



**Francisco Mousinho Latino Tavares**

Licenciado em Engenharia Civil

## **Metodologia para edifícios de balanço energético nulo**

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em  
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Prof. Doutor Miguel Pires Amado, Professor Auxiliar, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues, FCT-UNL

Arguente: Prof. Doutor Manuel Duarte Pinheiro, IST-UTL

Vogal: Prof. Doutor Miguel Pires Amado, FCT-UNL



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2013





**Francisco Mousinho Latino Tavares**

Licenciado em Engenharia Civil

## **Metodologia para edifícios de balanço energético nulo**

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em  
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Miguel Pires Amado, Professor Doutor, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues, FCT-UNL

Arguente: Prof. Doutor Manuel Duarte Pinheiro, IST-UTL

Vogal: Prof. Doutor Miguel Pires Amado, FCT-UNL



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro de 2013**



“COPYRIGHT” Francisco Mousinho Latino Tavares, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Doutor Miguel Pires Amado, orientador da presente dissertação, pela disponibilidade, incentivo e partilha de conhecimento demonstrado ao longo de todo o trabalho, tendo sido determinantes para a realização desta dissertação.

Aos colegas André Fonseca, Henrique Silva, Duarte Silva, Manuel Gonçalves, Eng.º João Sabarigo e João Clode pelos conhecimentos partilhados e ajuda no desenvolvimento da presente dissertação.

Aos meus irmãos, amigos e namorada pelo apoio e motivação ao longo da duração desta dissertação.

Aos meus pais, por tudo.



## RESUMO

O elevado consumo energético dos edifícios revela-se como uma das grandes preocupações ambientais em todo o mundo. O consumo de recursos não renováveis leva a um esgotamento das reservas mundiais e a um aumento da dependência energética de países não produtores dessas fontes de energia, como é o caso de Portugal. Para se alterar o elevado consumo de energia de fonte não renovável são necessárias duas ações a aplicar nos edifícios: aumentar a sua eficiência energética e utilização de fontes de energia renováveis.

Com a aprovação da Diretiva 2010/31/EU, relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), é obrigatório que todos os novos edifícios, até 2020, sejam edifícios de balanço energético nulo (*nZEB*). É pretendido que os edifícios tenham um melhor desempenho energético, tanto a nível do consumo de energia, como a nível da introdução de fontes de produção de energia renovável. Devido à grande liberdade deste conceito, esta diretiva não apresenta uma definição concreta nem estabelece uma metodologia para a conceção destes edifícios, deixando-os ao critério de cada país Europeu.

Com vista ao contributo de uma ferramenta que promova a eficiência energética nos edifícios durante todo o seu ciclo de vida, é proposta uma metodologia que através de um modelo orientativo de ações visa aumentar a eficiência energética do edifício durante a sua conceção e utilização.

**Termos chave:** Eficiência energética, Edifícios de balanço energético nulo, Energias renováveis, Desempenho energético, Metodologia.



## ABSTRACT

High energy consumption in buildings is a major worldwide environmental concern. The use of non-renewable resources leads to depletion of world reserves and increase of energetic dependency of non-producing countries, such as Portugal. In order to decrease the consumption of non-renewable energy in buildings, two actions need to be taken: increase their energy efficiency and the share of renewables.

The 2010/31/EU Directive, which concerns Energy Efficiency in Buildings (EPDB), makes mandatory for all new buildings to be net zero energy buildings (*nZEB*) until 2020. The objective is to increase buildings' energy performance, regarding both energy consumption and use of renewable energy production technologies. Due to the flexibility of this concept, the directive does not designate any specific definition or methodology concerning the design of these buildings, leaving this aspect to each country's discretion.

As a contribution towards creating a tool to promote energy efficiency in buildings throughout their lifecycle, a methodology is proposed to increase the efficiency during both design and operation phases by the means of an orientating set of actions.

**Keywords:** Energy efficiency, Net zero energy buildings, Renewable energy, Energy performance, Methodology



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ADENE – Agência para a Energia

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AQS – Águas Quentes Sanitárias

CE – Certificado Energético

CHP – *Combined Heat and Power*

COP – *Coefficient Of Performance*

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

DOE – *Department Of Energy*

ENE2020 – Estratégia Nacional para a Energia 2020

EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

FER – Fonte de Energia Renovável

GEE - Gases Efeito de Estufa

INE – Instituto Nacional de Estatística

IVA – Imposto sobre o Valor Acrescentado

NZEB – *Net Zero Energy Buildings*

nZEB – *Near Zero Energy Buildings*

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

PHPP– *Passive House Planning Package*

PIB – Produto Interno Bruto

PNAEE – Plano Nacional Ação

PVC – Policloreto de Vinila

RCCTE – Regulamento das Características e Comportamento Térmico dos Elementos

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

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

Edifícios

TEP – Tonelada Equivalente de Petróleo

U – Coeficiente de transmissão térmica

UE – União Europeia

ZEB – *Zero Energy Building*

ZEH – *Zero Energy Home*

# ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1.	ENQUADRAMENTO DO TEMA.....	1
1.2.	OBJETIVO .....	2
1.3.	ESTRUTURA.....	2
<b>2.</b>	<b>ENERGIA NOS EDIFÍCIOS.....</b>	<b>5</b>
2.1.	CONSUMO DE ENERGIA .....	5
2.1.1.	<i>Consumo energético na construção.....</i>	<i>9</i>
2.2.	PARQUE EDIFICADO.....	11
2.2.1.	<i>Repartição do consumo energético no parque edificado .....</i>	<i>13</i>
2.3.	DIRETIVA EPBD – ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS DIRECTIVE .....	15
2.3.1.	<i>EPBD em Portugal.....</i>	<i>17</i>
2.4.	OBJETIVOS 20-20-20 .....	19
2.4.1.	<i>Proposta de ação no contexto Português .....</i>	<i>20</i>
2.4.2.	<i>Proposta de ação no contexto Europeu.....</i>	<i>23</i>
<b>3.</b>	<b>CONCEITO NZEB - “NET-ZERO ENERGY BUILDINGS” .....</b>	<b>27</b>
3.1.	INTRODUÇÃO DO CONCEITO NZEB.....	27
3.1.1.	<i>Balanço energético.....</i>	<i>34</i>
3.1.2.	<i>Ligação à rede.....</i>	<i>35</i>
3.1.3.	<i>Fontes de energia renováveis .....</i>	<i>37</i>
3.2.	REFERÊNCIAS NZEB .....	40
3.3.	CICLO DE VIDA DOS EDIFÍCIOS .....	42
3.4.	FONTES DE ENERGIA .....	43
3.4.1.	<i>Energia solar.....</i>	<i>45</i>
3.4.2.	<i>Energia hídrica.....</i>	<i>47</i>
3.4.3.	<i>Energia eólica.....</i>	<i>47</i>
3.4.4.	<i>Energia da biomassa .....</i>	<i>48</i>
3.4.5.	<i>Energia geotérmica .....</i>	<i>49</i>
<b>4.</b>	<b>ESTRATÉGIAS E TECNOLOGIA PARA ALCANÇAR NZEB .....</b>	<b>51</b>
4.1.	REDUÇÃO DAS NECESSIDADES ENERGÉTICAS.....	51
4.1.1.	<i>Localização e orientação do edifício.....</i>	<i>52</i>
4.1.2.	<i>Forma do edifício .....</i>	<i>54</i>
4.1.3.	<i>Envolvente do edifício .....</i>	<i>54</i>

4.1.3.1	Inércia térmica .....	54
4.1.3.2	Vãos envidraçados .....	56
4.1.3.3	Zona opaca .....	57
4.1.4.	<i>Sistemas passivos</i> .....	58
4.1.4.1	Ganho direto .....	59
4.1.4.2	Ganho indireto .....	60
4.1.4.3	Ganho isolado .....	63
4.1.4.4	Sombreamento .....	64
4.1.4.5	Ventilação natural .....	66
4.1.4.6	Iluminação natural .....	66
4.1.5.	<i>Eficiência nos equipamentos</i> .....	67
4.1.5.1	Iluminação .....	67
4.1.5.2	Equipamentos .....	67
4.2.	TECNOLOGIA PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA .....	68
4.2.1.	<i>Energia solar térmica</i> .....	68
4.2.2.	<i>Energia geotérmica</i> .....	73
4.2.3.	<i>Biomassa</i> .....	74
4.2.4.	<i>Energia Fotovoltaica (PV)</i> .....	75
4.2.5.	<i>Energia eólica</i> .....	79
4.2.6.	<i>A cogeração</i> .....	79
4.2.7.	<i>Microprodução</i> .....	80
4.2.8.	<i>Custos dos sistemas</i> .....	81
<b>5.</b>	<b>CASOS DE ESTUDO</b> .....	<b>83</b>
5.1.	CASO ESTUDO – “BEDZED” .....	84
5.2.	CASO ESTUDO – “AVALON DISCOVERY 3” .....	87
5.3.	CASO ESTUDO – “BOTTICELLI” .....	91
5.4.	CASO ESTUDO – “BUNYESC” .....	94
5.5.	CASO ESTUDO – “PLUS-ENERGY SETTLEMENT IN FREIBURG” .....	97
5.6.	CONCLUSÕES .....	99
<b>6.</b>	<b>PROPOSTA DE METODOLOGIA</b> .....	<b>105</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>117</b>
7.1.	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	118
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>121</b>

## ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 3.1 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS DIFERENTES TIPOS DE <i>NZEB</i> .....	30
QUADRO 3.2 – PRINCÍPIOS <i>NZEB</i> .....	33
QUADRO 3.3 – HIERARQUIA <i>NZEB</i> , EM RELAÇÃO TIPO DE OPÇÃO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ....	38
QUADRO 4.1 - CONSTITUINTES DE UM SISTEMA DE COLETORES SOLARES TÉRMICOS E RESPETIVAS FUNÇÕES .....	69
QUADRO 4.2 - CONSTITUINTES DE UM SISTEMA DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E RESPETIVAS FUNÇÕES .....	76
QUADRO 5.1 - COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DA ENVOLVENTE.....	86
QUADRO 5.2 - BALANÇO ENERGÉTICO (KWH/M2/ANO).....	87
QUADRO 5.3- COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DA ENVOLVENTE.....	89
QUADRO 5.4 - BALANÇO ENERGÉTICO (KWH/M2/ANO).....	91
QUADRO 5.5 - COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DA ENVOLVENTE.....	93
QUADRO 5.6 - BALANÇO ENERGÉTICO (KWH/M2/ANO).....	94
QUADRO 5.7- COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DA ENVOLVENTE.....	96
QUADRO 5.8 - BALANÇO ENERGÉTICO (KWH/M2/ANO).....	96
QUADRO 5.9 - COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DA ENVOLVENTE.....	98
QUADRO 5.10 - BALANÇO ENERGÉTICO (KWH/M2/ANO).....	99
QUADRO 5.11 – SÍNTESE DOS CASOS DE ESTUDO. ....	100
QUADRO 5.12 – ESTRATÉGIAS E TECNOLOGIAS UTILIZADAS. ....	102
QUADRO 5.13 – CARACTERÍSTICAS DA ENVOLVENTE EXTERIOR.....	103
QUADRO 6.1– AÇÕES PROPOSTAS PARA CADA FASE DO CICLO DE VIDA DO EDIFÍCIO. ....	108



# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – ABASTECIMENTO MUNDIAL DE ENERGIA PRIMÁRIA (MTEP).....	6
FIGURA 2.2 - EVOLUÇÃO DO ABASTECIMENTO MUNDIAL DE ENERGIA PRIMÁRIA (MTEP) .....	6
FIGURA 2.3 - TAXA DE DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA EM PORTUGAL (%).....	7
FIGURA 2.4 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA (KTEP) .....	8
FIGURA 2.5 - CONSUMO DE ENERGIA FINAL POR SECTOR, 2010 (%).....	9
FIGURA 2.6 - IMPACTE AMBIENTAL DOS EDIFÍCIOS, EUA.....	10
FIGURA 2.7 - UTILIZAÇÃO DE ENERGIA DURANTE O CICLO DE VIDA DE UM EDIFÍCIO.....	10
FIGURA 2.8 - DENSIDADE HABITACIONAL E DENSIDADE POPULACIONAL POR MUNICÍPIO, 2011 ...	11
FIGURA 2.9 - EDIFÍCIOS SEGUNDO A ÉPOCA DE CONSTRUÇÃO .....	12
FIGURA 2.10 - REPARTIÇÃO DOS CONSUMOS DE ELETRICIDADE NUM EDIFÍCIO, 2004.....	13
FIGURA 2.11 – CAUSAS DA PERDA DE FRIO .....	14
FIGURA 2.12 – ETIQUETA ENERGÉTICA.....	14
FIGURA 2.13 – OBJETIVO EPBD.....	15
FIGURA 2.14 – CLASSES ENERGÉTICAS .....	18
FIGURA 2.15 – CLASSES ENERGÉTICAS DOS EDIFÍCIOS NOVOS E EXISTENTES, 2010.....	18
FIGURA 2.16 – ÂMBITO DE APLICAÇÃO DOS REGULAMENTOS RCCTE E RSECE .....	19
FIGURA 3.1 – CONCEITO <i>NZEB</i> .....	32
FIGURA 3.2 - PROCURA ENERGÉTICA MUNDIAL (MTEP) .....	44
FIGURA 3.3 - PRODUÇÃO MUNDIAL DE ENERGIA, 2008 (MTEP). .....	44
FIGURA 3.4 - FONTE DE PRODUÇÃO DE ENERGIA .....	45
FIGURA 3.5 - INSOLAÇÃO ANUAL EM PORTUGAL (H) .....	46
FIGURA 3.6 - CAPACIDADE SOLAR INSTALADA (MW) .....	46
FIGURA 3.7 - CAPACIDADE HÍDRICA INSTALADA (MW) .....	47
FIGURA 3.8 - ENERGIA EÓLICA - PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (GWH).....	48
FIGURA 3.9 - BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA.....	50
FIGURA 4.1 - ESTRATÉGIAS PARA ALCANÇAR O ESTATUTO <i>NZEB</i> .....	51
FIGURA 4.2 - ESTRATÉGIAS PARA AUMENTAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	52
FIGURA 4.3 - ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DO SOL DURANTE O VERÃO E O INVERNO.....	53
FIGURA 4.4 - INFLUÊNCIA DA INÉRCIA TÉRMICA NA AMPLITUDE TÉRMICA INTERIOR.....	55
FIGURA 4.5 - CLASSES DE INÉRCIA TÉRMICA .....	55
FIGURA 4.6 - EXEMPLIFICAÇÃO DO FATOR SOLAR .....	56
FIGURA 4.7 - GANHO SOLAR DIRETO .....	60
FIGURA 4.8 - PAREDE TROMBE NÃO VENTILADA DURANTE O INVERNO.....	61
FIGURA 4.9 - PAREDE DE TROMBE VENTILADA DURANTE O DIA DE INVERNO .....	62

FIGURA 4.10 - PAREDE DE TROMBE VENTILADA DURANTE A NOITE NO VERÃO.....	63
FIGURA 4.11 - FUNCIONAMENTO DO ESPAÇO ESTUFA. ....	64
FIGURA 4.12 - SISTEMAS DE SOMBREAMENTO.....	64
FIGURA 4.13 - COLETORES SOLARES TÉRMICOS MONTADOS EM SÉRIE .....	70
FIGURA 4.14 - COLETORES SOLARES TÉRMICOS MONTADOS EM PARALELO .....	70
FIGURA 4.15 - SISTEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM COLETOR SOLAR COM SISTEMA DE TERMOSSIFÃO .....	71
FIGURA 4.16 - SISTEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM COLETOR SOLAR COM CIRCULAÇÃO FORÇADA .....	71
FIGURA 4.17 - BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA. ....	74
FIGURA 4.18 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS DE PAINÉIS SOLARES E INTERAÇÃO COM A REDE.....	78
FIGURA 5.1 – ESTRATÉGIAS PARA AUMENTAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	85
FIGURA 5.2 – SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE.....	90
FIGURA 5.3 – SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CALOR .....	90
FIGURA 5.4 – BALANÇO ENERGÉTICO DOS CASOS DE ESTUDO. ....	101
FIGURA 5.5 – COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DA ENVOLVENTE EXTERIOR. ....	104
FIGURA 6.1 – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS EDIFÍCIOS.....	106
FIGURA 6.2 – SÍNTESE DA METODOLOGIA.....	113

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento do tema

Desde sempre que os impactos provocados pelas atividades humanas na terra não tiveram um impacto significativo no equilíbrio do sistema Terra. O Homem caçava, pescava e cultivava para se alimentar, utilizava a energia do sol para aquecimento e iluminação, a energia eólica para se transportar (barcos à vela), a força animal para transporte e agricultura. Estas atividades permitiram garantir um certo nível de sustentabilidade capaz de manter o equilíbrio no sistema Terra, ao longo de muitos anos.

Porém, fatores como o aumento da população e alterações nos estilos de vida das populações levaram a que se progredisse para um estado de desequilíbrio do sistema Terra. A população mundial tem vindo a aumentar de forma lenta e gradual, não se tendo encontrado grande alteração durante o último milénio. No entanto, nos dois últimos séculos tem-se vindo a verificar um aumento significativo na taxa de crescimento da população.

A Revolução Industrial revela-se como o principal ponto de viragem na evolução económica, tecnológica e social. Verificaram-se mudanças no estilo de vida da sociedade e consequentemente um aumento do consumo de recursos.

O avanço tecnológico permitiu melhorar os processos de produção, aumentando a velocidade de produção e diminuindo o custo de produção, permitindo aos consumidores ter um maior acesso aos bens produzidos. A industrialização provocou, como principal mudança, a nível ambiental a utilização de novas fontes de energia não renováveis, inicialmente o carvão e depois o gás natural e o petróleo, provocando um aumento significativo na exploração destes recursos, e com isso o aumento dos resíduos produzidos.

No início dos anos 80, devido à limitação dos recursos energéticos não renováveis e à necessidade de se encontrar alternativas aos combustíveis fósseis, as energias renováveis ganharam uma maior importância na sociedade, não só pelo facto de serem inesgotáveis, mas também pelo facto de serem energias que não emitem gases de efeito de estufa para a atmosfera, danificando permanentemente o ambiente.

Sendo a construção um dos setores com grande impacto ambiental, tornou-se necessário minimizar esse impacto sobre o meio ambiente, através da redução do consumo energético e aumento da eficiência energética dos edifícios.

## 1.2. Objetivo

Neste trabalho pretende-se desenvolver um estado de arte sobre as metodologias e processos operativos possíveis de implementar no ciclo de vida dos projetos de novos edifícios com vista a garantir o futuro desempenho de balanço energético neutro do edifício.

Pretende-se ainda demonstrar a necessidade de se atingir o balanço energético nulo nos edifícios, através da melhoria da eficiência energética dos processos e soluções construtivas, e a utilização de fontes de energia renováveis, de modo a garantir uma utilização dos recursos naturais mais controlada.

Pretende-se, através do estudo de processos e soluções construtivas, e o seu contributo para a eficiência energética do edifício, criar-se uma metodologia de forma a tentar atingir-se o balanço energético nulo do edifício.

## 1.3. Estrutura

A presente dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos que são a introdução, o estado da arte, o conceito *nZEB*, estratégias e tecnologias para alcançar o estatuto *nZEB*, os casos de estudo, a metodologia proposta e as conclusões da dissertação.

No primeiro capítulo é feita uma abordagem introdutória do presente trabalho, sendo definida a sua estrutura e objetivos.

No segundo capítulo é feita uma análise do consumo energético, do parque edificado português e da Diretiva EPBD. São ainda abordados os objetivos traçados por Portugal, para se alcançar os objetivos aos quais os países da União Europeia (UE) se propuseram, bem como os objetivos de outros países europeus.

No terceiro capítulo é feita a abordagem ao conceito dos edifícios de balanço energético nulo (*nZEB*), sendo apresentadas várias abordagens ao conceito. São apresentados algumas referências do conceito *nZEB*, a integração deste conceito no ciclo de vida dos edifícios e as fontes de produção de energia.

No quarto capítulo são apresentadas as estratégias que visam diminuir o consumo de energia nos edifícios, e a tecnologia para a produção de energia de fonte renovável.

No quinto capítulo são apresentados 5 casos de estudo de edifícios *nZEB*, sendo feita uma análise das soluções adotadas na conceção desses edifícios.

No sexto capítulo é apresentada a metodologia proposta, sendo apresentada a discussão da mesma.

No sétimo capítulo são apresentadas as conclusões e os desenvolvimentos futuros.





## **2. ENERGIA NOS EDIFÍCIOS**

### **2.1. Consumo de energia**

O consumo energético representa um dos maiores problemas na sociedade atual, devido ao facto de levar a um esgotamento progressivo das reservas das fontes de energia não renováveis, que representam a base do desenvolvimento da sociedade.

O excessivo consumo energético que se tem vindo a verificar ao longo do tempo tem levado a alterações climáticas no planeta. Este fenómeno tem sido motivo de preocupação a nível mundial, sendo um problema ambiental ao qual tem sido dado grande importância, principalmente pelos países desenvolvidos. Com o crescimento dos países desenvolvidos também tem vindo a aumentar a emissão de gases de efeito de estufa (GEE) para a atmosfera, levando ao aquecimento global. Este aumento da emissão de gases de efeito de estufa para a atmosfera pode ser minimizado, substituindo o uso dos combustíveis fósseis por energias renováveis. Esta substituição vai diminuir a dependência energética do petróleo, permitindo baixar a concentração de GEE na atmosfera.

Em 1997, com a assinatura do Protocolo de Quioto, Portugal e outros países industrializados, comprometeram-se a reduzir as emissões de GEE para a atmosfera, entre 2008 e 2012, em 5,2% dos valores atingidos em 1990. Em 2008, os valores de emissão de GEE para a atmosfera tinham aumentado em 30%, em relação aos valores de 1990, estando estes objetivos longe de serem conseguidos [1] [2].

A maior parte do consumo global de recursos naturais dá-se na zona temperada do hemisfério norte. A Europa Ocidental importa cerca de 80% dos seus minerais e 60% da sua energia. Devido ao crescimento económico dos países desenvolvidos a necessidade de consumo de energia primária tem sido mais acentuada nesses países, (Figura 2.1) [3].

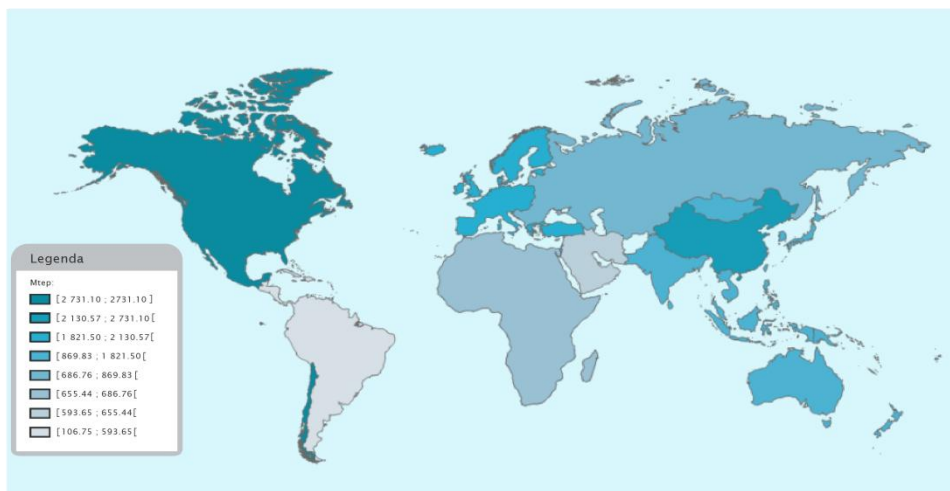


Figura 2.1 – Abastecimento mundial de energia primária (Mtep) [4].

Ao longo dos anos, desde 1971 até 2009, o consumo de energia primária a nível mundial tem vindo a aumentar, como se pode verificar na Figura 2.2. Para este aumento do consumo energético tem contribuído o aumento populacional que se verificou nas duas últimas décadas do século XX, tendo triplicado o número de habitantes no planeta, verificando-se um aumento no consumo de recursos energéticos.

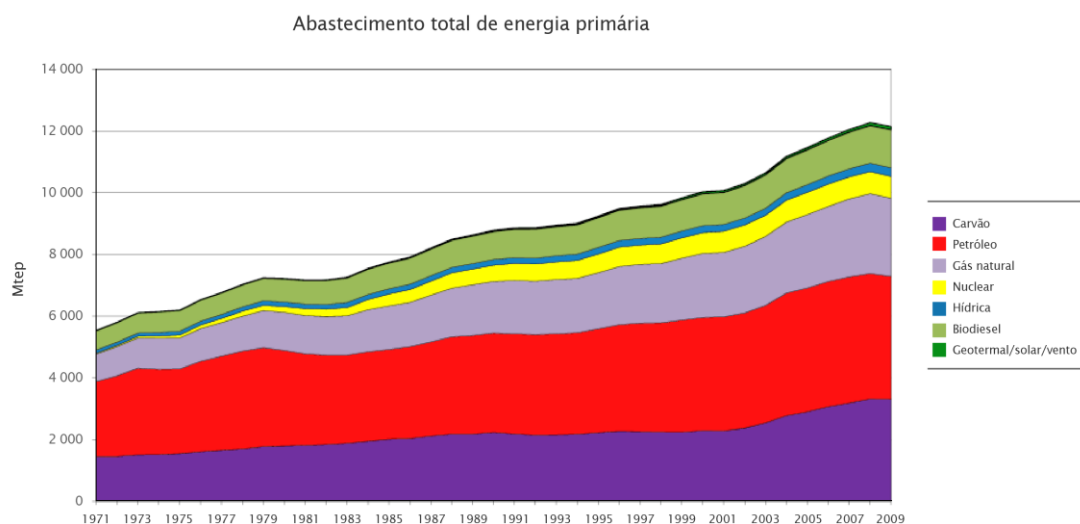


Figura 2.2 - Evolução do abastecimento mundial de energia primária (Mtep) [4].

Segundo a IEA, o consumo energético *per capita* mundial em 2009 era de 1,80 tep/*capita*. Não sendo uma distribuição uniforme, os maiores consumos energéticos *per capita* encontram-se

nos países mais desenvolvidos, pertencendo aos Estados Unidos da América o maior consumo energético de 7,03 tep/capita sendo bem maior que o valor médio mundial. Em 2009, Portugal registava um consumo energético *per capita* de 2,27 tep/capita, um valor ligeiramente superior à média mundial [4].

Devido à escassez de produção de recursos fósseis, nomeadamente o petróleo, o gás natural e o carvão, Portugal necessita de recorrer à importação de energia para satisfazer as suas necessidades energéticas, visto que a produção de energias renováveis, nomeadamente a energia hídrica, solar e a eólica, não serem suficientes para satisfazerem as necessidades energéticas do país. Este facto leva a que Portugal apresente uma taxa de dependência energética muito elevada. Devido á necessidade de importação de energia verifica-se que, entre 2000 e 2009, o valor da taxa de dependência energética esteve situado sempre acima dos 80%, só baixando este valor em 2010, como se pode verificar na Figura 2.3 [5].

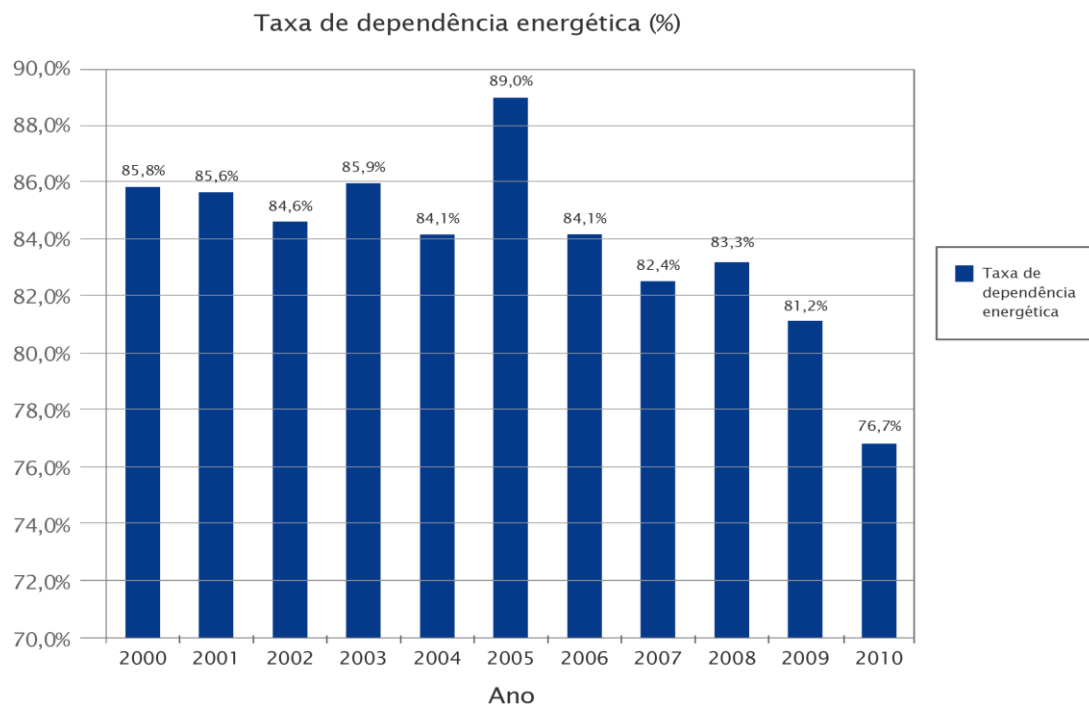


Figura 2.3 - Taxa de dependência energética em Portugal (%) [5].

A Figura 2.4, mostra a evolução dos consumos de energia primária em Portugal, sendo de notar que o petróleo apesar de ser o recurso energético principal, representando 49,1% do consumo total de energia primária em 2010, o seu consumo tem vindo a diminuir desde 2005, sendo dado uma maior importância às energias renováveis [5]. Em relação às formas de energia utilizadas, verifica-se uma diminuição nos consumos dos produtos de petróleo e um aumento do gás natural. Analisando o perfil energético do consumo de energia primária de Portugal, visto que apresenta uma elevada dependência do petróleo, pode-se afirmar que Portugal é um país extre-

mamente dependente ao nível energético, pois é um país que não tem qualquer tipo de produção desta fonte de energia, estando limitado à sua disponibilidade e variação de preços.

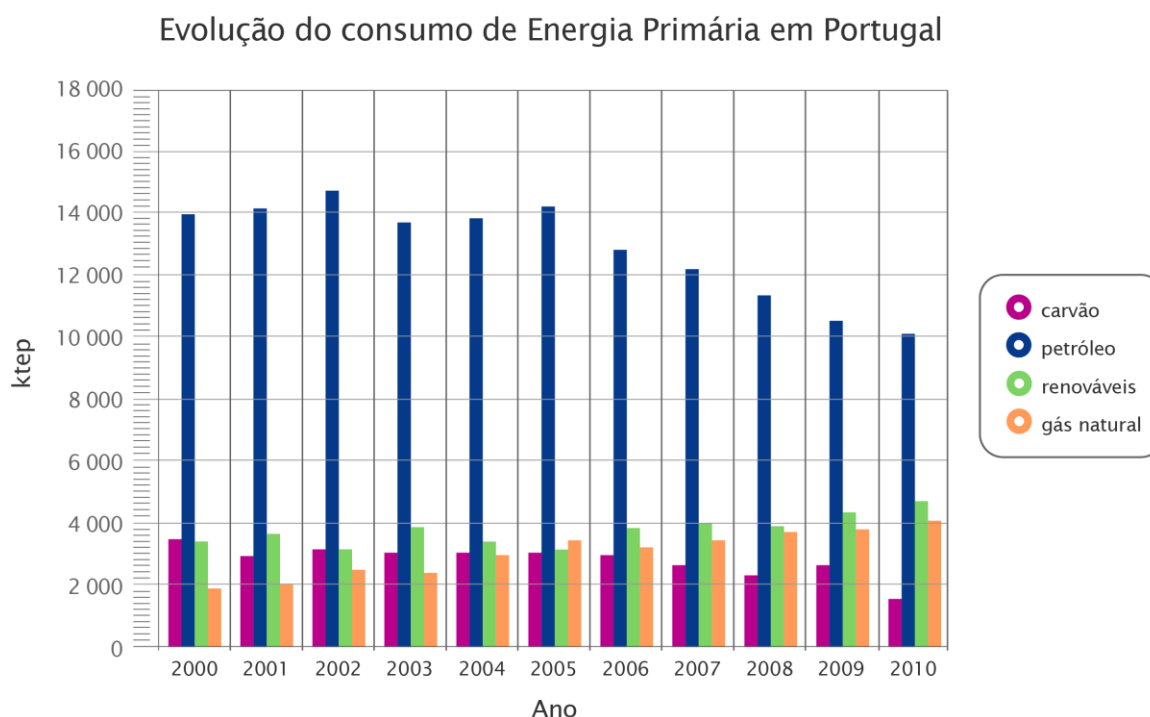


Figura 2.4 - Evolução do consumo de energia primária (Ktep) [5].

O sector energético é responsável por grande parte das emissões de GEE para a atmosfera, nomeadamente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e metano (CH<sub>4</sub>). Na Figura 2.5, apresenta-se a distribuição de consumos energéticos por sector de atividade económica, no ano de 2010. Pode-se verificar o peso do consumo de cada sector energético em relação ao consumo final de energia, sendo de 36,7% o consumo no sector dos Transportes, 29,6% na Indústria, 16,6% nos consumos Domésticos, 11,4% nos Serviços e 5,8% em outros sectores. Constatando-se assim uma grande incidência dos sectores dos Transportes e da Indústria no consumo de energia. Há que ter em conta que a produção de energia e o seu uso, tanto na indústria como nas habitações e meios de transporte, é responsável pela maioria de emissões de dióxido de carbono [5].

Consumo de Energia Final por Setor 2010 (%)

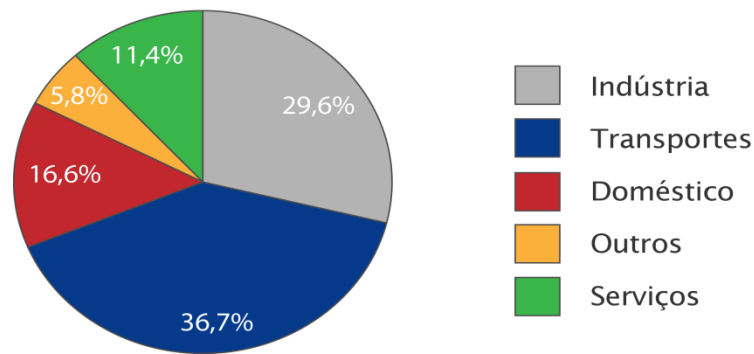


Figura 2.5 - Consumo de energia final por sector, 2010 (%) [5].

No sector doméstico, assiste-se a uma diminuição do consumo anual de energia elétrica por alojamento, sendo o valor desse consumo de 2672 kWh/alojamento em 2010 contra 2531 kWh/alojamento em 2011 [5].

Conhecendo os consumos dos diferentes sectores de atividade, estão a ser criados esforços para tentar minimizar estes consumos, através da criação de sistemas mais eficientes ou de substituição das fontes de energia utilizadas por energias renováveis. O aumento do consumo de energia primária a nível mundial tem tido um elevado impacto no meio ambiente, aumentando a emissões de gases para a atmosfera (nomeadamente GEE) contribuindo para o efeito de estufa, sendo necessário reduzir o consumo destes recursos, recorrendo a outras alternativas energéticas.

### 2.1.1. Consumo energético na construção

O sector da construção tem um grande impacto na economia, tendo uma contribuição significativa no volume de trabalho e no PIB, correspondendo a 9,7% do PIB na UE e 7,9% em Portugal [6].

O sector da construção é responsável por um elevado consumo de energia, produzindo uma elevada quantidade de resíduos e uma grande quantidade de emissões de GEE para a atmosfera, nomeadamente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A libertação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera é uma das causas do efeito de estufa, sendo possível relacionar os valores emitidos para a atmosfera e o crescimento económico. De forma a minimizar os efeitos deste sector no meio ambiente é necessário desenvolver o sector da construção de modo a que durante a sua conceção e utilização, os edifícios sejam menos poluentes [7].

Durante o seu ciclo de vida, os edifícios provocam impactes no meio ambiente, tais como a emissão de gases para a atmosfera, a produção de resíduos e a utilização de recursos, como se encontra referenciado na Figura 2.6.

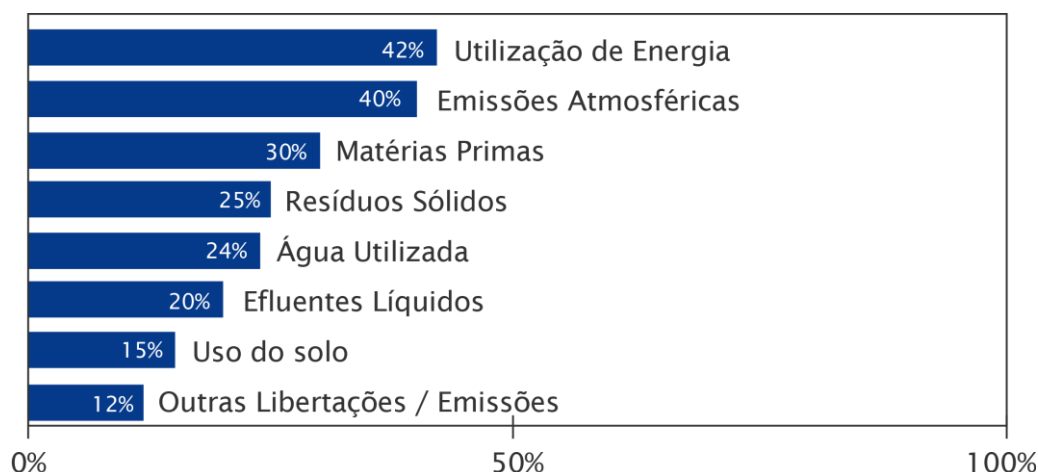


Figura 2.6 - Impacte ambiental dos edifícios, EUA [8].

Durante o ciclo de vida de um edifício, é durante a fase da construção que ocorrem as maiores alterações e impactes no meio ambiente. Estas alterações ocorrem num curto espaço de tempo, e podem afetar a fauna e a flora do meio ambiental envolvente, através da produção de resíduos, consumo de matérias-primas e do elevado ruído produzido. Apesar de ser na fase da construção que se verificam as maiores alterações no meio ambiente, é durante a fase da utilização que os impactes são maiores, sendo sobretudo impactes ambientais ligados ao consumo de energia. Segundo a Figura 2.7, a utilização da energia durante a fase da construção no ciclo de vida de um edifício corresponde apenas a 12% do seu consumo total. A fase da utilização, sendo a fase mais duradoura deste ciclo de vida, corresponde a 84% do consumo total de energia. A utilização de equipamentos de aquecimento, ventilação, aquecimento de água e equipamentos elétricos, têm uma responsabilidade grande no consumo energético do edifício. A fase da manutenção e reparação corresponde apenas a 4% do consumo total de energia [9] [10].

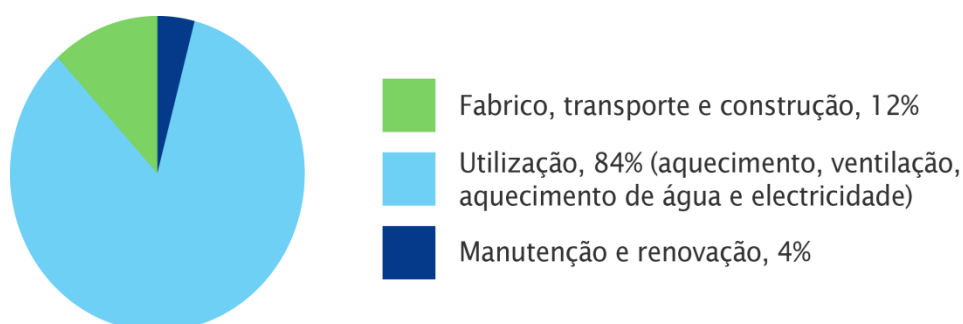


Figura 2.7 - Utilização de energia durante o ciclo de vida de um edifício [10].

Para que sejam alcançados melhores níveis de desempenho energético dos edifícios, é necessário que sejam feitas mudanças na utilização dos edifícios. Estas mudanças não só melhoram o consumo energético do edifício, bem como diminuem a utilização de recursos energéticos

por parte do edifício, sendo importante diminuir o consumo de energia e reduzir os impactos ambientais neste sector.

## 2.2. Parque edificado

Nos censos de 2011 registaram-se em Portugal 3,5 milhões de edifícios residenciais aos quais correspondiam 5,8 milhões de alojamentos familiares, sendo que apenas 3,9 milhões são alojamentos permanentes [11].

Analisando a densidade populacional e a densidade de alojamentos por município, Figura 2.8, é possível estabelecer uma relação de dependência entre o número de residentes e o número de habitações. Existem zonas que fogem a esta relação de dependência, como a zona do Algarve, na qual muitas habitações são utilizadas de forma sazonal, como habitações secundárias, verificando-se uma grande divergência entre estes dois fatores. O desenvolvimento dos grandes centros urbanos foi outro fator que incentivou o despovoamento das zonas interiores.

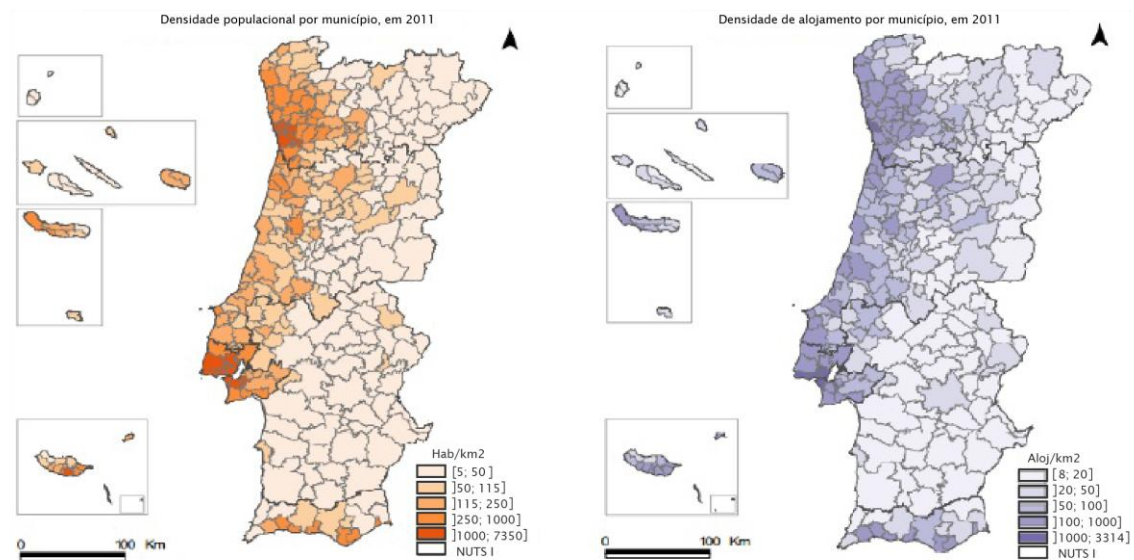


Figura 2.8 - Densidade habitacional e densidade populacional por município, 2011 [11].

Devido ao grande crescimento do parque habitacional, nomeadamente depois dos anos 70, o parque habitacional português apresenta um índice de envelhecimento baixo. Como se pode observar na Figura 2.9, cerca de 60% dos edifícios foram construídos depois de 1971, sendo considerado um parque edificado relativamente recente [11] [12].

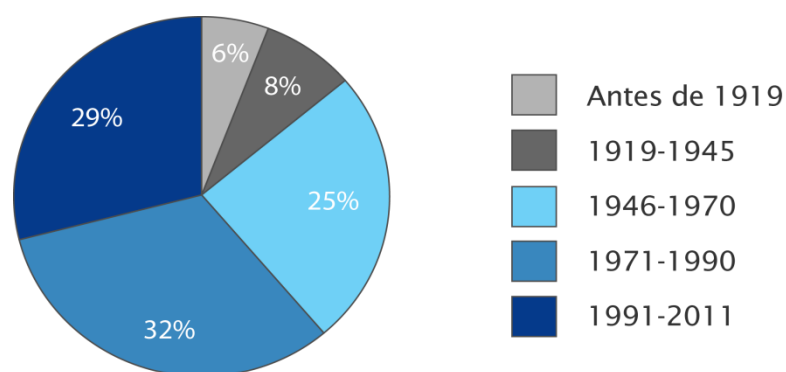


Figura 2.9 - Edifícios segundo a época de construção [11].

Apesar de Portugal registar um dos parques edificados mais recentes da UE, este encontra-se com claros sinais de degradação. De acordo com os Censos de 2011, cerca de 71% dos edifícios em Portugal não necessitam de quaisquer necessidades de reparação, face aos 27% dos edifícios que necessitam de pequenas, médias ou grandes reparações. Em 2011, foram contabilizados cerca de 950.000 edifícios com necessidades de reparações, dos quais aproximadamente 60.250 se encontravam num estado muito degradado, representando 1,7% do parque edificado [11].

Com base nos registos de reparações do parque edificado, pode-se constatar que a manutenção do parque não se afirmou como uma das principais preocupações por parte dos proprietários dos edifícios, podendo-se dizer que não se encontra num estado de degradação mais grave, porque se trata dum parque edificado recente.

Em 2011, cerca de 4,3 milhões de habitações encontrava-se ocupada pelo próprio proprietário, registando 73% do total das habitações existentes, enquanto apenas 20% se encontrava segundo o regime de arrendamento. É possível verificar, que em Portugal predominam as habitações ocupadas pelos proprietários, sendo este valor superior à média da UE, enquanto o regime de arrendamento é superior na UE do que em Portugal. Este facto revela que o investimento feito pelo estado no sector da habitação tem sido maior no apoio à compra de habitação própria, do que no incentivo ao arrendamento. Num país no qual 73% dos alojamentos se encontram num regime de ocupação pelo próprio dono, não se pode afirmar que em Portugal exista a prática da preservação do parque edificado [11] [12] [13].

Considerando que 2,5 milhões de fogos necessitam de uma requalificação energética, tendo em conta um ritmo médio de requalificação de 100.000 fogos/ano, pode-se esperar um período de requalificação de 25 anos. Considera-se que o contributo do sector da habitação para alcançar os objetivos da diminuição do consumo energético e redução de emissão de GEE para a atmosfera fica aquém do desejável [12].

### 2.2.1. Repartição do consumo energético no parque edificado

Em Portugal, no sector residencial, com cerca de 3,6 milhões de edifícios, o consumo de energia primária em termos nacionais corresponde a 17% do consumo total, correspondendo em termos de consumo de eletricidade a 29% do consumo total nacional, o que nos indica que é necessário reduzir o consumo de energia no sector residencial [14].

Em 2004, a distribuição do consumo de energia elétrica de um edifício de habitação encontra-se representado na Figura 2.10. É possível verificar que os eletrodomésticos (frigorífico, máquina de lavar roupa, congelador), a iluminação e o aquecimento ambiente representam a maior fatia no consumo de energia elétrica [14].

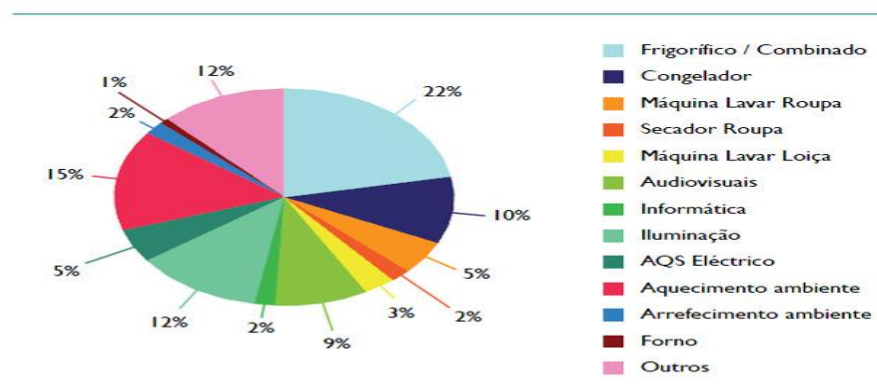


Figura 2.10 - Repartição dos consumos de eletricidade num edifício, 2004 [14].

Uma das grandes causas do elevado consumo dos equipamentos reside na ineficiência energética dos próprios equipamentos utilizados e dos hábitos e procedimentos de utilização dos equipamentos. O consumo energético por parte da refrigeração e congelação dos alimentos representa 32% do consumo de eletricidade num edifício, sendo que 68% desse consumo se deve à perda de frio por parte do isolamento do próprio equipamento, devido à sua ineficiência energética [14].



Figura 2.11 – Causas da perda de frio [14].

Os eletrodomésticos de linha branca (máquinas de lavar, frigoríficos, etc.), o ar condicionado e as fontes de luz, são equipamentos com um uso muito frequente nas habitações, sendo importante comprar estes equipamentos com uma elevada classe de eficiência energética. De modo a facilitar a informação da classe energética aos consumidores, os equipamentos são classificados segundo uma etiqueta energética, comum em toda a Europa. A legislação em vigor obriga o vendedor a etiqueta energética do eletrodoméstico, que são classificados com base nos valores fornecidos pelo fabricante. Na etiqueta energética existem 7 classes de eficiência energética, que se encontram identificadas por cores e letras, sendo a cor verde e a letra A, para os equipamentos mais eficientes, e a cor vermelha e a letra G, para os menos eficientes, (Figura 2.12). O consumo energético pode ser três vezes maior num equipamento de classe G comparativamente ao de classe A, para o mesmo desempenho [14].

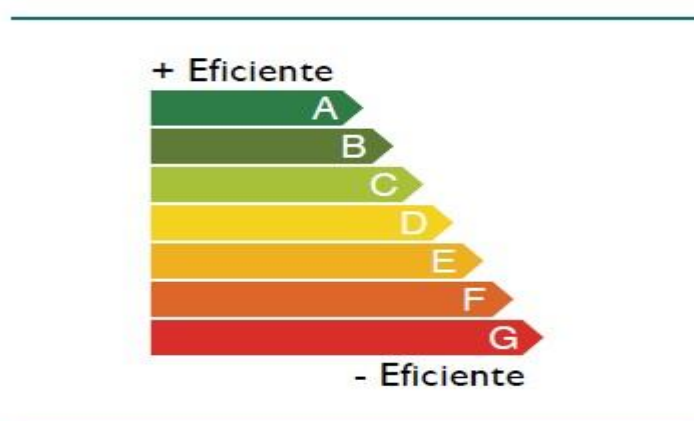


Figura 2.12 – Etiqueta energética [14].

O grande consumo de energia nas habitações para o aquecimento e arrefecimento do ambiente deve-se, sobretudo, ao desconforto térmico sentido pelos seus ocupantes no interior da

habitação. As diferenças de temperatura verificadas ao longo do ano, entre o exterior e o interior da habitação, provocam a sensação de desconforto nos ocupantes, levando-os a procurar outras formas de aquecimento e arrefecimento do interior, nomeadamente sistemas de climatização que apresentam um elevado consumo energético na sua utilização. Atualmente, os utilizadores registam uma maior permanência no interior das habitações, devido aos novos tipos de atividades na vida quotidiana. Este estilo de vida leva a um aumento do consumo de energia, na procura de atingir um maior nível de conforto no interior da habitação [15].

Tendo Portugal um clima temperado, um dos climas mais equilibrados e próximos dos níveis de bem-estar do homem, e um dos países da Europa com maior número de horas de sol por ano, não se justifica o elevado consumo energético que hoje em dia se desperdiça no aquecimento e arrefecimento de edifícios quando uma parte significativa deste consumo podia ser facilmente minimizado usando técnicas construtivas que, respetivamente, aproveitassem ou evitassem, dependendo da época do ano.

### 2.3. Diretiva EPBD – Energy Performance of Buildings Directive

Em 2002, o Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia aprovaram o principal instrumento legislativo com vista à melhoria da eficiência energética nos edifícios, a Diretiva 2002/91/CE sobre o desempenho energético dos edifícios (EPBD). Esta Diretiva faz parte de um conjunto de iniciativas sobre as alterações climáticas e de compromissos assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto.

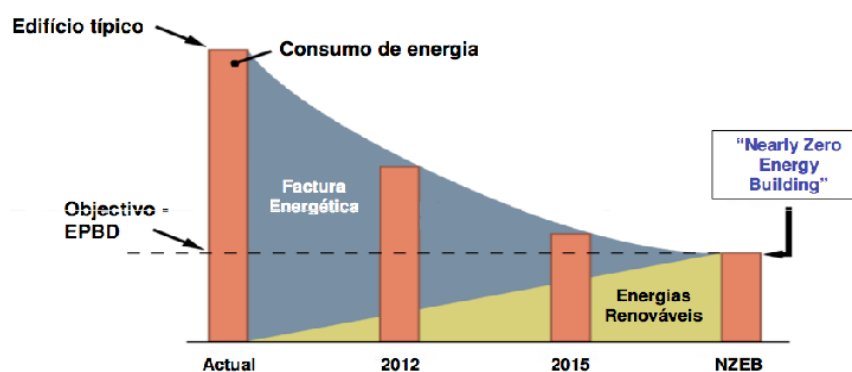


Figura 2.13 – Objetivo EPBD, adaptado de [67].

A atribuição de certificação energética aos edifícios europeus é o primeiro passo importante para ganhar uma visão sobre o desempenho energético dos edifícios existentes e melhorar os

desempenhos dos edifícios novos. O certificado é emitido quando o edifício é construído, vendido, ou alugado e é válido durante 10 anos. Os documentos de certificação do desempenho energético do edifício, expresso como um índice e termo de consumo de energia, emissões de dióxido de carbono ou o custo de energia por unidade de área, de forma a permitir uma comparação entre edifícios através da atribuição de classes energéticas. De acordo com a EPBD, nos novos edifícios e nos edifícios existentes com uma área superior a 1000 m<sup>2</sup>, que estão sujeitos a grandes obras de renovação, têm que cumprir requisitos mínimos em relação ao desempenho energético [16] [17].

A 19 de Maio de 2010, é aprovada a Diretiva 2010/31/EU, sendo uma revisão da Diretiva 2002/91/CE, tendo como principal foco a redução das necessidades energéticas aumentando a eficiência energética como meio para atingir o equilíbrio energético a longo prazo. As principais alterações da reformulação da EPBD são: [17] [18]

- Esta diretiva impõe que, a partir de 31 de Dezembro de 2020, todos os novos edifícios sejam edifícios com balanço energético quase nulo;
- A partir de 31 de Dezembro de 2018, todos os edifícios públicos o prazo é até 31 de Dezembro de 2018;
- As medidas e políticas nacionais devem estimular a transformação dos edifícios sujeitos a remodelações em edifícios com necessidades energéticas quase nulas;
- Deixa de existir o atual limite de 1000 m<sup>2</sup> para as grandes remodelações, para o qual é necessário um documento de certificação energética, passando esse valor a ser reduzido para 500 m<sup>2</sup> e a 250 m<sup>2</sup> em 2015;
- A aplicação da nova EPBD vai acelerar a integração de energias renováveis nos edifícios;
- Estabelece que os Estados-Membros têm que implementar um sistema mais rigoroso para a emissão de certificados energéticos, sendo estes obrigatórios para os novos edifícios, e os existentes destinados a venda ou arrendamento;
- Os Estados-Membros têm que criar um sistema de controlo do desempenho energético dos edifícios.

Uma maior eficiência energética nos edifícios pode proporcionar melhores condições de vida e uma redução nos custos operacionais do edifício. Estima-se que o impacto da EPBD na poupança de energia seja cerca de 5% no consumo total de energia da UE. A Comissão Europeia vai apoiar os esforços para aumentar a consciência de todas as autoridades, a indústria da construção e os cidadãos sobre as oportunidades de poupança, enquanto novos regimes de financiamento são introduzidos de forma a superar as barreiras de investimento [19].

### 2.3.1. EPBD em Portugal

Em Portugal, a legislação relativa à estratégia energética nacional não se revela uma preocupação recente, tendo sido criadas diretrizes ao longo dos tempos. Desde 1990 que existe a preocupação com a qualidade da construção em Portugal, com a aprovação do Decreto-Lei 40/90 de 6 de Fevereiro, mas a maior mudança ocorre em 2006 com a promulgação de três Decretos-Lei (DL) que constituem a base da Diretiva 2002/91/CE de 16 de Dezembro (EPBD). Estes DL são:

- Decretos-Lei 78/2006 de 4 de Abril, no qual é aprovado o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos edifícios (SCE);
- Decretos-Lei 79/2006 de 4 de Abril, no qual é aprovado o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização nos Edifícios (RSECE);
- Decretos-Lei 80/2006 de 4 de Abril, no qual é aprovado o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

A aplicação destes três regulamentos tem como objetivo diminuir o consumo energético dos edifícios, abrangendo ainda os sistemas de climatização dos edifícios, não só na perspetiva da eficiência energética, mas também com vista à preservação da qualidade do ar interior nos edifícios. Através deste panorama legal pretende-se diminuir os níveis de consumo energético nos edifícios e o seu impacto no meio ambiente relativamente à produção e utilização de energia, nomeadamente na redução da emissão de GEE para a atmosfera [20].

O Sistema de Certificação Energética (SCE) encontra-se supervisionado pela DGEG e pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), sendo a gestão feita pela ADENE. A grande alteração feita por este sistema é a introdução do Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior, sendo este certificado feito por peritos qualificados. Cada edifício ou fração será classificado de acordo com o seu desempenho energético numa escala que vai desde A+ (classe mais eficiente) até ao G (classe menos eficiente). Os novos edifícios terão que obter uma classe igual ou superior a B-, enquanto os edifícios já existentes poderão obter qualquer classificação [20].



Figura 2.14 – Classes energéticas [20].

Devido à aplicação da Diretiva EPBD, foi possível classificar a classe energética dos edifícios, permitindo fazer uma comparação do nível de eficiência energética entre edifícios. Em 2010, as classes energéticas dos edifícios certificados eram dispostas de acordo com a Figura 2.15.

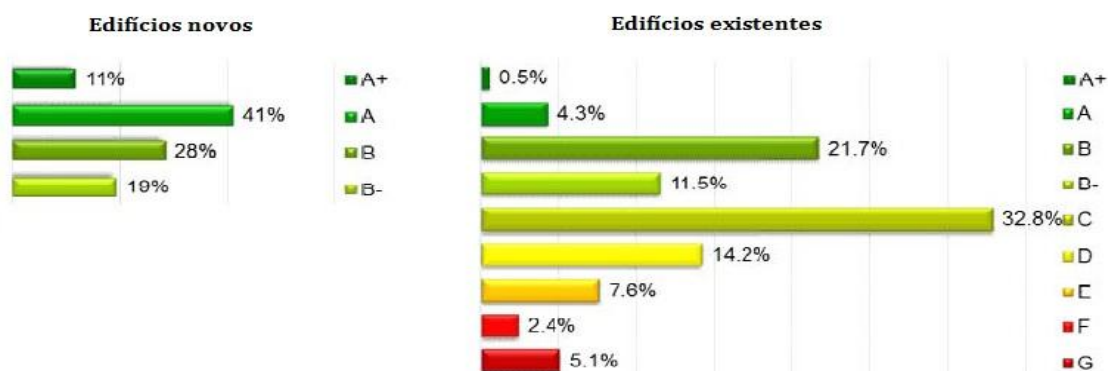


Figura 2.15 – Classes energéticas dos edifícios novos e existentes, 2010 [20].

As imposições do RCCTE são aplicadas a edifícios de habitação e a pequenos edifícios de serviço sem sistemas de climatização ou providos de sistemas de climatização que não ultrapassem uma potência instalada de 25 kW. O RSECE é aplicado essencialmente em grandes edifícios de serviços e a edifícios que tenham sistemas de climatização com uma potência instalada superior a 25 kW. A potência instalada corresponde à maior das potências instaladas no edifício para aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias (AQS) [12].



Figura 2.16 – Âmbito de aplicação dos regulamentos RCCTE e RSECE [12].

Assim sendo, o RCCTE estabelece os requisitos edifícios de habitação novos ou sujeitos a remodelações, sem sistemas de climatização, nomeadamente a nível das características da envolvente do edifício, de modo a que as exigências de conforto térmico, de aquecimento ou arrefecimento, bem como as necessidades de água quente sanitária (AQS), possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia.

## 2.4. Objetivos 20-20-20

Nos edifícios a quantidade muito baixa ou quase nula de energia deve ser coberta em grande parte por FER para satisfazer as necessidades do edifício. Esta medida vai ser uma grande contribuição para alcançar os objetivos propostos pela UE definidos na Estratégia Europa 2020 (CE 2020), conhecidos como os objetivos 20-20-20: [21]

- Redução da emissão de GEE de pelo menos 20% em relação ao valor de 1990;
- Aumentar em 20% a contribuição das FER para o consumo final de energia da UE;
- Uma redução de 20% na utilização de energia primária, através da melhoria da eficiência energética, em 2020.

Estas são as metas às quais os países membros da UE se comprometeram a cumprir em 2020, sendo propostas por cada país os planos e metas a seguir.

#### **2.4.1. Proposta de ação no contexto Português**

No seguimento para alcançar os objetivos propostos na UE para 2020, cada país elaborou os seus planos e metas nacionais. Em Portugal foram criados planos de ação referentes à eficiência energética em Portugal, o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE) aprovado na Resolução do Conselho de Ministros 80/2008 de 20 de Maio, e a Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020) aprovada na Resolução de Conselho de Ministros 29/2010 de 15 de Abril.

O Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética – Portugal Eficiência 2015 (PNAEE) estabelece como meta a alcançar até 2015, a implementação de medidas de melhoria de eficiência energética equivalentes a 10% do consumo total de energia. A autoridade responsável pela monitorização deste plano é o Ministério da Economia e da Inovação, através de relatórios anuais apresentados pela Direção Geral da Energia e Geologia (DGEG), com o apoio da Agência para a Energia (ADENE). O plano está delineado sobre a tecnologia de quatro áreas específicas: Residencial e Serviços, Transportes, Indústria, e Estado. Em cada uma das áreas referidas são apresentados programas com medidas de eficiência energética [22].

Na área dos Transportes existem três programas com vista à melhoria da eficiência energética: [22] [23]

- Programa Renove Carro, que engloba várias medidas de melhoria da eficiência nos veículos, nomeadamente na renovação de equipamentos e na utilização de produtos com uma maior eficiência.
- Programa Mobilidade Urbana, identifica medidas relacionadas com os diferentes tipos de transportes públicos nos centros urbanos e empresariais.
- Sistema de Eficiência Energética nos Transportes, quantifica o impacto na utilização eficiente do conceito de autoestradas do mar e de plataformas logísticas.

Na área Residencial e Serviços também são apresentados três programas de melhoria da eficiência energética: [22] [23]

- Programa Renove Casa, o qual integra várias medidas de eficiência energética na iluminação, eletrodomésticos, eletrónica de consumo e reabilitação de espaços.
- Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios, que definem medidas que resultam do processo de certificação energética, em relação aos isolamentos, à melhoria de vãos envidraçados e dos sistemas energéticos.
- Programa Renováveis na Hora, que é orientado para o aumento de energias de fontes renováveis na área Residencial e dos Serviços.

Na área da Indústria apenas se apresenta um programa: [22] [23]

- Sistema de Eficiência Energética na Indústria, no qual se pretende substituir o Regulamento de Gestão de Consumo de Energia, que se encontra no Decreto-Lei nº 58/82 de 26 de Fevereiro, por um novo regulamento, o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), criando algumas medidas no sector industrial em relação às tecnologias, aos motores elétricos, à produção de calor e frio, iluminação e outras medidas de eficiência energética.

Na área do Estado é apresentado um programa de melhoria da eficiência energética: [22] [23]

- Eficiência Energética no Estado, que engloba um conjunto de medidas dirigidas aos edifícios e frotas de transporte do Estado e à iluminação pública.

Este plano não abrange só a eficiência nas tecnologias, sendo o comportamento dos utilizadores, os incentivos fiscais e financiamento áreas abrangidas por este plano.

Tendo em conta os novos objetivos traçados no Programa do XVIII Governo Constitucional para a política energética e a necessidade de revisão do PNAEE, o Governo cria uma Estratégia Nacional para a Energia com o horizonte de 2020 (ENE 2020). A ENE 2020 baseia-se em 5 grandes eixos, sendo um eixo direcionado para as energias renováveis definindo metas e objetivos em relação às FER, valorizando o potencial dos recursos endógenos e apostando na contribuição destes recursos para alcançar os objetivos de 2020. Os eixos que representam a base desta estratégia são: [22] [23]

- Eixo 1 – É uma Agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira;
- Eixo 2 – Aposta nas energias renováveis;
- Eixo 3 – Promove a eficiência energética;
- Eixo 4 – Garante a segurança de abastecimento;
- Eixo 5 – Promove a sustentabilidade económica e ambiental.

Esta estratégia tem como ambição colocar Portugal na liderança da revolução energética, no que diz respeito ao uso de energias renováveis, as quais têm um papel fundamental para a concretização do objetivo traçado por esta estratégia. Tendo em conta o contributo das FER, os objetivos da ENE 2020 são: [23] [24]

- Em 2020 31% do consumo final de energia, 60% da eletricidade produzida e 10% do consumo no sector dos transportes rodoviários sejam de fontes de energia renováveis, cumprindo as políticas europeia de energia.
- Reduzir a dependência energética para cerca de 74% em 2020.
- Reduzir o saldo de importação de energia em 25%, com a produção de energia através de fontes endógenas, permitindo reduzir as importações em cerca de 60 milhões de barris de petróleo.
- Promover uma maior utilização de FER e da eficiência energética, com vista a alcançar os objetivos propostos em relação à emissão de GEE para a atmosfera.

A ENE 2020 estabelece um conjunto de medida, com vista à promoção da utilização de FER, sendo estas: [23] [24]

- Até 2012 criar um fundo de equilíbrio tarifário para minimizar as variações das tarifas de eletricidade, criando uma base de sustentabilidade económica para o crescimento a longo prazo da utilização de energias renováveis.

- Durante 2010, desenvolver bases de apoio ao investimento na área das energias renováveis, designadamente no apoio ao solar térmico.
- Atualizar o Programa de microprodução, estabelecendo metas ambiciosas para este programa, e criar um Programa de mini produção para projetos com potenciais até 150kW ou 250kW dependendo das tecnologias em utilização.
- Aprovar medidas com vista a promover a produção de biomassa florestal, através da promoção das culturas energéticas e da certificação da gestão florestal.
- De forma a aproveitar o potencial hídrico, concretizar o Plano Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroelétrico (PNBEPH).
- Dinamizar a utilização do veículo elétrico criando condições para a sua massificação no mercado nacional.

Desta forma, com o PNAEE e com a ENE 2020, Portugal pretende alcançar os objetivos aos quais se propôs para 2020. Embora sejam metas ambiciosas, devido ao elevado potencial de instalação de FER, nomeadamente energia solar, hídrica e eólica, é possível concretizar estes objetivos.

#### **2.4.2. Proposta de ação no contexto Europeu**

Cada país membro da UE traçou as suas próprias metas e os seus planos de ação de forma a alcançar os objetivos a que se propuseram.

##### **Suécia [25]**

A Suécia obtém grande parte do seu consumo energético através de FER (47% em 2009), sendo grande parte devido à produção de energia hídrica e de energia da biomassa. A biomassa representa 29% do consumo energético do consumo energético final. Até aos anos 70 a Suécia tinha uma grande dependência dos combustíveis fósseis, sendo necessário recorrer à importação de matéria-prima. Mas nos anos 70, com o desenvolvimento da energia nuclear e da energia hídrica, e mais tarde com a energia da biomassa, permitiu que a Suécia transformasse a sua economia numa economia com um baixo nível de carbono.

Em 2009, aprovou uma política energética para a Suécia, tendo como base a sustentabilidade ecológica, a competitividade e a segurança no fornecimento de energia. O acordo representa um caminho para sair da dependência da energia fóssil. As medidas de promoção das energias renováveis e o uso mais eficiente da energia vão reforçar a segurança de fornecimento de energia e a competitividade da Suécia. São traçados objetivos ambiciosos em relação à energia com vista aos objetivos de 2020:

- Uma redução de 40% na emissão de GEE para a atmosfera, em comparação com o valor de 1990;
- Aumentar para pelo menos 50% a contribuição das energias renováveis para o consumo final de energia;
- Aumentar para pelo menos 10% a contribuição das energias renováveis para o consumo no sector dos transportes;
- Aumentar a eficiência energética em 20% em relação aos valores de 2008.

Estas são as medidas com o objetivo de cumprir os objetivos para 2020, no entanto o governo implementou medidas a longo prazo. Os objetivos a longo prazo são:

- Em 2030, a Suécia deve ter em circulação veículos independentes de combustível fóssil.
- Sendo a produção elétrica grande parte baseada na produção da energia hídrica e na energia nuclear, e de forma a reduzir a vulnerabilidade e aumentar a segurança no fornecimento de energia, deve ser criada um terceiro pilar na produção de energia elétrica.

A estratégia energética da Suécia está cada vez mais influenciada pelas decisões a nível nacional. Os objetivos propostos para 2020 asseguram que os objetivos aos quais se comprometeu com a UE serão cumpridos.

### **Dinamarca [25]**

Na Dinamarca a eficiência energética melhorou 20% entre 1990 e 2010, tendo todos os sectores contribuído para esta melhoria. O governo lançou uma política de eficiência energética tendo em conta as soluções rentáveis com base no mercado existente. Os dois principais docu-

mentos para estabelecer as diretrizes gerais para a política de eficiência energética dinamarquesa são:

- “Our Future Energy”, Novembro de 2011;
- “Energy Agreement, accelerating green energy towards 2020”, Março de 2012.

Os esforços de redução do consumo de energia foram intensificados, em particular no consumo de energia nos edifícios e em aparelhos elétricos. As principais iniciativas incluem exigências de energia mais rigorosas previstas nos regulamentos de construção, um sistema de classificação energética melhorado e uma inspeção dos sistemas de ventilação. Foram criados dois programas para a poupança e eficiência energética:

- “Energy efficiency strategy for buildings”;
- “Energy Savings in Buildings”.

Sendo estas as principais estratégias para alcançar os objetivos aos quais a Dinamarca se comprometeu com os restantes membros da UE.

### **Reino Unido [25]**

No Reino Unido, a eficiência energética melhorou em 25% entre 1990 e 2010, sobretudo devido aos sectores da indústria, habitação e transportes. O Departamento para as Alterações Climáticas (DECC) publicou o Plano de carbono em 2011. O plano define a estratégia para alcançar os objetivos em relação às emissões de carbono para a atmosfera até 2027, no caminho para a redução das emissões do Reino Unido em 80% (em relação aos níveis de 1990). O governo confirmou a sua intenção de tornar todos os novos edifícios a partir de 2016, em edifícios com emissões de carbono nulas, tendo implementado um novo regulamento para os novos edifícios estabelecendo os padrões de desempenho energético e sobre a redução do consumo de energia. O governo vai implementar os Zero Carbon Buildings de forma a reduzir a procura energética dos novos edifícios.

### **Alemanha [25]**

Entre 1990 e 2010, a eficiência energética na Alemanha melhorou 24%. A Alemanha definiu planos a longo prazo, baseando os seus planos na melhoria da eficiência energética e

complementar as necessidades energéticas do edifício com as energias renováveis. A nível do consumo energético os objetivos são muito ambiciosos, sendo definido uma redução de 20% do consumo energético para 2020 (em relação ao valor de 2008), e uma redução de 50% para 2050. O sector da construção é considerado a chave para uma maior eficiência energética, sendo impostas as seguintes medidas neste sector: promover a conceção de novos edifícios sem emissões de carbono a partir de 2020, indo de encontro com o plano “*Energy Saving*” de 2012; desenvolver um plano para 2020 que visa a renovação dos edifícios existentes; aumentar os incentivos para a utilização de energias renováveis para produção de calor nos edifícios. Neste sector espera-se uma redução de 20% nas necessidades de aquecimento para 2020, e uma redução de energia primária à volta de 80% em 2050 (comparados com os valores obtidos em 2008).

### 3. CONCEITO *NZEB* - “*NET-ZERO ENERGY BUILDINGS*”

#### 3.1. Introdução do conceito *nZEB*

O sector dos edifícios é responsável pelo consumo de cerca de 35% da energia total, nos países membros da OCDE. O consumo de energia nos edifícios vai continuar a aumentar até os edifícios serem projetados para produzirem energia no local suficiente para satisfazer as suas necessidades energéticas. Devido ao grande impacto dos edifícios no consumo final de energia, foi preciso reduzir as necessidades energéticas dos edifícios através da melhoria da eficiência energética, sendo esta a melhor alternativa para se garantir a sustentabilidade energética a longo prazo. Estima-se que a combinação da melhoria da eficiência energética nos edifícios com a produção de energia renovável no local, tenha potencial para atingir o balanço energético nulo nos edifícios (*nZEB*) [26] [27].

Existem várias interpretações deste conceito, mas como o próprio nome indica, os *Net-Zero Energy Buildings* e os *Near-Zero Energy Buildings* são edifícios de balanço energético nulo ou quase nulo. Diferentes definições podem ser apropriadas, dependendo dos objetivos do projeto e dos valores da equipa de projeto e do proprietário do edifício. Este tema tem vindo a ganhar uma maior importância os últimos tempos devido à Diretiva Europeia para o Desempenho Energético de Edifícios (EPBD) de Maio de 2010. De acordo com esta diretiva um edifício de balanço energético quase nulo trata-se de um edifício com um desempenho energético elevado, no qual as suas necessidades energéticas nulas ou muito pequenas são cobertas em grande parte pela energia produzida no local ou nas suas imediações [27] [28].

É difícil encontrar um edifício que possa ser chamado de primeiro *Zero Energy/Emission Building* (*ZEB*). Uma das razões poderá ser devido ao facto deste conceito *ZEB* não ser um conceito novo, tratando-se apenas de uma designação moderna para os edifícios. No entanto foi no final dos anos 70 e início dos anos 80 que começam a aparecer alguns artigos nos quais as frases “*a zero energy house*”, “*a neutral energy autonomous house*” ou “*an energy-independent house*” começaram a ser utilizadas. Este tema surgiu na altura em que as consequências da crise do petróleo começaram a fazer-se sentir e a utilização de fontes de energia fósseis começou a ser um assunto discutido [28].

Ao longo dos tempos diferentes tipos de conceitos *ZEB* foram descritos, no entanto em quase todos os artigos o conceito *ZEB* estava definido de diferentes maneiras ou simplesmente não se utilizava uma definição exata. Normalmente, as maneiras utilizadas para alcançar o objetivo do balanço energético nulo, tinham consequências na definição do conceito *ZEB*. Recentemen-

te, a falta de entendimento e a dificuldade de se conseguir encontrar uma definição comum do conceito *ZEB* tornou-se visível, sendo que este conceito de edifício é pensado para ser uma solução eficaz para diminuir uso de energia e as emissões de GEE no sector da construção [28].

Devido ao facto deste conceito ser um conceito muito geral, surge a necessidade de se recorrer a uma definição mais rigorosa do conceito. Torcellini, et al.(2006), apresenta uma definição geral do conceito *nZEB*, que se encontra em utilização pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE): Um edifício *ZEB*, é um edifício residencial ou comercial com necessidades energéticas reduzidas, através de ganhos energéticos eficientes, de forma que o balanço energético das suas necessidades possa ser fornecido por tecnologias de fontes renováveis. No entanto, nesta definição existe uma falta de definição do termo “zero”, no qual o autor refere que apesar do entusiasmo em torno da frase “zero energy” falta encontrar uma definição comum ou até mesmo a compreensão do que significa. Mais á frente o autor indica que a definição do conceito *ZEB* pode ser construído de várias maneiras dependendo dos objetivos do projeto, as intenções do investidor, preocupação sobre as alterações climáticas e emissões de GEE para a atmosfera ou dos custos associados à energia. Tendo em conta os cenários apresentados, são apresentadas quatro definições do conceito *ZEB*: [29]

*Net-Zero Site Energy* – Produz, no mínimo, tanta energia (através de fontes renováveis) quanto aquela que consome ao longo de um ano (energia contabilizada no local); Exemplo: Se um edifício consome da rede 2000 kWh de eletricidade para aquecimento, para suplementar a sua produção de energias renováveis. Mas no verão o edifício produz mais energia, proveniente de fontes renováveis, do que o que necessita para o seu funcionamento exportando para a rede 2000 kWh, ficando com o balanço energético nulo.

*Net-Zero Source Energy* – Produz, no mínimo, tanta energia (através de fontes renováveis) quanto aquela que consome ao longo de um ano (energia contabilizada na fonte de produção). Para calcular a total “*Source Energy*” do edifício, é contabilizada a energia primária útil para a produção de energia útil no local sendo necessário multiplicar pelos devidos fatores de conversão de energia primária em energia útil, para se contabilizar as perdas de energia durante a distribuição; Exemplo: Se um edifício obtém eletricidade para aquecimento a partir de uma fábrica de carvão, sendo o fator de conversão do local para a fonte de 3,37, o que significa que o edifício tem que exportar aproximadamente um terço da quantidade de energia que importou, pois apenas um terço da energia no carvão é aproveitada, sendo o resto desperdiçado durante a combustão.

*Net-Zero Energy Cost* – O custo associado à compra de energia à rede necessária para a utilização do edifício ao longo de um ano é compensada pela venda à rede da energia produzida pelo edifício. Isto é, a conta da energia do edifício é zero ou negativa;

*Net-Zero Energy Emissions* – Produção e exportação suficiente de energia sem emissões (energia de fonte renovável) para compensar a energia obtida a partir de combustíveis que produzam emissões de GEE para a atmosfera ao longo de um ano (*Zero Carbon Building*). Exemplo: Se um edifício que apenas necessita de energia elétrica para o seu funcionamento e importa energia proveniente de uma fonte que não emite GEE para a atmosfera (central hidroelétrica, parques eólicos), não necessita de produzir energia sem emissões de gases pois o balanço energético das emissões de carbono é nulo. Mas se o edifício utiliza gás natural para aquecimento, necessita de produzir e exportar energia de fontes sem emissão de gases numa quantidade suficiente para compensar as emissões de gases provenientes da utilização do gás natural.

Apesar das diferentes definições do conceito, não se pode considerar uma definição correta pois dependem dos objetivos do projeto, tendo cada definição do conceito *nZEB* uma diferente influência na projeção do edifício. Todas estas definições têm vantagens e desvantagens, que são tidas em conta consoante o objetivo do projeto. No Quadro 3.1 são apresentadas as vantagens e desvantagens de cada definição:

Quadro 3.1 – Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de *nZEB*, adaptado de [29].

Definição	Vantagens	Desvantagens
<i>Site nZEB</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de implementar;</li> <li>• Medições feitas no local;</li> <li>• Abordagem mais conservativa de <i>nZEB</i>;</li> <li>• Fatores exteriores não afetam o desempenho;</li> <li>• Fácil de entender e comunicar;</li> <li>• Encoraja o projeto de edifícios eficientes do ponto de vista energético.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessita de mais módulos fotovoltaicos para compensar a utilização de gás natural;</li> <li>• Não considera os custos de todos os serviços;</li> <li>• Não tem em consideração os diferentes tipos de combustíveis;</li> <li>• Não conta com as diferenças não energéticas dos diferentes combustíveis (poluição, disponibilidade).</li> </ul>
<i>Source nZEB</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equaciona os custos dos diversos tipos de energia existentes no local;</li> <li>• <i>nZEB</i> fácil de alcançar;</li> <li>• Maior impacto no sistema de energia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não conta com as diferenças não energéticas dos diferentes combustíveis (poluição, disponibilidade);</li> <li>• Conversão em energia primária muito generalizada;</li> <li>• Não considera todos os custos de energia (fator de conversão pode ser muito baixo);</li> <li>• Não necessita de definir um fator de conversão fonte-local, o que requer um número significativo de informação.</li> </ul>
<i>Cost nZEB</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de implementar e medir;</li> <li>• Mercado exige resultados equilibrados entre tipos de combustíveis diferentes;</li> <li>• Permite um controlo mais eficiente;</li> <li>• Verificado através das contas energéticas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode não se refletir na rede elétrica nacional, pois mais painéis fotovoltaicos podem ser mais importantes na redução dos consumos locais do que na venda de energia à rede;</li> <li>• Tipo de energia muito volátil o que torna difícil de controlar ao longo do tempo;</li> <li>• Necessita de acordos para que a energia produzida compense a energia consumida e os custos não energéticos.</li> </ul>
<i>Emissions nZEB</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhor modelo de energia verde;</li> <li>• Conta com as diferenças não energéticas dos diferentes combustíveis (poluição, GEE);</li> <li>• <i>nZEB</i> fácil de alcançar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessita de fatores de emissões apropriados.</li> </ul>

Kilkis, (2007) no seu trabalho faz referência a Torcellini, et al. (2006) no entanto, o seu artigo sobre a definição do conceito *ZEB*, toma outra direção. Kilkis refere que no balanço “zero”, a quantidade e a qualidade (exergia) da energia devem ser tomadas em consideração. Kilkis expli-

ca isso dizendo que apesar da definição *ZEB* parecer lógica, não é dada a importância da exergia na avaliação completa do impacto do edifício no ambiente. Por exemplo, se um *ZEB* está ligado a uma rede e recebe calor a alta temperatura e energia elétrica e fornece calor na mesma quantidade mas a uma temperatura menor e a mesma quantidade de energia elétrica à rede, o edifício não está a fazer um balanço “zero” da qualidade de calor que recebe e fornece à rede. Apesar da quantidade de calor e de energia elétrica estar em equilíbrio, este *ZEB* tem um impacto negativo no ambiente devido à qualidade do seu balanço energético, que tem que ser compensado pela rede através da utilização de combustíveis. Refere ainda a importância de ter em conta a quantidade e qualidade da energia, pois se a rede produz energia através das centrais térmicas e os *ZEB* produzem através de FER, não podendo ser desprezado a diferente exergia e impacto sobre o ambiente. Tendo em conta o balanço da exergia em vez do balanço energético, permite-se quantificar a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> e evitar emissões de carbono secundárias que resultam da diferença de exergia, podendo-se assim classificar o impacto ambiental do edifício. Kilkis (2007) apresenta uma nova definição para o conceito *ZEB*: [30]

- *Net Zero Exergy Buildings*, são edifícios que ao longo de um ano o somatório das trocas de exergia, entre o edifício e a rede, é nulo. Essas trocas podem ser ao nível elétrico ou outro nível qualquer, que se dê entre este sistema.

Ao mesmo tempo Mertz, et al. (2007) fez a distinção entre duas definições de *ZEB*: *Net Zero Energy Buildings* e *Net Zero CO<sub>2</sub> Neutral Buildings*, sendo resultado da limitação dos recursos e do impacto ambiental, respetivamente. O autor refere que os *Net Zero Energy Buildings*, são edifícios que ao longo de um ano geram a mesma quantidade de energia do que aquela que consomem, podendo essa energia ser gerada no local através de painéis fotovoltaicos, energia eólica ou energia do biogás. Estes edifícios produzem energia renovável suficiente para compensar a energia consumida da rede. Nos *Net Zero CO<sub>2</sub> Neutral Buildings* durante a utilização do edifício as emissões de carbono para a atmosfera são nulas. A produção de energia sem emissões de carbono decorre no local tal como os *Net Zero Energy Buildings* [31].

Em 2008, Jens Laustsen apresenta no relatório da Agência Internacional da Energia (IEA), apresenta a questão das diferentes interpretações da definição *ZEB*. Laustsen, apresenta uma definição geral para o conceito *ZEB*, como sendo um edifício que não utiliza combustíveis fósseis, apenas obtém toda a energia necessária para o seu funcionamento através da energia solar ou outras fontes de energia renováveis. No entanto, ao mesmo tempo enfatiza os pontos fracos da definição, dizendo que segundo este princípio, pode-se tratar de um edifício tradicional ao qual é fornecida uma grande quantidade de sistemas de coletores solares e de painéis fotovoltaicos. Se esses sistemas fornecerem mais energia do que a energia consumida ao longo de um ano, este

edifício é um *ZEB*. Quando o assunto se foca no significado do “zero”, são mencionadas duas definições: [26]

- *Zero Net Energy Buildings*, são edifícios que ao longo de um ano apresentam um balanço energético nulo, sendo que a quantidade de energia fornecida à rede é igual ou superior à energia consumida à rede. Não sendo necessário a utilização de combustíveis fósseis para satisfazer as necessidades de aquecimento, arrefecimento, iluminação e águas quentes sanitárias (AQS).
- *Zero Carbon Buildings*, são edifícios que ao longo de um ano não utilizam energia que implique a emissão de dióxido de carbono para a atmosfera. Ao longo de um ano estes edifícios são neutros ou positivos em emissões de carbono, visto que produzem energia sem dióxido de carbono suficiente para satisfazer as suas necessidades energéticas.

A grande diferença entre estas duas definições reside no facto de *Zero Net Energy Buildings* são ao mesmo tempo *Zero Carbon Buildings*, e no entanto os *Zero Carbon Buildings* não necessitam de ser *Zero Net Energy Buildings*.

Na Figura 3.1, podemos observar uma ilustração do conceito *nZEB*, sendo possível ter uma ideia sobre o conceito. É possível verificar quais são as variáveis que entram na equação do balanço energético e verificar que a energia consumida à rede é aproximadamente igual à energia fornecida à rede.

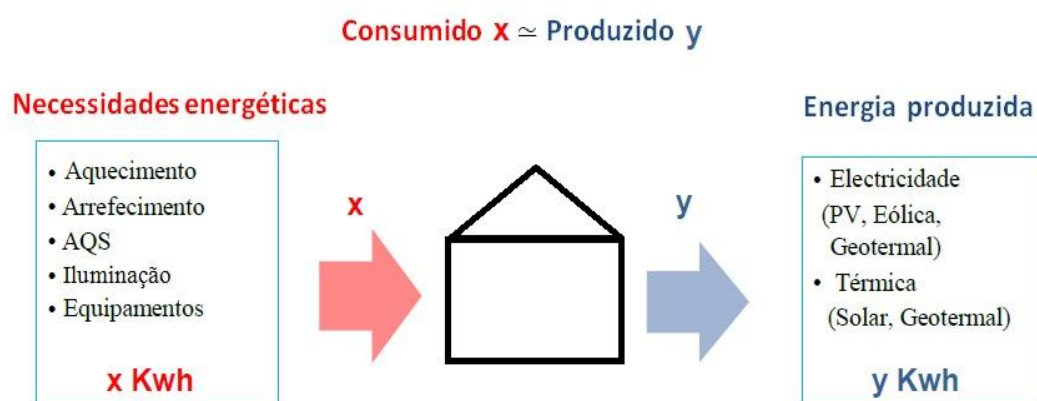


Figura 3.1 – Conceito *nZEB*. [32]

Para alcançar uma definição adequada para o conceito *ZEB*, é preciso ter em conta o contexto da sociedade, bem como os aspetos financeiros, técnicos e ambientais. Consequentemente

os princípios sobre os quais se regem todas as definições também se devem basear nestes fatores. Assim sendo, as definições do conceito *nZEB* devem ter as seguintes características:

- Ser claro nos seus objetivos e condições, de forma a evitar erros na sua implementação;
- Ser técnica e financeiramente admissível;
- Ser flexível e adaptável às condições climáticas do local sem comprometer o seu objetivo;
- Devem se reger pelos padrões já existentes;
- Permitir e promover concorrência entre diferentes tecnologias;
- Ser ambicioso em termos de impacto ambiental;

O Instituto Europeu do Desempenho dos Edifícios (BPIE) criou três princípios sob os quais os conceitos ZEB devem ser definidos, sendo estes princípios baseados nas três principais razões e objetivos para o sector da construção: redução das necessidades energéticas, utilização de energias renováveis e redução da emissão de GEE para a atmosfera.

Quadro 3.2 – Princípios *nZEB*, adaptado de [67].

1º Princípio <i>nZEB</i> – Necessidades energéticas	2º Princípio <i>nZEB</i> – Energias renováveis	3º Princípio <i>nZEB</i> – Emissões de carbono
No balanço energético deve estar bem definido o limite correspondente às necessidades energéticas. Esse limite deve ser a energia utilizada pelo edifício para aquecimento, arrefecimento, iluminação e AQS.	Deve estar bem definido o limite da contribuição das energias renováveis na energia relacionada com a utilização do edifício.	Deve estar bem definido o limite das emissões de carbono na energia relacionada com a utilização do edifício.
Corolário	Corolário	Corolário
Deve ser definido um limite máximo para as necessidades energéticas de um edifício. Cada Estado Membro deve definir os seus limites referentes às necessidades energéticas.	Deve ser definido uma contribuição mínima das FER na energia utilizada pelo edifício, sendo um valor razoável entre 50% a 90% da energia primária consumida pelo edifício.	Deve ser definido um limite máximo de 3 kg CO <sub>2</sub> / (m <sup>2</sup> .ano) de emissões de carbono para a atmosfera.

Não se chegando a uma definição do conceito *nZEB* consensual, surge ainda a necessidade de se definir 3 parâmetros: O balanço energético, a ligação à rede e o tipo de FER utilizadas.

### 3.1.1. Balanço energético

Pode-se definir o balanço energético como sendo a quantidade de energia necessária para satisfazer as necessidades energéticas de um edifício no uso do seu dia-a-dia. Este balanço é contabilizado tendo em conta a energia primária, que corresponde à energia de uma fonte renovável ou não renovável que não sofreu nenhum processo de transformação ou conversão [28].

O *ZEB* é um conceito muito complexo, sendo complicado desenvolver uma definição aplicável a todos os casos. Muitas definições foram apresentadas, tendo cada uma delas salientado diferentes aspetos na abordagem do conceito *ZEB*. Devido a esses aspetos foram criados tópicos em relação ao balanço energético a considerar na criação de uma nova definição de *ZEB*: [28]

- Quais são as unidades do balanço;
- Que tipo de consumo energético entra no balanço;
- Se a energia envolvida na construção do edifício deve ser tida em conta.

Em muitas definições as unidades do balanço energético são diferentes, sendo considerada a energia final, energia primária, a exergia, o custo da energia e noutros casos a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub>. Em relação ao balanço energético, a prática mais comum é a de ser contabilizada a energia primária. Esta unidade tem em consideração a diferença entre a produção e a distribuição de 1kW de eletricidade e 1kW de calor, permitindo expressar melhor a energia utilizada pelo edifício. Tendo em conta que o preço da energia se encontra em constante flutuação a nível mundial, usar o preço da energia como unidade para medir o balanço energético não permite prever a conceção de um edifício *ZEB* durante toda a sua vida útil sendo possível que seja *ZEB* quando é concebido e após alguns anos com a subida dos preços o edifício deixa de ser *ZEB*. A energia final é a unidade de medida mais fácil de implementar e de entender, mas por outro lado a qualidade dos diferentes tipos de energia não é tida em conta. As emissões de carbono podem ser outra unidade de medida, no entanto apenas é indicado para a definição de *Zero Emission Building*, não fazendo muito sentido ser a unidade de medida de uma definição *ZEB* [28].

De forma a avaliar o impacto ambiental do edifício, a energia utilizada durante a fase de construção deve ser tida em conta. Em relação a que consumos devem ser considerados no balanço energético, sendo a grande dúvida se deve ser considerada a energia associada ao funcionamento do edifício ou se também se deve considerar a energia associada aos hábitos dos ocupantes.

Visto que se trata de um edifício com balanço energético nulo, deve ser incluída a energia total no balanço energético. A energia total corresponde à soma das necessidades térmicas (aquecimento e arrefecimento) e das necessidades elétricas (eletrodomésticos, iluminação), no entanto muitos estudos apenas se focam apenas num tipo de necessidades ignorando as outras. Nos anos 70 e 80, quando grande parte da energia utilizada no edifício era para aquecimento, arrefecimento e AQS, a maior parte dos artigos relacionados com o conceito ZEB apenas eram tidas em conta as necessidades térmicas para o balanço energético [28].

Esbensen, *et al.* (1977), no seu artigo relacionado com uma casa ZEB na Dinamarca, o autor refere que as soluções de conservação de energia (grande isolamento térmico e coletores solares), permitiam que a casa fosse auto sustentável em relação ao aquecimento do espaço interior e fornecimento de água quente, durante condições climáticas normais. O fornecimento de energia elétrica da casa era feito com energia da rede pública, não sendo tido em conta para o balanço energético da casa [33].

Saitoh (1984) e Saitoh, *et al.* (1985), no seu estudo apresentam a *Autonomous House* no Japão, dizendo que a *Autonomous House* iria conseguir satisfazer todas as suas necessidades energéticas (aquecimento, arrefecimento e AQS), utilizando a energia solar e a temperatura do solo para aquecimento e arrefecimento, respetivamente. Apenas se referiam às necessidades térmicas, apenas entrando no balanço o aquecimento, arrefecimento e AQS [34] [35].

Também surgiram, em muitas publicações, artigos em que apenas se contabilizava no balanço energético a energia elétrica. No entanto existem artigos sobre a definição do conceito ZEB, no qual incluem no balanço energético as necessidades de aquecimento, arrefecimento e as necessidades de energia elétrica, sendo então contabilizada a energia total no balanço energético.

De acordo com Laustsen, (2008), *Zero Net Energy Buildings*, são edifícios que ao longo de um ano são neutros, sendo que a quantidade de energia fornecida à rede é igual ou superior à energia consumida à rede. Não sendo necessário a utilização de combustíveis fósseis para satisfazer as necessidades de aquecimento, arrefecimento, iluminação e AQS. Neste balanço a energia total é contabilizada, estando contabilizadas as necessidades associada ao funcionamento do edifício e também a energia associada aos hábitos dos ocupantes [26].

### 3.1.2. Ligação à rede

Na definição do conceito ZEB aparece em foco o conceito “net” referindo-se como a ligação com a rede. Esta interação edifício-rede deve ser melhor descrita de forma que esta interação seja benéfica para as duas partes. Aos edifícios que interagem com a rede dá-se o nome de “on-grid” ZEB e aos que apenas utilizam a energia produzida pelo próprio edifício “off-grid” ZEB. A grande diferença entre estas duas definições reside no facto de que os “off-grid” ZEB não intera-

gem de nenhuma forma com a rede, apenas consumindo a energia produzida pelo edifício através de FER. Os “*on-grid*” ZEB são também edifícios que produzem energia, no entanto existe a possibilidade de utilizar e fornecer energia à rede.

Os “*off-grid*” ZEB, normalmente chamados de edifícios autônomos ou auto sustentáveis, têm sido apresentados em muitas publicações: Voss, *et al.* (1996), Laustsen, (2008), Iqbal, (2003).

Voss, *et al.* (1996), na sua publicação o autor refere que foi criado na Alemanha um edifício energeticamente auto sustentável, no qual todas as suas necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento, AQS, eletricidade e para cozinhar eram suportadas por energia solar. A energia em excesso é armazenada em baterias de forma a poder ser utilizada em alturas em que a produção de energia não seja suficiente para satisfazer as necessidades energéticas do edifício [36].

Laustsen, (2008), apresentou uma definição para os edifícios “*off-grid*”: [26]

- *Zero Stand Alone Buildings*, são edifícios que não utilizam uma ligação com a rede ou apenas a utilizam como reserva. Estes edifícios conseguem-se auto sustentar energeticamente, através da sua produção de energia de FER. Possuem uma bateria para armazenar energia para utilizar durante a noite ou no inverno.

Iqbal, (2003), afirma que *Zero Energy Home (ZEH)* é o termo utilizado para as casas que combinam as tecnologias de energias renováveis com as técnicas de eficiência energética, e no qual o seu consumo energético ao longo de um ano é no mínimo igual à sua produção de energia. Uma “*off-grid*” ZEH é uma casa que não possui uma ligação com a rede, apenas recorre à sua produção de energia através de FER. O autor diz que estas casas possuem uma grande capacidade de armazenamento de energia [37].

Da mesma forma, existem publicações de artigos sobre projectos de “*on-grid*” ZEB, aonde se fala sobre a interação do edifício com a rede: Gilijamse, (1995), Rosta, *et al.* (2008), Iqbal, (2003) e Laustsen, (2008).

Gilijamse, (1995), afirma que uma ZEH é definida como uma casa que não consome energia de fontes não renováveis e o seu consumo anual de eletricidade é igual à sua produção anual de eletricidade. O autor refere que a rede funciona como um amortecedor virtual com iguais balanços anuais de fornecimento e de recolha de energia [38].

Rosta, *et al.* (2008), é definido o conceito de ZEH como uma casa que ao longo de um ano produz tanta energia quanto a que consome. É apresentada uma interação entre o edifício e a rede, na qual se define que a energia fornecida à rede é considerada positiva e a energia consumida à rede é negativa, estabelecendo-se um balanço entre a energia consumida e produzida [39].

Iqbal, (2003), o autor afirma que uma “*on-grid*” ZEH pode produzir mais energia do que aquela que consome, armazenando a energia em baterias e fornecendo o excesso de energia à

rede. Durante períodos de fraca produção de energia a *ZEH* utiliza a energia armazenada nas baterias e se necessário recorre à rede de forma a assegurar a distribuição de energia para a casa [37].

Como já foi apresentado anteriormente Laustsen, (2008), apresenta uma definição de *Zero Net Energy Building* na qual afirma que o edifício consome tanta energia à rede quanto aquela que produz ao longo de um ano, estando implícita a ligação entre o edifício e a rede [26].

Por definição um edifício *nZEB* produz tanta ou mais energia do que a que consome anualmente, sendo esse excesso de energia exportado para a rede. Nos *nZEB* a ligação à rede é utilizada para manter o equilíbrio no balanço energético, sendo exportada energia produzida em excesso e importada energia quando a produção de energia não é suficiente para satisfazer as necessidades energéticas do edifício. Apesar de existir uma ligação entre a rede e o edifício, os termos sobre os quais esta ligação é feita não se encontram definidos, sendo necessário estabelecer melhor as bases desta interação.

No entanto os “*off-grid*” *ZEB* também se apresentam como uma alternativa possível. No entanto, atingir o estatuto *ZEB* sem a ligação à rede é difícil. Como não podem exportar a energia produzida em excesso para a rede, a energia que não é utilizada pelo edifício é armazenada, normalmente em baterias, sendo necessário uma grande capacidade de armazenamento de energia. Normalmente, o excesso de energia produzida não pode ser utilizado. Durante o processo de armazenamento parte da energia é perdida.

### 3.1.3. Fontes de energia renováveis

Vários sistemas de produção de energias renováveis são utilizados no conceito *nZEB*, sendo exemplo os painéis fotovoltaicos, os sistemas solares térmico, o vento, hidroelétricos e o biogás. Estes tipos de fontes de energias são mais favoráveis, que as convencionais fontes de energia com o carvão e o gás natural, para alcançar o estado *nZEB*. No entanto foi criado um sistema de classificação para as fontes de energia no contexto dos *ZEB* (Quadro 3.3), tendo como base: [27]

- A minimização do impacto ambiental através da eficiência energética na conceção dos edifícios, redução no transporte e nas perdas de conversão;
- Disponibilidade ao longo da vida útil do edifício;
- Potencial de aplicação nos futuros *ZEB*.

Torcellini, *et al.* (2006), diz que existe uma hierarquia que é feita para as tecnologias renováveis que estão disponíveis dentro e fora do local de construção do edifício, bem como no

próprio edifício. Os painéis fotovoltaicos e os sistemas solares de aquecimento de água são as tecnologias mais aplicáveis de tecnologias para alcançar o estatuto de *ZEB*. Outras tecnologias, como parques eólicos ou parques de sistemas fotovoltaicos podem ter aplicações limitadas. As fontes de energia renovável obtidas fora do local de construção do edifício podem também ser utilizada para conseguir um *ZEB*. Esta abordagem pode permitir alcançar o consumo de energia nulo, mas tem um peso diferente do que aquelas que geram a energia no local e devem ser classificadas como tal. Para os edifícios que usam energia renovável a partir de fontes externas aos limites do local de construção, usa-se o termo "*off-site*" *ZEB*, sendo os que utilizam as fontes de energia com produção no local ou no próprio edifício chamados de "*on-site*" *ZEB* [29].

Quadro 3.3 – Hierarquia nZEB, em relação tipo de opção de produção de energia, adaptado de [29].

Número da opção	Fonte de abastecimento do <i>ZEB</i>	Exemplo
0	Reduzir o uso de energia no local através de tecnologias de baixo consumo do edifício.	Equipamento de AVAC com grande eficiência, ventilação natural, iluminação natural.
<i>"on-site"</i> <i>ZEB</i>		
1	Uso de fontes de energia renováveis disponíveis no edifício.	Painéis fotovoltaicos, sistemas solares térmicos e produção de energia eólica no edifício.
2	Uso de fontes de energia renováveis disponíveis no local perto do edifício.	Painéis fotovoltaicos, sistemas solares térmicos, produção de energia eólica no local (sem ser no edifício) e energia hídrica disponível no local.
<i>"off-site"</i> <i>ZEB</i>		
3	Uso de fontes de energia renováveis disponíveis fora do local do edifício para produzir energia no local do edifício.	Biomassa, etanol, bio diesel que possam ser importados fora do local.
4	Adquirir energia de fontes de energia renováveis disponíveis fora do local do edifício.	Energias de origem renovável tais como a do vento, hidroelétrica, solar que sejam produzidas fora do local.

### **Opção 0 - Edifício de baixo consumo energético**

Esta opção é considerada o pré-requisito essencial para alcançar o estatuto *ZEB*. A definição de *ZEB* deve em primeiro lugar promover a eficiência energética do edifício, e em seguida usar fontes de energias renováveis disponíveis no local. As técnicas de eficiência energética ou os conversores de energia não podem ser contabilizados como produção no local no contexto *ZEB*, visto que apenas economizam ou transformam energia sem que ocorra uma produção de energia. As técnicas de eficiência energética estão normalmente disponíveis durante a vida útil do edifício, no entanto devem ser inspecionadas de forma a garantir o seu bom funcionamento.

### **Opção 1 – Energia renovável produzida no edifício**

Esta opção aplicasse a todas as fontes de produção de energia renovável que se encontra no edifício. A energia renovável que é produzida no edifício está diretamente ligada à eletricidade do edifício e ao sistema de produção de AQS de forma a minimizar as perdas de distribuição e transmissão. Estão incluídas as tecnologias de produção de energia renovável que se encontrem na fachada ou no telhado do edifício. As principais fontes de produção de energia desta opção são os painéis fotovoltaicos e os sistemas solares térmicos, podendo existir turbinas de vento no edifício mas estas possuem uma aplicação limitada.

### **Opção 2 - Energia renovável produzida no local do edifício (“*on-site*”)**

Esta opção é focada para as fontes de energia renovável que se encontrem no local do edifício, mas que não se encontrem aplicadas no edifício. Surge a questão sobre qual a área para a qual se deve considerar produção de energia “*on-site*”. Determinar os limites da produção de energia no local, que pode ser para lá da base de construção do edifício, representa uma parte importante para a definição de “*on-site*” *ZEB*. Normalmente, a única área que o edifício tem como garantida para a produção de energia durante toda a sua vida é a da sua base de construção. Para garantir que uma área se encontra disponível para a produção de energia, muitas cidades têm leis sobre a utilização energia solar, que declaram que o direito de utilizar o recurso natural de energia solar é um direito de propriedade. Os sistemas montados no local do edifício, mas sem ser na estrutura permanente do edifício, está sujeito a ser removido para futuro desenvolvimento do terreno ou ser sombreado por novos edifícios. Normalmente o local é definido como o limite da propriedade, não existindo uma definição concreta o local (“*on-site*”) do edifício. [29]

### **Opção 3 – Fontes de energia renovável fora do local para produzir energia no local do edifício**

As fontes de energia renováveis que se encontrem fora do local do edifício (“*off-site*”), podem ser utilizadas para alcançar o estatuto *ZEB*. Normalmente os edifícios com elevado consumo energético (hospitais, laboratórios) não têm capacidade para produzir energia suficiente para satisfazer as suas necessidades energéticas, sendo necessário recorrer a fontes de energia fora do local do edifício para satisfazer essas necessidades. É possível alcançar o estatuto *ZEB* utilizando estas fontes de energia fora do local do edifício, no entanto, não representa o mesmo que os edifícios que conseguem produzir no local, energia suficiente para as suas necessidades energéticas, sendo esta opção classificada como uma solução pior.

Um edifício pode ser classificado como *ZEB* por utilizar fontes de energia renovável que se encontrem disponíveis fora do local do edifício e que são importadas para o local do edifício, e são utilizadas para produzir energia. As fontes de energia consideradas nesta opção são: madeira, etanol e biodiesel que são importados para o local do edifício, sendo estes recursos menos importantes no contexto do *ZEB*. Esta opção é menos preferível do que as opções 1 e 2, pois a energia utilizada e as emissões de carbono associadas ao transporte e produção destes recursos para o local do edifício.

### **Opção 4 - Adquirir energia de fontes de energia renováveis disponíveis fora do local do edifício.**

Esta opção é para os edifícios que compram energia renovável a uma fonte fora do local do edifício. Um edifício que compre toda a sua energia de origem renovável a uma fonte fora do local tem pouco incentivo a reduzir o consumo do edifício, sendo esses edifícios classificados como “*off-site*” *ZEB*. Esta opção representa a última das opções da classificação *ZEB* e pode não reduzir as necessidades energéticas do edifício.

## **3.2. Referências *nZEB***

### **Norma *Passivhaus***

Na Alemanha, durante a década de 90, com o intuito de se elevar a eficiência energética dos edifícios e reduzir as emissões de GEE para a atmosfera, são construídos edifícios com consumo energético reduzido com um custo de construção razoável. Em 1995, é criada a norma *Passivhaus*, sendo esta composta fundamentalmente por três pressupostos:

- Um limite energético;
- Um requisito de qualidade;
- Um conjunto de sistemas passivos.

Sendo estes os pressupostos nos quais a norma se baseia, são definidos requisitos mínimos aos quais os edifícios têm que cumprir: [40]

- As necessidades energéticas anuais de aquecimento do edifício não devem exceder os 15 kWh/m<sup>2</sup>;
- O consumo energético total anual não deve exceder os 120 kWh/m<sup>2</sup>, em energia primária;
- O edifício deve ser estanque ao ponto de apenas permitir renovações de ar não superiores a 0,6h<sup>-1</sup> ( $n_{50} \leq 0,6h^{-1}$ ).

Devido ao Inverno ser mais rigoroso na Europa Central, a norma *Passivhaus* define um valor máximo para as necessidades de aquecimento. Uma *Passivhaus* permite poupar entre 15 a 20% da energia necessária para aquecer uma casa nova de referência. Mais de 6000 casas já foram construídas na Europa Central, respeitando a norma *Passivhaus* [40].

### **Projeto *Passive-On***

Tendo em conta que o clima do Sul da Europa difere do clima na Europa central, apresentando um clima temperado, as soluções construtivas adotadas permitem também reduzir as necessidades de arrefecimento. O Projeto *Passive-On* tem como objetivo principal o estudo da aplicação das normas da *Passivhaus* nos climas temperados. O resultado deste estudo permitiu criar uma proposta de revisão da norma *Passivhaus*, de forma que a norma seja possível de aplicar nos países mediterrânicos, sendo essas alterações: [40]

- A introdução de um limite para as necessidades energéticas anuais de arrefecimento do edifício, que não devem exceder os 15 kWh/m<sup>2</sup>;
- Requisitos mínimos de conforto no verão, definindo que as temperaturas interiores não devem exceder as temperaturas do conforto adaptativo definidas na norma EN 15251;

A diminuição do limite de estanquidade permitindo renovações de ar não superiores a 1h<sup>-1</sup> ( $n_{50} \leq 1h^{-1}$ ).

### 3.3. Ciclo de vida dos edifícios

Sendo um edifício projetado para ter uma vida útil de 40 anos, e que com ações de manutenção o seu tempo de vida útil passa a ser uma incógnita, torna-se necessário recorrer ao desenvolvimento de novas tecnologias e de novas práticas de consumos de forma a minimizar o consumo de energia por parte do edifício.

Segundo Pinheiro, “A forma como as estruturas construídas são obtidas e erguidas, usadas e operadas, mantidas e reparadas, modernizadas e reabilitadas, e finalmente desmanteladas (e reutilizadas) ou demolidas (e recicladas), constituem o ciclo completo das atividades construtivas sustentáveis”. A este processo de evolução do edifício durante a sua vida útil dá-se o nome de ciclo de vida de um edifício [9].

Este ciclo de vida de um edifício encontra-se dividido em várias fases: Programa-Projecto-Construção-Utilização-Manutenção-Desconstrução/Demolição.

**Programa e Projeto:** Corresponde ao período entre o delineamento das opções de projeto que são tomadas até ao momento em que essas decisões são concebidas. Sendo uma das fases mais importantes, pois, é nesta fase são tomadas as decisões sobre o local, os materiais a utilizar, as soluções a adotar em projeto e outras, que irão ter repercussões nas outras fases do ciclo de vida do edifício. É durante esta fase que se tomam as decisões às quais os impactos ambientais estão associados, essencialmente provocados noutra fase.

**Construção:** Esta fase corresponde ao período desde o início da construção até à entrega da obra ao proprietário. O grande foque na fase de construção é a forma de desenvolvimento do processo construtivo, sendo esta associada, essencialmente, à intervenção no local, com alteração do uso do solo, consumo de matérias-primas, energia e alterações nos ambientes envolventes.

De forma a se realizarem as construções, torna-se necessário extrair e consumir matérias-primas. Os impactes da extração, ou transformação, são também importantes, sendo que, na grande maioria dos casos, sejam da responsabilidade da indústria produtora, pois não são específicos do sector da construção. No caso das estruturas edificadas estima-se que o impacte devido aos materiais represente cerca de 10-20% do impacte de um edifício, em todo o seu ciclo de vida. [41]

**Utilização e Manutenção:** Corresponde ao período entre a receção da obra por parte do proprietário até ao fim de utilização do edifício. Nesta fase estão incluídas a manutenção, que se revela uma atividade de carácter preventivo e realizado periodicamente.

Nesta fase os principais impactos são o consumo de energia, de água, de materiais, da produção de resíduos e das emissões de GEE para a atmosfera, decorrentes do uso por partes dos seus utilizadores.

**Desconstrução/Demolição:** Corresponde à fase depois da utilização do edifício, na qual se procede à desconstrução e demolição do mesmo. Os principais impactes desta fase são sobretudo: a nível do consumo de energia, emissões de GEE para a atmosfera e produção de resíduos.

### **3.4. Fontes de energia**

Durante vários séculos, as necessidades energéticas eram baixas e as energias renováveis eram necessárias para satisfazer o nível de vida da sociedade. Depois da revolução industrial, a sociedade passou a recorrer a fontes de energia não renováveis, sendo que o carvão passou a ser a fonte de energia mais utilizada. Em 1950, as fontes de energia não renováveis eram as fontes de energia predominantes, sendo as mais utilizadas o petróleo e o gás natural. Até à atualidade o consumo de recursos não renováveis tem vindo a aumentar, tendo sido alcançado em 1978 um valor máximo de exploração de petróleo, em mais de 3000 milhões de toneladas. [42]

Atualmente, está-se a atravessar um problema energético complexo. De um lado da balança encontra-se a crescente procura de novas energias por parte de todas as economias e em especial pelas economias emergentes, provocando uma subida global dos preços das energias disponíveis. Por outro lado existem evidências científicas, de que o atual modelo energético e as tecnologias utilizadas, por libertarem GEE para a atmosfera, estão a provocar alterações climáticas no nosso planeta, algumas já são visíveis, e outras que no futuro poderão ser imprevisíveis. Estas alterações climáticas estão a provocar o aumento da temperatura na terra, bem como fenómenos climáticos adversos como tempestades, secas e inundações. Este aumento de temperatura na terra está a contribuir para o rápido degelo de glaciares conduzindo à subida do nível do mar, pondo em perigo as zonas costeiras e ilhas. Devido a estes fenómenos, a necessidade de alterar o modelo energético atual apresenta-se como um plano de ação imediato, sendo necessário substituir as energias não renováveis pelas de origem renovável.

Estima-se que o consumo mundial de energia, entre 2010 e 2035, aumente cerca de um terço, devido sobretudo ao desenvolvimento da China e Índia, que contribuem em grande parte para este aumento [43].

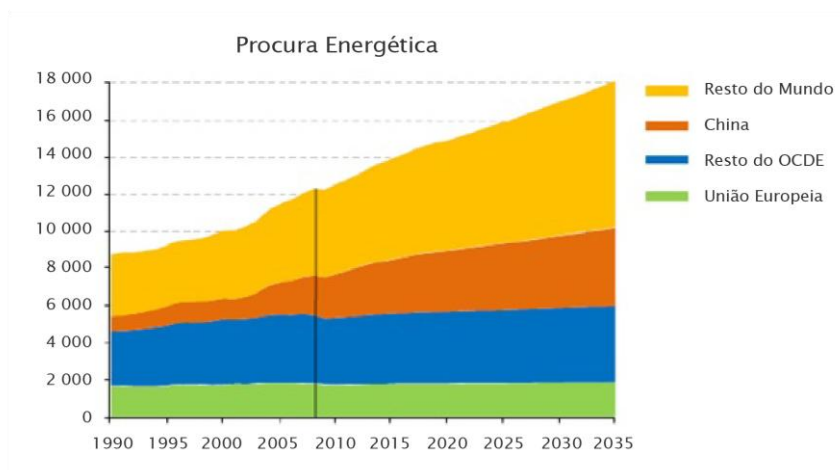


Figura 3.2 - Procura energética mundial (Mtep) [43].

O desenvolvimento dos países representa um dos fatores responsáveis pelo aumento do consumo de recursos energéticos, bem como o aumento de emissões de GEE para a atmosfera, o que revela um problema que se poderá acentuar num futuro próximo se nada for feito em contrário.

As fontes de energia não renováveis têm uma grande importância na sociedade moderna e no modelo energético atual, correspondendo a uma grande parcela do consumo energético mundial. Esta grande importância revela-se um problema visto que estes recursos não são renováveis, tendo uma fonte de produção finita. Devido ao elevado consumo deste tipo de energias, não é possível repor o que se gasta deste tipo de recursos, pois para a sua geração são necessários milhões de anos. Pode-se verificar que as três principais fontes de energia mundial são de origem não renovável, representando mais de 80% em 2008, (Figura 3.3). Dado ao elevado consumo de energias não renováveis, a procura por fontes de energia renováveis tornou-se essencial para a redução da emissão de GEE e diminuição dos consumos de energia mundial de recursos não renováveis.

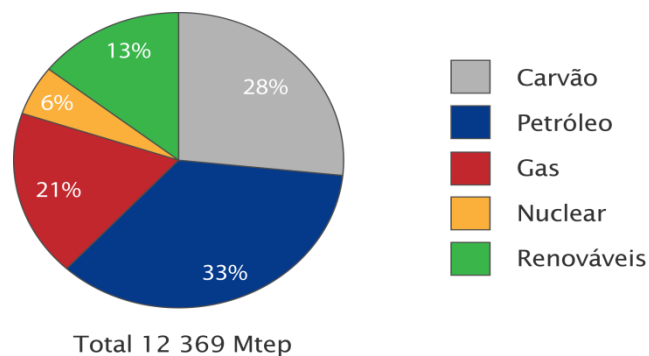


Figura 3.3 - Produção mundial de energia, 2008 (Mtep) [44].

As energias renováveis são aquelas que se encontram disponíveis na natureza, têm uma fonte de produção inesgotável, pois são muito abundantes na natureza ou têm uma regeneração de forma natural. Estas energias são chamadas de energias limpas, pois têm um impacto ambiental muito menor do que as energias não renováveis, apresentando-se como uma boa alternativa para a diminuição do aquecimento global. Segundo a DGEG em 2010 o consumo de energias renováveis foi de 22,8% em relação ao consumo total de energia primária, sendo este valor superior aos 20% registados em 2009, tendo havido um aumento positivo no sentido do desenvolvimento de energias de fonte renovável [5].

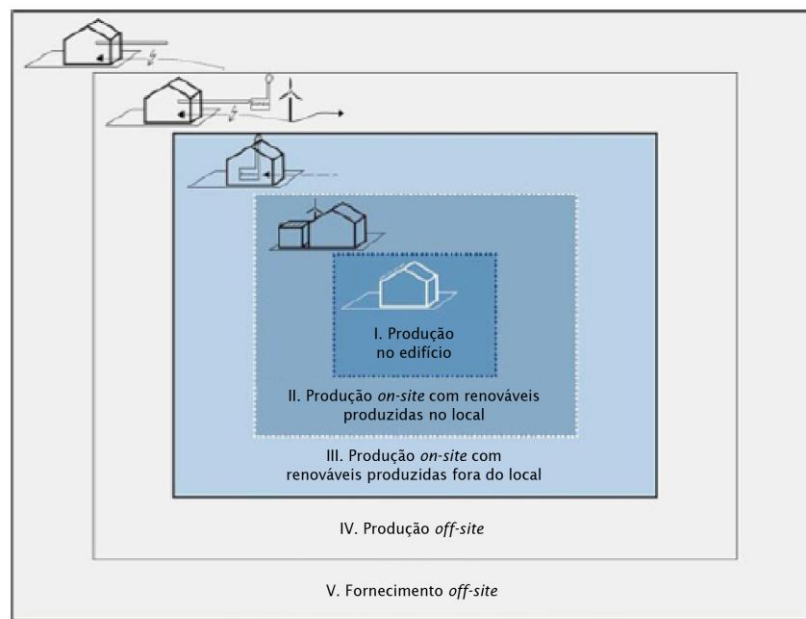


Figura 3.4 - Fonte de produção de energia [49].

Como já foi visto anteriormente, existem várias opções em relação às fontes de energia renováveis, para um edifício ser classificado de *nZEB*. Essas opções vão desde a produção de energia no próprio edifício, no qual as tecnologias para a produção de energia se encontram aplicadas no edifício, até à compra de energia a uma fonte que produza energia renovável, (Figura 3.4). As diferentes opções escolhidas vão tornar diferentes tipos de *nZEB*. As fontes de produção de energia podem ser:

### 3.4.1. Energia solar

A energia proveniente do sol pode ser diretamente aproveitada (aquecimento e luminosidade natural) ou transformada (aquecimento de água ou eletricidade) por meio de células fotovoltaicas.

taicas. As principais formas de transformação da energia solar, são através dos painéis fotovoltaicos e dos sistemas solares térmicos.

Portugal é um dos países da europa com maior potencial para o aproveitamento da energia do sol, recebendo um número médio anual de horas de sol, que varia entre 2200 e 3000 horas. A insolação média anual é um valor utilizado para dimensionar sistemas solares. Em Lisboa o valor médio diário de potência da radiação solar global é de  $414 \text{ W/m}^2$  [5].

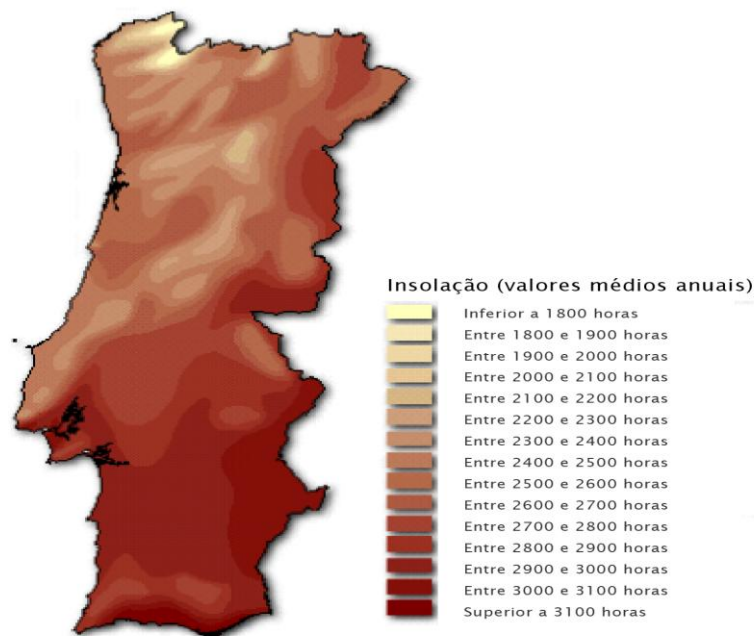


Figura 3.5 - Insolação anual em Portugal (h) [45].

Em Portugal, a capacidade solar instalada ainda está longe do seu potencial disponível. Prevê-se que a capacidade solar instalada aumente dez vezes desde 2010 até 2020, de 150 MW para 1500 MW, como se pode ver na Figura 3.6. Esta previsão do aumento da capacidade solar instalada vem ao encontro do objetivo proposto para 2020 pela UE [46].

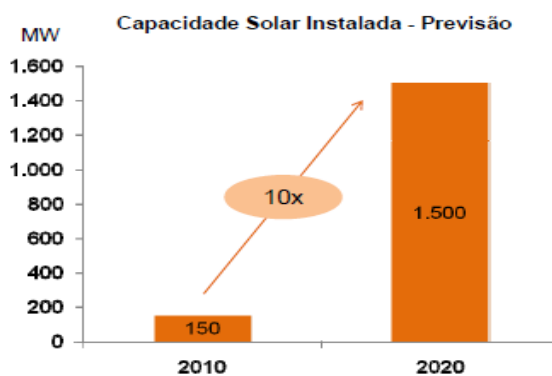


Figura 3.6 - Capacidade solar instalada (MW) [46].

Esta fonte de energia tem como principais vantagens de ser uma fonte de energia inesgotável (em comparação com o tempo de vida das reservas dos combustíveis fósseis) e o facto de ser uma energia limpa (sem emissão de GEE para a atmosfera). Tem ainda como vantagem precisar de equipamentos com baixa manutenção e o facto de poder ser aproveitada no local onde é transformada (no caso dos painéis solares nos edifícios). No entanto esta produção de energia está dependente de fatores naturais, sendo a sua produção interrompida durante a noite e diminuída em dias de baixa radiação solar.

### 3.4.2. Energia hídrica

A energia hídrica é produzida nas barragens durante o processo de aproveitamento da força motriz da água para movimentar as pás que se encontram na turbina, que por sua vez estão ligadas a um gerador, produzindo energia elétrica. Esta energia pode ainda ser utilizada nos moinhos, para processos de moagem.

Este tipo de energia apresenta-se como um recurso renovável, no entanto a construção de centrais hidroelétricas tem um grande impacto nos ecossistemas locais e na paisagem. O rendimento destas centrais ronda os 90%, sendo um aproveitamento energético muito elevado [47].

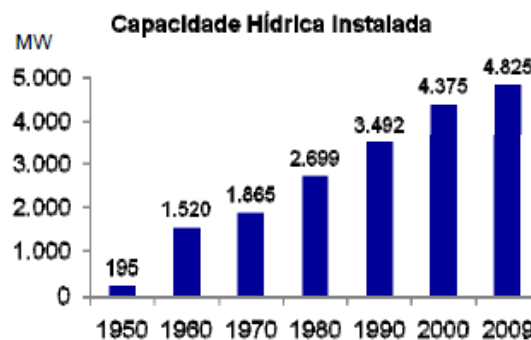


Figura 3.7 - Capacidade hídrica instalada (MW) [46].

O principal crescimento da capacidade de energia hídrica instalada em Portugal deu-se entre 1960 e 2000, como se pode verificar na Figura 3.7. O potencial de produção das centrais hidroelétricas pode chegar a centenas ou milhares de MW, sendo esta energia utilizada na indústria e habitações.

### 3.4.3. Energia eólica

A energia eólica corresponde ao processo de transformação da energia cinética do vento em energia mecânica ou elétrica. Essa transformação ocorre nas turbinas eólicas, que possuem pás que são postas em movimento pela ação do vento. Esse movimento transforma a energia cinética do vento em energia mecânica, que alimenta um gerador elétrico que produz a energia elétrica. A energia elétrica produzida é introduzida na rede e conduzida até ao consumidor [5] [47].

Devido ao grande potencial de instalação de energia eólica, a produção de energia elétrica através de energia eólica em Portugal tem vindo a aumentar atingindo em 2010 o maior valor registado, como se mostra na Figura 3.8. Segundo a DGEG, em 2010 a percentagem de energia eólica na produção de eletricidade era de 18% [5].

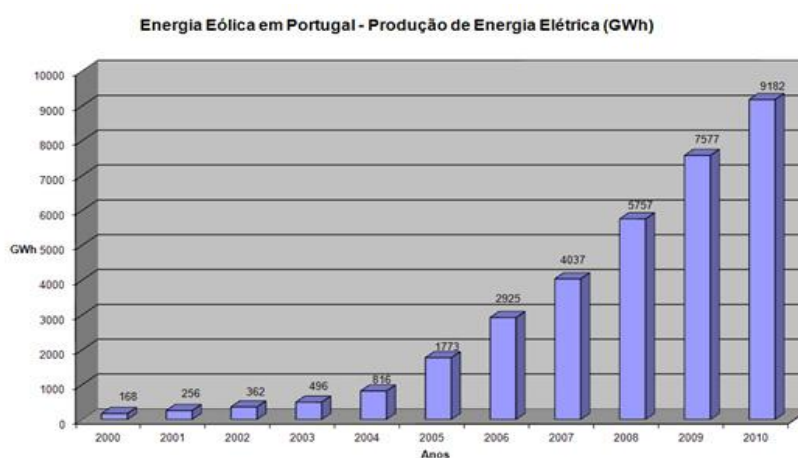


Figura 3.8 - Energia Eólica - Produção de energia elétrica (GWh) [5].

A energia eólica tem como principal vantagem o facto de ter um baixo impacto no ambiente, e o facto de ser uma energia que gera poucos resíduos. Este tipo de energia tem como desvantagens o facto da estrutura do parque eólico ter que ser instalado num local amplo e com boa incidência de vento, a produção de ruído e o impacto visual sobre a paisagem.

#### 3.4.4. Energia da biomassa

Biomassa tem como fonte de energia a combustão de matéria orgânica, pode ter origem vegetal ou animal. Depois do Sol, a biomassa é uma das fontes de energia mais antiga utilizada pelo Homem.

A biomassa, do ponto de vista da produção de energia, abrange os derivados de organismos vivos utilizados como combustível para a produção de energia. Os combustíveis fósseis estão

excluídos deste tipo de energia, embora estes derivem de matéria orgânica vegetal (carvão) ou animal (gás natural e petróleo), são o resultado de transformações de milhares de anos.

A principal fonte de biomassa é a madeira, existindo outras fontes de energia. Outros tipos de fontes de biomassa utilizados para produzir energia são os resíduos, nos quais se incluem os florestais, os agrícolas, os das indústrias agroalimentares, sólidos urbanos (a fração orgânica) e a lenha [5] [47].

Os biocombustíveis são combustíveis líquidos ou gasosos derivados da biomassa. Os biocombustíveis mais comuns são o biodiesel (obtido a partir de óleos orgânicos) e o bio etanol (obtido através da fermentação de hidratos de carbono). O biogás é um biocombustível gasoso constituído maioritariamente por metano, tendo a sua origem na decomposição da matéria orgânica dos excrementos dos animais de explorações pecuárias, dos resíduos sólidos urbanos e nas lamas existentes nas ETAR's.

Este tipo de combustíveis derivados da biomassa, permitem reduzir as importações de derivados do petróleo, apresentando-se como uma alternativa aos combustíveis fósseis.

### **3.4.5. Energia geotérmica**

A energia geotérmica é obtida utilizando o calor proveniente do interior da terra. Em média, a temperatura aumenta, com o aumento da profundidade, cerca de 33°C/Km. Porém, devido ao facto da crosta terrestre ser muito heterogénea, o gradiente de temperatura pode ser inferior ou superior àquele valor. As zonas que mais interessam para a geração de energia geotérmica são as zonas de maior gradiente. Para a extração da energia do interior da terra, é necessário a existência de um fluido, normalmente a água, que transporte o calor do interior da terra até à superfície. Este fluido pode existir à partida na formação, como água fóssil da sedimentação, ou ser proveniente da infiltração da água das chuvas. No caso de não existir nenhum fluido, pode injetar-se água, tratando-se nestes casos de rochas quentes secas [5].

Uma outra utilização desta fonte de energia são as bombas de calor geotérmicas, que se apresentam como uma solução de arrefecimento e aquecimento dos edifícios. Esta solução é constituída por tubos, ligados entre si, enterrados a uma profundidade que normalmente varia entre os 1,5 e 4 metros, e por ventoinhas que fazem uma circulação do ar que se encontra no interior dos tubos. Este sistema funciona através das trocas de calor entre o ar que circula nos tubos e a superfície terrestre, que se encontra a uma temperatura média constante, que varia entre os 10°C e os 16°C. Um exemplo deste sistema encontra-se esquematizado na Figura 3.9 [47].

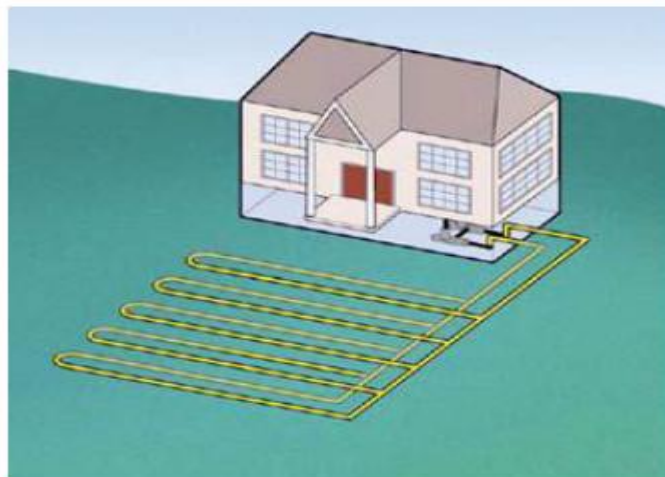


Figura 3.9 - Bomba de calor geotérmica [48].

Este tipo de energia tem como vantagens o facto de ser renovável, baixa em emissões de GEE para a atmosfera, e a área utilizada para a exploração não é muito grande. Em contrapartida tem como desvantagens o elevado custo dos equipamentos utilizados e o facto de apenas pode ser obtida em locais restritos.

A energia geotérmica pode ter muitas finalidades, entre elas se incluem o aquecimento do ambiente interior, o aquecimento de água para uso doméstico e nos serviços, aquecimento de estufas, de instalações pecuárias e aquicultura, secagem de produtos agrícolas e climatização ambiente através de ciclos de absorção [5].

Portugal não possui reservas de carvão mineral nem de petróleo, os níveis de produção de energia renovável são bastante inferiores aos níveis de consumo, sendo necessário recorrer à importação de energia para satisfazer as suas necessidades energéticas. Esta grande dependência externa de importação energética é um indicador de uma necessidade de mudança nos padrões do consumo energético. As energias renováveis representam um papel fundamental no combate às alterações climáticas, sobretudo devido ao facto de não produzirem GEE. Devido ao grande potencial de Portugal ao nível das energias renováveis, a substituição das energias não renováveis pelas energias renováveis pode contribuir para diminuir a dependência e a fatura energética do país. Por outro lado, esta substituição permite reduzir as emissões de dióxido de carbono e outros GEE para a atmosfera, permitindo atingir os objetivos propostos à UE para 2020.

## 4. ESTRATÉGIAS E TECNOLOGIA PARA ALCANÇAR *nZEB*

Nas diferentes definições do conceito *nZEB* é possível encontrar o mesmo caminho para se atingir este estatuto. Primeiro reduzir as necessidades energéticas usando técnicas e tecnologias de eficiência energética, e de seguida utilizar as FER para produção de energia. Para se alcançar o estatuto *nZEB* é necessário identificar o balanço ideal entre a eficiência energética e a produção de energia renovável (Figura 4.1).

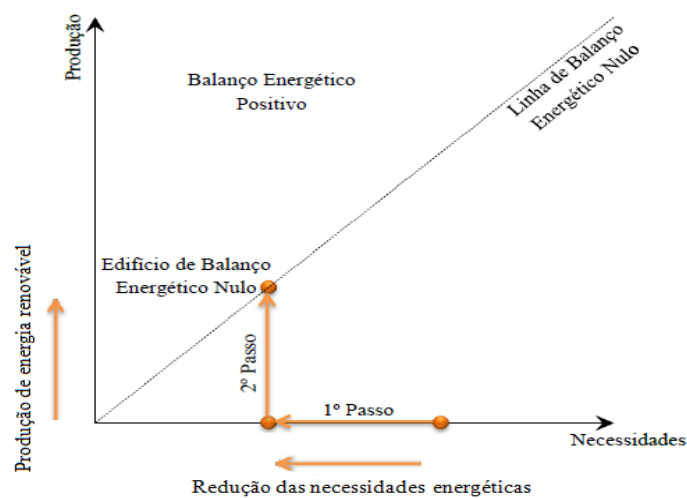


Figura 4.1 - Estratégias para alcançar o estatuto *nZEB* [50].

Seguindo este caminho, é necessário garantir que as soluções adotadas no edifício assegurem a funcionalidade e a qualidade do ar interior do edifício, bem como se satisfazem as necessidades e comportamentos dos ocupantes.

### 4.1. Redução das necessidades energéticas

Laustsen, (2008), referiu que segundo o princípio *ZEB* num edifício ao qual é fornecido uma grande quantidade de energia através de painéis fotovoltaicos ou sistemas de coletores solares, se essa quantidade de energia ao longo de um ano é superior à energia utilizada pelo edifício, este é um edifício *ZEB*. De forma a evitar este tipo de *ZEB* e com vista à redução do consumo energético nos edifícios, o primeiro passo a ser feito é a redução das necessidades energéticas do edifício através da melhoria da eficiência energética. A melhoria da eficiência energética no edifício pode ser feita através de:

- Aplicação de sistemas eficientes;
- Estratégias bioclimáticas;
- Integração urbana;
- Tecnologia.

Sendo a solução ótima para a redução das necessidades energéticas do edifício a aplicação dos quatro níveis, de forma a aumentar a eficiência energética do edifício (Figura 4.2).

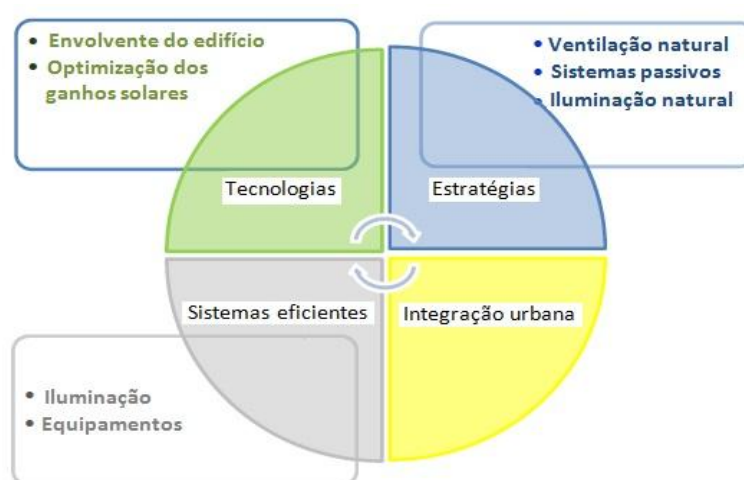


Figura 4.2 - Estratégias para aumentar a eficiência energética [32].

#### 4.1.1. Localização e orientação do edifício

As características arquitetónicas e das soluções construtivas adotadas para a construção do edifício têm uma grande influência nas condições de conforto interior. A escolha do local para construir um edifício deve ter em conta os fenómenos atmosféricos que aí ocorrem. Um edifício que tenha sido projetado sem ter em conta as condições climáticas do local não poderá ser considerado um edifício eficiente na utilização da energia. Preferencialmente, os edifícios deveriam ser construídos em sítios protegidos dos ventos dominantes e com uma boa exposição solar. Se forem tomadas medidas em relação ao planeamento urbano, é possível encontrar locais com boas condições climáticas nos espaços urbanos.

A orientação do edifício revela-se um fator importante na conceção de um edifício energeticamente eficiente. Deve ser tida em conta a orientação do edifício em relação aos ventos

dominantes, devido sobretudo à sua influência na ventilação natural e na ocorrência de infiltrações.

A orientação do edifício é um fator importante no aproveitamento da energia solar. Idealmente, a orientação da maior fachada e com maior área de envidraçados de um edifício deve estar voltada a Sul de forma a otimizar os ganhos solares ao longo do ano. Durante o Inverno existe uma maior necessidade de aquecer os edifícios, sendo utilizada a captação da radiação para essa finalidade. A orientação do edifício a Sul permite maximizar esta captação de radiação, promovendo os ganhos solares do edifício. Durante o Verão é necessário minimizar os ganhos solares através das palas de sombreamento. A diferença do ângulo de incidência durante o Inverno e o Verão permite criar um sistema de maximização e minimização, respetivamente, de aproveitamento da radiação solar, (Figura 4.3).

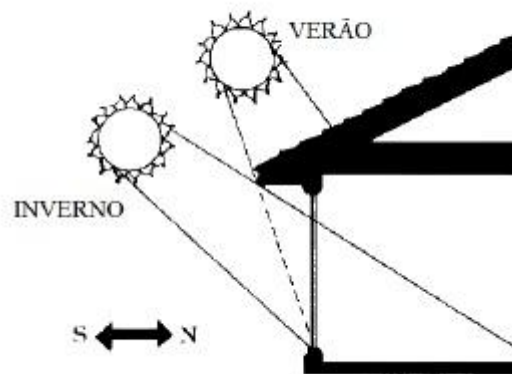


Figura 4.3 - Ângulo de incidência do sol durante o Verão e o Inverno [42].

As fachadas localizadas a Oeste e a Este recebem pouca radiação e durante poucas horas (apenas à tarde e de manhã, respetivamente) durante o inverno, devido ao elevado ângulo de incidência da radiação. Durante o Verão devido à abundância de radiação solar incidente nestas fachadas é necessário ter em atenção o tipo de vidro e sombreamento das áreas envidraçadas. Como a radiação incidente nestas fachadas é perpendicular às janelas torna-se muito difícil de impedir a entrada da radiação solar incidente.

A fachada orientada a Norte não recebe radiação durante o Inverno e recebe pouca radiação solar durante o Verão, sendo a orientação com menos preocupações em relação aos ganhos solares. O lado Norte deve ser destinado a instalações sanitárias, arrumos ou outras divisões que necessitem de poucas aberturas para o exterior, pois é por nesta fachada que se registam grandes perdas térmicas durante o Inverno.

Na concepção de um projeto nem sempre é possível determinar a orientação do edifício, devido sobretudo à disposição existente dos restantes edifícios, sendo necessário ter em conta as incidências solares em todas as fachadas.

#### **4.1.2. Forma do edifício**

A forma do edifício tem um grande impacto na sua eficiência energética. A necessidade de aquecimento do ambiente interior durante o Inverno surge pelo facto de que o calor do interior da habitação é continuamente transmitido para o exterior, através da envolvente exterior do edifício. Para uma melhor eficiência energética, o edifício deve ter um fator de forma (FF) ou uma relação superfície (S) / volume (V) baixa, quanto maior for a superfície (S) que envolve o volume (V) aquecido, maior será a transferência de calor.

#### **4.1.3. Envolvente do edifício**

Na perspetiva do balanço energético, a qualidade de um edifício depende dos elementos que fazem a separação entre o ambiente exterior e interior, ou seja da sua envolvente (fachadas, vãos envidraçados e telhados). Fatores como a inércia térmica e isolante térmico (posicionamento e espessura) influenciam as necessidades térmicas do edifício, sendo necessário ter em conta estes fatores do ponto de vista energético.

##### **4.1.3.1 Inércia térmica**

A inércia térmica é um fator importante a ter em conta para o balanço energético de um edifício, e relaciona-se com a capacidade que os elementos têm em armazenar calor e apenas libertá-lo ao fim de determinado tempo. Esta capacidade varia com algumas características dos materiais, tais como a massa dos elementos, o calor específico e da condutibilidade térmica.

A velocidade ao qual ocorre a transferência de calor numa parede depende da massa e da condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) de todos os seus constituintes. Durante o processo de transferência, as camadas da parede, em função da sua massa e calor específico, vão retirando calor à onda que as atravessa, pois cada camada primeiro eleva a sua temperatura e só depois transmite para as camadas adjacentes.

A inércia térmica permite uma maior estabilização da temperatura interior face às variações de temperatura verificadas no exterior, permitindo uma diminuição nos custos associados à

climatização interior. A Figura 4.4, representa a diferença de amplitude térmica de um edifício com forte inércia térmica em relação a um edifício com fraca inércia térmica.

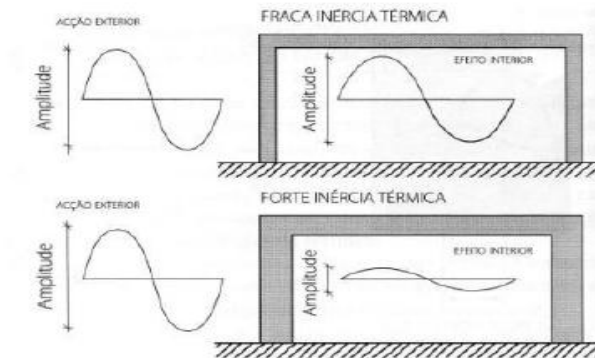


Figura 4.4 - Influência da inércia térmica na amplitude térmica interior [42].

A inércia térmica de uma fração autónoma depende da massa superficial útil de cada um dos elementos bem como da sua capacidade calorífica. A massa superficial por metro quadrado de área útil de pavimento pode ser calculada através da seguinte expressão [51]:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \cdot S_i \cdot r_i}{A_p} \text{ (kg / m}^2 \text{ pavimento)} \quad (4.1)$$

$M_{si}$  – massa superficial útil do elemento  $i$  (kg / m<sup>2</sup>).

$S_i$  – área da superfície interior do elemento  $i$  (m<sup>2</sup>).

$r_i$  – fator de redução que toma em conta a influência dos revestimentos superficiais interiores com propriedades de isolamento térmico.

$A_p$  – área útil de pavimento da respetiva fração (m<sup>2</sup>).

Após calculado o valor da massa superficial útil por metro quadrado de área útil de pavimento ( $I_t$ ), classifica-se o edifício consoante as classes de inércia térmica definidas pelo RCCTE:

$$\begin{cases} I_t < 150 \text{ kg/m}^2 \rightarrow \text{Classe fraca} \\ 150 \leq I_t < 400 \text{ kg/m}^2 \rightarrow \text{Classe média} \\ I_t > 400 \text{ kg/m}^2 \rightarrow \text{Classe forte} \end{cases}$$

Figura 4.5 - Classes de inércia térmica [51].

#### 4.1.3.2 Vãos envidraçados

É estimado que cerca de 25-30% das necessidades de aquecimento de uma habitação se deve a perdas de calor pelo envidraçado [23].

Nos edifícios a utilização de vidro duplo tem com o objetivo reduzir a transmissão térmica entre o ambiente exterior e o interior, visto que os vãos envidraçados representam um dos elementos aonde é notória existência de pontes térmicas. Nas janelas das fachadas Sul surge o dilema da instalação de vidro simples ou duplo, pelo que o vidro simples apresenta grandes perdas térmicas mas permitem uma maior captação de radiação solar, sendo necessário avaliar a solução mais eficaz entre as duas opções. Ao ser utilizado vidro duplo as perdas térmicas do sistema são reduzidas em cerca de 30-40%, mas os ganhos energéticos também são menores. Na utilização de vidro duplo não se torna indispensável a utilização de isolante térmico, apenas é recomendável a sua utilização [42].

No mercado encontra-se disponível uma grande variedade de envidraçados, aos quais é necessário ter em consideração os seguintes requisitos: Perdas e ganhos térmicos; necessidade de sombreamento; conforto térmico, visual e acústico; controlo dos raios ultravioleta e da condensação; e isolamento térmico das caixilharias [52].

O vidro é um material que confere pouco isolamento térmico aos edifícios, tendo os vãos envidraçados um elevado coeficiente térmico (U). No Inverno, o seu elevado coeficiente U leva a elevadas perdas de calor, e no Verão leva a ganhos solares indesejados. Assim, é fundamental dimensionar corretamente as áreas dos vãos envidraçados em função da orientação solar das fachadas, sendo esta uma medida que contribui para a melhoria do conforto térmico das habitações. Normalmente os valores deste fator variam, dependendo do tipo de vidro e das características da caixilharia utilizada.

O fator solar ( $g_{\perp}$ ) indica a razão entre a energia transmitida para o interior da habitação, através do vão envidraçado, e a energia da radiação solar incidente (Figura 4.6). Quanto maior for este fator, maior será a energia solar que atravessa o envidraçado.

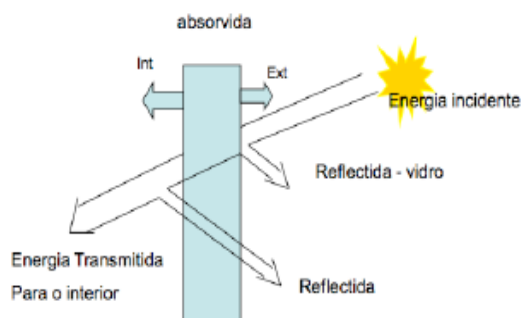


Figura 4.6 - Exemplificação do fator solar [53].

As caixilharias das janelas desempenham um papel fundamental nas perdas de calor nos envidraçados. Atualmente, as caixilharias mais utilizadas são feitas em alumínio, no entanto as caixilharias em PVC ou em madeira são as que apresentam melhores propriedades térmicas. As caixilharias em alumínio podem ser tradicionais, as quais se recomendam a sua utilização no interior, e as de corte térmico, que apresentam um custo mais elevado e são recomendadas para o uso no em fachadas exteriores [23].

#### **4.1.3.3 Zona opaca**

Os elementos que compõem a fachada de um edifício têm influência nas condições de conforto do ambiente interior. Em termos de ganho e perda de energia, as principais características a termos em atenção são a sua inércia térmica e o seu poder isolante.

O isolante térmico da envolvente do edifício permite poupar energia ao nível do aquecimento e arrefecimento do ambiente interior. Existem diferentes tipos e técnicas de aplicação do isolante térmico, que dependem da zona do edifício. O isolamento térmico pode ser colocado pelo interior, exterior ou na caixa-de-ar.:

**Isolante colocado pelo exterior** - Esta técnica revela-se o sistema de isolamento com maior eficácia, sendo colocado o isolante térmico no exterior da fachada, com uma camada de revestimento de forma a proteger o isolante. Esta técnica permite reduzir as pontes térmicas, em relação à colocação de isolante térmico pelo interior e na caixa-de-ar, visto não haver interrupções no isolante. A redução das pontes térmicas permite proporcionar uma melhoria no conforto térmico do ambiente interior. No entanto, o custo de colocar o isolante pelo exterior revela-se mais elevado do que as restantes soluções.

**Isolante colocado pelo interior** - Esta técnica consiste na colocação do isolante na face interior da parede, sendo depois aplicado um material para revestir o isolante. O principal inconveniente é que ao se colocar o isolante pelo interior deixa de se aproveitar a inércia térmica das paredes, correndo o risco de se obter uma inércia térmica fraca.

**Isolante colocado na caixa-de-ar** - Se a parede tiver uma caixa-de-ar adequada, poderá ser introduzido o isolante térmico entre os dois panos da parede, preenchendo total ou parcialmente a caixa-de-ar. Esta solução permite um isolamento eficaz e com um custo razoável.

O requisito em relação à eficiência energética na zona opaca dos edifícios é o coeficiente de transmissão térmica (U), no qual os seus valores máximos se encontram no RCCTE, devidamente classificados por zonas climáticas. Estes são valores máximos do U da envolvente opaca que os edifícios necessitam de cumprir, de modo a que se garanta um bom desempenho da envolvente em termos de perdas e ganhos energéticos.

#### **4.1.4. Sistemas passivos**

Define-se sistemas solares passivos, também conhecidos por sistemas climáticos, como desenhos de construção incorporados no edifício que tiram proveito dos seus elementos estruturais de forma a permitirem o seu aquecimento ou arrefecimento, através de meios naturais de transferência de energia/calor.

Ao contrário dos sistemas solares ativos, os sistemas passivos não recorrem ao uso de dispositivos mecânicos. Este tipo de sistemas não tem custos de construção significativos, tendo como grande vantagem permitirem reduzir o custo associado ao aquecimento ou arrefecimento, tornando o edifício energeticamente mais eficiente.

Durante o Verão (estação de arrefecimento) os sistemas passivos pretendem promover o arrefecimento do interior da habitação. Os sistemas passivos utilizados para arrefecer as habitações são:

- Ventilação natural;
- Arrefecimento pelo solo;
- Arrefecimento evaporativo.

Durante o Inverno (estação de aquecimento) os sistemas passivos pretendem maximizar a quantidade de radiação solar captada pelos vãos envidraçados, devidamente dimensionados e orientados. Estas preocupações energéticas a longo prazo implicam mais do que uma correta orientação e dimensionamento, deve ser acompanhada de construções com uma massa térmica grande, de forma a minimizar as perdas energéticas.

Os sistemas solares passivos para aquecimento podem ser classificados segundo três categorias, baseados no sistema de ganho, armazenamento e transmissão de energia térmica:

- Sistema de ganho direto – Envidraçados, claraboias;

- Sistema de ganho indireto – Parede de Trombe;
- Sistema de ganho isolado – Espaço estufa.

Estes sistemas podem ser utilizados de forma isolada ou podem ser utilizados de uma forma combinada, aproveitando a combinação das suas vantagens.

#### **4.1.4.1 Ganho direto**

O ganho direto representa o mais simples sistema solar passivo. Por esta razão é o sistema mais utilizado, sendo que na maior parte das vezes não é utilizada de uma forma intencional. Cada compartimento útil numa habitação, desde que tenha um vão envidraçado, pode funcionar como um sistema de ganho direto. As condições para um funcionamento eficiente deste sistema são:

- Uma correta orientação dos vãos envidraçados, preferencialmente a Sul;
- Uso de dispositivos de sombreamento, de forma de prevenir o sobreaquecimento no Verão;
- Redução das perdas de calor, através da aplicação de isolante térmico nos elementos opacos e isolamento noturno móvel.

A grande parte dos edifícios funciona com sistema de ganhos direto, sendo as características básicas destes edifícios: uma área de captação de radiação a Sul, com espaços a aquecer diretamente expostos à radiação solar e as lajes e paredes utilizados como armazenamento de calor (Figura 4.7). A minimização das perdas de calor é feita através da utilização de vidros duplos de baixa emissividade *e/ou* isolando os vidros com sistemas de oclusão com boa capacidade de isolamento, sendo os mais utilizados em Portugal os estores exteriores em PVC e as portadas exteriores ou interiores de madeira. Nos sistemas de ganhos diretos os fatores mais importantes, em relação aos ganhos solares, são as dimensões e localização dos envidraçados [42].

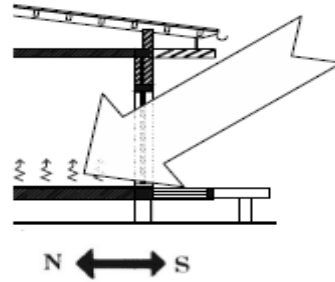


Figura 4.7 - Ganho solar direto [42].

As vantagens deste sistema são: [42]

- O sistema de ganho direto é o sistema de maior rendimento energético;
- É um dos sistemas construtivamente mais baratos, visto que os materiais e sistemas construtivos utilizados podem ser os usuais.
- A superfície envidraçada produz a iluminação dos espaços interiores e permite a visibilidade para o exterior (se for utilizado vidro ou material translúcido);
- O sistema permite grande flexibilidade na conceção arquitetónica. Apenas é necessário ter em atenção os valores de referência do RCCTE.

#### 4.1.4.2 *Ganho indireto*

Nos sistemas de ganho indireto a radiação solar é absorvida por uma massa térmica que está entreposta entre o Sol e o espaço a aquecer. A radiação que é absorvida pela massa térmica transforma-se em energia térmica e é transferida para o interior da habitação. Visto que o espaço que se pretende aquecer não se encontra diretamente exposto à radiação solar, estes sistemas de ganho indireto permitem uma maior possibilidade de controlo das s de temperatura, de forma a evitar o sobreaquecimento. O sistema de ganho indireto mais utilizado são as paredes de Trombe (paredes acumuladoras) ventiladas ou não ventiladas.

**Parede Trombe não ventilada (PTNV)** - Neste sistema a radiação solar atravessa o envidraçado e aquece a zona de armazenamento de calor, provocando o efeito de estufa nesse espaço. O calor armazenado nessa zona vai aquecer progressivamente a face exterior da parede que se encontra entre o envidraçado e o espaço interior da habitação, libertando o calor para o

interior da mesma e ao mesmo tempo reduzindo as perdas energéticas do interior. A face exterior da parede deve ser de cor escura e orientada a Sul, sendo esta tapada com um vidro ou outro material transparente ou translúcido, afastado entre 5 a 20 centímetros, de forma a diminuir a perda da radiação térmica e potenciar o efeito de estufa. O tempo do processo de transferência de calor depende do material e da espessura da parede. A parede Trombe é normalmente composta por materiais densos como a pedra, o betão, o tijolo, adobe ou outro material com boa capacidade de armazenamento térmico, projetada de forma que o calor acumulado durante o dia seja libertado durante a noite, (Figura 4.8) [42].

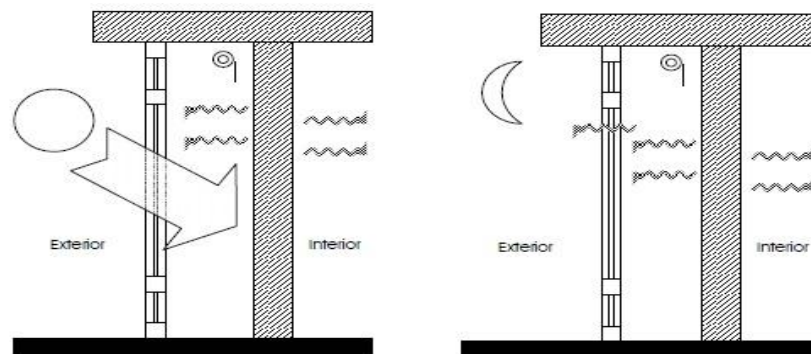


Figura 4.8 - Parede Trombe não ventilada durante o Inverno [42].

Durante o Verão, este sistema tem problemas de sobreaquecimento que poderão ser solucionados com a introdução de sistemas de sombreamento como as palas de sombreamento e/ou dispositivos móveis de sombreamento. O desempenho deste tipo de solução é melhor se:

- O fator de obstrução for pequeno no Inverno e grande no Verão;
- O coeficiente U do envidraçado for grande, mas com uma grande transmissão térmica;
- Se for aplicado isolamento noturno móvel;
- A absorção da superfície exposta for alta;
- A parede possui uma capacidade de armazenamento bem dimensionada para desenvolver o calor nas horas necessárias.

Este sistema tem influência no balanço energético do edifício, no entanto em períodos frios e nublados, pode aumentar as perdas de calor. O valor do coeficiente U das PTNV com vidro sim-

ples e sem isolamento noturno, dificilmente assume valores abaixo de  $1 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  (para os materiais correntes do tipo betão normal, tijolo maciço ou pedra), sendo em geral superior ao valor das paredes exteriores correntes, sobretudo por não ser possível utilizar a camada de isolante térmico neste tipo de sistema, pois iria reduzir o fluxo térmico.

**Parede Trombe ventilada (PTV)** - O sistema de funcionamento da PTV é semelhante ao da PTNV, no qual a radiação solar atravessa o envidraçado e aquece a zona de armazenamento de calor, provocando o efeito de estufa nesse espaço. O calor armazenado nessa zona vai aquecer progressivamente a face exterior da parede que se encontra entre o envidraçado e o espaço interior da habitação, libertando o calor para o interior da mesma. As aberturas de ventilação reguláveis permitem circular o ar armazenado no espaço de aquecimento para o interior do edifício, de forma a promover um aquecimento mais uniforme [42].

O desempenho deste sistema depende em grande parte do seu correto funcionamento. No Inverno durante o dia, a abertura de ventilação inferior deixa entrar o ar frio que, ao aquecer no espaço de aquecimento, sobe até à abertura de ventilação superior e volta a entrar no interior da habitação aquecendo-a, como se ilustra na Figura 4.9.

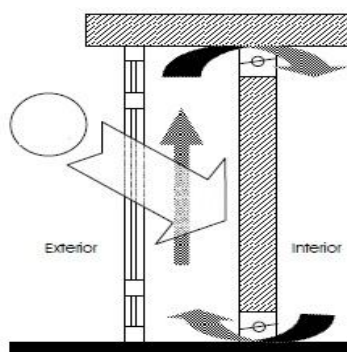


Figura 4.9 - Parede de trombe ventilada durante o dia de Inverno [42].

No Inverno durante a noite, de modo a reduzir as perdas de calor as aberturas de ventilação no envidraçado e na parede estão fechadas. No Verão, durante o dia as aberturas de ventilação também se encontram fechadas e devem ser colocados dispositivos de sombreamento de forma a evitar o sobreaquecimento. Durante a noite as aberturas de ventilação no vão envidraçado devem ser abertas de forma a promover um arrefecimento do interior da habitação, (Figura 4.10).

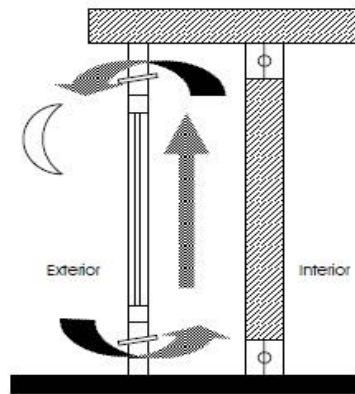


Figura 4.10 - Parede de trombe ventilada durante a noite no Verão [42].

A PTV e a PTNV representam os sistemas de ganho indireto mais utilizados, sendo as vantagens deste tipo de sistemas: [42]

- Os sistemas de ganho indireto proporcionam calor durante o dia, através do ar quente que entra no ambiente interior, e também durante a noite através da libertação da radiação térmica armazenada na massa térmica;
- Permite um maior controlo sobre a quantidade de calor fornecido ao ambiente interior, permitindo uma oscilação de temperatura menor;
- Podem atuar como aquecedores no Inverno e refrigeradores no Verão;
- Evitam o degradamento dos objetos expostos diretamente à radiação;
- Permitem um aquecimento mais uniforme do ambiente interior.

#### 4.1.4.3 *Ganho isolado*

Os sistemas de ganho isolado são aqueles onde a captação de energia solar é feita num espaço separado da zona habitável do edifício, sendo posteriormente transmitida para o interior da habitação. Nesta situação é recomendado utilizar vidro simples e uma caixilharia metálica pois, apesar de ter maiores perdas térmicas, o fator de obstrução é neste caso menor do que no caso de se ter vidro duplo e caixilharia de madeira ou PVC.

O espaço estufa representa um dos sistemas de ganho isolado mais utilizado, sendo uma combinação dos sistemas de ganho direto e ganho indireto. A estufa é construída na fachada Sul

do edifício, de modo a maximizar os ganhos solares, estando uma parede com massa térmica elevada na separação da estufa e do ambiente interior. A parede de elevada massa térmica é aquecida transmitindo o calor para o interior da habitação. No caso de existirem aberturas de ventilação reguláveis na parede, é possível aquecer o espaço através da troca de calor com os mesmos princípios da Parede Trombe ventilada, (Figura 4.11).

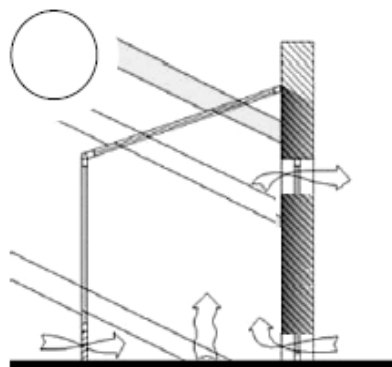


Figura 4.11 - Funcionamento do espaço estufa [42].

Durante o Verão, de forma a evitar o sobreaquecimento devem ser instalados dispositivos de sombreamento no espaço estufa.

#### 4.1.4.4 Sombreamento

Os sistemas de sombreamento servem para melhorar as condições de conforto térmico e visual. Estes sistemas de sombreamento são concebidos para limitar a quantidade de radiação solar que entra no edifício, de forma evitar ganhos térmicos indesejáveis. Os sistemas de sombreamento são classificados consoante a sua localização no edifício, interior ou exterior e quanto à sua maneabilidade, móveis ou fixos. A Figura 4.12, apresenta alguns exemplos de sistemas de sombreamento.

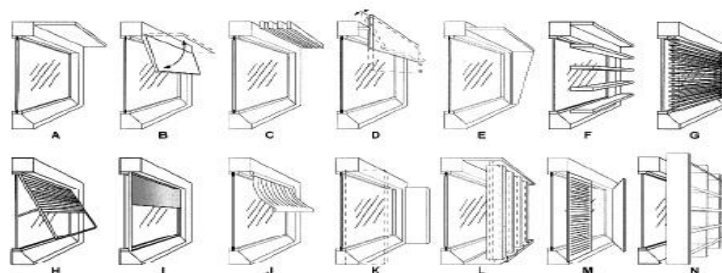


Figura 4.12 - Sistemas de sombreamento [42].

### **Interiores ou exteriores**

O sombreamento pelo interior revela-se a solução menos eficaz porque quando a radiação solar passa pelo vidro este altera o seu comprimento de onda e a radiação não consegue voltar a sair, provocando um aumento da temperatura do espaço interior. O sombreamento pelo exterior permite interceptar a radiação solar, evitando que esta chegue ao vão envidraçado, permitindo reduzir os ganhos solares em cerca de 80%. Em Portugal o sistema de sombreamento mais adequado ao clima é o sistema feito pelo exterior, embora o sistema interior funcione como um bom complemento no controlo dos ganhos solares [42].

Os sistemas exteriores têm um papel importante na estética da fachada. A instalação dos sistemas exteriores revela-se mais cara do que de sistemas de sombreamento interiores.

### **Fixos ou móveis**

Os sistemas fixos constituem uma parte integrante do exterior do edifício, sendo necessário tomar algumas medidas em relação às suas dimensões de forma a garantir uma otimização dos raios solares durante o ano inteiro. A eficiência destes sistemas varia consoante a estação e a posição do sol. As palas são um exemplo de sistemas de sombreamento fixo.

Os sistemas de sombreamento móveis são controlados de forma manual ou automática, podendo-se adaptar às condições que proporcionem maior conforto térmico para os ocupantes e permitindo gerir a entrada de luz natural. As portadas, os toldos retrácteis e os estores venezianos representam algumas destas formas de sombreamento. A escolha dos sistemas de sombreamento deve ter em conta: [42]

- Proteger os vãos envidraçados da radiação indesejada;
- Permitir uma boa ventilação natural;
- Ser de fácil manuseamento.

O sombreamento também pode ser conseguido através da vegetação circundante do edifício, podendo proporcionar uma protecção contra a radiação solar. As árvores de folha caduca representam o melhor exemplo para o aproveitamento da radiação solar, pois durante o Verão conferem sombra protegendo o edifício de radiação solar, e no Inverno permite tirar partido da radiação solar promovendo os ganhos solares do edifício.

#### **4.1.4.5 Ventilação natural**

A ventilação natural corresponde ao processo de introdução ou remoção do ar através de aberturas feitas para esse objetivo, com recurso a processos naturais ou passivos. A ventilação natural contribui para a melhoria do conforto ambiental e da qualidade do ar interior dos edifícios. A ventilação natural ocorre devido à diferença de pressão, sendo esta diferença de pressão originada pelo vento e pelo gradiente térmico. Durante o Verão, durante a noite a ventilação natural apresenta-se com uma das formas de promover o arrefecimento do interior das habitações.

A forma mais usual de criar movimento de ar é abrir as janelas do edifício de forma a permitir que o ar puro penetre no interior substituindo o ar viciado. A circulação de ar no interior pode ser otimizada através da instalação de grelhas de ventilação nas portas para permitir a passagem do ar, com sistemas de regulação de caudal. As dimensões das aberturas de entrada de ar devem ser bem dimensionadas de forma a promover uma boa ventilação. Segundo o RCCTE, o valor mínimo para as renovações por são de  $0,6 \text{ h}^{-1}$  de forma a manter o conforto dos ocupantes sem introduzir grandes perdas térmicas [51].

Quando não é possível assegurar a ventilação do edifício apenas utilizando estratégias de ventilação natural, devido ao facto de não ser possível controlar os fatores que promovem a ventilação, é necessário utilizar a ventilação mecânica.

#### **4.1.4.6 Iluminação natural**

Existe um grande potencial de economia de energia que pode ser alcançado com a utilização da iluminação natural como fonte de luz para iluminar o interior dos edifícios, reduzindo a utilização de iluminação artificial. Para tal, os edifícios devem ser projetados de forma a maximizarem a captação de luz natural. Além do potencial de economia, a iluminação natural possui outros benefícios, tais como:

- Melhoria no conforto com minimização de consumo energético;
- Bem-estar dos ocupantes;
- Ótima reprodução das cores naturais.

A orientação do edifício é um dos elementos que se deve ter em consideração de maneira a se maximizar a obtenção de luz solar. Outra maneira de promover a entrada de luz solar no edifício é a utilização de claraboias que permitam a iluminação das zonas centrais dos edifícios.

Embora a iluminação natural seja uma maneira de reduzir o consumo energético do edifício, é necessário criar um balanço entre a iluminação natural e a eficiência energética do edifício, pois se o dimensionamento dos vãos envidraçados em relação às áreas das divisões não for realizado corretamente, pode ter efeitos negativos na eficiência energética.

#### **4.1.5. Eficiência nos equipamentos**

##### **4.1.5.1 Iluminação**

A forma como foi projetado o edifício influencia os requisitos da iluminação. A necessidade de iluminação, especialmente durante o dia, dependerá do tamanho e localização das janelas, bem como da localização do edifício. As necessidades energéticas associadas à iluminação numa habitação correspondem a cerca de 20% da energia consumida na habitação [14].

De forma a se conseguir uma iluminação eficiente é necessário analisar as necessidades de cada compartimento, visto que nem todos os compartimentos necessitam da mesma luminosidade, nem do mesmo tempo de utilização.

As lâmpadas incandescentes geralmente utilizadas nas habitações apenas aproveitam 5% da energia elétrica que consomem para iluminação, sendo os restantes 95% desperdiçados sob a forma de calor. Apesar de serem mais caras, as lâmpadas de baixo consumo apresentam uma duração 8 vezes maior do que as lâmpadas incandescentes proporcionando a mesma luz, permitindo poupar cerca de 80% de energia consumida na iluminação [14].

##### **4.1.5.2 Equipamentos**

Os eletrodomésticos são responsáveis pelo consumo de cerca de 50% da energia elétrica utilizada nas habitações. Tendo uma contribuição tão importante no consumo energético das habitações, deve ser tido em conta a eficiência energética dos eletrodomésticos [14].

Esta informação encontra-se disponível nas etiquetas energéticas dos eletrodomésticos, que são obrigatórias para a venda dos mesmos. Esta etiqueta disponibiliza informação sobre equipamento, em relação ao consumo anual de energia, de água, capacidade volumétrica e nível de ruído produzido durante o funcionamento. Esta informação permite a aquisição de equipamentos mais eficientes, e conseqüentemente a redução do consumo energético.

Num estudo realizado pela DGEG, no qual se compararam os consumos energéticos anuais de uma “Família *standard*” com os consumos de uma “Família ecológica”, sendo a única diferença a classe de eficiência dos eletrodomésticos utilizados, tendo a “Família ecológica” ape-

nas utilizado equipamentos de classe energética A, enquanto a opção de compra dos equipamentos da “Família *standard*” não teve em conta as classes energéticas. Este estudo permitiu concluir que o consumo de eletricidade da “Família ecológica” é 49% inferior em relação ao consumo de eletricidade da “Família *standard*”. O estudo refere ainda que se todas as famílias estivessem equipadas com equipamentos de classe energética A, seria possível poupar cerca de 13% de eletricidade no sector da habitação [54].

## **4.2. Tecnologia para a produção de energia**

### **4.2.1. Energia solar térmica**

Os painéis solares apresentam-se como uma das melhores opções para o aquecimento de águas e do ambiente interior, através de FER. Em Portugal, tem-se feito pouco aproveitamento da energia solar, muito embora estes sistemas tenham alcançado níveis de fiabilidade e de eficiência que permitam uma utilização mais eficiente. O RCCTE obriga a instalação de coletores solares ou outro sistema de energia renovável que capte a mesma quantidade anual de energia, em todos edifícios abrangidos pelo RCCTE, sempre que exista exposição solar adequada, sem sombreamento desde duas horas depois do nascer do Sol até duas horas antes do Sol se pôr [51].

De forma a se otimizar o retorno do investimento e de se obter uma maior eficiência destes sistemas, os coletores solares deverão ter uma dimensão adequada às necessidades de água quente da habitação com a energia solar disponível no Verão. Isto significa que apenas 70% das necessidades são preenchidas, visto que seriam necessária uma maior área de coletores solares para satisfazer as necessidades de Inverno. Dimensionar os coletores solares tendo em conta as necessidades energéticas durante o Inverno, iria sobre dimensionar o sistema de produção de energia durante o Verão, levando a um excesso de energia produzida, sendo grande parte desta energia desperdiçada. Assim sendo, os sistemas solares necessitam de apoio de sistemas convencionais de produção de água quente. A área de coletor solar necessária para uma habitação é a volta de 1 m<sup>2</sup> por pessoa, sendo dimensionado o depósito entre 50 a 70 litros por pessoa [23].

A energia solar térmica é feita através de coletores solares térmicos, produzindo energia térmica para efeito de aquecimento do ambiente interior e de água quente sanitária (AQS). Os coletores solares produzem água quente de baixa temperatura, estando situada entre os 50 e os 90 °C. Este tipo de energia é uma das que apresenta o maior rendimento, situando-se à volta dos 90%, enquanto os painéis fotovoltaicos apresentam uma eficiência à volta dos 18% [23].

Os constituintes tecnológicos para a produção de energia solar térmica e as suas respectivas funções encontram-se no Quadro 4.1:

Quadro 4.1 - Constituintes de um sistema de coletores solares térmicos e respectivas funções [59].

Componente	Função
Colector solar térmico	Esta é a componente que é exposta à radiação solar, com o objectivo de a transformar em energia térmica, conseguida pelo aumento da temperatura doo fluido que circula no seu interior.
Fluido de transferência térmica	Mistura de água, anticongelante e outros produtos que limitam a deterioração no interior das tubagens. É responsável pela transferência de energia captada do Sol.
Estruturas de suporte	Estruturas metálicas sobre as quais se fixam os painéis solares, garantindo a sua estabilidade face a agentes meteorológicos perturbadores.
Permutador de calor	Acessório que permite a transferência do calor do fluido térmico ao circuito do acumulador de água quente para consumo, uma vez que o fluido térmico não pode ser utilizado para consumo.
Grupo hidráulico	Conjunto de acessórios que facilitam a movimentação dos fluidos térmicos entre os painéis solares e os permutadores de calor. Constituintes: bomba de circulação, vaso de expansão, válvulas e outros acessórios.
Acumulador	Recipiente metálico que permite acumular a água aquecida, possibilitando a sua utilização noutros momentos. Existe ainda um conjunto de acessórios eléctricos que permitem o controlo da temperatura da água.
Sistema de apoio	Sempre que a produção de energia térmica não for suficiente para satisfazer as necessidades, então deverá ser accionado um sistema de apoio energético. Para este tipo de sistemas é concional usar-se uma resistência eléctrica ou um sistema a gás.
Central de controlo	Este sistema de controlo está associado aos dois últimos componentes apresentados anteriormente (manter a temperatura da água no acumulador, accionar o sistema de apoio). Regulador electrónico que recebe as informações da temperatura da água.
Canalização e acessórios	Tubagens, isolamento térmico, sondas de temperaturas, válvulas, misturadoras, purgadores.

Os coletores solares também poder ser instalados da seguinte forma:

- Série:

Os coletores solares térmicos encontram-se ligados em série (Figura 4.13), permitindo aumentar a temperatura do fluido, pois cada coletor confere um determinado aumento de temperatura ao fluido, sendo o aumento de temperatura final igual ao somatório dos aumentos de temperatura de cada coletor.

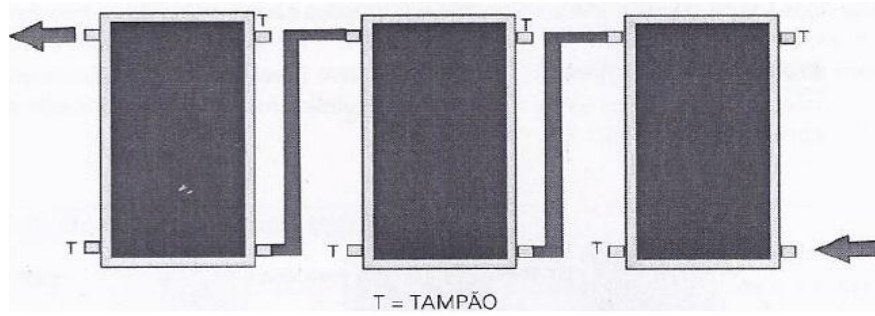


Figura 4.13 - Coletores solares térmicos montados em série [60].

- Paralelo:

A associação em paralelo dos coletores solares permite aumentar o caudal do fluido que circula no interior, uma vez que o caudal irá corresponder ao somatório dos caudais unitários de cada painel, (Figura 4.14).

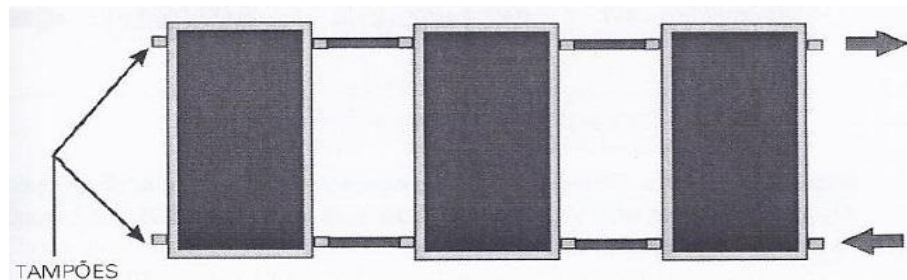


Figura 4.14 - Coletores solares térmicos montados em paralelo [60].

- Forma mista:

Corresponde a uma mistura dos dois sistemas anteriores de modo a garantir um aumento de temperatura e de caudal do fluido que circula no interior.

A instalação dos sistemas solares térmicos pode ser feita de duas maneiras distintas:

- Sistema termossifão:

Este sistema tem como base o aproveitamento de propriedades físicas sem ser necessário recorrer a meios mecânicos para o transporte do fluido, estando o acumulador a uma altura superior à dos painéis e o fluido é transportado por convecção natural entre os painéis e o acumulador, devido à diferença de densidade da água fria e da água quente, (Figura 4.15).

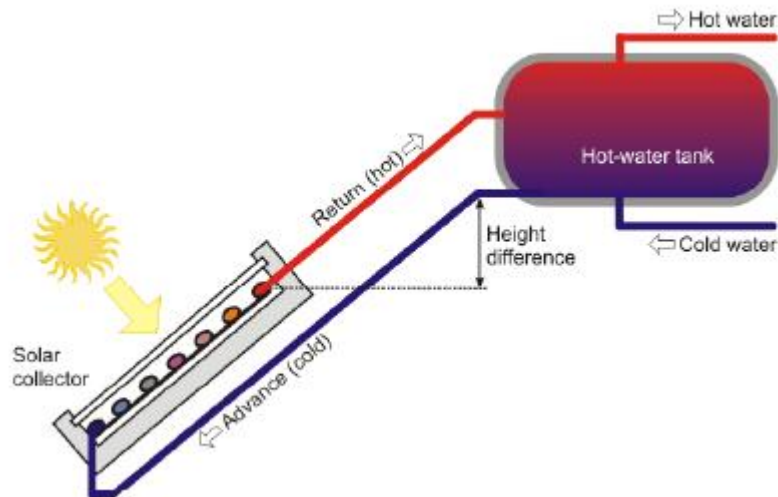


Figura 4.15 - Sistema de funcionamento de um coletor solar com sistema de termostato [62].

- Circulação forçada:

Neste sistema o acumulador pode ser instalado de forma separada dos painéis, podendo estar num local protegido de forma a minimizar as perdas de calor. Este sistema recorre ao auxílio de uma bomba para transportar o fluido, (Figura 4.16).

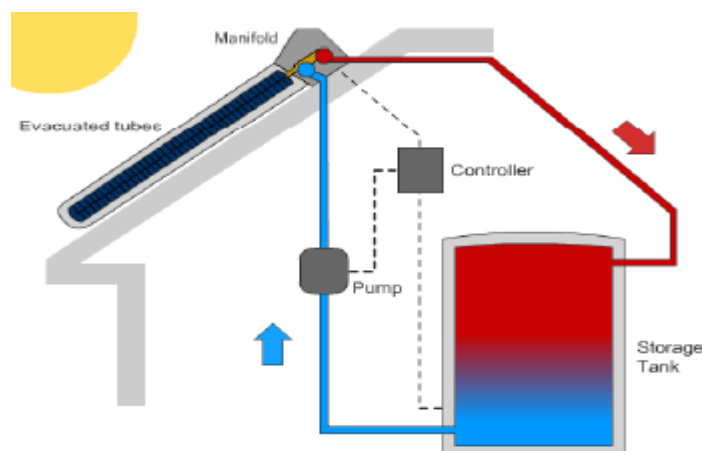


Figura 4.16 - Sistema de funcionamento de um coletor solar com circulação forçada [62].

Este tipo de bombas pode funcionar de forma automática, apenas sendo ligada quando se verificar uma diferença de temperatura significativa entre o coletor e o acumulador (geralmente uma diferença de 5°C).

Os requisitos para o dimensionamento dos coletores solares são os mesmos da energia solar fotovoltaica, pois os princípios de produção são os mesmos, visto que a base para este tipo de energias é o Sol. Em termo de dimensionamento a única diferença entre os painéis fotovoltaicos e os coletores solares é a fração solar ( $F_s$ ) [60]:

$$F_s = \frac{E_{\text{útil}}}{L} \times 100 \quad (4.2)$$

Sendo:

$F_s$  – Fração solar;

$E_{\text{útil}}$  – Energia transferida para o sistema;

$L$  – Energia total consumida.

A fração solar é o quociente entre a energia captada pelo coletor solar e as necessidades energéticas do consumidor. Ao se dimensionar os coletores solares para o Inverno e Verão, devido à diferença de radiação solar incidente, poderá chegar-se a obter soluções de dimensionamento para o Inverno três vezes maiores do que as de Verão. A fração solar permite proceder-se a um dimensionamento mais racional.

Os fatores que influenciam a eficiência energética dos painéis fotovoltaicos e dos coletores solares são [23]:

- Orientação – A orientação do painel deve ser virado para Sul;
- Inclinação – A inclinação ideal dos painéis fixos durante todo o ano deve ser igual ao ângulo da latitude do local;
- Sombreamento – O sombreamento por parte de outros edifícios ou por obstáculos diminui a eficiência destes sistemas;
- Malha urbana – A definição da orientação viária deve ter em conta que definirá a orientação das fachadas dos edifícios;
- Fácil acesso para limpeza e manutenção;
- Nos coletores solares, as tubagens devem ser isoladas de forma a minimizar as perdas de calor.

Apenas com uma manutenção básica os coletores solares têm uma vida útil superior a 15 anos. O investimento inicial varia consoante a área de coletores solares que se pretende instalar e da potência do sistema que se pretende instalar. No entanto, estabelecem-se preços médios de 500

a 1000 €/m<sup>2</sup> por coletor solar, sendo estimado o período de retorno entre 6 a 10 anos para o investimento inicial [23].

A instalação de coletores solares nos edifícios pode encontrar alguns problemas, muitas das vezes ultrapassáveis, decorrentes da localização e montagem dos coletores e depósito, colocação das tubagens e compatibilização com o sistema de apoio. A instalação destes sistemas em edifícios multifamiliares é condicionada em grande parte pela dimensão do sistema, sendo normalmente necessária a aprovação do condomínio [23].

#### **4.2.2. Energia geotérmica**

A Terra possui uma inércia térmica elevada, apresentando-se como um grande acumulador de energia solar sob a forma de calor. A 5 metros de profundidade a temperatura encontra-se a 15 °C mantendo-se estável ao longo de todo o ano, existindo assim uma grande quantidade de energia disponível que pode ser aproveitada para satisfazer as necessidades térmicas dos edifícios [23].

Nos edifícios residenciais, os sistemas geotérmicos mais utilizados são as bombas de calor com aproveitamento da energia geotérmica – bombas de calor geotérmicas. Este sistema funciona através da captação de energia por tubos enterrados no solo, nos quais circula um fluido de transferência (geralmente água) e um anticongelante. Durante o Inverno, a energia é transferida para o interior da habitação de forma a aquecer o ambiente interior, funcionando de maneira inversa no Verão, sendo o excesso de calor transferido para o solo levando a um arrefecimento do interior da habitação [23].

Aproveitam o ar exterior para realizar as trocas de energia necessárias (libertação ou captação), utilizando um compressor elétrico que comprime o fluido que transporta a energia térmica. A tecnologia é altamente comprovada e fácil de manter, sendo o seu maior problema o consumo de eletricidade que normalmente ocorre nas horas de maior utilização da rede elétrica. Uma das suas maiores vantagens é a da sua eficiência nominal ser bastante elevada, sendo possível encontrar equipamentos com uma eficiência nominal entre os 300% e os 500%. O seu sistema de funcionamento encontra-se ilustrado na Figura 4.17 [55].



Figura 4.17 - Bomba de calor geotérmica [63].

Existem bombas de calor com água de condensação, que em vez de utilizarem o ar exterior para realizar as trocas de energia recorrem a água, proveniente de cursos de água ou águas residuais, ou à temperatura constante da terra ( $14^{\circ}\text{C}$  a  $18^{\circ}\text{C}$ ), através de perfurações, vulgarmente conhecidas como geotérmicas. Estes equipamentos permitem, em determinadas condições, eficiências instantâneas na ordem dos 300% e 600% e o seu desempenho não depende do clima, poupando cerca de 44% de eletricidade relação às bombas de calor que utilizam o ar do ambiente [55].

A eficiência deste sistema depende da diferença de temperatura entre o fluido e o ambiente interior do edifício. Esta eficiência é calculada através de um coeficiente de desempenho (COP) que representa o quociente entre a energia térmica fornecida pela bomba de calor e a energia elétrica consumida, quanto maior for o COP maior será a eficiência energética.

A implementação deste tipo de sistemas ainda é pouco conhecida em Portugal, tendo como maior desvantagem o custo associado à instalação. Devido a esta razão o investimento na implementação deste sistema só é rentável em circunstâncias favoráveis muito específicas.

O Programa de Aquecimento e Arrefecimento Solar da Agência Internacional de Energia (IEA SHC) tem a decorrer no seu Programa de Trabalhos uma nova *Task*, que é a *Task* 44, que promoverá o estudo da combinação de bombas de calor com sistemas solares térmicos e ou painéis fotovoltaicos para a aplicação em edifícios.

### 4.2.3. Biomassa

Biomassa tem como fonte de energia a combustão de matéria orgânica, pode ter origem vegetal ou animal. Entre os usos tradicionais da biomassa, a mais conhecida é o aproveitamento da lenha e das pinhas para aquecimento do ambiente interior e AQS em vivendas unifamiliares. A

biomassa apresenta um elevado peso no balanço energético nacional, representando a lenha cerca de 36% do consumo de energia final para aquecimento do ambiente interior e AQS [23].

A utilização da biomassa para aquecimento do ambiente interior levou à criação de novos equipamentos eficientes, tais como fogões e caldeiras a biomassa, que permitem ajustar-se às necessidades dos utilizadores [23].

Atualmente, existem sistemas de aquecimento com recurso a biomassa mais desenvolvidos, eficiente e que permitem utilizar novos produtos da biomassa, sendo os “*pellets*” um dos novos produtos (grânulos formados por resíduos da serração da madeira). A utilização dos “*pellets*” como fonte de energia apresenta-se como uma solução vantajosa do ponto de vista económico em relação a outras formas de energia, e pelo facto de apresentar um elevado nível de rendimento [23].

A maioria dos sistemas de aquecimento com recurso à biomassa apresentam uma poupança energética à volta dos 10%, em relação aos combustíveis fósseis, sendo possível alcançar níveis ainda mais elevados dependendo do tipo de biomassa utilizada, localização e do tipo de combustível fóssil substituído [14].

Os sistemas com recurso a biomassa apresentam-se do ponto de vista económico e ambiental, como uma boa solução para aquecimento do ambiente interior e AQS, existindo ainda a possibilidade de poderem ser combinados com outros sistemas de produção de calor como os coletores solares.

#### **4.2.4. Energia Fotovoltaica (PV)**

A fonte de energia elétrica descentralizada mais comum nos edifícios é a energia fotovoltaica, conhecida por BIPV – *Building Integrated Photovoltaic*. Este sistema de produção de energia apresenta um elevado custo inicial, mas em contra partida encontra-se entre os equipamentos de produção de energia renovável que apresenta maior durabilidade, de fácil instalação, integração, manutenção e controlo. A mais comum aplicação destes sistemas é nas coberturas dos edifícios, podendo também ser aplicado nas fachadas dos edifícios, substituindo os correspondentes elementos de revestimento, como foi realizado no projeto do Edifício Solar XXI.

Em 2000, a potência fotovoltaica instalada em Portugal era de pouco mais de 1000 kWp, sendo sectorialmente repartidos em: [56]

- 52% no sector doméstico (sistemas isolados da rede);
- 20% nos serviços;
- 26% em sistemas ligados à rede;
- 2% em instalações de Investigação e Desenvolvimento.

Devido às condições climáticas, Portugal possui boas condições para a produção de energia através de painéis fotovoltaicos com índices de produção entre os 1000 e os 1500 kWh por ano, por cada kWp instalado [56].

De acordo com o Decreto-Lei nº 363/2007, existe a possibilidade de se poder vender a energia elétrica à rede elétrica nacional, apresentando-se como uma boa forma de se obter o retorno do investimento. Esta possibilidade representa um dos grandes incentivos desta produção de energia, juntamente com o facto de ser uma FER e não emitir GEE para a atmosfera [57].

De forma a se proceder à produção de energia solar fotovoltaica, é preciso definir a tecnologia necessária para essa produção:

- Módulo fotovoltaico;
- Regulador de carga;
- Bateria;
- Inversor.

As funções de cada um destes constituintes são apresentadas no Quadro 4.2:

Quadro 4.2 - Constituintes de um sistema de painéis fotovoltaicos e respetivas funções [59].

Componente	Função
Modulo Fotovoltaico	Componente responsável pela transformação de energia luminosa proveniente do Sol em energia eléctrica de corrente contínua
Regulador de Carga	O regulador de carga faz a ligação entre o painel fotovoltaico e a bateria, regulando a carga de forma a que o máximo de energia eléctrica produzida pelo módulo fotovoltaico, seja armazenado na bateria. Evita ainda que a bateria seja sobrecarregada quando a sua carga atinge um valor máximo.
Bateria	Equipamento que possibilita que o excesso de energia produzida pelo módulo fotovoltaico seja acumulada.
Inversor	Este é o equipamento responsável pela conversão da corrente contínua gerada pelo módulo fotovoltaico em corrente alternada para alimentar os electrodomésticos ou ainda para uma eventual ligação da rede produzida à rede pública.

Os módulos fotovoltaicos são identificados com base nas seguintes características:

- Tipo de células:

Cristalinos - Existem dois tipos de células cristalinas as monocristalinas ou policristalinas. Este tipo de células corresponde à tecnologia com maior rendimento energético, entre 13 a 18%. Este tipo de células encontra-se em capsulas metálicas, tornando estes painéis rígidos.

Amorfos - Este tipo de células apresentam um rendimento menor do que as células cristalinas, situando-se o seu rendimento entre os 11 e 14%. Estas células são compostas por películas finas geralmente apoiadas em suportes de plástico, o que lhes confere uma certa flexibilidade.

- Tensão:

A tensão elétrica que os painéis fotovoltaicos proporcionam são 12 V para módulos com uma potência até 50 W e 24 V para módulos com uma potência superior a 50 W.

- Potência:

A potência que o módulo fotovoltaico pode proporcionar face à radiação solar incidente, sendo medida em watt (W).

De forma se poder aumentar a potência ou a tensão, os painéis podem ser instalados em paralelo ou em série, respetivamente. A única condição para que se possa fazer este aumento é que os painéis têm que ter a mesma potência ou a mesma tensão, quer seja uma instalação em paralelo ou em série, respetivamente.

Na Figura 4.18, podemos observar o esquema de funcionamento dos sistemas de painéis solares e a forma como interagem com a rede elétrica.

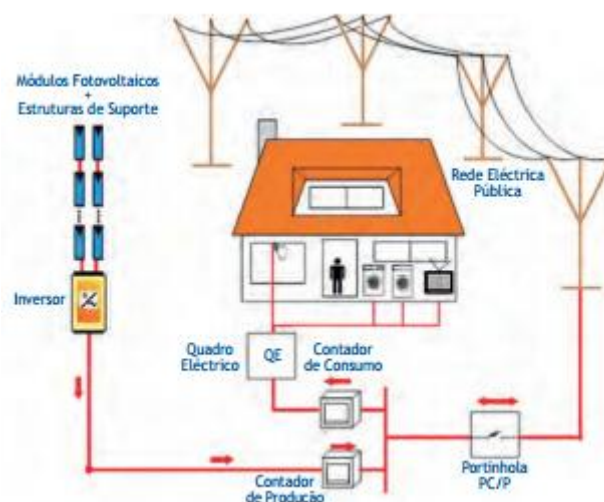


Figura 4.18 - Esquema de funcionamento dos sistemas de painéis solares e interação com a rede [64].

Para se proceder ao dimensionamento dos painéis solares é necessário ter em atenção os seguintes fatores:

- Radiação solar incidente – A radiação que incide na superfície terrestre corresponde a cerca de  $1000 \text{ W/m}^2$ , em termos energéticos é quase equivalente a um barril de petróleo.
- Número de horas diárias de Sol – O Sol apenas proporciona energia solar durante um período de horas, sendo este período chamado de “horas de pico de sol”, dependendo este valor da estação do ano e da zona geográfica aonde se pretende instalar os painéis.

Os dois principais focos de desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos em Portugal são os sistemas ligados à rede elétrica e os sistemas autónomos destinados a eletrificação local. Para se atingir este objetivo, deverão ser dados sinais de apostas neste tipo de sistemas, sendo necessário implementar medidas de desenvolvimento dos mesmos, e que deverão passar por:

- Implementação de um sistema de incentivos que melhor se ajuste aos sistemas fotovoltaicos, que poderá passar pelo apoio ao investimento inicial ou de financiamento da energia produzida com tarifas adequadas;
- Diminuição do IVA para os componentes dos sistemas fotovoltaicos, nomeadamente para os acumuladores, reguladores de carga e inversores;

- Nova legislação sobre interligação com a rede elétrica de pequenas fontes de produção descentralizada de eletricidade com energias renováveis (legislação específica para os sistemas fotovoltaicos).

#### 4.2.5. Energia eólica

A transformação da energia do vento em energia elétrica é feita através de turbinas, existindo turbinas vários tamanhos e potências. A integração de energia eólica nos edifícios pode dar-se com turbinas cuja potência varia entre 1 kW e 50 kW. As turbinas com menos de 5 kW podem servir para alimentar edifícios, desde que existam condições favoráveis à sua aplicação, sendo mais indicada para vivendas isoladas e com boas condições de vento [23] [55].

Grande parte da energia eólica é produzida durante a noite, o que do ponto de vista da rede elétrica aumenta a necessidade de dispositivos de armazenamento de energia e diminui a sua rentabilidade global [55].

Para instalações de uso doméstico os aerogeradores são capazes de produzir entre 400 a 3200 W. Segundo Duarte (2010), para uma habitação com um consumo médio anual de 3740 kWh, a energia eólica poderia suportar entre 50 a 70% desse consumo, dependendo do tipo de turbina utilizada [58].

De forma a se conseguir um bom rendimento destes sistemas é necessário: [23]

- Os aerogeradores localizem-se em zonas ventosas, com vento na maioria dos dias do ano e com uma velocidade média anual superior a 13km/h;
- Espaço suficiente para a instalação dos aerogeradores;
- Cumprir os requisitos legais de instalação;

É necessário realizar um estudo das soluções que se pretendem fazer e ver se a produção de energia eólica se torna um investimento viável. Devido ao facto de o estudo variar consoante a localização do edifício bem como do espaço disponível, a viabilidade desta solução varia de caso para caso.

#### 4.2.6. A cogeração

Ao se utilizar sistemas de produção combinada de calor e eletricidade (*Combined Heat and Power* - CHP) é possível aproveitar o calor produzido quando se gera eletricidade, não rejei-

tando essa energia para o ambiente. Normalmente o calor é utilizado para aquecer os edifícios ou para produzir AQS. No entanto, o tempo que temos para utilizar o calor produzido é limitado pelas estações do ano, sendo grande parte da energia para aquecimento do ambiente interior. Mas por razões de viabilidade económica dos sistemas de CHP é importante que sejam utilizados o mais possível. A necessidade de arrefecimento do interior dos edifícios durante o Verão aumenta em grande parte as necessidades energéticas dos edifícios. Uma possibilidade é o uso do calor libertado durante a produção de eletricidade no Verão para produzir frio, proporcionando o arrefecimento das habitações. Este frio é produzido através de *chillers* alimentados termicamente [55].

Os CHP (motores de combustão interna; motores *Stirling*; micro turbinas e células de combustível) existentes apresentam um custo entre 2000 e 4000 €/kW<sub>e</sub>, com rendimentos globais á volta dos 80-90 %. Estes sistemas de CHP apresentam a vantagem de poderem funcionar a energia solar, biomassa e gás natural. Os *chillers* alimentados termicamente apresentam um custo na ordem dos 800 e 1500 €/kW<sub>e</sub>, dependendo da potência e da tecnologia utilizada [55].

#### 4.2.7. Microprodução

De forma a minimizar os consumos de recursos energéticos e de diminuir o impacto ambiental desse consumo, têm sido criados vários sistemas de produção de energia elétrica através de fontes de energia renováveis. Na produção de energia a aplicação destes sistemas à escala doméstica pode ter como finalidade o consumo da energia produzida ou a venda à rede pública, sendo designados de sistemas de microprodução, nos quais estão incluídos os sistemas fotovoltaicos, os eólicos e os de aproveitamento da biomassa.

Em Portugal, foi aprovado o Decreto-Lei 363/2007 que facilita o acesso a este tipo de tecnologias e tornando real a possibilidade de um consumidor se tornar num produtor de eletricidade [23] [57].

As principais vantagens destes sistemas de microprodução são:

- Aumenta a autonomia energética dos consumidores;
- Aumenta a independência energética do Estado em relação ao exterior;
- Cria novas oportunidades para a indústria de equipamentos;
- É gerador de emprego e impulsionador de crescimento económico;
- Contribui para um melhor desempenho ambiental do sistema energético.

#### **4.2.8. Custos dos sistemas**

Apesar da diversidade de sistemas para a produção de energia, o custo associado a esses sistemas apresenta-se como um fator a ter em conta na escolha destas soluções. O custo associado a cada sistema varia consoante a tecnologia escolhida bem como a potência escolhida. No entanto, apesar dos custos dos sistemas ser um fator importante na escolha das soluções para a produção de energia, é necessário ter em conta a disponibilidade de recursos energéticos no local para a sua instalação, tornando-se necessário fazer um balanço entre o custo do sistema para produção de energia renovável com os recursos energéticos disponíveis no local.

No entanto os custos associados a cada solução tecnológica não serão considerados no âmbito desta dissertação, pois o que se pretende é criar um modelo de opções que permita que cada projetista possa escolher a opção que lhe pareça mais adequada ao seu projeto em termos do custo dos sistemas e das FER a utilizar.



## 5. CASOS DE ESTUDO

Neste capítulo pretende-se fazer um estudo das soluções adotadas na construção de edifícios *nZEB*, sendo feita uma análise a 5 casos de estudo. A análise dos casos de estudo será feita tendo em vista as soluções passivas utilizadas e as soluções escolhidas para a produção de energia no edifício.

Através deste estudo pretende-se avaliar o desempenho energético das soluções adotadas, de forma a se desenvolver uma metodologia com vista à construção de edifícios de balanço energético nulo.

A análise dos casos de estudo será feita em 5 partes:

**Introdução** - Uma breve introdução sobre o caso de estudo.

**Metodologia utilizada** - Será feita uma análise à abordagem da conceção dos edifícios, tendo em conta o seu ciclo de vida.

**Estratégias passivas utilizadas** - Nesta fase serão apresentadas as estratégias passivas utilizadas para reduzir as necessidades energéticas do edifício. Estas estratégias podem ser englobadas em diferentes áreas: Ventilação, ambiente interior, envolvente e outras.

**Tecnologia aplicada** - Depois de terem sido traçadas as estratégias passivas a serem utilizadas, de forma a reduzir as necessidades energéticas dos edifícios, é necessário definir a tecnologia para a produção de energia, para fazer face às necessidades energéticas do edifício.

**Resultados alcançados** - Nesta última fase será feito o balanço energético dos edifícios, tendo em conta o seu consumo de energia primária anual por área.

Após terem sido feitas as análises dos casos de estudo, serão apresentadas as conclusões que se retiraram da observação dos mesmos.

## 5.1. Caso estudo – “*BedZED*”

### Introdução

BedZED é uma das maiores comunidades sustentáveis no Reino Unido. O próprio nome Beddington Zero Energy Development (BedZED) indica a visão por trás do projeto, que consiste no desenvolvimento da primeira comunidade em grande escala que não utiliza energia de origem fóssil, alcançando todas as suas necessidades energéticas através de produção de energia através de FER.

BedZED é uma eco comunidade que tem como principal objetivo minimizar o impacto ambiental na construção e na utilização dos edifícios, permitindo que as pessoas tenham uma vida sustentável sem que tenham que abdicar do conceito de vida moderno e urbano. De forma a minimizar o impacto da construção no ambiente, cerca de 15% dos materiais utilizados na construção são reciclados.

A comunidade BedZED localiza-se em Sutton, é constituída por 100 edifícios (82 para habitação e 18 para escritórios) e tem uma área de 10400 m<sup>2</sup>. A localização foi escolhida tendo em consideração a rede de transportes públicos, de forma a minimizar os impactos ambientais causados pelos automóveis.

O projeto BedZED causou algum impacto nos meios de comunicação social quando foi inaugurada em 2002, tendo sido elogiada a inovação ao nível da sustentabilidade ambiental. No entanto o projeto também revelava alguns problemas, em particular o custo para a realização do projeto que ultrapassou o custo inicial.

### Metodologia utilizada

Na conceção dos edifícios foram adotadas diferentes estratégias ao longo do ciclo de vida dos edifícios:

**Programa** – Nesta fase o principal objetivo foi garantir o menor impacto ambiental possível e ao mesmo tempo proporcionar à comunidade a melhor qualidade de vida possível. As principais prioridades foram a escolha do local aonde seria construída a comunidade, a minimização do consumo de combustíveis fósseis e da emissão de dióxido de carbono para a atmosfera.

O transporte foi também uma das grandes prioridades deste projeto, tendo um peso importante nesta fase de projeto. Como resultado disso, foi dada particular atenção a alternativas ao uso do veículo próprio, de forma a minimizar as emissões de GEE para a atmosfera.

Prova destes objetivos foi a utilização dos espaços exteriores, dos quais 22% da área total se destinam a área reservada a desporto, 12% são jardins, 10% são caminhos pedonais e apenas 6% se destina a zonas de estacionamento.

**Projeto** – De modo a maximizar os ganhos solares na fachada a Sul, o edifício ficou orientado sobre o eixo Este-Oeste. Uma extensa fachada envidraçada a Sul, com uma zona de estufa, permite maximizar os ganhos solares.

As divisões destinadas a habitação são orientadas a Sul, de forma a se aproveitar a luz natural. Os escritórios (e alguns espaços habitáveis) são orientados a Norte, tendo uma claraboia, de forma a permitir a entrada de luz natural. Um elemento fundamental foi a localização dos edifícios de forma a não fazerem sombra a outros edifícios, permitindo a captação de energia solar e de iluminação natural a todos os edifícios, como se pode verificar na Figura 5.1.

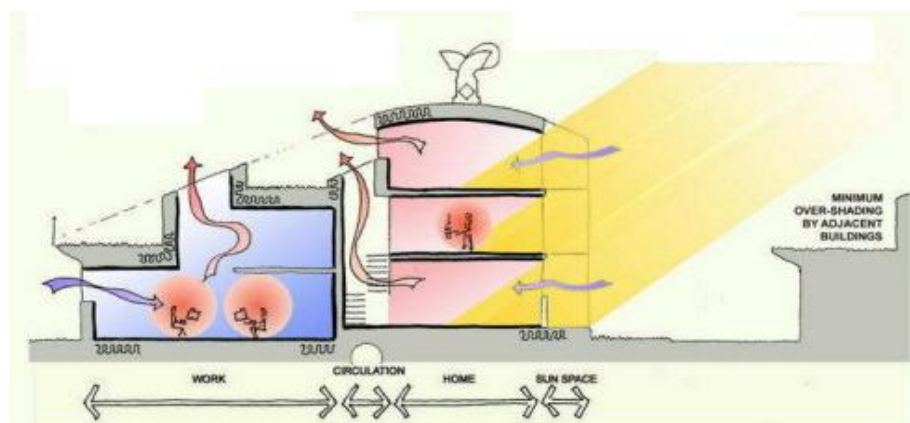


Figura 5.1 – Estratégias para aumentar a eficiência energética [65].

**Construção** – No intuito de reduzir custos e de promover postos de trabalho na comunidade, foram escolhidos, quando possível, empreiteiros locais. No entanto, surgiram alguns atrasos e dificuldades, devido à falta de conhecimento sobre os métodos utilizados na construção da comunidade BedZED.

**Manutenção** – Após um ano, foi feita uma monitorização da performance energética dos edifícios, para se determinar a quantidade de energia que se utilizava para aquecimento do espaço interior e AQS, em comparação com os valores médios do Reino Unido.

### Estratégias passivas utilizadas

As estratégias utilizadas na construção da comunidade BedZED visam diminuir os consumos energéticos e o impacto no meio ambiente.

**Ventilação** - A estratégia de ventilação utilizada foi a utilização de sistemas de ventilação natural. O sistema de ventilação natural adotado está concebido para promover a ventilação do espaço interior, retirando o ar viciado e substituindo-o por ar renovado, e ao mesmo tempo permitir uma recuperação do calor desse ar que é substituído, através do pré-aquecimento do ar renovado. Esta estratégia permite reduzir a energia utilizada na ventilação em relação ao aquecimento e arrefecimento da habitação, representando uma parte significativa no consumo de energia de uma habitação.

**Ambiente interior** – A fachada orientada a Sul permite a iluminação natural e o aquecimento do interior do edifício, devido ao facto de possuir uma grande área de envidraçado. Na fachada a Norte, a área de envidraçado é pequena, de modo a que as perdas de calor nessa divisão sejam menores. A iluminação natural das divisões situadas na fachada Norte é feita através de claraboias.

**Envolvente** – A envolvente é caracterizada por ter uma inércia térmica forte, uma área de envidraçada reduzida a Norte, Este e Oeste, e um isolamento térmico com 300 mm na envolvente exterior. Os valores dos coeficientes de transmissão térmica são:

Quadro 5.1 - Coeficientes de transmissão térmica da envolvente.

	Paredes exteriores	Pavimento	Teto	Envidraçados
Coeficiente U (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,11	0,10	0,10	1,2

**Outras** - BedZed foi construída com a utilização de materiais reciclados, sendo um total de 15% do material utilizado. De forma a reduzir o impacto do transporte dos materiais até ao local da construção, 52% do material utilizado provém de fontes até 56 quilómetros de distância do local da construção.

De modo a se obter uma eficiência energética maior, na iluminação foram instaladas lâmpadas de baixo consumo, e as máquinas de lavar e frigoríficos utilizados nas habitações têm uma classificação energética A.

### **Tecnologia aplicada**

Depois de terem sido traçadas as estratégias passivas para a redução das necessidades energéticas, é necessário a produção de energia para alcançar essas necessidades energéticas.

Para a produção de energia elétrica e para carregar os veículos elétricos, foram instalados no local e integrados nos telhados dos edifícios 777 m<sup>2</sup> de painéis fotovoltaicos, com uma potência de 109 kW.

O aquecimento do ambiente interior e AQS é promovido por uma unidade de produção de cogeração de eletricidade e calor (CHP) com recurso a biomassa, e quando este sistema não se encontra em funcionamento o calor é fornecido por uma caldeira a gás.

### Resultados alcançados

Após a monitorização, os resultados indicavam que tinha ocorrido uma redução de 88% no consumo de energia para aquecimento dos espaços interiores e de 57% no consumo de energia para AQS, em relação à média dos edifícios no Reino Unido. Em relação ao consumo total de energia, existia uma redução 25%.

Os valores relativos à produção e consumo de energia podem ser encontrados no Quadro 5.2:

Quadro 5.2 - Balanço energético (kWh/m<sup>2</sup>/ano).

	kWh/m <sup>2</sup> /ano
Produção de energia:	82
Consumo de energia:	82
Balanço energético	0

## 5.2. Caso estudo – “Avalon Discovery 3”

### Introdução

Avalon Discovery 3 é um edifício unifamiliar, com uma área de 244 m<sup>2</sup>. Este projeto fica localizado numa comunidade suburbana em Red Deer, Alberta, Canadá.

Prevê-se que a casa irá produzir aproximadamente tanta energia quanto consome anualmente, tornando este projeto num edifício *nZEB*. Para alcançar este marco o projeto Avalon Discovery 3 combina o estado das técnicas de construção com a eficiência energética de equipamentos para a produção de energia renovável.

Avalon Discovery 3 foi construída para testar e demonstrar as mais recentes tecnologias de construção ambientalmente eficientes, e representa a plataforma para a nossa casa do futuro.

## **Metodologia utilizada**

Na conceção dos edifícios foram adotadas diferentes estratégias ao longo do ciclo de vida dos edifícios:

**Programa** - O projeto Avalon Discovery 3, inclui estratégias que reduzam o impacto da construção sobre o meio ambiente. Essas estratégias incluem a melhoria da qualidade do ar interior, sistemas de energias renováveis, materiais de origem local e técnicas de construção energeticamente eficientes.

A seleção de materiais para a construção teve por base:

- Material reciclado - na medida em que os materiais e os produtos contêm conteúdo reciclado, o que reduz a necessidade de extração / processamento de nova matéria-prima e de recursos;
- Local de produção, na medida em que produtos fabricados localmente sejam preferencialmente utilizados, de modo a apoiar a economia local e reduzir o impacto do transporte da matéria-prima no meio ambiente;
- Matéria-prima renovável - na medida em que os materiais utilizados na tenham um crescimento de forma sustentável para minimizar a exploração insustentável dos recursos naturais e de produtos.

**Projeto** - A prioridade da equipa de projeto no desenvolvimento das suas estratégias passivas foi de manter o conforto térmico durante todo o ano e equilibrar os benefícios da energia solar no inverno e dos seus custos no verão.

A casa está virada a sul e orientado sobre o eixo Este-Oeste, para garantir uma boa exposição solar. Os quartos e a sala encontram-se virados a Sul na casa, enquanto a cozinha, instalações sanitárias e a sala de jantar encontram-se na fachada Norte. Para garantir a iluminação natural adequada em toda a casa, o projeto inclui janelas alinhadas com escadas e corredores, ajudando a trazer a luz solar para o interior da casa.

**Construção** - As paredes exteriores são constituídas por duas camadas de painéis isolados pré-fabricados. Com este sistema, a quantidade de resíduos no local de construção é reduzido substancialmente, diminuindo o impacto da construção sobre o meio ambiente.

**Manutenção** – Será feita uma monitorização do desempenho energético do edifício.

### Estratégias passivas utilizadas

As estratégias passivas utilizadas na construção deste projeto foram:

**Ventilação** - Devido ao facto de possuir uma envolvente muito estanque torna-se necessário uma boa ventilação do interior. A ventilação do edifício é feita através de ventilação mecânica.

**Ambiente interior** – De forma a limitar o sobreaquecimento e proporcionar uma temperatura interior mais estável, a equipa projetou cuidadosamente o posicionamento das áreas envidraçadas. A área total da janela foi 20,5 m<sup>2</sup>, com 7,3 m<sup>2</sup> na fachada sul, e a restante área foi distribuída de forma relativamente uniforme nas outras fachadas. Foram instalados estores exteriores foram instalados em todos os envidraçados.

O sistema de aquecimento principal do projeto, é um sistema de aquecimento através do piso radiante, que atua como um dissipador de calor. Este sistema funciona com a circulação de água aquecida pelo sistema de recolha de energia solar térmica.

No Verão o arrefecimento do interior da habitação é feito pelo aproveitamento da energia geotérmica, através de 91 metros de tubos enterrados no chão.

**Envolvente** – A envolvente do edifício apresenta uma inércia térmica forte de modo a minimizar flutuações de temperatura no interior do edifício. A massa térmica absorve o excesso calor solar durante o dia e liberta-o durante a noite, quando ela é necessária. Os valores dos coeficientes de transmissão térmica são:

Quadro 5.3- Coeficientes de transmissão térmica da envolvente.

	Paredes exteriores	Pavimento	Teto	Envidraçados
Coeficiente U (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,08	0,10	0,07	0,80

Os envidraçados são normalmente a maior fonte de perda de calor numa casa. Sendo o mais comum a utilização de vidros duplos, neste projeto estes são substituídos por vidros triplos com duas camadas de revestimento de baixa emissividade e duas camadas de argón.

### Tecnologia aplicada

Um sistema fotovoltaico com uma potência de 8.3 kW distribuídos e integrados ao longo do telhado, produz a eletricidade necessária para a habitação. Este sistema fotovoltaico fornece energia elétrica para a casa e está ligada à rede elétrica de Red Deer. Quando a produção de eletricidade é insuficiente para satisfazer as necessidades energéticas da casa, é adquirida energia elé-

trica da rede. Por outro lado, quando é produzida eletricidade em excesso, esta é exportada para a rede elétrica.

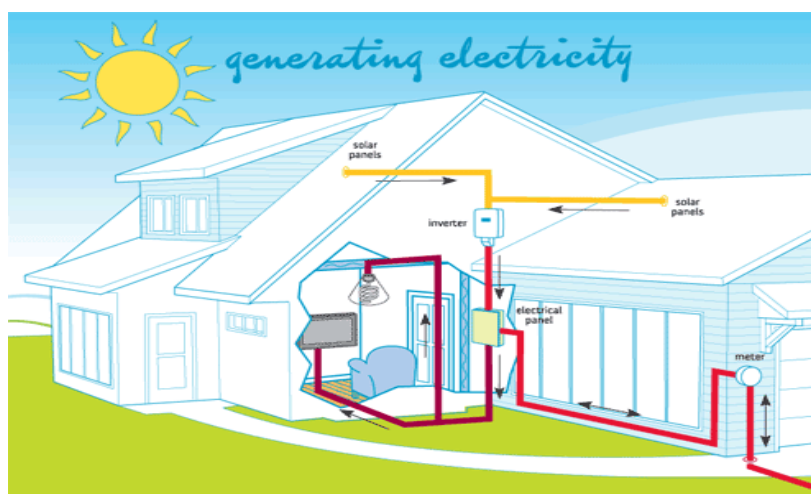


Figura 5.2 – Sistema de produção de eletricidade [66].

O sistema de coletores solares tem uma área de 15,3 m<sup>2</sup>, e encontra-se montado verticalmente na fachada Sul. O sistema de aquecimento solar térmico está ligado a dois tanques de armazenamento de água quente, devidamente isolados, que fornecem água quente para AQS e para o sistema de aquecimento de piso radiante.

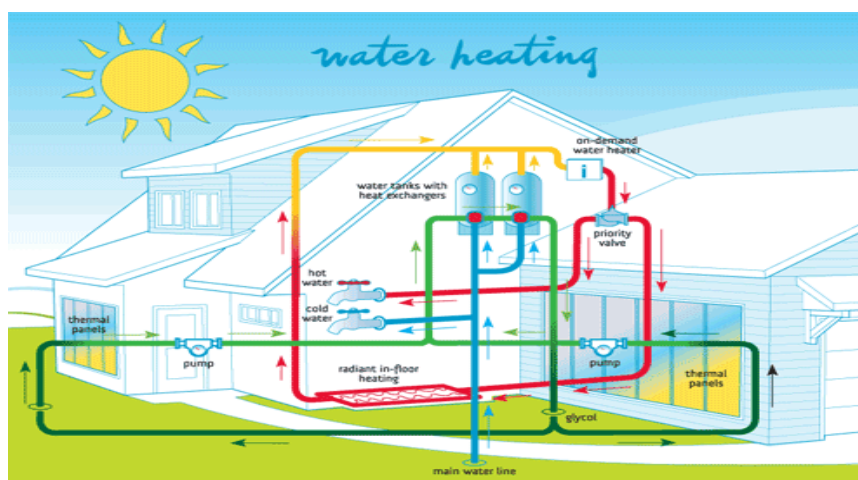


Figura 5.3 – Sistema de produção de calor [66].

O sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor melhora a qualidade do ar interior, trocando constantemente de ar em toda a casa retirando a humidade indesejada e o ar viciado, evitando grandes perdas de energia.

## Resultados alcançados

O Avalon Discovery 3 vai estar ligado à rede elétrica, permitindo que a energia possa ser fornecida ou adquirida de volta para o sistema, conforme seja necessário. No entanto, a casa foi projetada para contar com seus próprios sistemas de energia renováveis solar e outras para produzir mais energia do que consome anualmente. Os valores relativos à produção e consumo de energia podem ser encontrados no Quadro 5.4:

Quadro 5.4 - Balanço energético (kWh/m<sup>2</sup>/ano).

	kWh/m <sup>2</sup> /ano
Produção de energia:	56
Consumo de energia:	55
Balanço energético	1

### 5.3. Caso estudo – “Botticelli”

#### Introdução

Botticelli é um *nZEB* construído segundo os padrões da *Passivhaus*. É um edifício de habitação unifamiliar, com uma área de 144 m<sup>2</sup>. Este projeto está localizado na ilha da Sicília perto do vulcão Etna, na aldeia de Mascallucia, na província de Catania. É um primeiro projeto de *Net Zero Energy Building (nZEB)* a adotar por completo o conceito da *Passivhaus* num clima do Sul do Mediterrâneo.

Sendo uma habitação com um balanço energético positivo (produz mais energia anualmente do que aquela que consome), o projeto Botticelli contribui para o desenvolvimento do conceito de "cidade do futuro" através da introdução de um novo paradigma para a construção de habitações com balanço energético positivo, recorrendo totalmente a energias renováveis.

O projeto Botticelli integra-se com no conceito das “cidades do futuro” através de sua infraestrutura projetada para o armazenamento de energia, troca de energia renovável com a rede elétrica e do uso do carro elétrico que usa a energia produzida pelo edifício.

Isto substitui velhos paradigmas de geração de energia centralizada típico da era do petróleo, com a democratização da energia renovável distribuída. Cada cidadão seria produtor de energia e poderia trocá-lo por meio de uma rede integrada, sem a necessidade de utilizar fontes emis-

soras de GEE para a atmosfera. Com isso, não precisamos de novas fábricas de carvão, gás ou de energia nuclear, mas nós apenas precisamos de construir novas casas ou reabilitar as casas existentes com o conceito de energia positiva.

### **Metodologia utilizada**

Na concepção dos edifícios foram adotadas diferentes estratégias ao longo do ciclo de vida dos edifícios:

**Programa** – Nesta fase o principal objetivo foi garantir o menor impacto ambiental possível e ao mesmo tempo proporcionar à comunidade a melhor qualidade de vida possível. As principais prioridades foram a escolha da abordagem a utilizar tendo em conta o clima do local aonde seria construída a habitação.

**Projeto** – No projeto de Botticelli, a equipa de projeto tem enfrentado e resolvido os vários aspetos dos edifícios *nZEB*, utilizando uma abordagem sistemática:

- Conforto interno para os ocupantes;
- Sustentabilidade ambiental;
- Eficiência energética;
- Qualidade arquitetónica;
- Desenvolvimento social e económico.

Foi ainda definido que o edifício seria orientado a Sul de forma a um maior aproveitamento dos ganhos solares e da luz natural.

**Construção** – O edifício foi construído como um edifício *nZEB* e é certificado segundo a norma *Passivhaus*, respeitando os requisitos em termos de desempenho térmico, impermeabilidade e conforto térmico.

**Manutenção** – Uma empresa especializada vai acompanhar de perto desempenho energético e conforto do edifício por 2 anos.

### **Estratégias passivas utilizadas**

As estratégias utilizadas na construção do projeto Botticelli foram:

**Ventilação** - A estratégia de ventilação utilizada foi a utilização de sistemas de ventilação natural. O sistema de ventilação natural adotado está concebido para promover a ventilação do espaço interior, retirando o ar viciado e substituindo-o por ar renovado. A habitação beneficia de

ventilação natural, quando as temperaturas do ar exterior são mais baixas do que as do ar que circula no interior (período de arrefecimento - especialmente úteis para o arrefecimento noturno).

**Ambiente interior** – De forma a evitar ganhos solares indesejados, são utilizadas persianas externas nas superfícies dos envidraçados, de modo a se manter a temperatura do ar interior desejada. Este sistema de persianas funciona através de controlo automático.

**Envolvente** – A envolvente é caracterizada por ter uma área de envidraçada reduzida a Norte, Este e Oeste, e um isolamento térmico com 200 mm na envolvente exterior. Os valores dos coeficientes de transmissão térmica são:

Quadro 5.5 - Coeficientes de transmissão térmica da envolvente.

	Paredes exteriores	Pavimento	Teto	Envidraçados
Coefficiente U (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,13	0,23	0,13	0,70

São utilizados vidros duplos na habitação, com um fator solar do envidraçado de  $g_{\perp} = 0,54$ .

### Tecnologia aplicada

No projeto de Botticelli, a redução da necessidade de energia é acompanhada pela produção local de energia renovável por meio de painéis fotovoltaicos, um sistema de energia solar térmica e um sistema de aproveitamento da energia geotérmica para promover o aquecimento e arrefecimento no interior da habitação, sendo distribuído por um sistema de ventilação mecânica.

Em particular, o mecanismo de aproveitamento da energia geotérmica proporciona o pré-aquecimento ou de pré-arrefecimento do ar fornecido pelo sistema de ventilação mecânica. A temperatura do ar de alimentação pode ser ajustada por meio de uma unidade de recuperação de calor, antes de entrar no ambiente interior. O sistema de ventilação é regulado automaticamente por um sistema de automação predial.

O sistema de energia solar é integrado com um gerador de bomba de calor, fornecendo a energia térmica para a habitação.

## Resultados alcançados

Visto que a casa só foi habitada em Dezembro de 2012, os valores de consumo e de produção são calculados segundo o programa oficial de *software* de cálculo de necessidades energéticas do instituto *Passivhaus*, o PHPP.

A produção de energia excede o consumo de energia do edifício. Este excesso de produção é fornecido à rede elétrica, a qual funciona como um apoio a esta habitação.

Os valores relativos à produção e consumo de energia podem ser encontrados no Quadro 5.6:

Quadro 5.6 - Balanço energético (kWh/m<sup>2</sup>/ano).

	kWh/m <sup>2</sup> /ano
Produção de energia:	141
Consumo de energia:	88
Balanço energético	53

## 5.4. Caso estudo – “*Bunyesc*”

### Introdução

Este edifício foi projetado pelo arquiteto Josep Bunyesc, concebida para ser energeticamente eficiente. Este projeto é uma casa unifamiliar com uma área de 176 m<sup>2</sup>, localizada em Lleida (Espanha). É uma construção de elevada eficiência energética, tendo uma classe energética A, sendo a primeira casa passiva certificada em Espanha.

A casa de madeira com painéis solares na sua fachada está orientada a Sul de forma a captar a energia solar passiva. O pátio central cria uma nova fachada sul interna, proporcionando muita luz natural, ventilação cruzada e vistas em todo o interior do edifício. O pátio central cria uma nova fachada Sul, que permite a distribuição de energia solar ao longo de todo o edifício.

Este sistema construtivo é baseado no uso de madeira e lã mineral para isolamento, materiais orgânicos 100% renovável, que faz com que seja uma construção sustentável, bonita e com recurso a materiais fabricados de baixa energia incorporada.

Esta construção revela-se uma opção fácil e barata de se atingirem os objetivos da eficiência energética, tornando-a numa realidade global.

## Metodologia utilizada

Na conceção dos edifícios foram adotadas diferentes estratégias ao longo do ciclo de vida dos edifícios:

**Programa** – A principal abordagem foi construir uma casa que consome menos energia e provoca um impacto menor sobre o meio ambiente, através da eficiência energética. O ponto principal é a utilização de recursos naturais como a madeira e tentando construir com um preço semelhante ao duma casa convencional.

**Projeto** – Este projeto foi concebido de forma a causar um impacto reduzido sobre o meio ambiente. O edifício fica orientado a Sul, com um pátio interno que permite a entrada de luz natural em toda a habitação. A maioria das janelas são colocados na fachada Sul para aquecer a habitação durante o Inverno. Todas essas janelas são protegidas por cortinas e sistemas de oclusão noturna.

**Construção** – Na construção foram utilizadas placas pré-fabricadas de madeira, com isolamento de lã de mineral com uma espessura de quase 20 cm e uma superfície externa respirável para evitar a condensação. Estes painéis pré-fabricados, são montados de forma fácil e rapidamente, o que conduz a um sistema de construção competitivo e inferior a cinco meses de trabalho.

**Manutenção** – Será feito o controlo do desempenho energético edifício.

## Estratégias passivas utilizadas

As estratégias utilizadas na construção do projeto Botticelli foram:

**Ventilação** - A ventilação do interior do edifício é feita através de ventilação natural e de ventilação mecânica com recuperação de calor. Durante o verão, a ventilação mecânica com recuperação de calor fornece ar pré-arrefecido ao interior da habitação.

**Ambiente interior** – Durante o Verão, a ventilação natural noturna e a proteção solar, permite viver manter a temperatura interior confortável para os seus ocupantes, sem ser necessário recorrer ao ar condicionado. O pátio interior permite uma maior entrada de luz natural na casa toda, sendo possível garantir que a luz natural chega a quase todas as salas.

**Envolvente** – A envolvente é caracterizada por ter uma área de envidraçada reduzida a Norte, Este e Oeste, ser pré-fabricada e de ter um isolamento térmico de lã mineral na envolvente exterior. Os valores dos coeficientes de transmissão térmica são:

Quadro 5.7- Coeficientes de transmissão térmica da envolvente.

	Paredes exteriores	Pavimento	Teto	Envidraçados
Coeficiente U (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,22	0,35	0,15	1,2

São utilizados vidros duplos na habitação, com um fator solar do envidraçado de  $g_{\perp} = 0,65$ .

### Tecnologia aplicada

O consumo energético revela-se baixo devido à sua elevada eficiência energética e ao uso de sistemas ativos com coletores solares térmicos para o AQS e uma ventilação mecânica com recuperação de calor.

O mecanismo de aproveitamento da energia geotérmica proporciona o pré-aquecimento ou de pré-arrefecimento do ar fornecido pelo sistema de ventilação mecânica.

Os coletores solares térmicos tem apenas 6m<sup>2</sup>, e fornecem a energia térmica para a AQS e aquecimento da habitação. O aquecimento do ambiente interior e de AQS é ainda apoiado por uma caldeira a gás.

### Resultados alcançados

Este projeto permite economizar até 90% do consumo de energia em relação a uma casa modelo. Os valores relativos à produção e consumo de energia podem ser encontrados na Figura 5.8:

Quadro 5.8 - Balanço energético (kWh/m<sup>2</sup>/ano).

	kWh/m <sup>2</sup> /ano
Produção de energia:	42
Consumo de energia:	52
Balanço energético	-10

## 5.5. Caso estudo – “Plus-Energy Settlement in Freiburg”

### Introdução

O *Plus-Energy Settlement* é uma comunidade que utiliza as energias de fontes renováveis e proporciona aos seus habitantes os benefícios de viver numa comunidade com elevados padrões de vida em termos ambientais.

O grande objetivo deste projeto passava por alcançar algo mais do que o balanço energético nulo, que já era alcançado em muitos outros projetos. O objetivo passava por construir uma comunidade que produzisse mais energia (renovável) do que aquela que fosse consumida pelos edifícios e os seus utilizadores, tendo-se atingido o conceito de edifício de balanço energético positivo. Esta comunidade foi uma das primeiras comunidades com balanço energético positivo no mundo.

A comunidade fica situada em Freiburg (Alemanha), e é constituída por 59 edifícios de 3 andares destinados a habitação e escritórios, com uma área de construção de 7890 m<sup>2</sup>. O local de construção foi escolhido por se situar perto do centro da cidade e do distrito de Vauban, aonde recentemente têm sido implementadas práticas ambientais nos edifícios. O acesso a uma rede de aquecimento urbana, também foi um dos fatores que contribuiu para a escolha do local. O local escolhido oferece boas ligações de transportes públicos e espaços públicos, proporcionando aos habitantes da comunidade os benefícios da cidade e da natureza.

### Metodologia utilizada

Na conceção dos edifícios foram adotadas diferentes estratégias ao longo do ciclo de vida dos edifícios:

**Programa** – As zonas urbanas podem facilmente apresentar dificuldades na otimização dos ganhos solares, sendo o local avaliado durante a fase de programa de forma a maximizar a captação de radiação solar. O projeto da comunidade foi inicialmente desenvolvido para uma área maior e planeado para suportar diversas iniciativas sustentáveis, incluindo a mobilidade e o uso de água. Devido a dificuldades relacionadas com o financiamento, a dimensão do projeto teve que ser adaptada.

**Projeto** – O principal objetivo da fase de projeto foi o uso passivo e ativo da energia solar. Todas as casas foram orientadas com as fachadas a Sul, de forma a promover o aproveitamento de energia solar, tendo esta fachada grande área de envidraçados. As divisões destinadas aos serviços (instalações sanitárias, cozinha) ficam localizadas na fachada Norte, sendo que os

quartos e a sala se localizam na fachada Sul. As distâncias entre os edifícios e a alturas dos edifícios foram fatores a ter em consideração de modo a evitar a obstrução da captação de luz natural.

**Construção** – Os edifícios são construídos em madeira, e a sua construção segue os princípios da norma *Passivhaus*. Os edifícios são pré-fabricados, o que permite assegurar um bom isolamento a um preço razoável.

**Manutenção** – Foi feita uma monitorização do desempenho energético dos edifícios, para se determinar a quantidade de energia que se utilizava para aquecimento do espaço interior e AQS.

### Estratégias passivas utilizadas

**Ventilação** - A estratégia de ventilação utilizada foi a utilização de sistemas de ventilação mecânica com recuperação de calor.

**Ambiente interior** – A fachada orientada a Sul permite a iluminação natural e o aquecimento do interior do edifício, devido ao facto de possuir uma grande área de envidraçado. Esta fachada possui ainda palas de sombreamento de modo a evitar ganhos solares indesejados.

**Envolvente** – A envolvente exterior é caracterizada por ter uma inércia térmica forte, e por ter em média um coeficiente de transmissividade de  $0,28 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ . Os valores dos coeficientes de transmissão térmica da envolvente são:

Quadro 5.9 - Coeficientes de transmissão térmica da envolvente.

	Paredes exteriores	Pavimento	Teto	Envidraçados
Coeficiente U ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )	0,12	0,16	0,11	0,70

Os envidraçados utilizados apresentam um coeficiente de emissividade baixo,  $g_{\perp} = 0,55$ . A relação entre a área e o volume (fator de forma) é de  $FF = 0,56$ .

**Outras** – Foram utilizados eletrodomésticos e iluminação artificial com boa eficiência energética.

### Tecnologia aplicada

Neste projeto, a tecnologia utilizada para a produção de energia diferencia-se pela grande área de painéis fotovoltaicos instalados nos telhados dos edifícios. No total são  $3150 \text{ m}^2$  de painéis fotovoltaicos para a produção de eletricidade, com uma capacidade de 400 kW. A produção

de eletricidade por esta tecnologia, tem a capacidade de produzir energia para satisfazer as necessidades energéticas da comunidade, e ainda de vender a energia em excesso à rede. Este último fator revela-se um dos principais motivos pelo qual a comunidade tem um balanço energético positivo.

A comunidade encontra-se ligada a uma rede local, que lhes fornece o calor que é utilizado para o aquecimento do ambiente interior e AQS. Esta rede encontra-se ligada a uma fábrica de cogeração que produz eletricidade e calor a partir de lascas de madeira e gás natural.

### Resultados alcançados

Após a monitorização, os valores relativos à produção e consumo de energia podem ser encontrados no Quadro 5.10:

Quadro 5.10 - Balanço energético (kWh/m<sup>2</sup>/ano).

	kWh/m <sup>2</sup> /ano
Produção de energia:	114
Consumo de energia:	71
Balanço energético	43

## 5.6. Conclusões

No Quadro 5.11 é apresentado o resumo das principais características dos casos de estudo apresentados. Pode ser observado que os edifícios são caracterizados consoante a sua localização, área, desafio climático e o seu desempenho energético (consumo *versus* produção). Em relação ao desafio climático pode-se observar que apenas existem duas categorias para as quais devem ser traçadas as estratégias: Estação de aquecimento e estações de aquecimento e arrefecimento. Nas contas do balanço energético foram tidas em conta as necessidades relativas ao aquecimento, arrefecimento, AQS e aplicações elétricas (equipamentos elétricos e iluminação).

Quadro 5.11 – Síntese dos casos de estudo.

Projeto	Solução Tecnológica	Área (m <sup>2</sup> )	Desafio Climático	Consumo de energia (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Produção de energia (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Balanço energético (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
BedZED (Inglaterra)	Painéis Solares e Caldeira	10400	Aquecimento	82	82	0
Plus energy settlement (Alemanha)	Painéis e Coletores solares	7890	Aquecimento	71	114	43
Botticelli (Itália)	Painéis e Coletores solares	144	Aquecimento e arrefecimento	88	141	53
Avalon Discover 3 (Canadá)	Painéis e Coletores solares	244	Aquecimento	55	56	1
Bunyesc (Espanha)	Coletores solares	176	Aquecimento e arrefecimento	52	42	-10

O consumo energético anual dos 5 casos de estudo varia entre 52 e 88 kWh/m<sup>2</sup>, o que se revela inferior ao limite imposto pela norma *Passivhaus*.

Pode-se observar na Figura 5.4 que dos cinco casos de estudo, três apresentam-se como edifícios de balanço energético nulo e dois apresentam-se como edifícios com balanço energético positivo, o que significa que ao longo de um ano produzem mais energia do que a que é consumida.

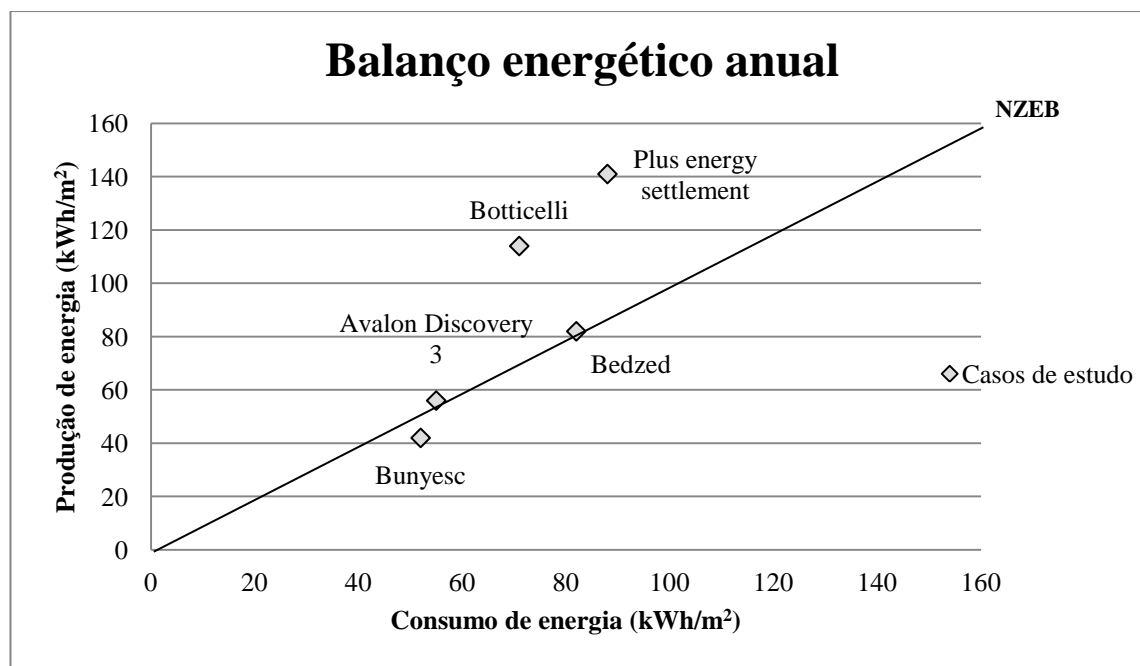


Figura 5.4 – Balanço energético dos casos de estudo.

Embora todos os casos apresentem um consumo de energia baixo, os casos de estudo *Botticelli* e *Plus energy settlement* apresentam uma elevada produção de energia. O caso *Bunyesc* apresenta uma produção de energia inferior à energia consumida pelo edifício. Isto deve-se, sobretudo, ao mau dimensionamento da tecnologia utilizada para a produção de energia, visto que o edifício é energeticamente eficiente do ponto de vista do consumo de energia.

O balanço energético destes casos de estudo corresponde à diferença entre a quantidade de energia que é consumida e quantidade de energia que é produzida, que por sua vez são fatores que dependem das estratégias passivas utilizadas e da tecnologia para a produção de energia. As estratégias passivas e a tecnologia para a produção de energia encontram-se indicadas no Quadro 5.12.

Quadro 5.12 – Estratégias e tecnologias utilizadas.

Projeto	Estratégias utilizadas	Tecnologia para produção de energia
BedZED	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orientação do edifício a Sul;</li> <li>• Disposição das divisões;</li> <li>• Estufa e claraboia;</li> <li>• Ventilação natural com pré-aquecimento do ar que entra;</li> <li>• Equipamentos e iluminação eficientes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Painéis fotovoltaicos;</li> <li>• Caldeira a gás;</li> <li>• Estação de cogeração a biomassa.</li> </ul>
Plus energy settlement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orientação do edifício a Sul;</li> <li>• Disposição das divisões;</li> <li>• Palas de sombreamento;</li> <li>• Iluminação e equipamentos eficientes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Painéis fotovoltaicos;</li> <li>• Fonte <i>off-site</i> de produção de calor.</li> </ul>
Botticelli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orientação do edifício a Sul;</li> <li>• Ventilação natural;</li> <li>• Persianas externas com controlo automático.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilação mecânica com pré-aquecimento/arrefecimento através da energia geotérmica;</li> <li>• Painéis fotovoltaicos;</li> <li>• Coletores solares ligados a uma bomba de calor.</li> </ul>
Avalon Discovery 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orientação do edifício a Sul;</li> <li>• Disposição das divisões;</li> <li>• Piso radiante;</li> <li>• Aproveitamento energia geotérmica através de tubos enterrados no solo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilação mecânica com recuperação de calor;</li> <li>• Coletores solares térmicos;</li> <li>• Painéis fotovoltaicos.</li> </ul>
Bunyesc	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orientação do edifício a Sul;</li> <li>• Ventilação natural;</li> <li>• Cortinas e sistemas de oclusão noturna.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilação mecânica com pré-aquecimento/arrefecimento através da energia geotérmica;</li> <li>• Coletores solares.</li> </ul>

As estratégias mais utilizadas nestes casos de estudo foram:

- Orientação do edifício a Sul;
- Ventilação natural;
- Disposição das divisões;

Estas apresentam-se como medidas comuns a quase todos os casos de estudo. A orientação do edifício a Sul revela como uma estratégia importante para se atingir o estatuto *nZEB*, visto que permite condicionar os ganhos solares da habitação, tentando diminuir a energia utilizada para aquecimento e arrefecimento do ambiente interior.

A opção mais utilizada para a produção de energia elétrica é a de utilização de painéis fotovoltaicos, estando presente em quase todos os casos de estudo. O caso de estudo Bunyesc apresenta-se como o único que não utiliza painéis fotovoltaicos para a produção de eletricidade, não conseguindo obter uma produção de energia superior ao consumo do edifício.

Na produção de calor as opções são predominantemente: caldeiras a biomassa, coletores solares e a utilização da energia geotérmica para fins de aquecimento e arrefecimento.

As características da envolvente exterior são fatores a considerar neste tipo de análises, pois as perdas de energia dão-se através desta. Os coeficientes de transmissão térmica das envolventes dos casos de estudo são:

Quadro 5.13 – Características da envolvente exterior.

Projeto	Coeficiente U ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )			
	Paredes exteriores	Envidraçado	Teto	Pavimento
BedZED	0,11	1,2	0,10	0,10
Plus energy settlement	0,12	0,70	0,11	0,16
Botticelli	0,13	0,70	0,13	0,23
Avalon Discovery 3	0,08	0,80	0,07	0,10
Bunyesc	0,22	1,2	0,15	0,35

Podemos observar que os coeficientes de transmissão térmica da envolvente exterior opaca tem valores bastante baixos, variando entre 0,07 até 0,35. Em alguns casos, estes baixos coeficientes da envolvente exterior opaca associados a uma classe de inércia térmica forte, como é o caso de BedZED, Avalon Discovery 3 e Plus energy settlement, permite evitar grandes perdas térmicas pela envolvente.

Sendo que grande parte da energia é dissipada pelos envidraçados, o coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados revela-se um fator importante. Nos casos de estudo, este fator varia entre 0,7 e 1,2, o que se pode constatar ser um valor baixo, (Figura 5.5).

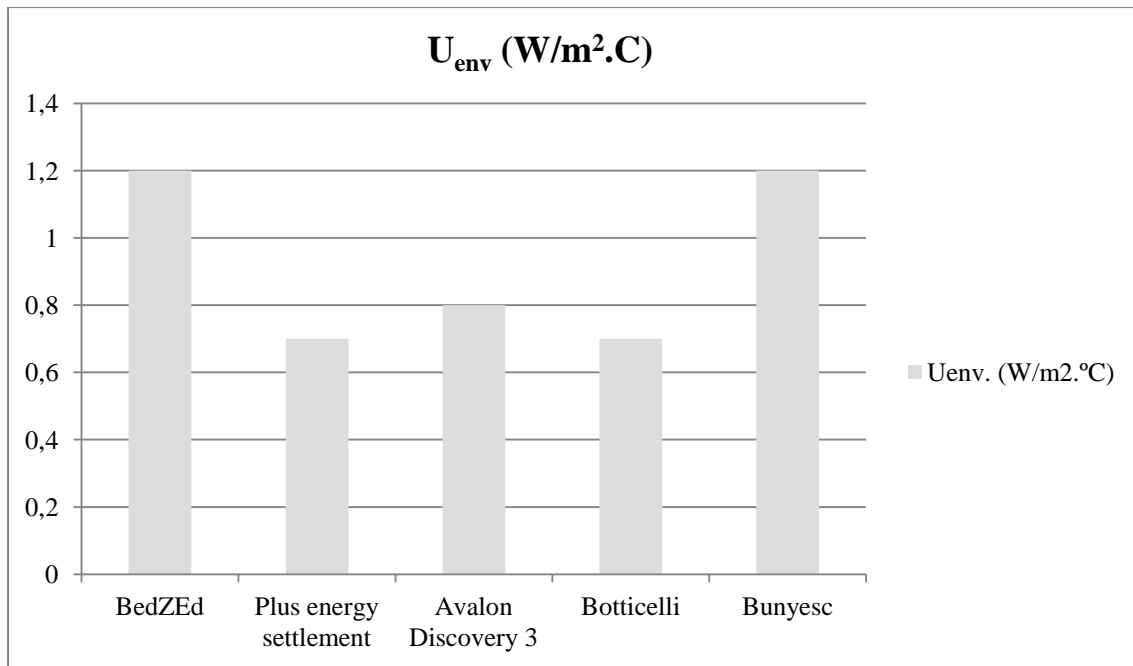


Figura 5.5 – Coeficiente de transmissão térmica da envolvente exterior.

A combinação das estratégias e das tecnologias utilizadas nestes casos de estudo permite tirar algumas conclusões sobre as opções que foram tomadas na conceção destes edifícios, de forma a serem consideradas essas opções na conceção de novos edifícios que pretendam obter o estatuto *nZEB*.

## 6. PROPOSTA DE METODOLOGIA

Nos capítulos anteriores foram apresentadas várias medidas e estratégias passivas e tecnologias para a produção de energia, que podem ser aplicadas em projeto de forma a se alcançar o estatuto de edifício de balanço energético nulo (*nZEB*). No entanto não foi definida uma metodologia que permitisse à equipa de projeto construir um edifício *nZEB*.

Neste sentido, o objetivo deste capítulo é desenvolver uma metodologia que permita aos projetistas conceber um edifício que tenha o estatuto de *nZEB*. Pretende-se construir uma metodologia que possa servir de base para a construção de edifícios que tenham como objetivo alcançar o estatuto *nZEB*. Esta metodologia pretende ser uma metodologia aplicável a todos os edifícios novos, com vista à promoção da eficiência energética e ao mesmo tempo da produção de energia através de FER.

Como já foi visto nos capítulos anteriores, a diversidade de interpretações do conceito *nZEB* tornam-no num conceito complexo e um bocado ambíguo. Devido à complexidade do conceito *nZEB* surge a necessidade de o definir no âmbito desta metodologia.

### **Conceito *nZEB***

#### **Balanço energético:**

Como já foi visto anteriormente, os parâmetros utilizados para a medição do balanço energético podem ser vários, dependendo do objetivo do projeto. Estes podem ser essencialmente:

- Energia primária;
- Energia final;
- Emissões de CO<sub>2</sub>;
- Custo da energia.

Neste trabalho será considerada, para efeitos de cálculo do balanço energético, a energia primária.

#### **Tipo de balanço:**

Os fatores a ter em conta no balanço energético tem obrigatoriamente de incluir o consumo total de energia do edifício. Estas necessidades que englobam o consumo total de energia do edifício são as necessidades de aquecimento, arrefecimento, AQS e elétricas (nos quais se inclui a iluminação e os equipamentos elétricos).

### Período do balanço:

O período do balanço energético a ter em conta pode ser todo o ciclo de vida do edifício, um período anual ou mensal. Visto que a maior parte dos sistemas de simulação energética dão o resultado em energia anual consumida, será considerado um período anual para o balanço energético.

### Tipo de FER:

Será considerada qualquer fonte de produção de energia renovável, podendo esta ser produzida no próprio edifício, *in-site* ou mesmo *off-site*.

### Definição

*Net Zero Energy Buildings (nZEB)*, são edifícios que ao longo de um ano apresentam um balanço energético quase nulo, sendo que a quantidade de energia de fonte renovável produzida compensa a baixa energia consumida pelo edifício. Não sendo necessário a utilização de combustíveis fósseis para satisfazer as necessidades de aquecimento, arrefecimento, AQS e elétricas.

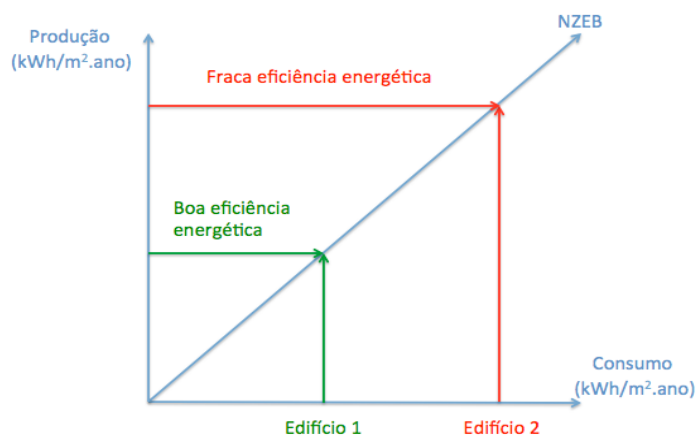


Figura 6.1 – Eficiência energética nos edifícios.

Apesar desta definição do conceito *nZEB*, e sendo a eficiência energética o primeiro passo e a chave para o sucesso deste conceito, surge a necessidade de definir um limite máximo de energia primária consumida pelo edifício, visto que qualquer edifício que produza tanta energia como a que consome se torna num edifício *nZEB*, (Figura 6.1). O limite imposto para o consumo

---

energético anual do edifício é definido pela norma *Passivhaus*, sendo este limite anual de 120kWh/m<sup>2</sup>.

A metodologia que se propõe nesta dissertação tem como alvo a construção de novos edifícios que pretendam alcançar o estatuto *nZEB*. Esta metodologia pretende definir certas ações durante o ciclo de vida do edifício, de modo a que após a sua conceção, este seja um edifício com balanço energético nulo. De modo a alcançar o balanço energético nulo, as ações propostas visam tornar o edifício energeticamente mais eficiente e ao mesmo tempo tornar o edifício numa fonte de produção de energia para fazer face ao consumo reduzido. Essas ações propostas encontram-se no Quadro 6.1.

Quadro 6.1– Ações propostas para cada fase do ciclo de vida do edifício.

Fase de projeto	Ações
Programa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otimização da exposição solar para a implantação do edifício;</li> <li>• Nível mínimo de desempenho energético para o futuro edifício;</li> <li>• Estudo de viabilidade de implementação das FER no edifício;</li> <li>• Opção por materiais produzidos ou existentes perto do local da construção do edifício.</li> </ul>
Projeto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definição das estratégias passivas a implementar nesta fase:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Orientação eficiente do edifício para otimização de ganhos solares;</li> <li>- Ventilação natural do edifício;</li> <li>- Os compartimentos destinados a habitação deverão ficar na fachada a Sul, optando pelos espaços destinadas a serviços localizados no quadrante Norte;</li> <li>- Aplicação e dimensionamento de palas de sombreamento na fachada Sul.</li> </ul> </li> <li>• Definir o nível de desempenho para a envolvente exterior:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Opção por elevado nível de desempenho de eficiência térmica da envolvente exterior;</li> <li>- Utilização de vidro duplo nas caixilharias do vão;</li> <li>- Definir as caixilharias, os estores e os sistemas de oclusão noturna, com boa eficiência.</li> </ul> </li> <li>• Equipamentos:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- A classe mínima para os equipamentos a instalar deve ser a classe energética A.</li> </ul> </li> <li>• Iluminação:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Obrigatório a utilização de lâmpadas economizadoras.</li> </ul> </li> <li>• Identificação das FER a utilizar:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Painéis solares fotovoltaicos ou turbina eólica;</li> <li>- Coletor solar térmico, bomba de calor geotérmica ou caldeira a biomassa;</li> <li>- Equipamentos de produção de eletricidade e calor (CHP);</li> <li>- Sistemas de armazenamento de energia em interação com a rede elétrica;</li> <li>- Equacionar a utilização de fontes <i>off-site</i> de energia renovável.</li> </ul> </li> <li>• Simulação do balanço energético do edifício.</li> </ul>
Construção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plano de controlo e gestão das soluções projetadas;</li> <li>• Plano para gestão da construção;</li> </ul>
Utilização/Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manutenção periódica dos equipamentos instalados;</li> <li>• Monitorização do balanço energético do edifício;</li> <li>• Guia de utilização do edifício – módulo energético.</li> </ul>

Na metodologia proposta são definidas ações a tomar durante cada fase do projeto de forma a alcançar o balanço energético nulo no edifício. Esta metodologia tem em conta cada fase do ciclo de vida do edifício e o objetivo pretendido em cada fase, de forma a proporcionar ações que permitam alcançar o objetivo global do estatuto *nZEB*.

### **Programa**

Para a fase de Programa foram definidas ações com vista a definir os objetivos e as estratégias do projeto, da qual devem fazer parte desta fase os arquitetos, engenheiros e o dono da obra. Nesta fase o primeiro ponto ao qual deve ser dada atenção é ao local onde irá ser construído o edifício. A otimização dos ganhos solares do edifício no local da construção do edifício é a ação mais importante durante esta fase, pois vai influenciar as escolhas de projeto em relação às FER a utilizar, bem como às estratégias passivas. Deve ser feito um estudo da zona aonde o edifício vai ser instalado, de forma a se poder orientar, sempre que possível, o edifício com uma fachada a Sul, permitindo maximizar os ganhos energéticos do edifício pelos vãos envidraçados.

Deve ser definida uma classe energética mínima para o edifício, de modo a influenciar a escolha das soluções escolhidas para o projeto. Segundo a diretiva EPBD, é definido que os novos edifícios deverão ter uma classe energética mínima de B, sendo possível ser mais ambicioso e definir uma classe mínima de projeto mais elevada, de forma a aumentar a eficiência energética do edifício, tendo como principal variável o aumento do custo inicial do projeto.

Fazer uma avaliação dos tipos de FER que se podem utilizar no projeto, pois estes dependem das condições do local onde vai ser construído o edifício. Quanto maior for a possibilidade de escolha das FER, mais fácil será alcançar o estatuto *nZEB*. Deve ser feito um estudo da viabilidade das soluções de produção de energia possíveis de aplicar no projeto, pois uma solução de produção de energia apesar de ser possível, poderá não ser uma solução viável em relação ao custo/produção energética.

Através da utilização de materiais produzidos perto do local pretende-se diminuir o consumo de energia no transporte dos materiais do local de fabrico até ao local da obra. Visto que se pretende causar o menor impacto possível no meio ambiente, torna-se importante contabilizar e tentar diminuir a energia consumida durante o transporte dos materiais até ao local da obra.

## Projeto

A fase de projeto apresenta-se como uma das fases críticas para se atingir os objetivos propostos, visto que é nesta fase que se traçam as estratégias relativamente à eficiência energética e à produção de energia, bem como à escolha das soluções da envolvente exterior.

Nesta fase devem ser definidas as estratégias relativamente à promoção de eficiência energética, uma vez que o primeiro passo para se atingir o estatuto *nZEB* passa pela redução das necessidades energéticas. As estratégias passivas são:

- Orientação do edifício para otimização dos ganhos solares – Deve ser definida a orientação do edifício, normalmente orientada a Sul, de forma a maximizar os ganhos solares. Após a orientação do edifício estar decidida, devem ser traçados planos de forma a ser aproveitada a luz natural no edifício, proporcionando uma poupança energética na iluminação do edifício.
- Ventilação natural – A ventilação natural apresenta-se como uma estratégia eficaz para a promoção do arrefecimento no interior dos edifícios, especialmente, durante as noites de Verão. A ventilação natural permite que o ar viciado seja retirado do interior dos edifícios, sendo este substituído por ar renovado. O projeto ventilação natural deverá ser dimensionado de forma que durante o Inverno não provoque excessivas perdas de calor, aumentando as necessidades de aquecimento.
- Disposição das divisões – As divisões destinadas habitação (sala, quartos) deverão ficar situadas na fachada a Sul, visto que são divisões nas quais os ocupantes da habitação passam grande parte do seu tempo, tendo um maior aproveitamento da luz natural incidente. Enquanto as divisões destinadas a serviços se devem localizar na fachada Norte.
- Palas de sombreamento na fachada Sul – A utilização de palas de sombreamento na fachada Sul permite evitar ganhos excessivos de energia. Devido ao facto da radiação incidente ter diferentes amplitudes no Verão e no Inverno, a utilização de palas de sombreamento, devidamente dimensionadas, permite evitar ganhos excessivos durante a estação de arrefecimento. Este torna-se um dos principais fatores para evitar o sobreaquecimento do interior das habitações.

Estas apenas representam as estratégias passivas que são consideradas obrigatórias, sendo possível combinar e utilizar outras estratégias passivas que visem diminuir o consumo energético do edifício.

Pelo facto de que as perdas de energia se dão pela envolvente exterior, torna-se necessário definir alguns dos seus aspetos. Da envolvente exterior podemos destacar os envidraçados, pois é através deles que ocorrem grandes perdas de energia, e a inércia térmica da envolvente. A inércia

térmica da envolvente deve ter uma classe mínima média, sendo aconselhável que se obtenha uma classe de inércia térmica forte, permitindo menores flutuações de temperatura no interior do edifício e permitindo uma maior eficiência energética do edifício. A utilização de vidros duplos torna-se indispensável. Deve ser definida uma estratégia que tenha em conta a área dos envidraçados, tendo em conta a sua localização geográfica no edifício. Essa localização influencia o tamanho dos vãos envidraçados, sendo na fachada orientada a Sul uma área de vão envidraçado maior do que nas outras, de forma a se otimizar os ganhos solares, permitindo reduzir as necessidades de aquecimento. Devem ser definidos sistemas eficientes de oclusão noturna, de estores e de caixilharias. Estes fatores permitem evitar a entrada de radiação indesejada e de diminuir as perdas de energia pelo envidraçado.

Deve ser definida uma classe energética mínima para os equipamentos utilizada, de forma a reduzir o consumo de energia no edifício. Esta metodologia define que os eletrodomésticos, principalmente os que mais consomem (máquinas de lavar e equipamentos de refrigeração), devem ter uma classe energética mínima de A. Quanto mais elevada for a classe energética dos equipamentos que se vão instalar no edifício, mais eficiente será o edifício.

Na iluminação devem ser definidas estratégias de iluminação com boa eficiência energética, de forma a permitir uma redução do consumo energético do edifício. É obrigatório a utilização de lâmpadas economizadoras, pois são as que apresentam uma melhor eficiência energética. A combinação desta medida com as estratégias de iluminação natural permite uma grande poupança energética na iluminação.

Depois de terem sido definidas as estratégias de melhoria da eficiência energética, devem ser feitas as estratégias para a produção de energia através de FER. Estas opções devem ser estudadas ao nível de produção no edifício ou no local perto do edifício. As FER para a produção de energia no edifício podem ser:

- Calor – Tendo um elevado peso no balanço energético do edifício, a definição das estratégias de aquecimento e arrefecimento apresentam-se como parte fundamental para se atingir o balanço energético nulo. Deverá ser feita de maneira a otimizar o aquecimento do interior do edifício e aquecimento de AQS, através das soluções mais eficazes. Devem ser estudadas as opções de instalação de bombas de calor (de preferência com funcionamento a biomassa ou geotérmica), as caldeiras a biomassa, o aproveitamento de energia geotérmica através de tubos enterrados no solo e os coletores solares para aquecimento do ambiente interior e AQS.
- Eletricidade – A produção de energia elétrica revela-se uma das medidas fundamentais para se alcançar este objetivo. Deverá ser estudada a utilização de painéis fotovoltaicos, visto que se apresenta como uma das soluções com maior rendimento energético na pro-

dução de energia elétrica. Deverá ainda ser estudada a viabilidade da utilização da energia eólica para a produção de eletricidade.

Qualquer outra opção de produção de energia de fonte renovável, desde que seja viável, poderá ser uma opção.

A combinação destes sistemas a cogeração (CHP), poderá ser outra alternativa, sendo necessário fazer um estudo para a viabilidade destas soluções.

É possível considerar a uma fonte *off-site* de produção de energia renovável para se atingir o balanço energético nulo, sendo aconselhável apenas utilizar esta solução como último recurso.

Deve ser dimensionado um sistema de armazenamento de energia e sempre que seja possível o edifício deverá estar ligado à rede elétrica nacional, de forma a se diminuir as perdas da energia produzida em excesso.

Após terem sido definidas as estratégias a utilizar no edifício bem como as opções escolhidas para a produção de energia deve ser feita uma simulação dos consumos esperados para o edifício, de forma a se saber se o objetivo do balanço energético nulo foi alcançado. Se o consumo de energia for inferior à energia produzida, ou se o consumo energético do edifício for superior ao limite estabelecido, terá que se proceder a uma alteração das opções escolhidas para a conceção do edifício. Se pelo contrário, o consumo de energia for inferior à produção de energia e ao limite estabelecido, o projeto encontra-se em condições de avançar para a fase da construção.

### **Construção**

Durante a fase da construção deve ser assegurado que as estratégias e soluções adotadas durante a fase de projeto são concretizadas em obra. Esta medida permite assegurar que são feitos os esforços para se atingir os objetivos proposto, pois qualquer erro na construção pode levar a uma alteração do balanço energético inicialmente previsto.

Deve ainda ser feito um plano de gestão de construção, de modo a maximizar os materiais utilizados e minimizar os desperdícios em obra. Este plano permite reduzir os recursos utilizados em obra, o que nos reduz o impacto da construção sobre o meio ambiente.

### **Utilização/Manutenção**

Durante esta fase deve existir uma manutenção periódica dos equipamentos, de modo a assegurar o correto funcionamento dos mesmos. Esta medida permite manter o nível de eficiência dos equipamentos, permitindo que estes mantenham o nível de consumo inicialmente previsto.

O balanço energético do edifício deve ser controlado de forma a verificar se o objetivo foi alcançado. Se o objetivo não foi alcançado a análise do balanço energético poderá ajudar a encontrar as soluções ou as estratégias que não permitiram que o objetivo fosse atingido. Através da análise do balanço energético é possível corrigir alguns aspetos do balanço energético que não estejam a ser alcançados de acordo com os objetivos que foram traçados. Esta monitorização deve ser feita de forma que se proceda à otimização dos usos energéticos do edifício.

O comportamento dos utilizadores representa um papel fundamental no processo de alcançar o balanço energético nulo, pois os seus hábitos e o seu comportamento vão influenciar o consumo do edifício. Deverá ser fornecido aos utilizadores do edifício um guia de utilização, de modo a poder ajudar o utilizador a reduzir as suas necessidades energéticas.

Na Figura 6.2, podemos encontrar em traços gerais o resumo desta metodologia:



Figura 6.2 – Síntese da metodologia.

Esta metodologia pode ser definida em seis traços gerais:

- Definição dos objetivos – São traçados os objetivos aos quais se pretende alcançar neste projeto;
- Definição das estratégias a utilizar – São definidas as estratégias de redução do consumo de energia, através da promoção da eficiência energética, e as estratégias destinadas à produção de energia de fonte renovável;
- Simulação – Depois de terem sido traçadas as estratégias a utilizar, é feita uma simulação do balanço energético num programa devidamente certificado para esse fim. Se as estimações do balanço energético estiverem de acordo com os valores limites e com os objetivos traçados, o projeto segue para a fase de construção. Se os valores obtidos não corresponderem aos objetivos traçados ou aos limites definidos, terão que se rever as estratégias traçadas nas fases anteriores;
- Construção – Nesta fase os balanços energéticos esperados já foram estimados, tendo apenas que se realizar a construção do edifício de acordo com as estratégias traçadas;
- Utilização/Manutenção – Nesta fase deverá ser feita uma manutenção periódica dos equipamentos a utilizar, de modo a que estes mantenham a eficiência energética para a qual foram inicialmente concebidos. Deverá ser fornecido aos utilizadores do edifício um guia de utilização do edifício, com linhas gerais sobre o comportamento e ações que deverão ser tomadas, com vista à diminuição do balanço energético do edifício;
- Balanço energético – É feita uma monitorização do balanço energético real do edifício, sendo obtido o consumo anual do edifício e a quantidade de energia produzida pelas FER. Se houver uma grande discrepância no balanço energético entre os valores calculados na simulação e os obtidos na monitorização, deverão ser feitas as devidas alterações para corrigir essa discrepância.

Este conjunto de ações apresentam-se como diretrizes para a construção de novos edifícios que pretendam alcançar o balanço energético nulo. Este conjunto de ações que decorrem durante o ciclo de vida do edifício, pretendem ter um impacto no balanço energético do edifício. A melhoria da eficiência energética dos edifícios, tem como efeito direto a redução do consumo energético dos edifícios. Essas necessidades de consumo de energia reduzidas podem ser compensadas pela produção de energia renovável, diminuindo ou mesmo anulando a utilização de energia não renovável.

Esta metodologia apresenta como principal desvantagem o facto de ser difícil de se conseguir alcançar o estatuto *nZEB* para edifícios com um grande número de pisos. A aplicação da metodologia fica um bocado condicionada ao local aonde se vai construir o edifício, pois a dispo-

sição dos edifícios já existentes ou mesmo os recursos energéticos disponíveis vão influenciar as escolhas de projeto.

A principal vantagem desta metodologia é o facto de se poder alcançar o balanço energético no edifício. As principais medidas propostas são medidas que implicam um custo inicial elevado, em grande parte para a tecnologia destinada à produção de energia, havendo um sistema de crédito para apoiar este tipo de projetos. O retorno do investimento feito será feito a médio/longo prazo, tendo a possibilidade de se tornar num investimento que poderá dar lucro, visto que a energia em excesso poderá ser vendida à rede. A redução da conta energética apresenta-se como uma das vantagens a curto prazo, que representa a medida mais visível aos olhos dos utilizadores do edifício.



## 7. CONCLUSÕES

Atualmente, com o aumento das preocupações em termos ambientais torna-se obrigatório ter uma nova visão sustentável em todos os setores da sociedade. Em Portugal, o setor da construção apresenta-se como um dos grandes consumidores de energia, e por isso, torna-se importante projetar os edifícios de forma a serem cada vez mais auto sustentáveis e de forma a consumirem a menor energia necessária.

Com a aprovação da Diretiva 2010/31/EU (EPBD), o setor da construção está obrigado a introduzir em todos os seus novos projetos o conceito de edifício de balanço energético nulo, até 2020. Este grande desafio representa uma revolução na forma de conceção dos futuros edifícios. Assim torna-se necessário reduzir o consumo energético dos edifícios com vista à diminuição do impacto ambiental e económico, e ao mesmo tempo a utilização de fontes de energia mais limpas para o ambiente.

A combinação das tecnologias para produção de energia renovável e das estratégias de passivas necessárias para a minimização do consumo de energia, são os elementos chave no desenvolvimento e conceção dos *nZEB*. Não foram tidos em conta os custos associados a cada solução apresentada, sendo deixado ao critério de seleção de cada projetista, pois os valores disponíveis para a escolhas das soluções varia de projeto para projeto. Nesta dissertação, foram abordadas várias estratégias de minimização do consumo energético e tecnologias para a produção de energia que serviram de base para a metodologia proposta, que pretende orientar os projetistas na conceção de um *nZEB*. Neste contexto, têm de se ter em consideração:

- A integração urbana do edifício, tendo em especial atenção a orientação do edifício e a sua envolvente natural, para o máximo aproveitamento dos recursos naturais.
- A otimização da envolvente exterior, tendo em atenção o tipo de isolamento utilizado, à qualidade dos vãos envidraçados e às aberturas que permitam a ventilação natural, de forma a se garantir um adequado conforto do ambiente interior do edifício.
- A implantação de fontes de energias renováveis, sendo este o segundo passo da estratégia de conceção dos edifícios *nZEB*.

A minimização do consumo de energia apresenta-se como o primeiro passo para se alcançar o estatuto *nZEB*, sendo alcançado através das estratégias passivas bioclimáticas.

Nesta dissertação são explicados diversos modos de aproveitamento das fontes de energia renováveis disponíveis. As fontes eólicas e os painéis fotovoltaicos para produção de energia, os coletores solares para AQS, as caldeiras a biomassa para aquecimento interior e aproveitamento da temperatura do solo através de tecnologias geotérmicas, são algumas das alternativas apresen-

tadas. As energias renováveis são fontes de energia inesgotáveis, que podem ser aproveitadas para produzir toda a energia necessária para satisfazer as necessidades energéticas do edifício. A energia que é produzida pelo edifício pode ser superior à energia consumida pelo edifício, atingindo-se um balanço energético positivo, sendo a energia produzida em excesso armazenada no próprio edifício ou exportada para a rede elétrica.

Tendo como base as estratégias passivas e as tecnologias para produção de energia estudadas, bem como o estudo das opções estudadas nos diversos casos de estudo apresentados, foi feita uma metodologia que permitisse aos projetistas conceber um edifício de balanço energético nulo. São então propostas de ação a ter em conta em cada fase do projeto de modo a se conseguir atingir o objetivo traçado no início do projeto. Através da simulação dos consumos energéticos e da produção de energia por parte das tecnologias instaladas, é possível ter uma estimativa dos balanços energéticos esperados.

É dada importância à interação e colaboração entre os diferentes intervenientes do projeto, desde a fase inicial até ao fim de vida do edifício. Isto incluindo sempre que possível os futuros ocupantes do edifício, visto que um inadequado comportamento pode ser prejudicial no desempenho energético do edifício. É importante sempre que possível que os ocupantes do edifício sejam encorajados e sensibilizados a perceber a física dos edifícios e o correto funcionamento dos seus sistemas de forma a adotarem comportamentos adequados em termos energéticos.

Com esta proposta de metodologia, pretende-se contribuir para a eficiência do processo da poupança de consumos energéticos em todas as fases do ciclo de vida dos edifícios. A adoção de um modelo orientativo de ações e opções produz, conforme Amado (2007), um maior impacto do que aquele que obriga a soluções padronizadas e pouco flexíveis à adaptação a contextos diversos e locais também eles diferentes. [61]

Os *nZEB* representam o futuro do setor da construção, portanto é necessário começar a desenvolver mais esforços para se alcançar o balanço energético nulo nos edifícios, tendo-se, com a metodologia proposta apresentada nesta dissertação um instrumento que permite a conceção destes edifícios, estando traçado um caminho para se alcançar o estatuto de edifícios *nZEB*.

## **7.1. Desenvolvimentos futuros**

Como desenvolvimentos futuros propõe-se que seja estudado a aplicação da metodologia proposta a um caso de estudo. Delineando-se as estratégias a utilizar e as tecnologias para a produção de energia. De seguida, deverá proceder-se à simulação dos consumos energéticos do edifício e da produção de energia. Sendo estudado ainda o contributo de algumas medidas passivas aplicadas em projeto.

Fazer uma análise do custo de implementação das medidas propostas na metodologia, e ver em média qual seria o retorno do investimento inicial.

Propõe-se ainda o desenvolvimento de um plano de monitorização conforme o proposto pela metodologia apresentada, podendo através dos resultados obtidos em períodos anuais promover as condições para que se proceda a uma melhoria na metodologia proposta, e deste modo conduzir a um novo desenvolvimento que é a divulgação aos utilizadores de resultados em tempo real o que se pode implementar com o desenho de uma plataforma digital.



---

## BIBLIOGRAFIA

[1] – LACASTA, N. e BARATA, P. – O protocolo de Quioto sobre as alterações climáticas: Análises e perspetivas. Working Paper. Universidade do Algarve, Faro, 1999.

[2] - EUROSTAT- *Energy, Transport and Environment Indicators*, 2010 Edition. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2011.

[3] - BERGE, B. - *The Ecology of Building Materials*. Architectural Press: Bath, 1999.

[4] - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), [www.iea.org](http://www.iea.org), consultado em: 03/2013.

[5] - DIRECÇÃO GERAL de ENERGIA e GEOLOGIA (DGEG), [www.dgeg.pt](http://www.dgeg.pt), consultado em: 03/2013.

[6] – OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico. *Environmental sustainable building - Challenges and policies*. 2003.

[7] - AMADO, M. P. - *O Processo da Construção Sustentável*. 1º Congresso Lusófono sobre Ambiente e Energia. Estoril, Setembro 2009.

[8] - PINHEIRO, M. D.- *Construção Sustentável - Mito ou Realidade ?* VII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente. Lisboa. 2003.

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

[10] – WBCSD – World Business Council for Sustainable Development. *Eficiência Energética em Edifícios - Realidades empresariais e oportunidades*. Lisboa, BC SD Portugal, 2009.

[11] – INE - *Censos 2011 - Resultados definitivos*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística, 2012.

[12] – ITIC – SCE – *Oportunidades para o sector da Construção*. Instituto Técnico para a Indústria da Construção, 2008.

[13] – PAIVA, J. V., AGUIAR, J., PINHO, A. – *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*. Lisboa, Instituto Nacional da Habitação, LNEC, 2006.

[14] – ADENE - *Guia da Eficiência Energética*. 2010. ISBN 978-972-8646-17-2.

[15] - AMADO, M. P.- Conservação energética em edifícios de habitação e o nível de conforto ambiental, in *Construção 21- Congresso Nacional da Construção*, Lisboa, 2001.

[16] – Diretiva 2002/91/CE – DIRETIVA 2002/91/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, vol. 4.1.2003, págs. L1/65 – L1/71. 2003.

[17] – *EPBD Recast (Directive 2010/31/EU)*. European Council for an Energy Efficient Economy. Visto a: 03/2013. Disponível em:

[http://www.eceee.org/policy-areas/buildings/EPBD\\_Recast](http://www.eceee.org/policy-areas/buildings/EPBD_Recast).

[18] – MALDONADO, E. – *As Políticas Nacional e Europeia para os edifícios: Objetivos a atingir*. 10<sup>as</sup> Jornadas de Climatização da Ordem dos Engenheiros, Lisboa 2010.

[19] - BALARAS, C., DASCALAKI, E. - *European efforts towards NZEBs and energy conservation in Hellenic buildings*, 2011.

[20] – EPBD-CA – *Concerted Action for Energy Performance of Buildings. Implementation of the EPBD in Portugal – Status November 2010*, 2010. Disponível em: <http://www.epbd-ca.eu/country-information>.

[21] – CAPROS, P., MANTZOS, L., TASIOS, N. – *Analysis of the EU policy package on climate change and renewable*. *Energy Policy*, vol. 39, nº3, pp. 1476-1485, 2011.

[22] - Resolução do Conselho de Ministros 80/2008 de 20 de Maio de 2008, *Diário da República* nº 97 Série I de 20 de Maio de 2008, pp. 2824-2865.

[23] – ISOLANI, P. - *Eficiência Energética nos edifícios residenciais – EnerBuilding*. Manual do Consumidor, ADENE. Edição: Deco. EnerBuilding.eu, 2008.

[24] - Resolução do Conselho de Ministros 29/2010 de 15 de Abril de 2010, Diário da República nº 73 Série I de 15 de Abril de 2010, pp. 1289-1296.

[25] – ODYSEE - *Energy Efficiency Indicators in Europe*. Disponível em : [http://www.odyssee-indicators.org/publications/country\\_profiles.php](http://www.odyssee-indicators.org/publications/country_profiles.php)

[26] – LAUSTSEN, J. – *Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings*. International Energy Agency (IEA), Março, 2008. Disponível em: <http://www.iea.org/efficiency/CD-EnergyEfficiencyPolicy2009/2-Buildings/2-Building%20Codes%20for%20COP%202009.pdf>

[27] – TORCELLINI, P., PLESS, S., DERU, M. – *Zero energy buildings: A critical look at the definition*. U.S. Department of Energy (DoE), Junho, 2006.

[28] – HEISELBERG, A., MARSZAL, A. – *A literature review of Zero Energy Building (ZEB) definitions*. Universidade Aalborg, Dinamarca, 2009.

[29] - TORCELLINI, P., PLESS, S. – *Net-Zero Energy Buildings: A classification system based on renewable energy supply options*. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Junho, 2010.

[30] – KILKIS, S. – *A new metric for net-zero carbon buildings*. Energy Sustainability, Long Beach, Califórnia, 2007.

[31] – MERTZ, G.A., *et al* – *Cost optimization of net-zero energy house*. Energy Sustainability, Long Beach, Califórnia, 2007.

[32] - GONÇALVES, H. – *Em direcção aos Edifícios de Balanço Energético Zero*. Jornadas da climatização, Ordem dos Engenheiros, 2011.

[33] – ESBENSEN, T.V., KORSGAARD, V. – *Dimensioning of the solar heating system in the zero energy house in Denmark*. Solar energy, Vol.19, pp. 195-199, 1977.

[34] – SAITOH, T. – *Natural energy autonomous house with underground water reservoir*. Bulletin of the JSME, Vol. 27, pp. 773-778, 1984.

[35] - SAITOH, T., ONO, T., MATSUHASHI, H. – *An energy-independent house combining solar thermal and sky radiation energies*. Solar Energy, Vol. 35, pp. 541-547, 1985.

[36] – VOSS, K., STAHL, W., GOETZBERGER, A. – *The self-sufficient solar house in Freiburg – Results of 3 years of operation*. Solar Energy, Vol. 58, pp.17-23, 1996.

[37] – IQBAL, M.T. – *A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland*. Renewable Energy, Vol. 29, pp. 277-289, 2003.

[38] – GILIJAMSE, W. – *Zero- energy houses in the Netherlands*. Interfaculty Department of Environmental Science. Universidade de Amesterdão, Holanda, 1995. Disponível em : [http://www.ibpsa.org/proceedings/BS1995/BS95\\_276\\_283.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/BS1995/BS95_276_283.pdf)

[39] – ROSTA, S., HURT, R., BOEHM, R., HALE, M. J. – *Performance of a zero-energy house*. Solar Energy Engineering, Vol.130, pp. 0210061-0210064, Maio, 2008.

[40] - PASSIVE-ON PROJECT – *A descrição longa do Passive-On*. Grupo de investigação Efficiency Research Group, Politécnico de Milão, Milão, 2007. Disponível em: <http://www.passive-on.org/CD/5.%20Long%20Description/Passive-On%20-%20Long%20Description%20-%20Portugues.pdf>

[41] – EDWARDS, S. B. – *Construction products and life-cycle thinking*. Sustainable building and construction, pp. 57-61, 2003.

[42] – MENDONÇA, P. - *Habitar Sob uma Segunda Pele: Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados*. Tese de Douto-ramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2005.

[43] - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) - *World Energy Outlook 2011, Presentation to the press*. Londres, 2011.

[44] - EUROPEAN COMISSION – *EU 27 Energy Key Figures*. Apresentação, Junho 2011.

[45] - GREEN PRO – *Energia Solar Térmica – Manual sobre tecnologias, projeto e instalação*. Instituto Superior Técnico. Janeiro, 2004.

- [46] – DGEG – *Montra Tecnológica Solar*. Março, 2010.
- [47] - CASTRO, R. – *Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica*. Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2011.
- [48] – BUILDINGPEDIA, 2013. *Principles and componentes of geothermal heat pump system*. Obtido em Março de 2013, de:  
<http://buildipedia.com/aec-pros/construction-materials-and-methods/principles-and-components-of-geothermal-heat-pump-systems>
- [49] - MARSZAL, A.J., EIKE, M., VOSS, K. HEISELBERG, P. - *Calculation Methodologies versus National Building Codes*. Conferência EuroSun, Graz, Áustria, 2010.
- [50] – FERREIRA, A. – *Estudo de soluções de otimização para Edifícios de Balanço Energético Nulo*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.
- [51] - AELENEI, D. – *RCCTE "Light"*, Monte da Caparica, Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2008.
- [52] - ANDE, G. - *Windows and Glazing*. WBDG - Whole Building Design Guide. National Institute of Building Sciences, EUA, 2010.
- [53] - RODRIGUES, F. - *Metodologia de Aplicação do RCCTE - Módulo 1.2*. Ação de Formação em RCCTE Decreto-Lei no 80/2006. Universidade de Aveiro, Aveiro, 2011.
- [54] – DGEG - *Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial*. Lisboa, Direção Geral de Energia e Geologia, 2004.
- [55] – MENDES, J.F., SALGUEIRO, A., CARDOSO, J. – *Portugal 2020 e a integração de energias renováveis nos edifícios*. Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Lisboa, 2012.
- [56] – FORUM - *Energias Renováveis em Portugal - Relatório Síntese*. Edição ADENE / INETI. ISBN 972-8646-01-1. Lisboa, Novembro 2001.
- [57] – Decreto-Lei – nº 363/2007. Diário da República, vol. 1.<sup>a</sup> série-N.º211- 2 de Novembro de 2007, pp. 7978-7984.

[58] - DUARTE, P.- *Interface de um Gerador Eólico de Pequena Potência com a Rede Eléctrica*. Tese de Mestrado em Engenharia Electrónica Industrial e Computadores, Universidade do Minho,2010.

[59] – RODRIGUES, P. – *Contributos para a avaliação do potencial de produção de energia em contexto urbano – Caso de Beja, Portugal*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

[60] – BENITO, T. – *Práticas de Energia Solar Térmica*. Publindústria, Edições Técnicas. Porto, 2010.

[61] – AMADO, M.P. - *Operative Process in Sustainable Urban Planning*. IFHP. Melbourne, Australia: RMIT University, 2007.

[62] – SOLARENT – *Solar Water Heaters*. Disponível em: <http://www.solarent.com/>

[63] – PORTAL DA ENERGIA – Disponível em:

<http://www.portal-energia.com/como-funcionam-as-bombas-calor-geotermico/>

[64]- EFACEC – Disponível em:

[http://www.efacec.pt/PresentationLayer/efacec\\_produto\\_01.aspx?idProduto=245&idioma](http://www.efacec.pt/PresentationLayer/efacec_produto_01.aspx?idProduto=245&idioma)

≡1

[65] – BIOREGIONAL – Disponível em:

<http://www.bioregional.com/flagship-projects/one-planet-communities/bedzed-uk/>

[66] – AVALON CENTRAL ALBERTA – Disponível em:

[http://www.avaloncentralalberta.com/html/build\\_green/discovery\\_3\\_technology.php](http://www.avaloncentralalberta.com/html/build_green/discovery_3_technology.php)

[67] – BUILDINGS PERFORMANCE INSTITUTE EUROPE (BPIE) – *Principles for Nearly Zero Energy Buildings*, 2011.