por elevados níveis de isolamento em toda a envolvente do edifício (tipicamente 25 a 40 cm de isolamento) com eliminação das pontes térmicas, perdas por infiltrações reduzidas ao mínimo, ventilação mecânica com sistema de recuperação de calor, envidraçados de vidro triplo de baixa emissividade. As cargas médias diárias são suficientemente baixas para se poder optar por um sistema simples de pré-aquecimento do ar através de uma bomba de calor compacta. Este sistema aproveita o calor extraído do ar e utiliza-o para aquecimento do espaço e aquecimento de águas sanitárias. Durante o verão, sombreamentos exteriores são necessários para minimizar a radiação solar através dos envidraçados. Outras estratégias de arrefecimento variam conforme a localização, sendo necessário acionar o sistema ativo de arrefecimento em alguns locais, de forma a evitar condensações (*Passive-On*, 2007b).

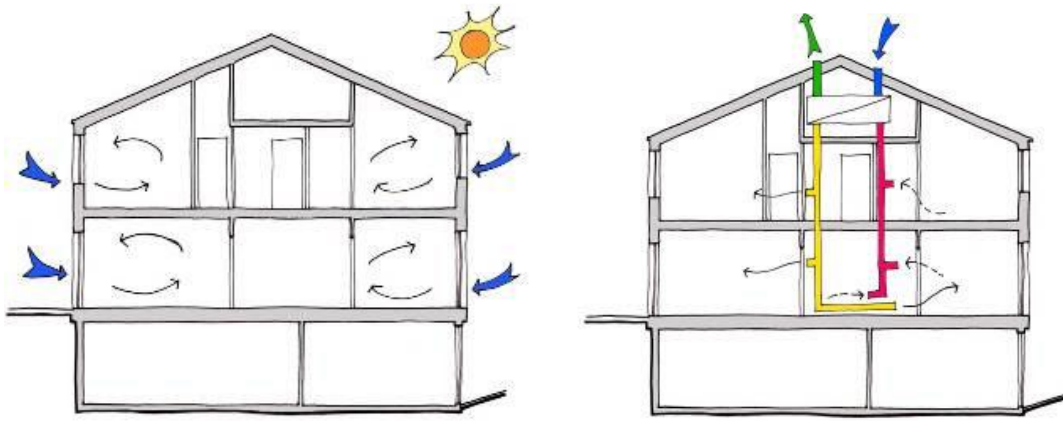


Figura 23 – Estratégia de verão e de inverno para a França, respetivamente (Fonte: *Passive-On*, 2007b)

4. Estudo de Caso: *Passivhaus* em Portugal

4.1 Introdução

Este capítulo apresenta um estudo que tem como o objetivo expor um exemplo prático ao nível da conceção e construção de edifícios baseados na norma *Passivhaus*. Foi escolhido o exemplo dos primeiros edifícios *Passivhaus* construídos em Portugal e situados em Aveiro e pretende-se estudar o projeto desde a sua construção até à sua certificação.

4.2 Implementação e Descrição do Projeto

O projeto, desenvolvido pela Homegrid, teve início em 2008 e definiu a construção de duas moradias unifamiliares que estão localizadas em Ílhavo, no distrito de Aveiro. As casas foram projetadas para terem um bom desempenho energético, mas não foram definidas de acordo com o conceito de Casa Passiva. Só depois do início da sua construção, a 19 de Maio de 2011, é que foi definido a adaptação da norma *Passivhaus* a estas duas habitações.

Em Maio de 2011, durante a 15ª *Conferência Internacional Passive House*, a Homegrid estabeleceu com o *Passivhaus Institut* uma estratégia para implementar o conceito de *Passivhaus* em Portugal. A estratégia definida teve como principais objetivos a construção da primeira casa passiva, a monitorização do seu desempenho e a criação da Associação *Passivhaus* em Portugal para implementar e desenvolver a norma. Um dos objetivos foi cumprido através da adaptação de duas habitações à norma *Passivhaus*, que estavam no início da sua construção. Ao longo do projeto foram definidas questões de eficiência energética, mas também soluções para componente hídrica e alimentar, com o objetivo de atingir os padrões *Passivhaus*. A construção das habitações foi concluída em Dezembro de 2012 (Marcelino e Gavião, 2012).

Quanto à Associação *Passivhaus* em Portugal, é criada em Novembro de 2012 com o objetivo de implementar e desenvolver o conceito em Portugal e definir uma estratégia

que contribua para a independência energética e sustentável de Portugal (Homegrid, 2013).



Figura 24 – Associação *Passivhaus* Portugal (Fonte: Homegrid, 2013)

4.3 Conceção do Edifício

As duas moradias unifamiliares estão localizadas em Ílhavo, no distrito de Aveiro. O clima desta zona encontra-se numa faixa de transição entre o clima Oceânico e o clima Mediterrâneo. Relativamente aos dados climáticos da localidade de Ílhavo, localizada a 50 m de altitude, existem duas estações com 6 meses cada (LNEG, 2014):

- Estação de aquecimento (Outubro a Maio): Temperatura média de 9,5 °C;
- Estação de arrefecimento (Junho a Setembro): Temperatura média de 20,6 °C.

As duas habitações estão localizadas num lote cuja área total é de cerca de 1530 m², subdivididos em 580 m² para a Moradia A e 650 m² para a Moradia B, correspondendo a primeira a uma tipologia T3 e a segunda a um T4. Ambas as moradias apresentam a mesma área útil de 210 m² e são constituídas pelo rés-do chão, 1º andar e sótão (Homegrid, 2012).



Figura 25 – Vista da parte exterior do edifício (Fonte: PHI, 2014)

Uma das moradias é habitada por uma família com cinco pessoas, composta por dois adultos e três crianças desde a conclusão da sua construção em 2012. Foi estabelecido um programa de monitorização, implementado pela Homegrid, onde é verificado o desempenho do edifício através da análise das condições de conforto (temperatura, humidade relativa, concentração de CO₂), condições exteriores (radiação solar, velocidade do vento, luminosidade, humidade relativa, precipitação e temperatura), consumos elétricos (aparelhos e equipamentos) e consumos hídricos (água potável e não potável, águas quentes sanitárias) (Homegrid, 2013).

4.4 Implementação dos Princípios *Passivhaus*

A implementação da estratégia e conceção dos dois edifícios teve em conta alguns dos principais princípios da norma *Passivhaus* (Marcelino e Gavião, 2012):

- Garantir níveis de isolamento térmico adequados nos diferentes elementos da envolvente do edifício;
- Evitar pontes térmicas na envolvente do edifício;
- Garantir a estanquidade ao ar dos edifícios;
- Definir um sistema de ventilação com recuperação de calor;
- Melhorar o sistema das janelas.

A certificação foi conduzida pelo *Passivhaus Institut*.

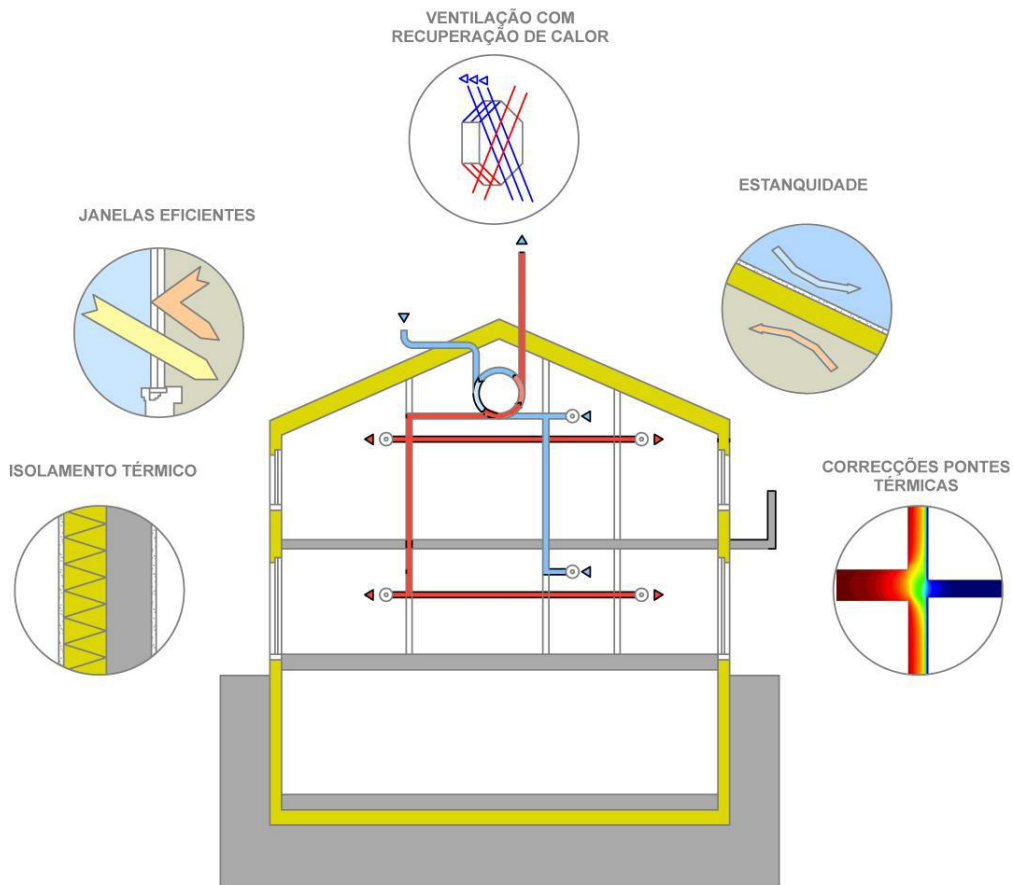


Figura 26 – Princípios básicos da construção *Passivhaus* (Fonte: PZE-PP, 2014)

4.4.1 Envolvente do Edifício

Para se obter um bom isolamento térmico da envolvente do edifício é necessário garantir níveis de isolamento térmico adequados nos diferentes elementos da envolvente do edifício (paredes, pavimento e cobertura). Para isso, é preciso melhorar a envolvente do edifício através dos seus elementos.

A solução final para melhorar a parede exterior corresponde a um aumento de 2 cm na espessura do isolamento em relação à solução inicial, tendo a solução final $U=0,262 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ (Marcelino e Gavião, 2012). O *Passivhaus Institut* definiu um valor de referência para Lisboa de $U=0,620 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e para o Porto de $U=0,202 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ (Schnieders, 2009 citado por Marcelino e Gavião, 2012).

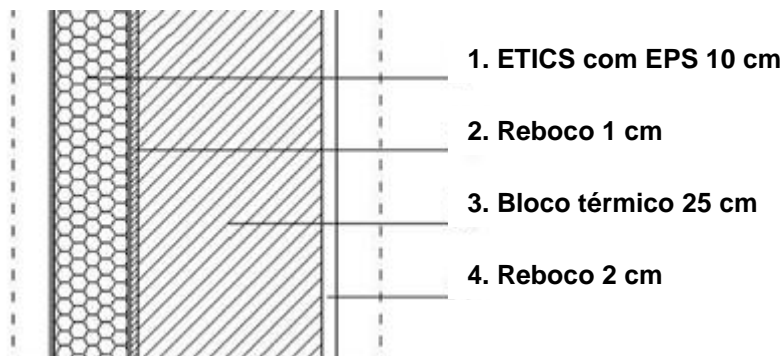


Figura 27 – Solução final da parede exterior (Fonte: Adaptado de Marcelino e Gavião, 2012)

Na figura acima, é possível observar a solução final para a melhoria da parede exterior, onde a adição de 2 cm ao ponto 1, correspondente a ETICS com EPS, vai ajudar a melhorar o isolamento a partir das paredes.

A solução final para melhorar a cobertura corresponde a um aumento de 5 cm na espessura do isolamento em relação à solução inicial, correspondendo um valor de $U=0,221 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ (Marcelino e Gavião, 2012). O *Passivhaus Institut* definiu um valor de referência para Lisboa de $U=0,330 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e para o Porto de $U=0,155 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ (Schnieders, 2009 citado por Marcelino e Gavião, 2012).

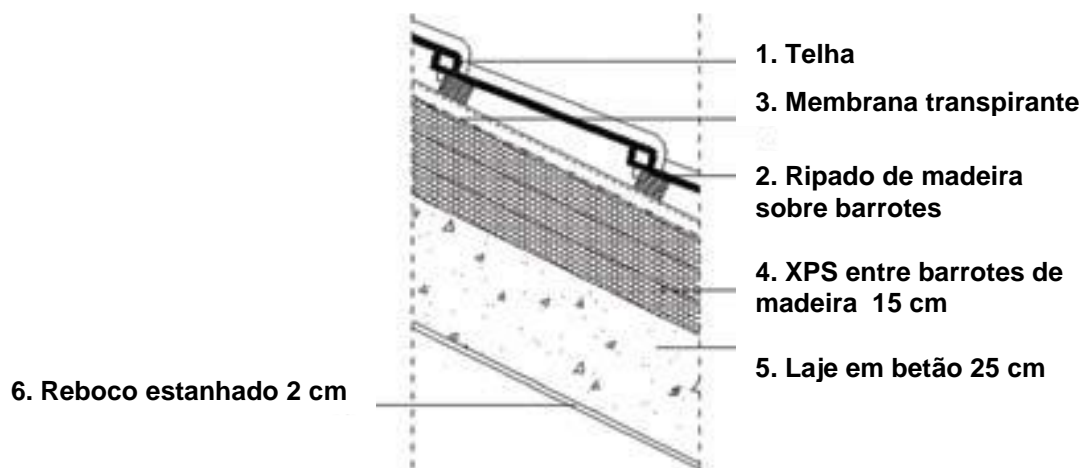


Figura 28 – Solução final da cobertura (Fonte: Adaptado de Marcelino e Gavião, 2012)

Na figura 29, é possível observar a solução final para a melhoria da cobertura, onde a adição de 5 cm ao ponto 4, correspondente ao XPS entre barrotes de madeira, vai ajudar a melhorar o isolamento a partir da cobertura.

4.4.2 Vãos envidraçados

A solução final para os vãos envidraçados corresponde à melhoria do sistema de caixilharia, do tipo de vidro e do isolamento do perímetro da caixilharia em relação à solução inicial, correspondendo a um valor variável de $U=1,44-2,00 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ (Marcelino e Gavião, 2012). O *Passivhaus Institut* definiu um valor de referência para Lisboa e Porto de $U_{\text{tot}}=1,35 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ (Schnieders, 2009 citado por Marcelino e Gavião, 2012).

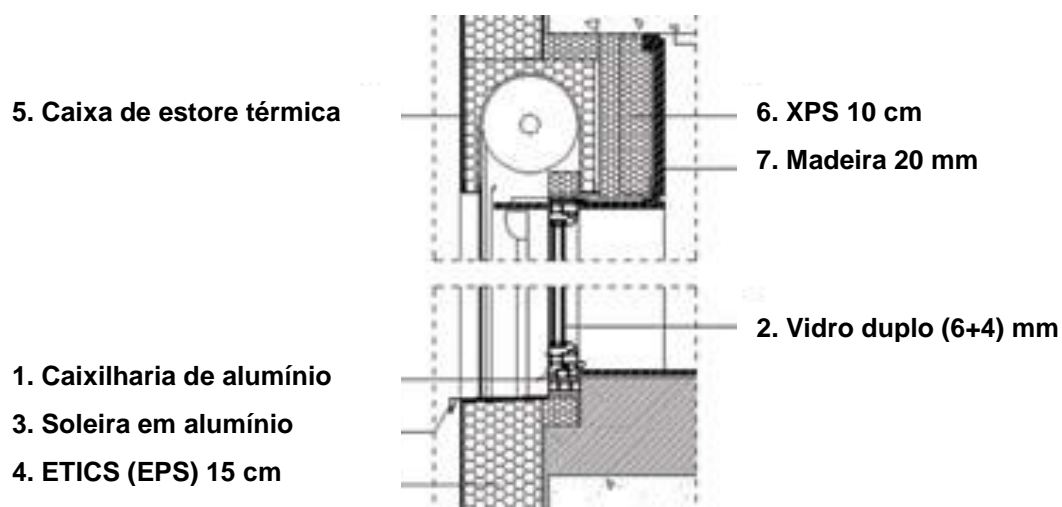


Figura 29 – Solução final dos vãos envidraçados (Fonte: Adaptado de Marcelino e Gavião, 2012)

4.4.3 Estanquidade ao Ar

A estanquidade ao ar da envolvente permite evitar a condensação da construção e a poluição do ar interior, melhorar o isolamento acústico do edifício e o funcionamento do sistema de ventilação e reduzir as perdas pela ventilação. Para assegurar esses objetivos e, assim, obter a estanquidade da envolvente do edifício, foi necessária a observação dos pontos frágeis e suscetíveis de causar fugas. Alguns dos pontos frágeis encontram-se nas condutas do sistema de ventilação mecânica e em outras zonas de transição de ar do interior para o exterior (Marcelino e Gavião, 2012) (Gavião, 2012).

Existe um teste chamado *Blower-Door-Test* com qual é possível detetar fugas na envolvente do edifício e determinar a taxa de renovação de ar.

4.4.4 Sistema de Ventilação Mecânica

O sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor permite climatização (aquecimento e arrefecimento) e produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS). Segundo os dados climáticos e de cálculo, o sistema só irá ser ligado durante o inverno. Durante o resto do ano, será preferível o recurso à ventilação natural. Durante esse período o sistema manter-se-á em alerta, controlando o nível das necessidades impostas para em seguida atuar conforme o clima e o regime de utilização da casa. O utilizador poderá sempre ter a possibilidade de interagir com o sistema em ambos os cenários. O esquema de princípio será através da insuflação de ar nos quartos e salas e extração de ar na cozinha e instalações sanitárias (Marcelino e Gavião, 2012) (Gavião, 2012).

A ventilação será realizada através de um sistema certificado pelo *Passihaus Institut* e garante uma renovação de ar de 30 m³/(h.pessoa), podendo fornecer até 320 m³/h e permite a remoção de partículas de poeira, humidade e cheiros da habitação. O consumo do sistema é baixo, na ordem dos 350 W. No inverno, o sistema transfere parte da carga térmica do ar extraído para o ar insuflado e para as AQS, enquanto no verão, parte da carga térmica do ar recebido é transferida para as AQS, se o sistema estiver a funcionar. O equipamento permite a interligação de um sistema solar térmico composto por 2 coletores e um depósito (Marcelino e Gavião, 2012; Gavião, 2012).

4.4.5 Equipamentos

A iluminação natural foi incentivada, com o aumento das áreas envidraçadas. A iluminação artificial será feita através da utilização de lâmpadas de baixo consumo. Relativamente aos eletrodomésticos, foram escolhidos com base na eficiência energética. Para reduzir os consumos elétricos para a produção alimentar, está prevista a utilização de 3 fornos solares (um forno funil, um forno tipo caixa e um forno tipo parabólico) (Marcelino e Gavião, 2012; Gavião, 2012).

4.4.6 Resultados PHPP

A verificação dos resultados de um edifício Passive House é feita a partir da análise da ferramenta *Passive House Planning Package* (PHPP), desenvolvida pelo *Passivhaus Institut*. Os resultados alcançados são os seguintes (Marcelino e Gavião, 2012):

- Necessidades de Energia para Aquecimento $8 \leq 15 \text{ kW.h/m}^2$
- Carga de Aquecimento $9 \leq 10 \text{ W/m}^2$
- Necessidades de Energia para Arrefecimento $0 \leq 15 \text{ kW.h/m}^2$
- Necessidades de Energia Primária $59 \leq 120 \text{ kW.h/m}^2$
- Frequência de excesso de temperatura $0 \leq 10 \%$

4.5 Certificação Energética do Edifício

4.5.1 Certificação Energética – Projeto LiderA

O projeto LiderA assume-se como um sistema para liderar pelo ambiente, onde o seu principal objetivo é contribuir para criar, apoiar a gestão e certificar os ambientes construídos sustentáveis, suportando desta forma a procura de comunidades sustentáveis. A procura de sustentabilidade nos ambientes construídos tem como base seis princípios, os quais abrangem seis vertentes consideradas no sistema. Segundo Pinheiro (2011), os princípios para a procura de sustentabilidade nos ambientes construídos são:

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

A contabilização por vertentes estabelece como mais relevante os recursos com 32% do peso, seguido da vivência socioeconómica (19%), conforto ambiental (15 %),

integração local (14%), cargas ambientais (12%) e a gestão ambiental (8%) (Pinheiro, 2011).

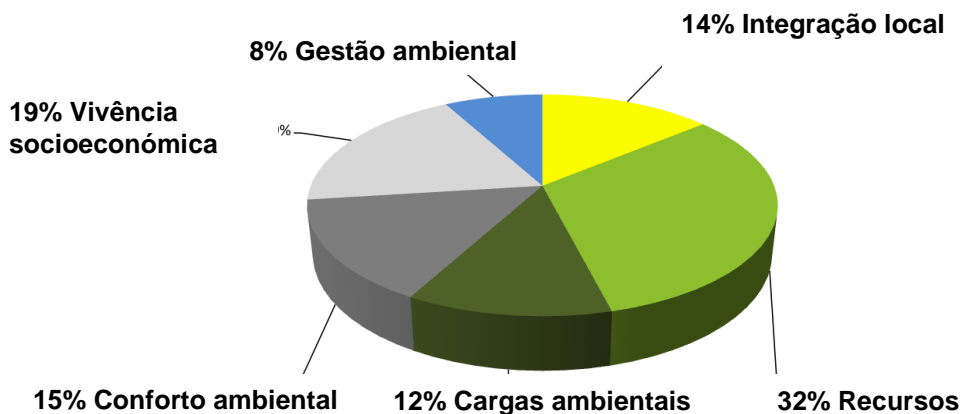


Figura 30 – Vertentes mais e menos relevantes (Fonte: Adaptado de Pinheiro, 2011)

Os níveis de desempenho são numéricos que do ponto de vista de comunicação são transformados em classes (de G a A⁺⁺). A Classe E assenta no desempenho tecnológico mais utilizado, sendo o nível mais usual. As Classes C, B e A correspondem à melhor prática construtiva viável. O nível de sustentabilidade mais elevado corresponde às Classes A⁺⁺ (Pinheiro, 2011). Desta forma, podemos definir os níveis de desempenho que permitem indicar se o projeto é ou não sustentável.

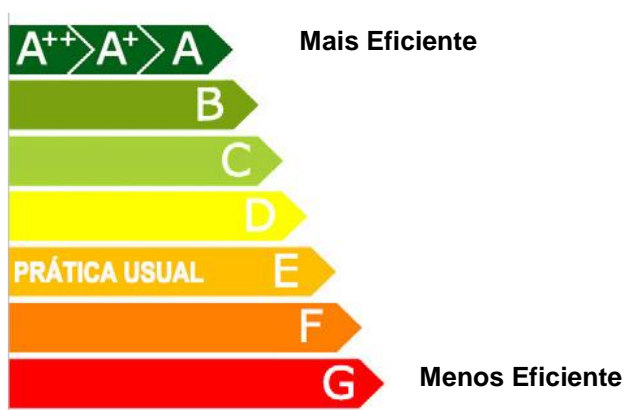


Figura 31 – Níveis de desempenho (Fonte: Pinheiro, 2011)

4.5.1.1 Certificação Energética das Casas *Passivhaus*

No certificado são avaliados diversos indicadores: local e integração, recursos, cargas ambientais, ambiente interior, durabilidade e acessibilidade, gestão ambiental e inovação. As duas moradias obtiveram, na fase de construção, a classificação A⁺ no sistema LiderA. Significa que a construção das duas moradias é reconhecida como “muito bom nível de desempenho ambiental”, sendo as primeiras a obter essa classificação (Homegrid, 2013).



Figura 32 – Certificado LiderA atribuído ao projeto “Passive House” (Fonte: Homegrid, 2013)

4.6 Viabilidade Económica

A experiência na construção de casas *Passivhaus* na Alemanha indica que a *Passivhaus* custa mais 4 a 6% para ser construída que a alternativa normal. O custo da construção na Alemanha comparado com o Sul da Europa é elevado, sendo em média cerca de 1400 €/m². Nos países do sul da Europa, o custo da construção da casa típica é menor, logo, os custos das soluções passivas vão ser menores. O projeto *Passive-On* efetuou uma análise económica onde indica que os custos de construção

de casas *Passivhaus* em cinco países são 3 a 10% mais elevados que as alternativas (*Passive-On*, 2007a).

Quadro 4 – Custos de construção típicos para casas de referência e custos de casas *Passivhaus* (Fonte: Adaptado de *Passive-On*, 2007a)

	Casa de referência (€/m ²)	<i>Passivhaus</i> (€/m ²)	Custos Extra (€/m ²)	Custos Extra (%)
França	1100	1203	103	9
Alemanha	1400	1494	94	6,71
Itália	1200	1260	60	5
Espanha (Granada)	720	744,1	24,1	3,35
Espanha (Sevilha)	720	740,5	20,5	2,85
Reino Unido	1317	1390	73	5,54
Portugal	n/a	n/a	n/a	n/a

Como é possível observar na tabela, a construção de uma casa *Passivhaus* é sensivelmente mais cara do que a construção de uma casa de referência. Contudo, as casas passivas oferecem uma poupança considerável na fatura da eletricidade ao longo do seu tempo de vida em comparação com as casas de referência. Segundo o projeto *Passive-On* (2007a), uma *Passivhaus* requer só 15 a 20% da energia necessária para aquecer uma casa de referência.

Quadro 5 – Necessidades de aquecimento e arrefecimento para casas de referência de acordo com os mínimos recomendados pela legislação em vigor e pela norma *Passivhaus* (Fonte: *Passive-On*, 2007a)

	Necessidades de Aquecimento [kW.h/(m ² .ano)]		Necessidades de Arrefecimento [kW.h/(m ² .ano)]	
	Referência	<i>Passivhaus</i>	Referência	<i>Passivhaus</i>
Alemanha	90	15	0	0
Itália	83	10,5	4,63	3
França	69,6	17,4	n/a	5
Espanha	59	8,7	23,1	7,9
Reino Unido	59	15	0	0

Tendo em conta o preço típico da energia nos cinco países e a redução na fatura do gás e da eletricidade, o custo extra do edifício *Passivhaus* vai-se tornar recuperável em menos de 20 anos. Em situações particularmente favoráveis o tempo de retorno pode ser tão baixo como 4 anos. Tendo em consideração a poupança na fatura dos combustíveis durante 25 anos, o custo inicial do investimento pode significar um retorno de capital entre 2 a 10%. Na taxa limite superior este retorno de investimento é favorável em relação aos investimentos alternativos disponíveis, embora no limite inferior este investimento possa ser considerado um retorno muito baixo (*Passive-On*, 2007a). Isto indica que o investimento inicial pode ser visto como muito vantajoso.

O programa *Passive-on* concluiu que é economicamente viável a construção de casas *Passivhaus* em Portugal. O acréscimo do custo de construção é de 57 €/m², com um período de retorno de 12 anos. O custo adicional poderá ser reduzido ou até mesmo anulado em próximos projetos (Homegrid, 2013).

Conclusões

Com o estado atual do mercado da construção, a certificação *Passivhaus* é necessária, mas ainda requer um grande esforço para introduzir uma certificação em muitos países onde as casas passivas ainda tem uma baixa quota de mercado.

O conceito *Passivhaus* apresenta estratégias diferentes quando é aplicado a climas mediterrâneos, como é o caso de Portugal. As exigências para este clima vão ser diferentes por serem climas menos frios, logo vão precisar de menos aquecimento no inverno, mas também por serem climas mais quentes, levando a norma a adotar uma estratégia de forma a arrefecer o edifício.

A norma *Passivhaus* vai então permitir a poupança de energia com a redução de cerca de 90% no consumo para aquecimento e arrefecimento, quando comparada com um edifício típico. Apesar do investimento inicial ser mais elevado do que o de uma casa típica, com estes níveis de desempenho energético e com as poupanças feitas ao longo do ciclo de vida do edifício, é possível obter ganhos desse investimento de volta.

Podemos concluir então que é possível adaptar e implementar a norma alemã ao clima português e construir edifícios *Passivhaus* em Portugal, sendo apenas necessárias algumas alterações à norma original. Vamos, assim, obter edifícios com baixo consumo energético, uma boa qualidade de ar interior e conforto térmico. Este projeto é economicamente viável, obtendo-se períodos de retoma aceitáveis tendo em conta a vida útil dos edifícios.

Um aspeto importante seriam os incentivos para a construção de casas com o padrão *Passivhaus*, como por exemplo, facilitar os empréstimos a projetos de construção destas casas. O projeto *Passive-On* (2007a) descreve que na Alemanha, os incentivos para a construção das primeiras *Passivhaus* foram total ou parcialmente financiados com subsídios públicos. A implementação da norma alemã em países do sul da Europa iria ser benéfica se projetos de demonstração fossem patrocinados pelo governo local ou nacional sobretudo nas fases iniciais de desenvolvimento do mercado. Os subsídios públicos poderão facilitar o desenvolvimento inicial, mas mesmo com este apoio, foram necessários cerca de 15 anos para que o ritmo da construção na Alemanha tenha atingido as várias centenas de unidades ao ano (*Passive-On*, 2007a). O próprio projeto *Passive-On* (2007a) pode ajudar na divulgação do conceito, como a formação em relação a soluções de baixo consumo do arquiteto e do construtor; a regulamentação, onde os regulamentos dos edifícios necessitam de

ser revistos para que sejam removidas algumas das barreiras a casas de baixo consumo energético; finanças, onde o sector público pode trabalhar com as instituições privadas no desenvolvimento de mecanismos de financiamento do custo extra na compra de casas *Passivhaus* e empréstimos; e certificação, onde se providencia um sistema independente de certificação para as casas *Passivhaus*.

Em relação a perspetivas futuras, um trabalho importante seria a aplicabilidade da norma *Passivhaus* a climas mais quentes do que os climas mediterrâneos, como por exemplo, os climas tropicais. Nestes climas, é gasta muita energia para arrefecimento dos edifícios devido ao facto de serem climas muito quentes e húmidos. As estratégias teriam de ser diferentes e direccionadas, principalmente, para o arrefecimento do edifício de modo a manter uma temperatura interior agradável.

Outro trabalho futuro importante seria a aplicação e desenvolvimento deste novo conceito em Portugal. Poderia ser aplicada a norma em edifícios em construção, mas também em edifícios já existentes através da reabilitação destes.

Referências Bibliográficas

Antunes, N. (2010). *Edifícios Verdes Práticas Projectuais Orientadas para a Sustentabilidade*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 148 pp.

APA (2006). *Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável ENDS 2005-2015*. APA, Lisboa.

BCSD Portugal. (2010). *Como contribuir para o desenvolvimento sustentável? - Case Study REN*. Acedido em 15/01/2015 em: <http://www.bcsdportugal.org/wp-content/uploads/2013/11/Caso-2010-REN-Sustentabilidade.pdf>

Borne, G. (2014). *Sustainable Development: Advancing a Theoretical Framework*, *Social & Public Policy Review*, 8, 2. Plymouth pp. 1-18.

Brandão, N. (2008). *Análise de Soluções Construtivas e Tecnológicas para Edifícios Passivos em Portugal*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 128 pp.

Cerdeira, C. (2011). *Avaliação de Sistemas de Climatização em Edifícios Residenciais*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães, 153 pp.

Curado, A. (2014). *Conforto Térmico e Eficiência Energética dos Edifícios de Habitação Social Reabilitados*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 298 pp.

DGEG. (2015). *Energia em Portugal 2013*. Direção Geral de Energia e Geologia, Lisboa.

Feist, W. (2006). Definition of Passive Houses. *Passive House Institute*. Acedido em 14/11/2014 em: http://www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/passivehouse_definition.html

Fenercom (2011). *Guía del Estándar Passivhaus – Edificios de Consumo Energético casi nulo*, Madrid.

Frota, A.B. e Schiffer, S.R. (2001). *Manual do conforto térmico*. 5ª Edição. Studio Nobel, São Paulo.

Gavião, J. (2012). *Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal*. Tese de Mestrado em Construções e Reabilitação Sustentáveis. Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães, 142 pp.

Homegrid. (2012). *A construção das primeiras Passive Houses em Portugal. O caminho para a autonomia de elevado nível*. Congresso LiderA 2012, Lisboa.

Homegrid. (2013). *Passive Houses em Ílhavo - Um modelo que pode dinamizar a sustentabilidade*. Congresso LiderA 2013, Lisboa.

IEA - International Energy Agency. (2013). *CO₂ Emissions From Fuel Combustion – Highlights*. OECD, Paris.

ISO – International Organization for Standardization (2005). *ISO 7730 - Ergonomics of the Thermal Environment, Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria*. ISO, Genève.

Koukkari, H. e Bragança, L. (2011). Towards energy-efficient buildings in Europe. *Integrated Approach Towards Sustainable Constructions - Summary Report of the Cooperation Activities of COST Action C25*. University of Malta, Volume 1, pp. 257-271.

Lamberts, R. (2005). *Desempenho Térmico de Edificações*. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 42 pp.

LNEG (2014). CLIMAS-SCE - Software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios. Acedido em <http://www.lneg.pt>

Marcelino, J. e Gavião, J. (2012). *Water Energy Food almost Independent Building*. Climatização Setembro/Outubro, pp 84-90.

Mateus, R. (2004). *Novas Tecnologias Construtivas com vista à Sustentabilidade da Construção*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães, 224 pp.

Nebbia, T. (2002). *Integração entre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento: 1972-2002*. UNEP. Equador. Acedido em 02/02/2015 em:
http://www.scribd.com/fullscreen/6305283?access_key=key-gcd60gwe7td9qkf4gb8

RCCTE (2006). Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril.

Rodrigues, M. (2014). *Evolução da Regulamentação Térmica de Edifícios – Estudo Comparativo*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções Civas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 230 pp.

RSECE (2006). Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios. Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril

Passipedia. (2014). The Passive House resource. Acedido em <http://www.passipedia.org/>

Passive House Institute. (2014). Passive House requirements. Acedido em 19/12/2014 em: <http://passiv.de/en/>

Passive-On. (2007a). *A descrição longa do Passive-On*. Passive-On Project, Milão, 8 pp.

Passive-On. (2007b). *A norma Passivhaus em climas quentes da Europa: directrizes de projecto para casas confortáveis de baixo consumo energético*. Passive-On Project, Milão, 39 pp.

Passive-On. (2007c). *Na direcção de casas passivas – Mecanismos de apoio ao desenvolvimento do mercado de casas passivas*. Passive-On Project, Milão, 7 pp.

Passive-On. (2007d). *The Passivhaus Standard in European Warm Climates: Design Guidelines for Comfortable Low Energy Homes*. Passive-On Project, Milão, 53 pp.

PHI. (2014). *Passive House Buildings Database*. Acedido em 09/04/2014 <http://www.passivhausprojekte.de>

Pinheiro, M. (2003). *Construção Sustentável – Mito ou Realidade? VII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente*. Lisboa, 6 e 7 de Novembro de 2003.

Pinheiro, M. (2006). *Ambiente e Construção Sustentável*. Agência Portuguesa do Ambiente / Instituto do Ambiente, Amadora.

Pinheiro, M. (2011). *LiderA Sistema Voluntário para a Sustentabilidade dos Ambientes Construídos*. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

PZE-PP. (2014). *O que é a PassivHaus? Princípios*. Acedido em 10/11/2013 em: <http://www.passivhauszero-energy.com/passivhaus.php>

Sachs, I. (1993). *Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente*. Fundap, São Paulo.

SCE (2006). *Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios*. Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 Abril.

Silva, P. (2006). *Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VisualDOE*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Ramo de Processos e Gestão da Construção. Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães, 228 pp.

WCED (1987). *World Commission on Environment and Development - Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford.