



**Fernando Manuel
Gomes Brajal**

**Edifícios de emissão quase zero - Guia de
requisitos para a construção**



**Fernando Manuel
Gomes Brajal**

**Edifícios de emissão quase zero - Guia de
requisitos para a construção**

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

O Júri

Presidente

Professor Doutor Aníbal Guimarães da Costa

Professor Catedrático no Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Vogais

Professor Doutor António José Barbosa Samagaio

Professor Associado no Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Professora Doutora Maria Fernanda Rodrigues da Silva

Professora Auxiliar no Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Romeu da Silva Vicente

Professor Auxiliar no Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Os meus maiores agradecimentos vão para a minha família. Obrigado por todo o apoio que me deram ao longo deste longo processo de realização da dissertação, assim como o infinito apoio nestes longos e difíceis anos de estudo. Em especial ao meu irmão, foi ele que mais precisou de paciência para me aguentar nos muitos difíceis períodos da realização deste trabalho. Sem eles provavelmente não teria conseguido ser a pessoa que sou hoje e por isso representam o mais importante da minha vida.

Enormes agradecimentos aos meus amigos portugueses, sem o seu apoio e amizade o meu período de estudo na Universidade de Aveiro teria sido um tanto mais difícil.

Aos meus amigos, quase irmãos, que infelizmente estão longe geograficamente mas sempre presentes no meu coração, o seu apoio e amizade só pode ser comparado com a própria família.

E finalmente aos meus orientadores, Professora Fernanda e Professor Romeu, obrigado por todo o apoio vindo da vossa parte e pela grande paciência que me tiveram ao longo de este ano.

Pai, Mãe e Irmão, obrigado por tudo. Este trabalho vai dedicado a vos.

Palavras-chave

Edifícios com necessidades zero de energia, Edifícios com necessidades quase zero de energia, Eficiência energética, Elevado desempenho, Energias renováveis, Emissões zero.

Resumo

Nos dias de hoje, é pretendido que os edifícios tenham maiores e mais complexos requisitos no seu desempenho e, seguindo essa tendência, o setor da construção está a embarcar numa longa viagem de eficiência: o desenvolvimento de edifícios de necessidades energéticas zero (ZEB). Este conceito, nos últimos anos, tem tido uma crescente atenção a nível mundial e é visto como o alvo na projeção dos edifícios.

Com a reforma da Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), Diretiva 2010/31/EU, os edifícios com necessidades quase nulas de energia são introduzidos como o futuro nos requisitos a serem implementados até 2020 em todos os edifícios novos. Incluso com a grande variedade na cultura construtiva e no clima de cada país Europeu, a EPDB não especifica uma abordagem uniforme na implementação dos NZEB, nem descreve uma metodologia de cálculo ou classificação do balanço energético. Para este fim, a finalidade desta dissertação é apresentar os ingredientes necessários para o desenvolver com sucesso NZEB residenciais. Este documento também apresenta uma proposta de classificação de NZEB baseada nas suas necessidades primárias de energia.

Keywords

Net Zero Energy Buildings, Nearly Zero Energy Buildings, Energy Efficiency, High Performance, Renewable energy, Zero Emissions.

Abstract

Nowadays, buildings are increasingly expected to meet higher and more complex performance requirements and following that tendency, the construction industry is embarking on a long efficiency journey: the development of zero energy buildings. This concept has gained worldwide attention during last few years and is now seen as the target for the design of buildings.

With the recast of the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), Directive 2010/31/EU, the nearly Zero Energy Buildings are introduced as a future requirement to be implemented by the end of 2020 for all new buildings. Even with the variety in building culture and climate across the EU, the EPBD does not prescribe a uniform approach for implementing NZEB's and neither does it describe a calculation or classification methodology for the energy balance. To this end, the aim of the present dissertation is to present the ingredients to successfully develop residential NZEB's, presented in a guideline that covers passive measures and technologies that may support the future construction of successful NZEB. Also, this document presents a proposal to rank the NZEB according the needs of primary energy.

Índice

Índice.....	i
Índice de tabelas	iii
Índice de figuras	iv
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objeto de estudo	2
1.3. Motivação.....	2
1.4. Estrutura do texto.....	3
2. Zero Energy Buildings (ZEB).....	5
2.1. Evolução do conceito.....	5
2.2. Integração, conceção e operação.....	10
2.2.1. Integração das medidas de desempenho.....	11
2.2.2. Integração na conceção.....	13
2.3. Estratégias e tecnologias.....	13
2.3.1. Caraterísticas do edifício	14
2.3.1.1. Medidas passivas	14
2.3.1.2. Medidas ativas	16
2.4. Fornecimento de energia	16
2.4.1. Energia solar fotovoltaica.....	19
2.4.2. Energia solar térmica.....	19
2.4.3. Energia Biomassa	20
2.4.4. Energia eólica	20
2.4.5. Energia geotérmica	20
2.4.6. Energia hidroelétrica.....	21
2.5. Legislação. Diretivas e Decretos-Lei.....	21
2.5.1. <i>Energy Performance of Buildings Directive 2010/31/EU</i>	21
2.5.2. Legislação Portuguesa	24
2.6. Casos de estudo	25
3. Guia para NZEB. Estratégias e tecnologias.....	29
3.1. Envolvente natural do edifício.....	30
3.2. Caraterísticas do edifício	31
3.2.1. Localização e orientação do edifício	31
3.2.2. Forma do edifício.....	31
3.2.3. Aproveitamento solar passivo	33
3.2.3.1. Inércia térmica	33
3.2.3.2. Iluminação natural	35
3.2.3.3. Vãos envidraçados.....	38
3.2.3.4. Dispositivos de sombreamento e de controlo da iluminação solar.....	44
3.2.4. Sistemas de arrefecimento passivo do edifício.....	45
3.2.4.1. Ventilação natural.....	46
3.2.4.2. Arrefecimento por radiação	47
3.2.4.3. Arrefecimento pelo solo	47
3.2.5. Envolvente do edifício.....	48
3.2.5.1. Envolvente exterior e isolamentos térmicos.....	49
3.2.5.2. Paredes da envolvente interior.....	52
3.2.5.3. <i>Phase Change Materials (PCM)</i>	52
3.2.5.4. Paredes de Trombe	53

3.3. Fornecimento e produção de energias renováveis	54
3.3.1. Energia solar	55
3.3.1.1. Energia solar térmica	55
3.3.1.2. Energia fotovoltaica	59
3.3.2. Energia eólica	63
3.3.3. Energia geotérmica	64
3.4. Medição do consumo energético	65
4. Método de avaliação dos NZEB	67
4.1. Metodologias de cálculo	67
4.2. Método de avaliação proposto	71
5. Comentários finais	83
5.1. Conclusão	83
5.2. Proposta de trabalhos futuros	85
6. Referências bibliográficas	87

Índice de tabelas

Tabela 1.	Evolução do conceito Net Energy.	5
Tabela 2.	Definições dos Zero Energy Buildings.....	8
Tabela 3.	Outas definições dos Zero Energy Buildings	9
Tabela 4.	Prós e contras de cada definição apresentada.....	9
Tabela 5.	Preferências na aplicação e fornecimento de energias renováveis	17
Tabela 6.	Definições NZEB e fornecimento de energias renováveis.....	18
Tabela 7.	Síntese de alguns casos de estudo a nível mundial.....	25
Tabela 8.	Tipos de janelas usadas nos vãos envidraçados e as suas propriedades.....	41
Tabela 9.	Propriedades específicas para 5 cm de materiais de isolamento térmico	51
Tabela 10.	Vantagens e desvantagens dos tipos de SST	56
Tabela 11.	Combinação dos parâmetros nas diferentes metodologias	68

Índice de figuras

Figura 1.	Necessidades energéticas vs. produção de energia	5
Figura 2.	Net-Zero Energy Solar Home “Carlisle House”	7
Figura 3.	Gráfico representando o balanço Zero e o balanço quase zero de energia	8
Figura 4.	Quadro da Avaliação do Ciclo de Vida.....	12
Figura 5.	Vista geral das possíveis opções de fornecimento de energia renovável.....	17
Figura 6.	Evolução até 2020	22
Figura 7.	Movimento aparente do Sol em relação à Terra	33
Figura 8.	Desempenho, por estação, dos sistemas de sombreamento e redireção.....	37
Figura 9.	Diferencias entre os tipos de envidraçados	39
Figura 10.	Exemplificação do Fator Solar	40
Figura 11.	À esquerda, envidraçados secos. À direita, envidraçados húmidos	42
Figura 12.	PVC vs. Alumínio em termos de condutividade térmica	43
Figura 13.	Efeito do dispositivo de sombreamento fixo ao longo do ano.....	45
Figura 14.	Exemplo de arrefecimento	48
Figura 15.	Esquema dos espaços subterrâneos do edifício	49
Figura 16.	Exemplos esquemáticos de paredes duplas com correção de pontes térmicas planas	51
Figura 17.	Funcionamento da parede de trombe (Inverno/Outono e Primavera/Verão).....	54
Figura 18.	Componentes de um sistema solar térmico	55
Figura 19.	Esquema de utilização dos SST	56
Figura 20.	Exemplos de fixação dos coletores.....	57
Figura 21.	Inclinação dos CST segundo a trajetória anual do Sol	58
Figura 22.	SST em apoio ao aquecimento e arrefecimento mediante colaboração com o piso radiante. Esquema construtivo de um piso radiante	58
Figura 23.	Tipos de montagem dos sistemas fotovoltaicos.....	61
Figura 24.	Fachada sul do Edifício Solar XXI com sistemas fotovoltaicos integrados na fachada.....	62
Figura 25.	Aproveitamento térmico do sistema fotovoltaico nas diferentes estações do ano. Aspeto interior e exterior	62
Figura 26.	Sistemas concentradores móveis seguidores solares	63
Figura 27.	À esquerda microturbina urbana de eixo horizontal. À direita microturbina urbana de eixo vertical, em desenvolvimento pelo LNEG.....	64
Figura 28.	Boa eficiência vs. Fraca eficiência nos NZEB	72
Figura 29.	Valores estabelecidos no conceito da Passive House	73
Figura 30.	Energia produzida/fornecida vs. Eficiência energética	74
Figura 31.	Distribuição do consumo de energia nas habitações, segundo o tipo de fonte energética.....	77

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A necessidade de encontrar alternativas que visem procurar soluções para reduzir as emissões produzidas pelos combustíveis fósseis usados para satisfazer as crescentes necessidades energéticas, tornou-se uma prioridade a nível internacional. A eficácia dessas soluções depende da adoção de medidas cujo objetivo principal seja o desenvolvimento sustentável estabelecido através de uma estratégia internacional.

Ao longo dos anos, o desenvolvimento em diversos setores de atividade tem gerado graves impactos à Terra, considerando-se o aquecimento global como o mais negativo. As atividades mais prejudiciais diferem de um setor para o outro, mas o da construção é o que apresenta maior impacto, sendo responsável por cerca de 40% a nível mundial e por 1/3 das emissões de gases com efeito de estufa (*GEE*). É um setor que apesar da sua maior ou menor expansão, prevê-se que vá aumentar o seu consumo de energia e as emissões de *GEE* pelo que, se nada for feito para contrariar este comportamento, irá contribuir ainda em maior escala para as já graves alterações climáticas [1] [2].

Em Portugal, o setor residencial conta com cerca de 3,5 milhões de edifícios, os quais contribuem com 17% dos consumos de energia primária, representando então cerca de 30% do consumo total de eletricidade. Estes números evidenciam a necessidade de se prestar uma atenção particular relativamente à eficiência energética quer do próprio edifício, quer dos equipamentos consumidores de eletricidade e, ainda quanto ao comportamento dos ocupantes [3].

Existem assim razões pelas quais os projetistas têm de desenvolver edifícios energeticamente eficientes, quer seja pelas implicações ambientais, sociais e económicas que advêm do aquecimento global, quer seja pelo contínuo aumento dos preços da energia [4].

Pelo que, sendo o setor dos edifícios responsável por um elevado consumo energético, urge melhorar rapidamente a eficiência energética quer dos edifícios novos quer dos existentes, com intervenções que permitam alcançar o equilíbrio com o ambiente [2].

Dado que a vida útil dos edifícios é na generalidade de 50 anos, e sabendo que os edifícios novos estão a ser construídos mais rapidamente do que os velhos são retirados/demolidos, têm que ser implementadas medidas que assegurem que, a construção de novos edifícios ou a

reabilitação dos existentes, otimizem a seu potencial de poupança de energia, ou seja minimizem as suas necessidades de consumo [5].

Atenta a esta necessidade a Comissão Europeia, através da Diretiva 2002/91/CE “*Energy Performance of Buildings Directive*”, introduziu uma série de requisitos que foram implementados por todos os Estados-Membros [6].

Posteriormente, através da reformulação desta Diretiva, foi publicada a *Diretiva 2010/31/UE*, que estabelece as metas que os Estados-Membros devem alcançar e cumprir até 2020 para os novos edifícios, os quais são denominados como Edifícios de consumo quase zero de energia (*Nearly-Zero Energy Buildings*). Ao atingirem-se estas metas, estimasse que a redução no consumo de energia no setor dos edifícios seja de 75% a 85% comparada com a que atualmente é gasta. Para tal, os Estados-Membros deverão elaborar planos e metodologias para atingir e aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia [1].

Os edifícios de consumo e emissões de GEE quase nulas requerem baixos consumos de energia para operarem, apresentando equilíbrio na relação entre energia consumida e a energia limpa renovável produzida, quer esta seja produzida no próprio edifício, quer no local de implantação do edifício ou perto do mesmo, ou que seja obtida da rede desde que proveniente de fontes renováveis. Compensam assim, as suas exigências energéticas consumindo apenas energias limpas, ou produzindo mais energia do que consomem, a qual pode ser armazenada, vendida ou partilhada numa rede de edifícios [7].

1.2. Objeto de estudo

O objeto de estudo são os novos edifícios de habitação os quais, através da implantação e combinação de uma série de metodologias e estratégias tecnológicas e construtivas tanto passivas como ativas para o uso, fornecimento, criação e aproveitamento da energia, têm de apresentar um balanço quase zero de energia até ao ano de 2020, limite imposto pela União Europeia na Diretiva 2010/31/EU.

1.3. Motivação

Na situação atual, a constante preocupação ambiental e o forte impacte ambiental gerado pelos edifícios, revela a importância da implantação de medidas que visem melhorar o rendimento e comportamento ambiental deste setor. Seguindo esta ideia, têm surgido novos conceitos aliados à evolução da tecnologia, demonstrando que o setor da construção dispõe dos meios necessários para reduzir o seu impacte ambiental. Os edifícios verdes, os edifícios

eficientes energeticamente e os edifícios auto sustentáveis, representam o esforço feito na redução das emissões de GEE provenientes deste setor. Neste contexto, e sabendo que Portugal é dos países com maior emissão de GEE na União Europeia, têm de ser adotadas medidas de forma a que os responsáveis pela conceção dos futuros edifícios, tenham ao seu dispor os meios e a informação necessários que indique como compatibilizar as tecnologias e estratégias disponíveis de modo a reduzir as emissões de CO₂.

Uma nova vertente de edifícios incorpora um conceito no qual as necessidades de energias provenientes de combustíveis fósseis são nulas. Os edifícios de balanço zero de energia é um termo pouco divulgado e pouco conhecido, dificultando assim o seu correto desenvolvimento e conceção.

O futuro dos edifícios são os edifícios de balanço zero de energia, neste contexto, as investigações académicas nesta área tem-se intensificado tornando-se um tópico incontornável na hora de debater o nosso contributo para com o ambiente.

1.4. Estrutura do texto

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos que são a introdução, a revisão bibliográfica, o desenvolvimento do guia para atingir os NZEB, as metodologias praticadas e a metodologia de classificação proposta, os comentários finais e a proposta de trabalhos futuros e finalmente a bibliografia. A seguir, apresenta-se uma descrição resumida dos capítulos:

- Capítulo 1: este capítulo apresenta o enquadramento ao trabalho apresentado e especifica-se o objeto de estudo assim como a motivação para o mesmo.
- Capítulo 2: neste capítulo é desenvolvida a pesquisa bibliográfica numa introdução geral ao conceito dos NZEB, que vai desde os primórdios do conceito "zero" até as legislações atuais aplicáveis a nível Europeu e nacional, assim como uma breve apreciação das estratégias e tecnologias passivas a desenvolver no capítulo 3.
- Capítulo 3: neste capítulo são desenvolvidas as estratégias, medidas e tecnologias passivas necessárias a aplicar em edifícios de consumo zero ou quase zero de energia. São apresentadas, com detalhe, as características que devem ter os edifícios a nível da sua forma, do aproveitamento solar e arrefecimento passivo, das características da envolvente exterior e interior e os materiais nelas usados, assim como a produção ou fornecimento de energias renováveis.

- Capítulo 4: este capítulo apresenta os métodos de avaliação dos NZEB. Dividindo o capítulo em duas partes, numa primeira parte apresenta-se as metodologias de cálculo praticadas, neste caso, por uma cooperação internacional levada avante pela *International Energy Agency (IEA)* denominado *IEA SHC Task 40/ECBCS Annex 52 “Towards Net Zero Energy Solar Buildings”*. Na segunda parte deste capítulo é apresentada uma proposta de classificação dos NZEB segundo o seu consumo anual de energia primária.
- Capítulo 5: é o capítulo dedicado à discussão final do trabalho onde se apresentam os comentários finais assim como a proposta de trabalhos futuros.
- Capítulo 6: apresentam-se as referências bibliográficas da dissertação.

2. ZERO ENERGY BUILDINGS (ZEB)

2.1. Evolução do conceito

Atualmente, os edifícios de balanço zero são reconhecidos como os edifícios requeridos para o futuro devido ao facto de serem dotados de técnicas eficientes e sustentáveis de gestão de energia e contribuírem com baixas taxas de poluição ambiental.

No setor da construção o termo *Zero Energy* é usado para descrever o balanço entre a energia usada pelo próprio edifício, pelos sistemas instalados, pelos seus ocupantes e a energia produzida pelos sistemas de energia renovável de que dispõe, quer no local quer através da importação da rede (Figura 1) [8].

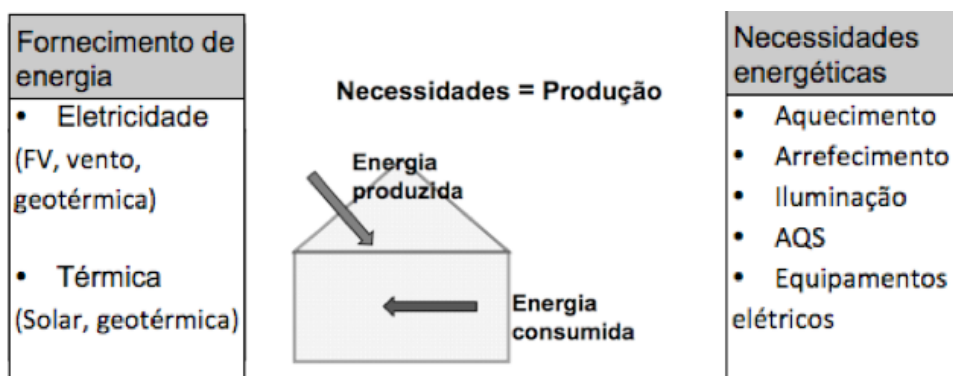


Figura 1. Necessidades energéticas vs. produção de energia (Adaptada de [9]).

O conceito original de *Net Energy*, inclui a avaliação do ciclo de energia e tem vindo a evoluir ao longo dos últimos 100 anos, sendo atualmente muito discutido, particularmente no âmbito das energias renováveis e dos biocombustíveis [10].

Na tabela 1 apresenta-se a evolução do conceito de *Net Energy* e o âmbito onde foi desenvolvido [8].

Tabela 1. Evolução do conceito *Net Energy*.

Década	Autor	Conceito	Âmbito
-----	Podolinsky	Tentou analisar aspetos da sociedade e a produção de bens em termos energéticos. Sendo influenciado por ideias de físicos do século 18 e investigações termodinâmicas do século 19. Tentou relacionar princípios termodinâmicos à produção económica considerando a energia solar acumulada na atividade humana.	Agricultura

Tabela 1. Evolução do conceito *Net Energy* (cont.)

Década	Autor	Conceito	Âmbito
1920's	Frederick Soddy	Em termos monetários sugere que, uma contagem detalhada do uso da energia, poderia ser uma boa alternativa para o sistema monetário, visto a energia formar parte de qualquer objeto útil.	Sistemas económicos
1920's	Technical Alliance	Este grupo de engenheiros e cientistas norte americanos propuseram uma sociedade onde a energia poderia substituir o sistema oferecido pelo mercado, desenvolvendo metodologias para a contabilização da energia.	Novas tecnologias
1970's	Georgescu-Roegen	Introduz a análise termodinâmica e leis da entropia às teorias económicas, aplicando um profundo impacto nas relações económicas ecológicas.	Economias ecológicas
1970's	Howard T. Odem	Este ecologista estabelece que "O verdadeiro valor da energia para a sociedade é a Net Energy", já considerando os custos de obtenção e armazenamento da energia nos seus conceitos.	Análise em fluxo de energia

Esta última definição e abordagem teve um grande impacto, ao ponto de influenciar os Estados Unidos da América (EUA) a criar uma política publicada através do *Research and Development Act* em 1974, a qual ainda hoje se encontra em vigor, a qual refere que “o potencial para a produção de Net Energy pela tecnologia proposta na fase de aplicação comercial deve ser analisada e considerada na avaliação de propostas” [8].

Os primeiros edifícios documentados como constituindo o primeiro grande passo para atingir os ZEB, tendo implementado opções construtivas visando melhorar o seu desempenho energético, foram as casas solares. A primeira casa solar da qual há registo é do ano 1939, construída em Massachusetts, nos EUA, que incorporava uma ampla área de acumulação térmica solar e de armazenamento de água [8] [11].

É difícil determinar qual terá sido ao certo o primeiro ZEB, visto que não se trata de um conceito recente mas sim de uma denominação consensualizada internacionalmente. No final da década dos anos 1970, coincidindo com a crise energética e petrolífera que os EUA atravessavam, alguns artigos norte americanos publicados no âmbito das tecnologias de eficiência energética e soluções passivas implementadas nos edifícios, contêm o conceito ZEB relacionado com os edifícios, usando frases como ‘a zero energy house’, ‘a neutral energy autonomous house’ ou ‘an energy-independent House’ [8] [12] [13].

Nessa época, quando a maior parte da energia usada nos edifícios estava relacionada com as condições térmicas (aquecimento, arrefecimento e água quente), os ZEB eram na realidade edifícios com necessidades térmicas zero (*Zero Thermal Buildings*) [14].

Exemplo disso seria a *Zero Energy House* na Dinamarca, a qual foi construída com um forte isolamento térmico, equipamentos recuperadores de calor e sistemas de aquecimento solar, de maneira a poder sobreviver ao inverno sem consumir energia elétrica [8] [12] [13] [14] [15].

Uma outra definição encontrada na revisão bibliográfica, são as denominadas *Net Zero Energy Solar Homes*. Estas são casas que utilizam tecnologias solares fotovoltaicas e térmicas, para conseguirem gerar pelo menos a mesma quantidade de energia que necessitam anualmente. Estas casas são desenhadas para terem elevada eficiência energética utilizando abordagens solares passivas. Mas o facto é que este conceito não é novo, pois em 1980 foi construída nos Estados Unidos de América a “*Carlisle House*” (Figura 2), sendo esta considerada a primeira *Zero Energy Solar Home* por ter sido um projeto residencial pioneiro no uso de painéis fotovoltaicos e estar associada à incorporação de medidas passivas de poupança de energia [16] [17].



Figura 2. *Net-Zero Energy Solar Home “Carlisle House”* [16].

O conceito de edifícios com necessidades nulas ou quase nulas de energia na atualidade já é amplamente usado, mas ainda há uma falta de percepção e entendimento comum do que realmente o zero ou nulo significa. Este refere-se à energia, às emissões de CO₂ ou aos custos?. O Departamento de Energia dos Estados Unidos da América (DOE) atribui a seguinte definição ao conceito: “*Um NZEB é um edifício residencial ou comercial com necessidades de energia reduzidas através de ganhos eficientes, de modo que essas necessidades energéticas podem ser produzidas através de energias renováveis*” [13].

Esta tendência construtiva pode ser definida de diversas formas, considerando aspetos como os objetivos do projeto, intenções dos investidores, preocupações climáticas e custos totais da energia. Na Tabela 2 apresenta-se uma síntese do conceito ZEB [12] [13] [18].

Tabela 2. Definições dos *Zero Energy Buildings* (Adaptado de [12] [13] [18]).

Designação	Definição
Net Zero Site Energy	Produz pelo menos tanta energia como a que consome num ano, contabilizada localmente.
Net Zero Source Energy	Produz pelo menos tanta energia como a que consome num ano, contabilizada na fonte. <i>Source Energy</i> refere-se à energia primária necessária para gerar a energia utilizada no local. A energia importada e exportada é calculada através dos devidos fatores de conversão.
Net Zero Energy Cost	Produção e venda da energia produzida em quantidades suficientes para compensar custos associados da energia necessária para a utilização do edifício ao longo de um ano.
Net Zero Energy Emissions	Produz energias renováveis livres de emissões em quantidade suficiente, para compensar a energia utilizada a partir de fontes de combustíveis convencionais anualmente.

Pode ainda ser referida uma outra definição, que inclui aqueles edifícios que não têm a capacidade de ter o balanço desejado de forma independente, os *Near-Zero Energy Buildings* (*Near ZEB*), os quais produzem pelo menos 75% da energia necessária através de energias renováveis, dependendo os restantes 25% de energia não renovável vinda de rede externa (*Off-Grid*) (Figura 3) [12] [18].

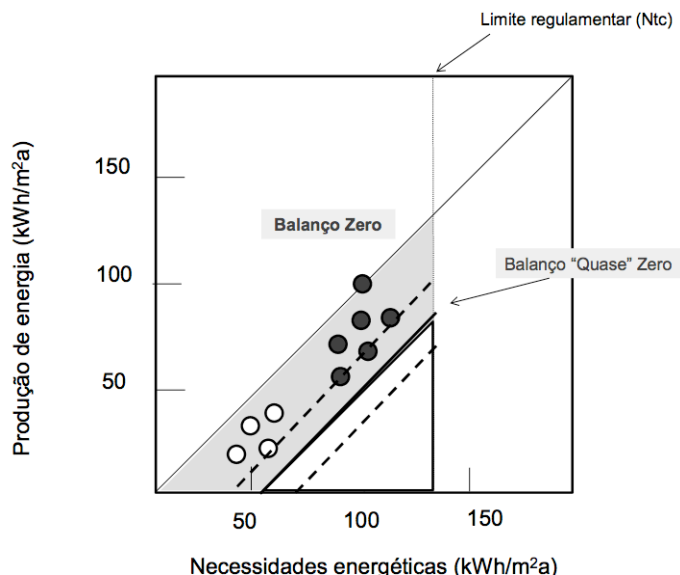


Figura 3. Gráfico representando o balanço Zero e o balanço quase zero de energia [9].

Outros autores apontam para uma falha no conceito ZEB no que diz respeito ao balanço zero, baseados no princípio de que um edifício pode ser ZEB mas ainda ter um impacto negativo para o ambiente, considerando a relação *quantidade/qualidade* de energia produzida pelo edifício. Estes autores ainda referem que um NZEB é ao mesmo tempo um edifício CO₂

neutral mas, um edifício CO₂ neutral não tem necessariamente de ser um NZEB. Apresentam-se na Tabela 3 estes conceitos [13] [19].

Tabela 3. Outras definições dos *Zero Energy Buildings* (Adaptado de [13] [19]).

Designação	Definição
Net Zero Energy Buildings	Edifícios que ao longo de um ano exportam a mesma quantidade de energia para a rede como a que importam desta, sendo que não necessitam de combustíveis fósseis para o aquecimento, arrefecimento e outras utilizações energéticas.
Zero Carbon Buildings	Edifícios que ao longo de um ano não usam energias que impliquem emissões de carbono. São considerados “Zero Carbon” devido ao facto de produzirem energia suficiente para as suas necessidades de consumo, livre de emissões.

Cada uma destas definições tem aspetos a destacar assim como aspetos menos positivos. Na Tabela 4 são especificadas os prós e contras de cada definição, assim como outras implicações associadas.

Tabela 4. Prós e contras de cada definição apresentada (Adaptado de [13] [19]).

Definição	Prós	Contras	Outras implicações
Site ZEB	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de implementar; • Verificável através de medições no local; • Abordagem conservativa para alcançar ZEB, • Falta de fatores cujos benefícios não são refletidos e afetam o desempenho. Podem ter sucesso no passar do tempo, • Fácil de entender e comunicar entre a comunidade do edifício; • Incentiva ao desenho de edifícios energeticamente eficientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer mais exportação de energia dos painéis fotovoltaicos para compensar o gás natural; • Não considera todos os custos de utilização; • Não é capaz de igualar a capacidade de geração dos diferentes tipos de combustíveis; • Não conta para as diferenças não energéticas entre os diferentes tipos de combustível (disponibilidade de fornecimento, poluição). 	-----
Source ZEB	<ul style="list-style-type: none"> • Capaz de igualar o valor energético dos tipos de combustíveis usados no local; • Melhor modelo para impacto do sistema energético nacional; • ZEB mais fácil de atingir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não conta para as diferenças não energéticas entre os diferentes tipos de combustível (disponibilidade de fornecimento, poluição); • Cálculo das fontes muito amplas (não tem em conta as variações regionais ou diárias na geração elétrica); • Contabilidade do uso da fonte energética e mudança de combustíveis, podem ter um impacto maior que as tecnologias de eficiência; • Não considera todos os custos energéticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de desenvolvimento de fatores de conversão do local para a fonte, os quais requerem quantidades significantes de informação para serem definidos.

Tabela 4. Prós e contras de cada definição apresentada (cont.)

Definição	Prós	Contras	Outras implicações
Cost ZEB	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de implementar e de medir; • Forças de mercado resultam num bom balanço entre os tipos de combustível; • Permite o controlo da procura/resposta; • Descontos para efeitos de impostos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode não refletir impacto na procura da rede nacional. Pode ser mais favorável reduzir a procura com armazenamento no local do excesso energético, que exportar para a rede; • Requer acordos de medição de forma a que a eletricidade exportada possa compensar os encargos não energéticos; • Elevadas tarifas energéticas dificultam o acompanhamento ao longo do tempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Compensar o serviço mensal e encargos de infraestrutura requer ir além do ZEB; • O sistema de medição não está bem estabelecido, frequentemente com limites de capacidade e com uma taxa inferior às taxas dos fornecedores.
Emissions ZEB	<ul style="list-style-type: none"> • Melhor modelo para o “poder verde”; • Contas para diferenças não energéticas entre os tipos de combustíveis (poluição, GEE); • O ZEB mais fácil de atingir. 	-----	<ul style="list-style-type: none"> • Precisa de fatores de emissão apropriados.

A categoria “*Off-Site ZEB*” pode ser atingida simplesmente com a compra e fornecimento de energias renováveis vindas de fontes exteriores à área destinada ao edifício, sem ter a necessidade de procura ou poupança de energia.

Assim sendo, a necessidade de chegar a uma definição de ZEB consistente, tornasse num passo importante para os investigadores e projetistas saberem de forma clara como podem atingir o nível desejado de um edifício ZEB.

2.2. Integração, conceção e operação

A integração na conceção dos edifícios de tecnologias que permitam criar um edifício como se fosse todo ele um mesmo sistema, podem levar a poupanças energéticas de cerca de 70% face à conceção convencional [20].

Os edifícios têm de ser concebidos de forma a terem medidas que permitam monitorizar, prever, controlar e minimizar o uso energético de todo o edifício. Para atingir este desempenho, o edifício têm de ser bem estudado e deve integrar todos os seus sistemas no projeto e ao longo do seu ciclo de vida, incluindo a construção, a operação, o uso, futura demolição e reciclagem [20].

2.2.1. Integração das medidas de desempenho

Um NZEB ao funcionar como um sistema individual, deve ter a seu dispor uma série de tecnologias que permitam quantificar o desempenho energético dos componentes e sistemas do edifício, otimizar o controlo do desempenho do sistema, a sensibilidade de detetar e responder a uma queda no desempenho e estabelecer medidas e padrões na avaliação desse desempenho e a sua possível integração com tecnologias emergentes [20].

Muitos edifícios falham em atingir as suas metas energéticas por causa de não terem um sistema de medição adequado. Normalmente só dispõem de dispositivos medidores de eletricidade e gás, mas com a implantação de sistemas de medição que permitam ao seus ocupantes/utilizadores/donos ver o consumo em tempo real, estes podem criar nos utilizadores uma consciência de gastos, levando-os a tomar decisões mais corretas no que diz respeito ao uso da energia [20].

A identificação de defeitos construtivos é também necessária de modo a solucionar eventuais problemas que possam afetar o desempenho energético do edifício [20].

Da combinação de novas tecnologias de medição e medidas de desempenho com técnicas de análise resulta um edifício inteligente, capaz de detetar e responder a falhas e ineficiências operacionais [20] [21].

As medições podem ser feitas no ciclo de vida (*Life Cycle*) dos sistemas, componentes e materiais dos edifícios, incluindo a energia incorporada, conceito que define a energia utilizada no processo para a aquisição das matérias-primas, fabricação, transporte, instalação, utilização e reciclagem. As construções podem ser caracterizadas através da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), conhecida internacionalmente como *Life Cycle Assessment (LCA)* [8] [20] [21] [22]. “*Esta análise permite identificar os impactes ambientais associados às diferentes fases do ciclo de vida das construções*” [22].

A ACV é uma metodologia que avalia o impacte ambiental dos processos e dos produtos do edifício em todo o seu ciclo de vida. A avaliação inclui todo o ciclo de vida de cada produto, processo e sistema, desde a extração e processamento do material, passando pelo fabrico, transporte e distribuição, até ao uso, reciclagem e disposição final.

A metodologia ACV é baseada na ISO 14040 [23] e consiste nos passos analíticos apresentados na Figura 4.



Figura 4. Quadro da Avaliação do Ciclo de Vida (Adaptado de [21]).

A aplicação da ACV ao setor da construção tem vindo a crescer nos últimos tempos, embora seja aplicada no setor desde 1990, estando no entanto menos desenvolvida relativamente a outros setores, devido em grande parte à complexidade que envolve os edifícios, ao seu longo tempo de vida útil e à dificuldade em prever como será o seu verdadeiro comportamento em todo o seu ciclo de vida [21].

A maioria dos impactos ambientais (de 80% a 90%) atribuídos aos edifícios ocorrem na fase de utilização, constituindo um aspeto crítico da fase de projeto a projeção otimizada do edifício e a escolha adequada dos materiais, de forma a minimizar esses impactos. A energia consumida pela extração, produção e reciclagem atingem percentagens de 10% a 20% [21].

Quando se aplica a ACV aos edifícios, o objeto de estudo é o próprio edifício, e a correspondente avaliação abrange todos os processos dos materiais e será definida segundo “todo o processo do edifício”. Caso a avaliação seja dirigida a partes específicas do edifício, será referida como “combinação dos materiais e componentes do edifício” e assim sendo, é muito importante reconhecer o impacto dos componentes segundo a unidade funcional do edifício [21].

A avaliação deve ser parte do processo da fase de projeto, de forma a poder ser usada pelos projetistas em paralelo com outros aspetos, como por exemplo, o custo e os requisitos funcionais. O balanço apropriado entre estas variáveis é tarefa dos projetistas de forma a atingir um desempenho ótimo do edifício [21].

Nesta dissertação não é pretendido aprofundar os métodos de avaliação de ciclo de vida, visto que o que se pretende é a criação de um guia que ajude aos projetistas de forma a poderem alcançar NZEB. Embora o aspeto do ciclo de vida do edifícios seja importante para poder se atingir um NZEB, a informação aqui apresentada é concentrada no período de utilização do edifício visto ser o limite abrangido pela Diretiva 2010/31/EU. O leitor que pretenda obter

informação sobre o desenvolver dos métodos de avaliação pode consultar a referência bibliográfica [21]. Também pode ser consultada a referência [8] na qual pode ser encontrada informação referente aos *Life Cycle Zero Energy Buildings* (LC-ZEB).

2.2.2. Integração na conceção

A conceção dos NZEB requer empenho, conhecimentos especializados, colaboração e integração de todos os intervenientes do projeto, até mesmo dos ocupantes se possível, de forma a alcançar a mais adequada integração de todos os seus sistemas e componentes.

Para tal, tem de se ter em consideração uma série de aspetos [4] :

- Estabelecer metas claras e comunicá-las aos membros intervenientes no projeto. Todas as decisões têm de ser tomadas tendo em consideração o seu impacto na utilização da energia;
- O clima e as condições locais;
- Redução das cargas energéticas. Com uma ideia consensualizada de como será usada a energia no edifício podem ser feitas escolhas arquitectónicas adequadas, tais como a orientação e geometria do edifício, características da envolvente (paredes exteriores, envidraçados, cobertura, pavimentos) junto com uma inter-relação adequada com os sistemas de conforto térmico;
- Fontes de energia natural. Integração dos sistemas geradores de energia limpa ou renovável: Sistemas solares, de vento, biomassa, geotérmico e hidroeléctrico.

2.3. Estratégias e tecnologias

As estratégias e tecnologias a adotar na conceção de um *NZEB* visam otimizar a interação de diversos aspetos de forma a reduzir as necessidades energéticas, garantindo um adequado conforto térmico. Os edifícios podem reduzir em média 40% na sua pegada ecológica, se se conseguir combinar de forma eficiente as suas características arquitectónicas com as fontes de energia renovável e as condições climatéricas do local onde será implantado, sem afetar o seu conforto térmico interior. As necessidades térmicas dos espaços interiores estão referidas no *Regulamento de Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)* [2] [20] [24] [25] [112].

2.3.1. Caraterísticas do edifício

Portugal é dos países da Europa com melhores condições climatéricas, pela excelente exposição solar e pelas temperaturas amenas, facilitando então a tarefa de ganhos energéticos através da redução das necessidades de consumo energético para manter o conforto térmico interior. Durante as fases preliminares do projeto, um conjunto de *medidas passivas e ativas* devem ser adotadas de forma a aproveitar estas condições climatéricas [22].

2.3.1.1. Medidas passivas

a) Forma do edifício

Durante a época de inverno os edifícios sofrem uma diminuição da temperatura interior, fenómeno denominado como perdas térmicas. A redução destas perdas térmicas é uma das medidas mais eficazes para se atingir o conforto térmico do edifício. A forma do edifício tem uma grande influência na transferência para o exterior do calor gerado no interior (fluxo térmico). Quanto maior seja a superfície (S) envolvente do volume (V), maior será essa transferência de calor. A maior eficiência energética advém de um baixo fator de forma (FF) do edifício, o qual representa a relação entre a sua Superfície e o respetivo volume [2] [25] [26].

b) Localização e orientação do edifício

Escolher criteriosamente a orientação e implantação do edifício segundo as condições da zona climática é uma medida essencial para otimizar os ganhos solares. Em Portugal, é preferível reduzir orientações viradas a Este e Oeste visto que durante a época de verão sofrem uma elevada radiação solar, devendo ser privilegiada a orientação a sul [2].

c) Caraterísticas da envolvente exterior

A envolvente é o ponto de partida para se atingir a eficiência energética, condicionando a quantidade de energia necessária para ventilar, aquecer e arrefecer um edifício. Pode assim ser considerado o aspeto mais crítico na conceção dos edifícios de emissão quase zero. Os elementos que conformam a envolvente exterior são as paredes exteriores, os vãos envidraçados, a cobertura, pavimentos (quando em contacto com o exterior), e as pontes térmicas existentes na envolvente [20] [24].

Vãos envidraçados:

As superfícies envidraçadas desempenham funções importantes na eficiência energética do edifício contribuindo com ganhos solares em termos de calor, embora por outro lado, contribuam também para a dissipação do calor, devido a perdas, aumentando de 25% a 30% as necessidades energéticas. Todas as áreas envidraçadas devem ser dimensionadas segundo a orientação solar ao longo do ano. A fachada sul deve conter a maior área de envidraçados, de forma a beneficiar dos ganhos solares nos meses de inverno, devendo a fachada norte ter a menor área envidraçada. Em relação às fachadas nascente e poente, têm que se dar especial atenção ao uso de sistemas de sombreamento exterior durante os meses de verão [2] [22].

Inércia térmica:

Quando devidamente dimensionada, a inércia térmica é das medidas passivas de maior eficácia. A inércia térmica é uma característica própria dos materiais e elementos construtivos que amortece as trocas de calor entre espaços a diferentes temperaturas, dependendo de um adequado isolamento térmico da envolvente, a qual absorve radiação solar durante o período diurno, permitindo depois, durante o período noturno, transmitir gradualmente a energia acumulada para o interior do edifício [2] [22].

Isolamento térmico exterior:

Um bom isolamento da envolvente do edifício é uma medida obrigatória para se obter um bom desempenho energético. No mercado existem vários tipos de materiais e técnicas de isolamento, dependendo a sua escolha das condições climáticas da zona. Na envolvente opaca podem-se ter isolamentos pelo exterior, interior e isolamento colocado na caixa-de-ar. Um bom isolamento exterior elimina de forma eficaz as pontes térmicas, valoriza a inércia térmica e reduz consideravelmente o coeficiente de transmissão térmica [2] [22].

Ventilação natural:

É um fenómeno que acontece devido à diferença de temperatura entre a fachada mais fresca (norte) e a fachada mais quente (sul) da envolvente, em consequência da pressão e depressão causadas pela ação do vento. Sob a ação da pressão, o ar quente tende a subir e a arrastar o ar frio, fazendo com que a diferença de temperaturas entre as divisões produzam ventilação. No caso da depressão, o fenómeno surge quando existe uma diferença de pressão entre fachadas opostas originando ventilação natural entre as divisões [2] [22].

Coberturas:

As coberturas são os elementos da envolvente com maior contribuição para as perdas de calor num edifício, pelo que se têm que ter cuidado com o seu isolamento térmico. Em coberturas horizontais, dever ser aplicada uma solução de isolamento de cobertura invertida, isto é, o isolamento térmico é aplicado por cima da impermeabilização da laje. Em coberturas inclinadas, têm de ser considerado o facto de existir ou não um desvão habitável. Para desvãos habitáveis, o isolamento pode ser colocado pelo lado exterior ou pelo interior da vertente inclinada. Para espaços não habitáveis, o isolamento é aplicado sobre a laje de esteira [2].

Pavimentos:

Os pavimentos, quando em contacto com o exterior ou com o solo, requerem isolamento térmico [2].

2.3.1.2. Medidas ativas

As *medidas ativas* diferem das passivas na sua manutenção ao longo do tempo, representando custos associados a consumos energéticos e à operação por parte dos utilizadores do edifício. No âmbito dos NZEB as medidas ativas a adotar devem depender de energias renováveis [22]. “As energias renováveis caracterizam-se pela capacidade que têm de se regenerar e, como tal, serem virtualmente inesgotáveis, e ainda por respeitarem o ambiente. Ambas as propriedades constituem a sua principal diferença face às energias tradicionais” [27].

2.4. Fornecimento de energia

Nos edifícios de balanço zero, as energias provenientes de combustíveis fósseis, usadas maciçamente até agora, têm de dar lugar às energias alternativas. Neste contexto, as energias renováveis são o caminho a seguir, não só por serem amigas do ambiente, mas também por se tratar de uma energia alternativa de recursos inesgotáveis. No entanto, segundo alguns autores, o modo de obtenção/fornecimento destas energias segue uma hierarquia segundo princípios baseados em tecnologias que minimizam o impacto ambiental, disponibilidade no tempo de vida do edifício e estarem altamente disponíveis. A tabela 5 e Figura 5 apresentam esta hierarquia segundo as preferências de aplicação [10] [28].

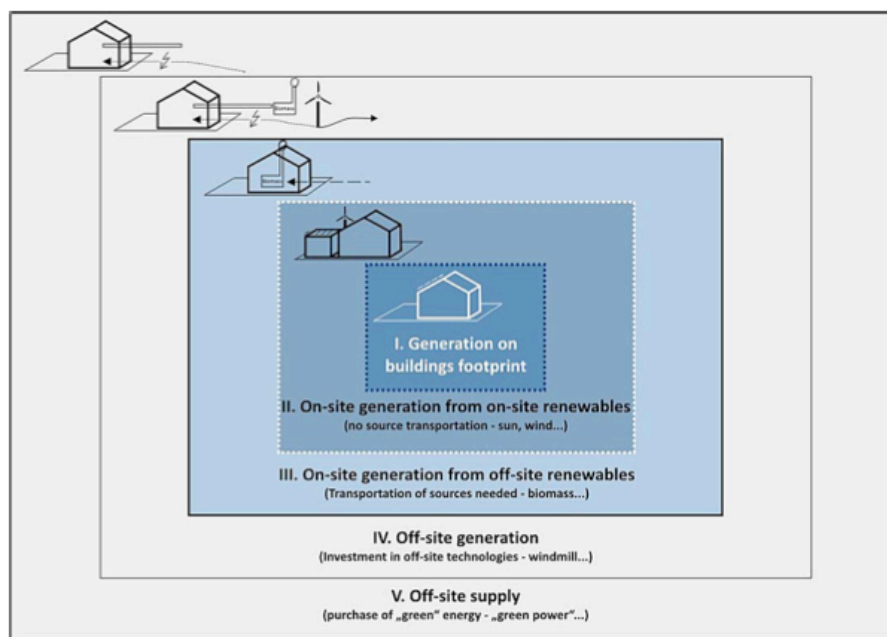


Figura 5. Vista geral das possíveis opções de fornecimento de energia renovável [14].

Na conceção dos NZEB têm de se dar sempre prioridade, quando possível, às energias geradas no local, energias *On-Site*. Depois, caso seja necessário, é que se recorre à compra de energia proveniente de outros locais, desde que a origem desta seja renovável, caso da chamada energia *Off-Site* [10].

Tabela 5. Preferências na aplicação e fornecimento de energias renováveis [29].

Oção	Fornecimento de energia dos ZEB	Exemplos
0	Reduzem as necessidades e consumo de energia através de tecnologias low-energy no edifício	Iluminação natural, sistemas AVAC de alta eficiência, ventilação natural, etc.
Fornecimento de energia On-Site		
1	Usar fontes de energia renováveis disponíveis no próprio edifício	Painéis fotovoltaicos, coletores térmicos e ação do vento no edifício.
2	Usar fontes de energia renováveis disponíveis no local	Painéis fotovoltaicos, coletores térmicos, sistema hidroelétrico de baixo impacto e ação do vento, mas não no próprio edifício.
Fornecimento de energia Off-Site		
3	Usar fontes de energia renováveis disponíveis fora do local para gerar energia no local	Biomassa, pellets de madeira e biodiesel que podem vir de fora do local.
4	Comprar energia renovável fora do local	Energia eólica, FV, hidroelétrica e outras fontes de energias verdes.

Os NZEB podem ser também qualificados segundo a opção de fornecimento de energias renováveis que usam e as definições já supramencionadas no subcapítulo 2.1, como se apresenta na Tabela 6. A finalidade deste tipo de qualificação é encorajar os proprietários a usar primeiro todas as estratégias de eficiência energética cuja relação custo/eficácia seja admissível, seguidas das tecnologias e fontes de energias renováveis localizadas no edifício, deixando num segundo plano as opções *Off-Site*, caso as anteriores não sejam suficientes ou sejam impossíveis de implantar [29].

Tabela 6. Definições NZEB e fornecimento de energias renováveis (Adaptado de [29]).

Classificação NZEB	Número da "opção do fornecimento de energia"	Opções do lado da procura dos NZEB	Ao encontro com as definições de NZEB
	0	Reduz o uso de energia no local através de tecnologias do lado da procura e da eficiência energética	-----
Opções de fornecimento no local (On-Site)			
A	1	Usa fontes de energias renováveis disponíveis dentro da área da pegada do edifício e conectadas à eletricidade do edifício ou ao sistema de distribuição de água quente. Atinge o estatuto NZEB sem necessidade das fontes das classificações B, C e D.	Sim: Site, Source, Emissions Dificuldade: Cost Potenciais problemas: • Atingir estatuto Source ou Emission NZEB é difícil se os encargos são altos quando a energia pública está a ser usada e baixos quando exportada para a rede; • Qualificar como um Cost NZEB pode ser difícil se as políticas de medição “net” são desfavoráveis.
B	2	As fontes dos NZEB:A podem ser usadas. Utilizam energias renováveis que vêm de fora da pegada do edifício, mas ainda dentro da área do local do edifício e estão conectadas à eletricidade ou ao sistema de distribuição de água quente do edifício. Atinge o estatuto NZEB sem necessidade das fontes das classificações C e D.	Sim: Site Cost, Source, Emissions Dificuldade: Cost Potenciais problemas: • Atingir estatuto Source ou Emission NZEB é difícil se os encargos são altos quando a energia pública está a ser usada e baixos quando exportada para a rede; • Qualificar como um Cost NZEB pode ser difícil se as políticas de medição “net” são desfavoráveis.
Opções de fornecimento no local (On-Site)			
C	3	As fontes do NZEB:A e/ou NZEB:B são usadas (na medida do possível). Utilizam fontes de energia renováveis disponíveis fora do local para gerar energia através de processos no local conectados à eletricidade do edifício ou ao sistema de distribuição de água quente.	Sim: Site Dificuldade: Cost, Source, Emissions Potenciais problemas: • Atingir estatuto Source ou Emission NZEB é difícil se as renováveis livres de carbono são usadas ou se os fatores de conversão da fonte e do carbono são altos quando a energia pública está a ser usada e baixos quando exportada para a rede; • Qualificar como um Cost NZEB é muito difícil devido aos custos de aquisição e transporte das energias renováveis de fora do local para o local.

Tabela 6. Definições NZEB e fornecimento de energias renováveis (cont.).

Classificação NZEB	Número da "opção do fornecimento de energia"	Opções do lado da procura dos NZEB	Ao encontro com as definições de NZEB
D	4	As fontes do NZEB:A e/ou NZEB:B são usadas (na medida do possível), NZEB:C podem ser também usadas. Comprar energia de fontes renováveis fora do local.	<p>Sim: Source, Emissions Não: Site, Cost</p> <p>Potenciais problemas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Atingir um estatuto de Source e Emissions NZEB está baseado no tipo e quantidade de energia renovável adquirida; • Impossível de qualificar como Site e Cost NZEB.

2.4.1. Energia solar fotovoltaica

Os sistemas de energia solar, mediante painéis fotovoltaicos, têm a capacidade de capturar energia térmica e transformá-la em eletricidade através das suas células fotovoltaicas. Esta energia elétrica alimenta diretamente o edifício ou é exportada (vendida ou compartilhada) para a rede no caso da produção de energia exceder as necessidades do edifício. Esta tecnologia, embora não considerada moderna, ainda é uma tecnologia cara, mas no período de 2006/2010 os custos de instalação de painéis fotovoltaicos caíram aproximadamente 30 a 40%. A aplicação destes painéis é geralmente efetuada em coberturas, embora atualmente a arquitetura moderna tenha já adaptado o uso deste sistema nas fachadas [2] [3] [30] [31] [32] [33].

2.4.2. Energia solar térmica

Na atualidade encontra-se amplamente divulgada e está numa fase em que as tecnologias disponíveis atingiram um elevado patamar de fiabilidade na sequência do desenvolvimento impulsionado pela iniciativa pública “Água Quente Solar para Portugal” junto com a imposição da obrigatoriedade dos sistemas solares térmicos (SST) para as águas quentes sanitárias (AQS) no âmbito da certificação energética dos edifícios [12] [34].

A principal aplicação desta energia é no aquecimento de águas sanitárias. A radiação solar é captada através de coletores solares térmicos. A energia solar térmica pode também ser utilizada como meio de apoio aos sistemas de aquecimento que utilizem temperaturas de água aproximadas dos 60°C [3] [30] [32] [35] [36].

2.4.3. Energia Biomassa

No setor da construção a energia obtida através da biomassa é usada principalmente para aquecimento do ambiente e produção de águas quentes. O mais antigo sistema de biomassa consta na queima de madeira para manter o calor. No mercado atual, encontram-se dispositivos destinados a queimar *pellets*, um material proveniente dos resíduos de atividades que envolvem madeira. Este sistema também pode ser usado a grande escala, através da acumulação de calor pela queima das *pellets*, gerando pressão suficiente para ativar turbinas geradoras de eletricidade. Em Portugal, nos últimos anos, o setor industrial dedicado à produção e distribuição de *pellets* tem vindo a ser expandido devido à crescente procura [2] [3] [30] [32] [37].

2.4.4. Energia eólica

Designa a energia cinética do vento, ou seja, o ar em movimento. A geração da energia elétrica vem da combinação da energia cinética, mecânica e rotacional, isto é, a conversão é feita através de aerogeradores, que convertem energia ao fazer girar as pás, as quais estão ligadas a um eixo que põe em funcionamento um gerador convertendo energia eólica em energia elétrica. Esta energia é aproveitada para uso local do edifício ou em caso de excesso de produção, pode ser exportada à rede. A aplicação dos geradores de vento deve ser feita em locais livres de barreiras (árvores, edifícios e barreiras topográficas) que impeçam a passagem do vento [2] [3] [30] [32] [38] [39].

2.4.5. Energia geotérmica

A terra possui uma elevada capacidade para a absorção de calor, inércia térmica, revelando-se um grande acumulador de energia solar sob forma térmica. Os sistemas geotérmicos são constituídos por bombas de calor que captam a energia geotérmica através de uma série de circuitos de tubagens enterradas no solo. Este tipo de energia é aproveitado para aquecimento do ambiente e da água, sendo que na época de verão o excesso de calor no interior do edifício é transferido para o solo para logo, na estação do inverno, ser libertado no edifício. Em Portugal os sistemas de tecnologia geotérmica de uso doméstico não são muito comuns, por causa dos elevados custos de instalação. No entanto, em determinadas regiões como nos

Açores, este tipo de energia estar a ser explorada a grande escala, representando 1/3 da produção de energia elétrica da região [2] [3] [30] [32] [40].

2.4.6. Energia hidroelétrica

Através da passagem da água por turbinas, estas transformam a energia mecânica em energia elétrica. Este é um processo de produção em barragens, fora do local de implantação do edifício, sendo depois importada a energia necessária. Nos últimos anos têm sido desenvolvidos sistemas capazes de gerar energia a uma escala reduzida, através da implantação no próprio edifício aproveitando o caudal das águas pluviais e águas cinzentas. A energia hidroelétrica gerada através das barragens por vezes não é considerada uma energia renovável, devido ao impacte que pode ter no meio ambiente e nos ecossistemas [30] [41] [42].

Visto que os edifícios dependem das estratégias e tecnologias supramencionadas, para alcançar o balanço zero de energia, torna-se um elemento chave incluir nas estratégias adoptadas o envolvimento dos seus ocupantes, visto que a energia consumida num edifício pode variar amplamente dependendo do seu comportamento. Neste contexto, os ocupantes devem ser informados das metas e das capacidades para as quais o edifício foi desenhado ou concebido, encorajando-os a alterar o seu comportamento com vista a reduzir o seu consumo energético e ajudar ao projeto a manter-se NZEB [43] [44].

2.5. Legislação. Diretivas e Decretos-Lei

2.5.1. *Energy Performance of Buildings Directive 2010/31/EU*

No dia 19 de maio de 2010, a diretiva 2010/31/EU (EPBD) foi aprovada e adotada pelo Parlamento Europeu e pelo Conselho da União Europeia com o fim de reforçar os requisitos de desempenho energético, simplificar e clarificar algumas das disposições da anterior EPBD, publicada em 2002, a qual substitui. A proposta da reformulação confirma e realça a importância de uma implementação efetiva ao nível dos Estados-Membros, de medidas de eficiência energética nos edifícios, assim como, a importância da cooperação de toda a comunidade europeia e do compromisso a longo prazo da própria Comissão Europeia em apoiar esta implementação [45].

A Figura 6 exemplifica o desempenho que os edifícios terão de apresentar, segundo as imposições da Diretiva, até ao ano 2020.

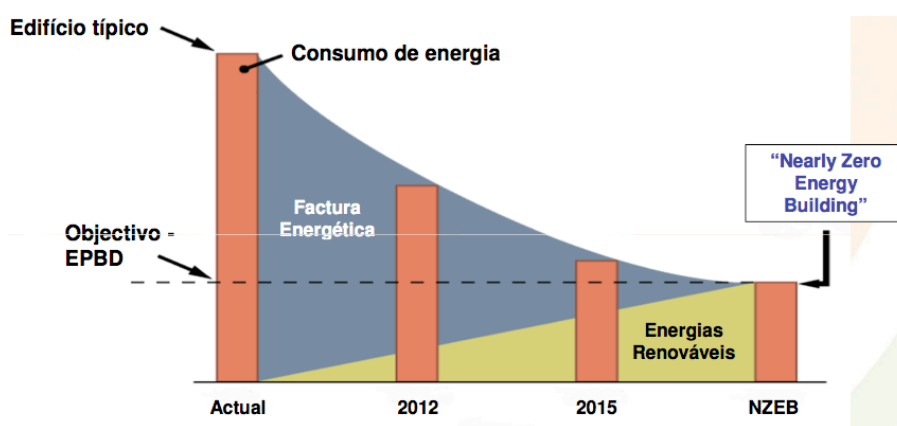


Figura 6. Evolução até 2020 [46].

Nesta nova reformulação da Diretiva, podem ser destacados os seguintes pontos [46]:

- O mais tardar em 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos construídos na União Europeia têm de ser edifícios com necessidades quase nulas de energia, isto é, muito próximas de zero;
- Após 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas têm de ser, como referido no parágrafo anterior, edifícios com necessidades quase nulas de energia;
- A definição de um edifício de baixas necessidades energéticas passa agora por *Nearly-Zero Energy Buildings*, o qual é um edifício que tem um alto desempenho energético. A quantidade quase zero ou muito baixa de energia necessária deverá ser mitigada na sua totalidade ou quase totalidade por energias renováveis, produzida *On-Site* ou nas proximidades;
- Não há uma meta específica para a renovação e reabilitação dos edifícios existentes, mas os Estados-Membros deverão seguir o exemplo do setor público desenvolvendo políticas e tomando medidas de forma a estimular a transformação dos edifícios reabilitados em edifícios com necessidades muito baixas de energia;
- Desaparece o atual limite de mais de 1000m² para grandes renovações, a partir do qual se exige certificação energética, sendo reduzido a 500m² em 2012 e a 250m² em 2015. Visto a maioria dos edifícios ter menos de 1000m² de área útil, todas as renovações passam a ser abrangidas. Em Portugal, para grandes renovações já há limites impostos no RCCTE e no RSECE. As revisões destes regulamentos têm de ser feitas de forma a

que, até o ano 2020, se atinja a meta de edifícios com baixas necessidades energéticas [47];

- Esta nova EPBD vai exigir uma aceleração da integração de energias renováveis nos edifícios [47];
- São apresentados requisitos mínimos para os componentes de todas as reabilitações e renovações;
- Introduce uma metodologia de cálculo harmonizada de forma a elevar os requisitos mínimos do desempenho energético com vista a níveis de custos otimizados. Os Estados-Membros têm de justificar perante a Comissão Europeia, caso exista uma lacuna que ultrapasse os 15% entre os níveis ótimos de rentabilidade calculados para os requisitos mínimos de desempenho energético e os requisitos mínimos de desempenho energético em vigor [1].
- Estabelece que os Estados-Membros têm que implementar um procedimento mais detalhado e rigoroso para a emissão de certificados energéticos, sendo obrigatório para novos edifícios, venda e aluguer de edifícios existentes. A afixação dos certificados nos edifícios públicos deve ser visível aos visitantes e ocupantes;
- Os Estados-Membros têm de adoptar sistemas de controlo para verificar a certificação do desempenho;
- Os Estados-Membros são obrigados a introduzir sanções no caso de incumprimento. Também têm de estabelecer as regras relativas a essas sanções e as medidas necessárias para assegurar que elas sejam implementadas.

O ECEEE (*European Council for an Energy Efficient Economy*) demonstra uma preocupação pelo facto desta nova Diretiva não conter metas específicas para os edifícios existentes, continuando na busca de soluções para estes edifícios.

Com a adoção da reformulação da EPBD 2010/31/EU, os Estados-Membros são confrontados com novos desafios difíceis, sendo obviamente o principal, ir na direção de edifícios novos com necessidades quase nulas de energia até ao limite imposto pela Diretiva, e a aplicação de metodologias que otimizem o custo de forma a estabelecer requisitos mínimos quer para a envolvente, quer para os sistemas aplicados respeitando o período de transposição e implementação entre os anos 2011 e 2015 [48].

Já nos Estados Unidos da América, o *Energy Independence and Security Act* (EISA) de 2007 impõe limites um tanto mais conservativos e menos ambiciosos a nível do limite no período de tempo estipulado. A legislação americana estipula que para a iniciativa NZEB a nível dos

edifícios comerciais, seja adotada a meta *Net-Zero Energy* para todos os novos edifícios até ao ano 2030. Especifica também a meta *Zero Energy* para 50% dos edifícios comerciais até ao ano 2040 e *Net-Zero* para todos os edifícios comerciais até 2050 [14] [20], embora alguns Estados americanos tenham tomado a iniciativa de impor os seus próprios limites para atingirem o estatuto NZEB. Tal é o caso dos Estados da Califórnia e do Massachusetts, onde o primeiro impõe o ano de 2020 para todas as construções residenciais e 2030 para todas as construções comerciais. Já o Estado de Massachusetts impõe o ano de 2030 para todos os novos edifícios, tanto residenciais como comerciais [11].

2.5.2. Legislação Portuguesa

Em Portugal a legislação que atualmente rege as questões energéticas e térmicas dos edifícios são três Decretos-Lei (DL), vigentes desde 2006, que transpõem para o direito interno a Diretiva 2002/91/CE (EPBD de 2002). Estes DL são:

- Decreto-Lei nº 78/2006, de 4 de abril: “Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior nos Edifícios” (SCE-AQI);
- Decreto-Lei nº 79/2006, de 4 de abril: “Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios” (RSECE);
- Decreto-Lei nº 80/2006, de 4 de abril: “Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios” (RCCTE).

No âmbito da sua aplicação 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 a grandes edifícios de serviços e a edifícios de habitação ou pequenos edifícios de serviço que disponham de um sistema de climatização com potência instalada superior aos 25 kW. Entende-se por potência instalada à maior das potências instaladas para arrefecimento, aquecimento ou preparação de águas quentes sanitárias (AQS) [49].

Assim sendo, o RCCTE estabelece os requisitos para os edifícios de habitação quer novos quer sujeitos a reabilitação, sem sistemas de climatização, nomeadamente a nível das características da envolvente limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos bem como os parâmetros e as metodologias com vista à caracterização do desempenho energético do edifício e dos seus sistemas [50].

Este regulamento impõe limites aos consumos energéticos para a climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo ao uso de sistemas eficientes e de fontes energéticas que

diminuam o impacto das energias primárias. Também impõe a instalação de painéis solares térmicos e valoriza o uso das fontes de energia renovável [50].

À data de realização desta dissertação, o RCCTE encontra-se em processo de revisão de forma a ser adaptado às novas exigências vindas da reformulação introduzida pela EPBD 2010/31/EU. Algumas das revisões que se encontram em discussão são [51]:

- O RCCTE seria a regulamentação para os edifícios de habitação, sendo o RSECE para edifícios de serviços;
- Unir os três Decreto-Lei (SCE, RCCTE e RSECE) num só documento de eficiência energética dos edifícios para Portugal;
- Impor limites e requisitos regulamentares ao edifício e parâmetros de referência;
- A evolução prevista dos requisitos segundo valores estipulados para os anos 2015, 2018 e 2020;
- Reforço da certificação energética.

2.6. Casos de estudo

Na Tabela 7 identificam-se alguns projetos nos quais se implementaram medidas de eficiência e de redução energética.

Tabela 7. Síntese de alguns casos de estudo a nível mundial (Adaptado de [52]).

Nome do projeto	Tipologia	País	Ano de finalização	Fornecimento da energia	Comentários
Home for life	Novos edifícios residenciais	Dinamarca	2009	<ul style="list-style-type: none"> • Casa totalmente elétrica, • Coletores solares, • Sistemas FV, • bombas de calor 	Leva 40 anos a gerar a energia consumida na produção dos materiais
Lighthouse		Reino Unido	2007	<ul style="list-style-type: none"> • Caldeiras a biomassa, • Coletores solares, • Sistema FV. 	Custos anuais de combustíveis por volta dos 35€
ÉcoTerra Alouette Home		Canadá	2007	<ul style="list-style-type: none"> • Casa totalmente elétrica, • Bombas de calor geotérmicas, • FV integrados no edifício. 	Necessidades energéticas 80% menos que a média no Canadá
Kraftwerk-B		Suíça	2009	<ul style="list-style-type: none"> • Fogões a biomassa, • Sistemas FV, • Coletores solares na fachada, • Exportação de calor. 	Produz 10% mais da energia total necessária

Tabela 7. Síntese de alguns casos de estudo a nível mundial (cont.).

Nome do projeto	Tipologia	País	Ano de finalização	Fornecimento da energia	Comentários
Kleehäuser	Novos edifícios residenciais	Alemanha	2006	<ul style="list-style-type: none"> • Microgeração a gás natural, • Envolvente altamente isolada, • Sistemas FV, • Compartida de parque eólico. 	Custo inicial de 10% da media, esperando o retorno em menos de 10 anos
BedZED		Reino Unido	2002	<ul style="list-style-type: none"> • Microgeração a biomassa, • Tratamento de águas, • Sistemas FV, • Ventilação natural. 	Produção anual ultrapassa em 5 a 10% à necessária
SunnyWatt		Suíça	2010	<ul style="list-style-type: none"> • Casa totalmente elétrica, • Bombas de calor, • Sistemas FV. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1º ZEB do país, • 10 vezes menos energia total consumida
Blaue Heimat	Edifício residencial reabilitado	Alemanha	2006	<ul style="list-style-type: none"> • Novos sistemas de ventilação, • Sistemas FV, • Microgeração a gás natural. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não usufrui de energias renováveis, exceto sistemas FV, • Redução de 84% na demanda energética
Enerpos Building	Novos edifícios comerciais	França	2008	<ul style="list-style-type: none"> • Edifício totalmente elétrico, • Sistemas FV. 	
JUWI-Haupt-quartier		Alemanha	2009	<ul style="list-style-type: none"> • Caldeiras a biomassa, • Coletores solares nas fachadas, • Sistemas FV, • Acumulação de energia em baterias, • Exportação de biogás. 	Edifício de oficinas mais eficiente do mundo.
Haupt-quartier Solon SE	Edifícios comerciais	Alemanha	2008	<ul style="list-style-type: none"> • Reutilização de calor desperdiçado, • Aquecimento com biogás, • Sistema FV, • Armazenamento de energia em baterias, • Estação de carregamento solar. 	Necessidades primárias energéticas representam 40% comparado com edifícios dos últimos 5 anos.
Pixel		Australia	2010	<ul style="list-style-type: none"> • Turbinas eólicas no local, • Sistemas FV fixos e móveis, • Uso de biogásificação no aquecimento de água. 	Águas pluviais e cinzentas 100% renováveis com sistema de aproveitamento

Tabela 7. Síntese de alguns casos de estudo a nível mundial (cont.).

Nome do projeto	Tipologia	País	Ano de finalização	Fornecimento da energia	Comentários
Solvis	Edifícios comerciais	Alemanha	2000	<ul style="list-style-type: none"> • Aproveitamento do calor desperdiçado, • Coletores solares, • Sistema FV, • Microgeração a biocombustível. 	
Solarfabrik		Alemanha	1999	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema FV, • Microgeração a biocombustível, • Caldeiras a biocombustíveis. 	
Edifício Solar XXI		Portugal	2006	<ul style="list-style-type: none"> • Aquecimento através de coletores solares, • Sistema FV integrado na fachada, • Uso de energia geotérmica no arrefecimento. 	<ul style="list-style-type: none"> • 80% da energia consumida gerada mediante o sistema FV, • excelentes condições de conforto sem necessidade de ar condicionado.
Aldo Leopold Legacy Center		Estados Unidos da América	2007	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas FV, • Tratamento de água pluvial e cinzentas, • Sistema de aquecimento geotérmico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produz 10% mais da energia necessária, • 65% menos no consumo de água, • usa 70% de energia a menos que um edifício ordinário.
IDeAs Z2 Design Facility		Estados Unidos da América	2007	<ul style="list-style-type: none"> • Edifício totalmente elétrico, • Sistemas FV integrados, • Aquecimento e arrefecimento mediante energia geotérmica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Controlos automáticos de iluminação e sensores de presença em todas as divisões, • O sistema FV gera 100% da energia necessária.
Science House		Estados Unidos da América	2003	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema FV, • Edifício totalmente elétrico, • Aquecimento e arrefecimento de água e ar mediante energia geotérmica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produz mais 30% da energia necessária, • Reduz consumo de energia monitorizando a qualidade do ar.

3. GUIA PARA NZEB. ESTRATÉGIAS E TECNOLOGIAS

Nos edifícios com necessidades quase zero de energia os projetistas, para além de conseguirem atingir o balanço energético, têm de se esforçar por minimizar o danos ambientais, o consumo de recursos e o consumo de energia em todas fases do ciclo de vida do edifício. Assim, a planificação antecipada das medidas e estratégias adequadas a executar, garante não só o sucesso do projeto a nível energético, mas também o sucesso a nível económico. Para tal, é indispensável um trabalho em conjunto da equipa de projeto e, sempre que possível, incluir a colaboração dos utilizadores do edifício.

As estratégias de planeamento dos edifícios com necessidades zero ou quase zero de energia devem ser pensadas de forma a incluir um ou mais sistemas de produção no local (*On-Site*), que permitam ao edifício produzir alguma ou eventualmente toda a energia necessária para a sua operação.

Na literatura existente podem ser encontrados uma série de guias comumente chamadas *guidelines*, baseadas no estudo de projetos anteriores, na aprendizagem de erros cometidos no passado, nas existentes e emergentes tecnologias e no desenvolvimento de software e ferramentas de otimização e simulação, de forma a garantir o que é necessário para se atingir o estatuto de *Net-Zero Energy Building*.

Estas *guidelines* ajudam os projetistas a escolher as melhores opções que vão desde a correta orientação do edifício, até à mais adequada combinação da(s) fonte(s) de energias renováveis, da massa térmica, vãos envidraçados, entre outras [17].

A prioridade deste guia é indicar as condições de forma a dar prioridade ao facto de minimizar o uso da energia através das estratégias passivas mais efetivas sob o ponto de vista técnico e económico para a eficiência energética. Para tal, devem ser desenvolvidas estratégias e medidas que reduzam as necessidades energéticas, através de envolventes de elevado desempenho térmico, medidas de iluminação natural, sistemas de sombreamento, aquecimento solar, escolha de vidros e de vãos envidraçados com adequado comportamento térmico, ventilação natural e de redução do consumo de água e do respetivo reaproveitamento, incluindo o da água da chuva [28].

Convém referir que os pontos tratados neste guia não são para uso exclusivo nas condições climáticas de Portugal, podendo, à semelhança dos existentes, ser usado numa ampla variedade de condições climáticas. Por exemplo, as estratégias e tecnologias de carácter solar estão fortemente orientadas principalmente para os países nórdicos, mas sendo estas

corretamente adaptadas, conjuntamente com estratégias de sombreamento, podem ser aplicadas aos países do sul da Europa.

Na bibliografia existente as tecnologias de aproveitamento de energias renováveis são consideradas como as mais aplicáveis e eficazes na conceção de NZEB, pois para além de serem economicamente viáveis permitem obter-se edifícios de alto desempenho energético. Porém integração das energias renováveis e tecnologias complementares não devem deixar de lado a aplicação dos conceitos bioclimáticos. Estes, tirando o maior proveito da radiação solar e da temperatura exterior, colaboram com o conforto dos ocupantes evitando o uso de sistemas ativos, desempenhando assim, um papel importante no desempenho térmico da envolvente exterior, bem como da iluminação e ventilação natural [34]. Um dos aspetos mais importantes a considerar são as vantagens que oferece a forma e a orientação do edifício, no local onde será construído de forma a ter os maiores ganhos solares segundo a trajetória diária e anual do sol. Sem se ter atingido este primeiro passo em termos solares, a meta da conceção de um NZEB pode estar em risco. A equipa de projetistas enfrentam uma série de variáveis e parâmetros que influenciam significativamente a utilização da energia solar. Estas variáveis incluem a área dos envidraçados, características térmicas e óticas dos vidros, área de painéis coletores e térmicos fotovoltaicos e a sua orientação, armazenamento térmico e estratégias de controlo [17].

Os sistemas passivos de aquecimento solar fazem uso dos diversos componentes do edifício para acumular, armazenar e distribuir os ganhos solares de forma a reduzir as necessidades energéticas do espaço [56].

Os passos a se ter em consideração para a criação do guia são os indicados nos pontos seguintes.

3.1. Envolvente natural do edifício

A envolvente natural do edifício é um aspeto importante na conceção de um NZEB no que diz respeito à adoção de estratégias solares passivas, tendo que ser bem analisado, caso contrário pode contribuir negativamente para o desempenho do edifício.

As árvores/vegetação podem ajudar a proporcionar uma barreira natural contra os ventos frios do inverno ao mesmo tempo que no verão funcionam como sombreamento natural. Se a vegetação estiver muito próxima do edifício pode ter um efeito contrario ao desejado, ao bloquear a radiação solar requerida para o aquecimento natural da envolvente e do interior do

edifício nos meses de inverno [17], devendo estar localizada, pelos menos, a uma distância equivalente a três vezes a sua altura projetada longe da fachada sul do edifício [17].

A equipa de projetistas, pode optar pelo uso de árvores de folha caduca, como é o caso dos carvalhos e dos castanheiros, os quais dão sombra no verão, enquanto que no inverno os seus ramos vão progressivamente ficando desprovidos de folhas, permitindo ganhos solares.

3.2. Características do edifício

Portugal é dos países da Europa com melhores condições climáticas, pela excelente exposição solar e pelas temperaturas amenas que tem, facilitando os ganhos energéticos e reduzindo as necessidades de consumo energético para manter o conforto térmico interior. Durante as fases preliminares do projeto, um conjunto de *medidas passivas* devem ser adotadas de forma a aproveitar estas condições climáticas [22].

3.2.1. Localização e orientação do edifício

Escolher criteriosamente a orientação e implantação do edifício segundo as condições da zona climática é uma medida essencial para otimizar os ganhos solares. Em Portugal, é preferível reduzir orientações viradas a este e oeste visto que durante a época de verão sofrem um elevada radiação solar, devendo ser privilegiada a orientação a sul [2].

Caso não seja possível orientar o edifício a sul, a melhor escolha será orientá-lo a este em vez de a oeste, ajudando a aquecer o edifício nas primeiras horas da manhã e evitar a incidência direta da luz solar durante o período da tarde [17].

3.2.2. Forma do edifício

Durante a época de inverno os edifícios sofrem uma diminuição na temperatura interior, fenómeno denominado como perdas térmicas. A redução destas perdas térmicas é uma das medidas mais eficazes para se atingir o conforto térmico do edifício. A forma do edifício têm uma grande influência na transferência para o exterior do calor gerado no interior (fluxo térmico). Quanto maior seja a superfície (A) envolvente do volume (V), maior será essa transferência de calor. A eficiência energética advém de um baixo fator de forma (FF) do edifício, o qual representa a relação entre a sua Superfície (A) e o Volume (V). [2] [25] [26]
É importante definir os parâmetros geométricos do edifício:

- Área do edifício.
- Números de pisos.
- Pé direito.
- Razão perímetro/área.
- Percentagem da envolvente do edifício/parede adjacente em contacto com edifícios vizinhos (caso existam).
- Inclinação do telhado.
- Razão A/V (fator de forma).

Segundo [17], uma regra geral nos edifícios é adotar divisões de dimensão retangular visto que assim trabalham melhor em termos solares passivos, devendo de preferência o eixo maior estar orientado entre os 10° a 15° a sul. Também especifica que a relação entre o eixo maior e o eixo menor não deve ser superior a 1,3 a 1,5. Isto para edifícios entre 2 e três andares.

A disposição do desenho do edifício, e por conseguinte a do espaço interior, deve ser projetada de modo a tirar o maior proveito da trajetória do sol ao longo do dia. Esta disposição deve também assegurar uma adequada ventilação e iluminação natural com o uso de aberturas para o ar poder fluir, entre as diferentes divisões e pisos e entre as zonas orientadas a norte para as a sul.

O pé-direito é outro aspeto a considerar. Em Portugal estes valores estão especificados no Art. 65° do Capítulo III do *Regulamento Geral das Especificações Urbanas (RGEU)*, especificando que “A altura mínima, piso a piso, em edificações destinadas à habitação é de 2,70 m, não podendo ser o pé-direito livre mínimo inferior a 2,40 m”. Especificando que para vestíbulos, corredores, instalações sanitárias, despensas e arrecadações o pé-direito pode ser reduzido até os 2,20 m, isto por causa da necessidade de usar, por exemplo, tetos falsos. Já nos edifícios destinados a uso comercial o pé-direito livre mínimo tem de ser 3,00 m [116].

Este regulamento é já um regulamento antigo mas ainda está em vigor, existindo uma proposta de revisão, não publicada até à data.

Dadas as amplitudes térmicas diárias registadas em Portugal, a ventilação natural pode ser implementada no inverno e particularmente no verão, através de aberturas nas fachadas permitindo a ventilação quer no sentido norte-sul quer sul-norte, de forma a renovar o ar das divisões de todo o edifício e a efetuar *free cooling* na estação de arrefecimento. Este sistema pode ser concebido de forma a gerir individualmente as diversas divisões em termos de ventilação cruzada (*Cross Ventilation*), onde o ar usado para arrefecimento é insuflado para dentro do edifício [57],

No interior, de forma a refletir melhor a iluminação natural das divisões, é recomendado o uso de pinturas/acabamentos de cores claras.

Outro aspeto a considerar na forma do edifício é a área das fachadas que está em contacto direto com fachadas aquecidas de edifícios vizinhos.

O fator de forma (*FF*) do edifício também é uma importante característica a ter em consideração. O *FF* é a relação que existe entre o somatório das áreas da envolvente exterior e interior do edifício com o respetivo volume interior, afetando diretamente os valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (ponto 1 do Art. 15º, Capítulo V do RCCTE) [112].

3.2.3. Aproveitamento solar passivo

O desenho passivo do edifício em termos solares, inclui um adequado desenho da envolvente exterior aproveitando ao máximo a iluminação diurna, a ventilação natural e os sistemas de aquecimento e arrefecimento, devendo dar-se particular atenção à posição e dimensão dos vãos envidraçados, do tipo de vidro a usar e da necessidade de sistemas de sombreamento.

O correto desempenho destes fatores vão depender primordialmente de um entendimento e conhecimento da trajetória solar (Figura 7) no local de implantação do edifício.

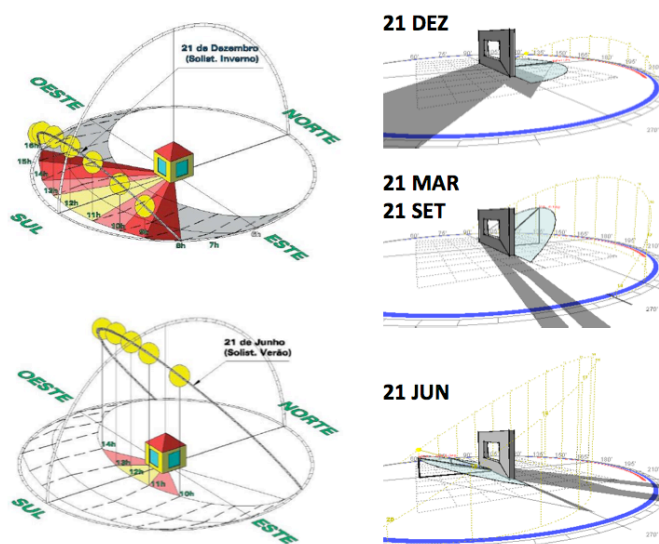


Figura 7. Movimento aparente do Sol em relação à Terra [58].

3.2.3.1. Inércia térmica

A inércia térmica representa um importante fator nas estratégias passivas dos NZEB. Permite a captura e acumulação da energia solar através dos materiais aplicados em elementos

construtivos e a sua gradual libertação através de fenómenos de convecção natural, de forma a permitir menores variações de temperatura interior.

Os materiais ideais para se obter inércia térmica alta, são materiais que tenham uma elevada condutibilidade térmica, assim como uma alta densidade. Para além da tradicional alvenaria de betão e tijolo cerâmico cuja condutividade térmica depende da sua composição e das técnicas de cura, outros materiais aplicados em sistemas construtivos têm contribuído para o elevado desempenho energético das edificações nas quais estão a ser aplicados e estão a ser considerados em projetos de NZEB, tais como [59]:

- Sistemas IC (em inglês *Insulating Concrete*), que proporcionam elevado isolamento térmico. Consistem em elementos ou painéis de betão colocados *in-situ* com espuma isolante na camada interior e no interior da elemento respetivamente.
- Sistemas SIP (em inglês *Structural Insulating Panels*). São sistemas economicamente mais acessíveis que os sistemas IC mas em contrapartida oferecem menos inércia térmica visto serem compostos por espuma rígida isolante colocada entre panos estruturais. Mas esta não é uma relação direta já que os sistemas IC têm um coeficiente “U” menor que os sistemas SIP, sendo necessário os sistemas IC serem mais espessos e quanto mais larga for a envolvente mais material é necessário para construir, logo é economicamente menos viável. O tipo de clima a que vai estar sujeito o edifício desempenha um papel importante na escolha.
- *Phase Change Materials* (PCM). A composição, vantagens e aplicações destes materiais serão desenvolvidos no subcapítulo 3.2.5.3.

Para se atingir uma inércia térmica alta nas diversas divisões do edifício [56]:

- Quando possível, a área dos elementos opacos deve ser pelo menos 6 vezes a área envidraçada. A inércia térmica está relacionada com a quantidade de área envidraçada do edifício, sobretudo da área virada a sul. Segundo [17], a massa térmica deve ser aumentada caso a área de envidraçado a sul seja maior que 7% a 8% do total de área aquecida, especificando também que a área envidraçada adequada para maior aproveitamento de ganhos solares tem de estar entre os 7% e 12% da área do espaço. Na maioria dos climas nas fachadas viradas a norte e a este, a área envidraçada deve ser reduzida e não ultrapassar os 4% da área total do espaço e, nas fachadas viradas a oeste, não devem ultrapassar os 2% da área total do espaço. Sempre que possível, optar por um único vão em vez de vários mais pequenos.

- Dispor a massa térmica de forma a ser diretamente aquecida pelo sol ou poder ser distribuída ao longo das diversas divisões onde a quantidade de acumulação solar é maior.
- Utilizar tintas de cores naturais claras de forma a refletir melhor a iluminação.
- Incorporar o armazenamento térmico nas lajes e paredes, de preferência, compostos pelos materiais indicados.

3.2.3.2. Iluminação natural

Como já foi referido, a iluminação natural é uma estratégia eficiente que combina uma série de tecnologias. Embora subestimada em muitos projetos ao longo dos anos, é um dos aspetos mais importantes e críticos no que diz respeito aos NZEB em termos quer económicos quer de eficiência energética.

Uma adequada iluminação natural reduz significativamente o uso de energia para iluminação e por consequência uma enorme poupança a qual representa uma redução de quase 1/3 do consumo energético do edifício [60].

De forma a tirar o maior proveito da implementação da iluminação natural, o projeto requer uma abordagem de desenho integrado do edifício, isto porque no seu cálculo alguns parâmetros arquitectónicos e não só, têm de ser considerados, nomeadamente, a forma do edifício, o clima do local, a dimensão das claraboias e vãos envidraçados, entre outros.

Embora a iluminação natural possa ser um caminho efetivo para reduzir o consumo energético do edifício, criar o balanço adequado entre a iluminação e o uso de energia não é simples de se atingir. Aspetos como o tipo de vidros usados nos vãos envidraçados e a sua relação com a área das divisões, caso não sejam dimensionados devidamente podem implicar pontos negativos na eficiência energética do edifício [59]. A relação entre a área de envidraçados e a área da fachada deve estar entre valores próximos dos 25%.

Os componentes que compõem todo o sistema da estratégia de iluminação natural devem ser desenhados e dimensionados de forma a permitir uma entrada ideal de luz, sem afectar outros aspetos como o sobreaquecimento ou incisão excessiva da luz que crie desconforto aos utilizadores, para assim se evitar o uso de luz artificial durante grande parte do dia.

Na bibliografia existente, podem ser encontradas já uma série de guias onde são propostos aspetos a seguir para um correto dimensionamento que leve ao máximo aproveitamento da luz natural. A equipa de arquitetura deve ter em consideração uma série de requisitos, tais como [60]:

- Sistemas de sombreamento e dispositivos de controlo (Ver subcapítulo 3.2.3.4);

- Tipo de vidro. Considerando o seu fato
- r solar, visibilidade, transmitância e isolamento (Ver subcapítulo 3.2.3.3);
- Localização das aberturas. Estratégias de iluminação lateral permitem a entrada de luz e podem facilitar a ventilação e a vista da fachada, assim sendo, as dimensões recomendadas apontam para uma profundidade de iluminação de 2,5 vezes a altura que vai desde o topo da janela até ao peitoril;
- Refletividade das superfícies das divisões. Este aspeto tem grande importância no aproveitamento da iluminação natural pelo que é recomendado manter a refletividade do teto em valores aproximados aos 80%, a das paredes perto dos 50% e a do solo perto dos 20%.
- Integração de controlos de iluminação interior. Assim é possível controlar o nível de luz necessário segundo a quantidade de iluminação diurna disponível. Entre este tipo de controlos estão os de ligar ou desligar a energia elétrica caso não seja necessário, os controlos intermédios os quais controlam as lâmpadas individualmente e os controlos de escurecimento que estão constantemente ajustando a luz necessária das lâmpadas. Os controlos de presença e os temporizadores. Os primeiros quando instalados estrategicamente podem chegar a poupar perto de 50% do valor consumido caso eles não existissem no local. Os temporizadores são ideais para espaços nos quais a presença durante um certo período é garantido, evitando assim uso excessivo de energia para iluminação fora do tempo previsto.

Para maior aproveitamento solar em termos de iluminação, arquitetonicamente o edifício deve ser o mais estreito possível de forma à iluminação diurna poder ser aproveitada pelo máximo de área possível. Este aspeto têm de ter uma relação intrínseca com a área das divisões e por conseguinte com as áreas dos vãos envidraçados. É recomendado que o edifício tenha mais ou menos uns 20 m de profundidade na direção sul-norte e com uma altura de até 3 ou 4 andares [60]. Como já referido anteriormente no subcapítulo 3.2.2, o edifício deve apresentar uma orientação em qualquer direção entre os 10° e 15° a sul de forma a aproveitar a maior incidência da iluminação solar.

O próximo aspeto a ter em consideração no desenho é o correto dimensionamento da relação entre a área dos vãos envidraçados e a área da parede de forma a termos uma relação adequada segundo as condições climáticas do local.

Sabendo que, independentemente do tipo de vidro usado, a área envidraçada não atinge os mesmo coeficientes de isolamento que a envolvente opaca, é então crítico atingir um balanço

ideal entre a área envidraçada e a quantidade de luz que incide através dela, assim como um balanço adequado dos aspetos térmicos, tais como perdas térmicas e ganhos solares [60].

Os sistemas de alto desempenho térmico dos envidraçados admitem mais luminosidade e menos aquecimento que os vidros convencionais. Estes sistemas são comumente unidades de vidros duplos isolados com dois panos de pelo menos 6 mm, cada um separado entre si por 12 mm de um gás, dando ao vidro isolado um alto coeficiente de isolamento comparado com os vidros simples. Contando ainda com um revestimento de baixa emissividade o qual incrementa o coeficiente de isolamento [60].

Outro elemento que contribui para a iluminação do edifício são as claraboias que permitem a iluminação zenital. Usualmente em materiais acrílicos são compostas por duas camadas de material para garantir o isolamento. Para tirar maior proveito da aplicação das claraboias, estas podem ser compostas por um sistema de espelhos que refletem a luz para onde mais seja necessário, ajudando também a evitar o excesso da entrada da luz nos meses de verão e as cargas por arrefecimento. Os dispositivos e sistemas de redireção da iluminação normalmente refletem a luz em direção ao teto das divisões. Estes dispositivos ajudam a evitar o brilho intenso nas zonas onde estarão os ocupantes e ajudam a que a iluminação penetre o mais profundo possível na divisão e no edifício (tubos solares) [60].

Outro elemento crítico no aproveitamento da iluminação natural é o desenho do interior do edifício o qual, sempre que possível, têm de considerar e integrar o desenho da mobília e o seu posicionamento, assim como os acabamentos das superfícies de forma a terem um maior aproveitamento no desempenho da iluminação.

A Figura 8 mostra, segundo a altura do sol em diferentes estações do ano, como funcionam os dispositivos de sombreamento e de redireção e, como a mobília presente na divisão contribui para o desempenho da iluminação natural. A imagem não representa um edifício de habitação, mas a finalidade e funcionamento dos dispositivos são semelhantes.

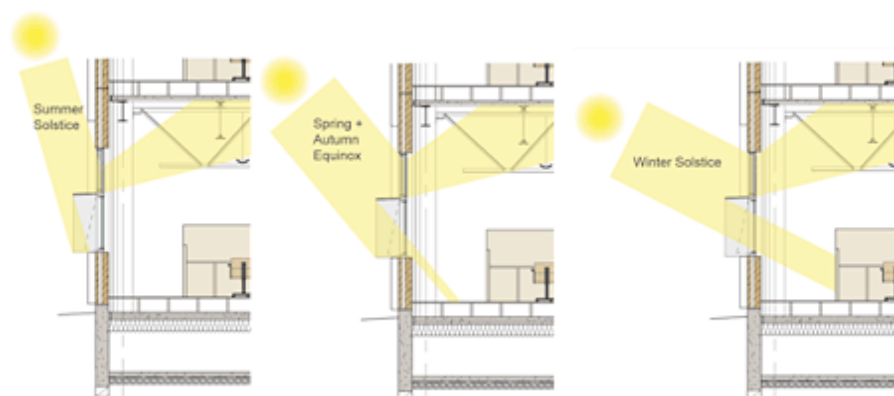


Figura 8. Desempenho, por estação, dos sistemas de sombreamento e redireção [60].

3.2.3.3. Vãos envidraçados

A seleção adequada dos componentes dos vãos envidraçados são essenciais para o desempenho térmico e de iluminação do edifício. Um aspeto importante para o sucesso do seu desenho é a sua integração com os componentes da parede adjacente de forma a criar um sistema geral funcional [61]. Os requisitos térmicos da fenestração devem estar integradas no desenho da envolvente, portanto, em termos de envidraçados a escolha do tipo de vidro é um elemento chave do projeto.

Atualmente no mercado está disponível uma ampla variedade de tipos de envidraçados que já dispõem de características, funções e desempenho energeticamente eficiente, que oferecem um isolamento térmico reforçado, segurança, isolamento acústico, autolimpeza, melhoram o conforto e minimizam a condensação e a fuga de ar, contribuindo nas habitações com reduções no consumo energético que pode chegar aos 50% na maioria dos climas [61].

Para além do aspeto estético os seguintes requisitos devem ser considerados no seu desenho e dimensionamento [61]:

- Perdas e ganhos térmicos;
- Necessidade de sombreamento;
- Conforto térmico e visual;
- Controlo dos raios ultravioleta e da condensação;
- Conforto acústico;
- Quantidade de iluminação diurna;
- Qualidade e isolamento das caixilharias.

Os tipos de vidros variam nas suas características segundo o seu processo de fabrico. Assim, os diferentes tipos de vidros são:

- Vidros recozidos (*Annealed glass*). É o vidro mais comumente usado para fins arquitectónicos e após saída do forno é resfriado gradualmente de forma a liberar as tensões internas. Como contrapartida, estes vidros quando quebram, fazem de forma perigosa expondo a segurança dos ocupantes [62] [63];
- Vidros termoendurecidos (*Heat strengthened glass*). Este tipo de vidro é termicamente reforçado sendo quase 2 vezes mais forte que os vidros recozidos reduzindo significativamente as possibilidades de rotura por causas térmicas ou deformações. Devido ao seu reforço e a serem também duas vezes mais resistentes às ações do vento que os recozidos, com a mesma espessura, podem ser usados em vãos de maior dimensão sem a necessidade de ter de usar vidros de maior espessura. Mesmo sendo

mais resistentes relativamente aos vidros recozidos, quando quebram também o fazem de forma perigosa, quebrando em grandes lascas, mas comumente ficando na moldura [62] [64];

- Vidros temperados (*Tempered glass*). Este tipo de vidro é 4 vezes mais resistente ao choque térmico mecânico que os vidros recozidos, logo, mais resistente à quebras. Está tratado de forma a que, quando quebra, o fragmenta em pequenos pedaços menos cortantes que os dois tipos de vidro já nomeados [62] [65];
- Vidros laminados (*Laminated glass*). Composto por duas ou mais lâminas de vidro separadas entre elas por películas de um material plástico (comumente polivinil). Com este tipo de configuração no caso de quebras mantem os estilhaços aderentes às películas de plástico. Este tipo de vidros tem uma alta resistência aos raios ultravioleta (UV) assim como uma menor capacidade de absorção de calor [62] [65] [66].
- Vidros isolados (*Insulated glass*). É um sistema de dois ou mais vidros selados hermeticamente formando uma única unidade com um espaço de ar entre 10 mm a 12 mm entre eles. A sua função mais importante é o comportamento térmico ao reduzir a transferência de calor entre diferentes ambientes quer no inverno que no verão, tendo também um bom comportamento acústico [62] [67].

Outros tipos de vidros também podem ser encontrados no mercado, nomeadamente os vidros com películas de controlo solar e os vidros revestidos. Os primeiros, para além do aspeto estético, têm uma boa capacidade de absorção da luz e das radiações infravermelhas. Os segundos contam com uma camada de revestimento de baixa emissividade e refletividade e tal como os vidros com película de controlo solar, para além do seu aspeto estético estes revestimentos melhoram o desempenho térmico do vidro refletindo a luz e as radiações infravermelhas [62].

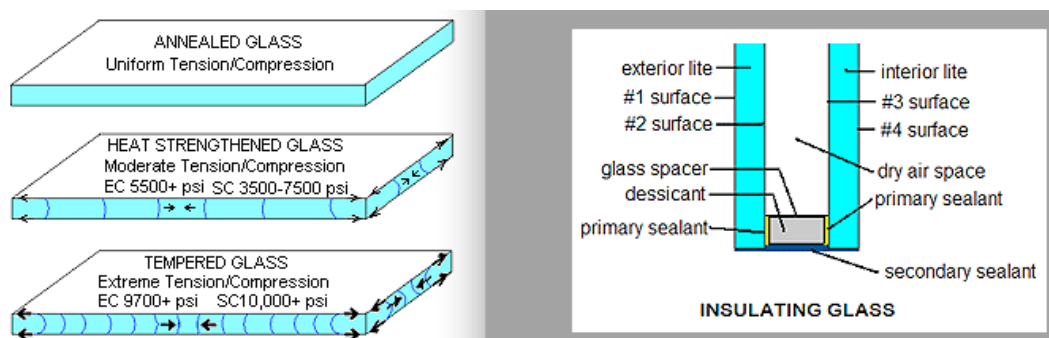


Figura 9. Diferencias entre os tipos de envidraçados [68].

A forma de especificar corretamente um sistema de vãos envidraçados a nível de desempenho tem de incluir os seus valores de transmissão térmica (valor de U), o seu fator solar (g^{\perp}) e os da transmitância (Tv).

Em termos do desempenho térmico dos envidraçados, este é medido através do seu coeficiente de transmissão térmica (U) sendo que quanto menor for o valor de U, menos transferência de calor ocorre através do vidro. Normalmente os valores deste fatores variam segundo o tipo de vidro e das características do tipo de caixilharia usada. Para os casos onde seja utilizada caixilharia de alumínio e vidro simples (normalmente no interior das divisões) os valores de U estão próximos dos 6,25 a 7,30 W/m².°C. Já os valores de U para vão envidraçados de caixilharia isolada, com vidros isolados de baixa emissividade e de alto desempenho estão próximos dos 1,14 a 1,70 W/m².°C [61]. Estes valores podem diferir segundo a orientação da fachada.

O fator solar de um vão envidraçado (g^{\perp}), indica o quociente entre a energia transmitida para o interior do edifício através de um vão envidraçado com o respectivo dispositivo de proteção e a energia da radiação solar que nele incide [112] como indica a Figura 10. Quanto maior é este valor, significa que mais energia solar passa através da janela [61] [69]. Os valores ótimos do fator solar dependem do tipo de clima, assim sendo, para climas quentes é recomendado valores abaixo do 0,4, para climas intermédios recomenda-se valores entre os 0,4 e os 0,55 e para climas frios valores acima dos 0,55 [17]. Em Portugal, a equipa de projeto deve identificar a zona climática do local onde se pretende implantar o edifício de forma a conhecer as variações e amplitudes médias de temperatura durante o ano e assim poder escolher adequadamente os materiais dos vãos envidraçados.

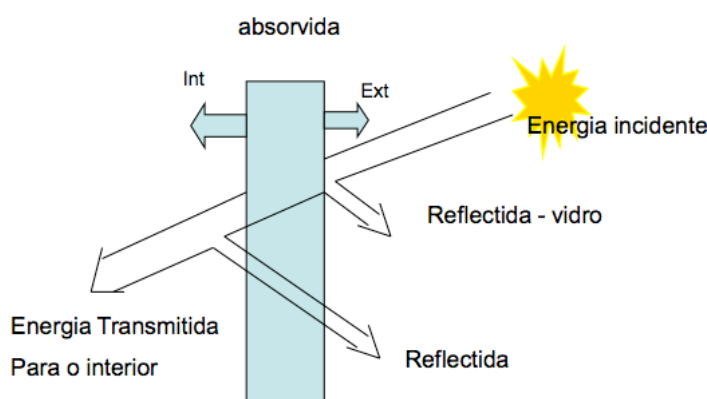


Figura 10. Exemplificação do Fator Solar [69].

Na bibliografia existente podem ser encontradas algumas recomendações a seguir de forma a atingir o desenho de vãos envidraçados adequados segundo as metas pretendidas no projeto. Um programa levado avante pelo *National Institute of Building Sciences*, dos EUA, chamado “*Whole Building Desing Guide*” especifica [61]:

- Na maioria dos casos para edifícios de habitação, são recomendados valores do coeficiente U abaixo dos 2,30 W/m².°C;
- Quando se pretenda especificar os valores de U e do fator solar, é recomendado especificar os valores de todo o sistema e não só os valores dos vidros, visto que os valores unicamente dos vidros podem ser até 40% melhores que os do sistema todo (vidros mais caixilharia);
- Para fins de iluminação natural os valores da transmitância devem ser superiores a 70%;
- Para as fachadas viradas a este e oeste, é recomendado o uso de vidros com baixo fator solar, isto por causa de controlar os ganhos solares e melhorar o conforto dos ocupantes.
- A fachada virada a sul nos edifícios com estratégias de aquecimento solar, devem ter um alto fator solar e um baixo valor de U.
- A seleção dos materiais dos vãos envidraçados deve ir em paralelo com a projeção do conforto nas divisões para que os ocupantes tenham uma temperatura média adequada, considerando a radiação que entra pelos vãos e a temperatura da própria divisão.

Os vãos envidraçados devem ser desenhados de forma a garantir a proteção contra os aspetos de humidade, isto é, a infiltração da água e a condensação.

A Tabela 8 mostra valores aproximados dos sistemas envidraçados quando contêm vidros simples, duplos ou triplos e o tipo de vidro. Estes valores variam segundo a espessura dos panos de vidro usados assim como com a espessura da câmara-de-ar e de fabricante para fabricante. O RCCTE impõe valores limites a considerar no dimensionamento dos envidraçados.

Tabela 8. Tipos de janelas usadas nos vãos envidraçados e as suas propriedades [70].

<i>Vidro</i>	<i>Gás</i>	<i>Caixilho</i>	<i>T_v</i>	<i>g[⊥]</i>	<i>g_{vão}</i>	<i>U_{vão}</i>
Simplex incolor	-	Alumínio s/RT	0,75	0,86	0,71	6,51
Simplex incolor	-	Madeira ou PVC	0,65	0,86	0,71	4,77
Duplo incolor	Ar	Alumínio c/RT	0,63	0,76	0,64	3,58
Duplo bronze	Ar		0,48	0,63	0,53	3,58
Duplo low-E (+)	Árgon		0,58	0,71	0,60	2,84

Tabela 8. Tipos de janelas usadas nos vãos envidraçados e as suas propriedades (cont.)

<i>Vidro</i>	<i>Gás</i>	<i>Caixilho</i>	<i>T_v</i>	<i>g[⊥]</i>	<i>g_{vão}</i>	<i>U_{vão}</i>
Duplo low-E	Árgon	Alumínio c/RT	0,60	0,58	0,49	2,73
Duplo low-E (-)	Árgon		0,55	0,39	0,33	2,67
Duplo incolor	Ar	Madeira ou PVC	0,59	0,76	0,64	2,78
Duplo bronze	Ar		0,44	0,63	0,53	2,78
Duplo low-E (+)	Árgon		0,54	0,71	0,60	2,10
Duplo low-E	Árgon		0,56	0,58	0,49	1,99
Duplo low-E (-)	Árgon		0,51	0,39	0,33	1,93
Duplo incolor	Ar		Fibra de vidro ou PVCi	0,63	0,76	0,64
Duplo bronze	Ar	0,48		0,63	0,53	2,50
Duplo low-E (+)	Árgon	0,58		0,71	0,60	1,65
Duplo low-E	Árgon	0,60		0,58	0,49	1,53
Duplo low-E (-)	Árgon	0,55		0,39	0,33	1,48
Triplo low-E (+)	Crípton	Fibra de vidro ou PVCi		0,50	0,51	0,43
Triplo low-E (-)	Crípton		0,43	0,33	0,28	1,02

Evitar a infiltração da água vêm em função da escolha do tipo de envidraçado, das aberturas de drenagem das caixilharias, da vedação e da integração com o desenho arquitectónico da fachada. Estas características de drenagem incluem um peitoril inclinado ou pelo menos com trilhos de drenagem longitudinais ou transversais de cada lado, e em janelas operacionais as caixilharias devem ter aberturas de drenagem de forma a permitir a saída da água infiltrada. Na escolha do tipo de envidraçado, este pode ser do tipo húmido (*wet*) ou seco (*dry*), diferenciando-se um do outro na forma como são vedados, isto é, o envidraçado húmido é vedado com silicone enquanto que o envidraçado seco é vedado com uma junta (*gasket*), como mostra o exemplo da Figura 11. É recomendado fazer uso de envidraçados húmidos para os vãos em contato com o exterior, sendo melhor e mais económico o uso dos envidraçados secos no interior do edifício [62].

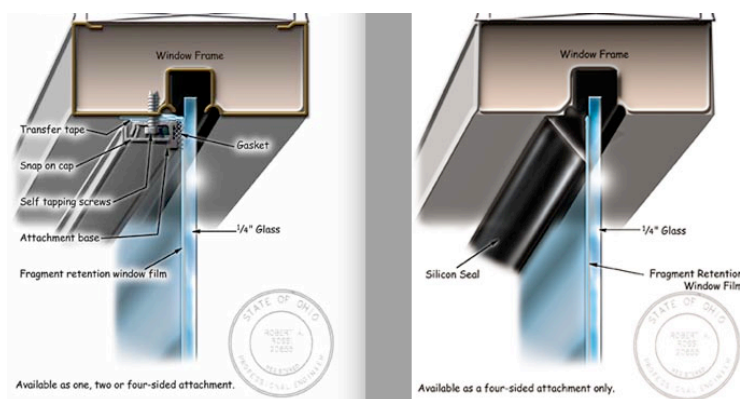


Figura 11. À esquerda, envidraçados secos. À direita, envidraçados húmidos [71].

Contudo é recomendado que o desenho dos vãos envidraçados esteja integrado com o desenho da envolvente. Assim sendo, por exemplo, os dispositivos de sombreamento horizontais podem ser aproveitados para impedir a entrada de água em certas zonas do envidraçado. Além disto os vãos envidraçados devem ser concebidos de modo a evitar as condensações. Estas ocorrem quando a temperatura da superfície interior cai abaixo da temperatura de orvalho do ar interior, logo é recomendado um sistema de envidraçados de baixos valores de U mas tendo em atenção os ganhos térmicos de forma a manter a superfície interior do vidro a uma temperatura adequada [62].

No que diz respeito às caixilharias dos vãos as mais usadas atualmente são as de alumínio, embora por questões de desempenho energético em edifícios de habitação as caixilharias de madeira e, em alguns casos de fibra de vidro e PVC, têm melhor desempenho. Na escolha das caixilharias alguns aspetos importantes têm de se ter em conta, entre eles a condutividade e transferência térmica do sistema (material mais isolamento), as aberturas de drenagem às águas da chuva como já referido anteriormente e a sua vedação.

As caixilharias de alumínio e PVC têm vantagens muito semelhantes. As de alumínio conseguem muito bom desempenho a nível do isolamento, isto quando pelo menos estão associadas a um vidro duplo.

No mercado as caixilharias de alumínio podem ser *tradicionais*, as quais se recomendam em utilizações no interior, e as de *corte térmico* com custo mais elevado e recomendadas para serem usadas em fachadas.

As caixilharias de PVC possuem um excelente coeficiente de isolamento térmico e quando associadas a, pelo menos, vidros duplos proporcionam uma alta resistência a ventos, chuva, calor e ruídos. Como mostra a Figura 12, as caixilharias de PVC tem menor nível de condutividade térmica que o alumínio.



Figura 12. PVC vs. Alumínio em termos de condutividade térmica [72].

É importante referir que se no projeto é considerada a avaliação de ciclo de vida (ver subcapítulo 2.2.1.1), o consumo energético para atingir a fase final do produto bruto é mais elevado para o alumínio (45,56 kWh/kg) do que para o PVC (7,19 kWh/kg) [73], podendo ser este então um fator importante para a equipa de projeto na escolha do tipo de caixilharia, não esquecendo no entanto que o alumínio é “infinitamente” reciclável.

Como já referido, ambos os tipos de caixilharia têm vantagens muito semelhantes, mas a nível de custos as caixilharias de PVC, por norma, são mais económicas.

3.2.3.4. Dispositivos de sombreamento e de controlo da iluminação solar

O correto dimensionamento e posicionamento dos dispositivos de sombreamento e de controlo de iluminação solar é um elemento chave no caminho dos NZEB, pois podem melhorar a qualidade da iluminação natural e do conforto visual, assim como também ajudam a reduzir o sobreaquecimento produzido pelos ganhos solares excessivos na estação de arrefecimento no interior dos edifícios.

Como já referido anteriormente no subcapítulo 3.1, este sombreamento pode ser feito de forma natural aproveitando a vegetação que rodeia o edifício, principalmente para reduzir a incidência solar nas fachadas este e oeste [17]. O sombreamento também pode ser feito através de dispositivos verticais (*Overhangs*) projetados em conjunto com a envolvente do edifício podendo ser fixos ou retrácteis (manuais ou automáticos) [17] [74].

Estes dispositivos também podem funcionar como refletores de forma a que a iluminação natural atinja maior profundidade no interior do edifícios [74].

Os dispositivos de sombreamento fixos devem ser calculados e desenhados para cada fachada (segundo a sua orientação) não só segundo a dimensão dos vãos envidraçados, mas também segundo a orientação solar ao longo do ano do local de implantação dos edifícios.

Como regra geral, recomenda-se dimensionar os dispositivos fixos para que estes não ofereçam sombreamento excessivo nos meses de inverno (tomando como referencia o 21 de dezembro) e ofereçam um sombreamento de 50% a 100% nos meses quentes (tendo como referencia o 21 de junho) segundo as necessidades térmicas das divisões, como indica a título de exemplo a Figura 13 [17].

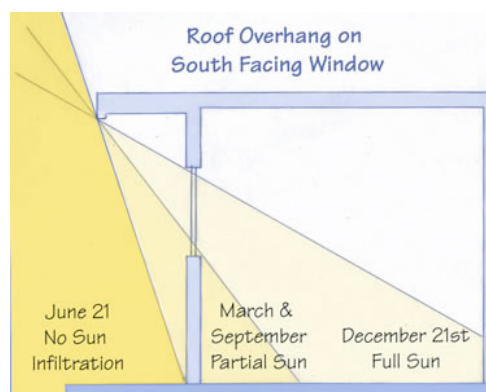


Figura 13. Efeito do dispositivo de sombreamento fixo ao longo do ano [75].

Para além das considerações já referidas, em [74] mostra outra série de considerações a serem tomadas de forma a atingir um máximo desempenho para o edifício através dos dispositivos de sombreamento:

- Usar dispositivos verticais fixos nos envidraçados orientados a sul de forma a controlar a radiação solar direta, sendo a indireta controlada por vidros de baixo fator de emissividade;
- Limitar a quantidade de envidraçados nas fachadas este e oeste visto estas serem mais difíceis de sombrear;
- Na fase de projeto dos dispositivos, os projetistas não devem esquecer os efeitos que estes podem ter ao nível de iluminação natural;
- Na fase de projeto dos dispositivos, os projetistas devem prever a sua duração, manutenção e reparação;
- Os projetos que contemplem custos do ciclo de vida devem ter especial atenção à manutenção dos elementos de sombreamento natural.

3.2.4. Sistemas de arrefecimento passivo do edifício

Os sistemas de arrefecimento passivo reduzem consideravelmente a necessidade de recurso a sistemas de climatização. As estratégias solares para além das vantagens já apresentadas também podem dar origem a processos de dissipação de calor que colaboram na redução das necessidades de arrefecimento e melhoram as condições de conforto térmico [76].

As estratégias que permitem a dissipação do calor são designadas por arrefecimento passivo ou natural e a sua aplicação depende de ambientes propícios que atuam como poços de calor e diferenças de temperaturas [76].

3.2.4.1. Ventilação natural

A ventilação natural não é uma estratégia recente no que diz respeito à eficiência dos edifícios, pois muitos edifícios antigos são ventilados naturalmente ao contrário da esmagadora maioria dos edifícios recentes que atualmente dispõem de sistemas de aquecimento e arrefecimento de elevado consumo energético. Devido ao aumento dos custos e dos impactos ambientais do consumo energético por causa de ventilação artificial, a ventilação natural têm vindo a ganhar relevância e tornou-se atrativa nos projetos de edifícios energeticamente eficientes.

Se as condições climatéricas, o desenho do edifício e os sistemas da envolvente estiverem em harmonia com a ventilação natural como alternativa aos sistemas de ar condicionado, pode contribuir para uma poupança anual de cerca de 30% da energia total consumida [77].

Para poder existir ventilação natural tem de haver diferenciais de pressão nos lados opostos e nos diversos andares do edifício, de forma a que o ar fresco possa circular. Esses diferenciais de pressão são criados pela força natural do vento ou pelo efeito criado devido às diferenças de temperatura e de pressão no edifício. A ventilação vai depender do tamanho e do posicionamento das aberturas na envolvente no edifício, das aberturas entre as divisões e da forma como o edifício está desenhado no seu interior, como já supramencionado no subcapítulo 3.2.2.

Contudo, a seguir são apresentadas uma série de recomendações de projeto de forma a maximizar o aproveitamento da ventilação natural [77]:

- Maximizar a ação do vento no edifício: na fase de projeto é recomendado consultar o histórico climático da zona de implantação do edifício de forma a obter maior aproveitamento em relação à direção dos ventos predominantes, isto sem afetar a orientação a nível solar. No inverno os ventos frios predominantes normalmente vindos do norte, podem ser evitados com corta-ventos como por exemplo através das estratégias já referidas no subcapítulo 3.1;
- Se o edifício for muito largo dificulta a distribuição de ar fresco em todas as divisões, portanto recomendam-se edifícios com menor desenvolvimento transversal em planta. A bibliografia apresenta o valor máximo de 14 m para a largura, considerando o mais adequado para se obter o máximo aproveitamento da ventilação;
- Sempre que possível, cada divisão deve ter aberturas de entrada e exaustão do ar, devendo os exaustores ser colocados em zonas mais elevadas. Deve-se maximizar a orientação das janelas e minimizar as eventuais obstruções dentro da divisão;

- Sempre que possível, dotar o edifício de lanternim, que deve estar livres de obstruções que possam impedir o ar de fluir livremente para fora do edifício;
- Se possível as portas interiores devem ser concebidas de modo a poderem permanecer abertas para permitirem a passagem de ar pelo edifício. Caso a privacidade seja requerida, a passagem de ar pode ser garantida através de aberturas na própria porta ou por cima dela;
- Se o projeto do edifício prevê um sótão, a ventilação natural deve ser prevista para esta divisão, pois ao ser ventilado, reduzem-se as transferências de calor relativamente aos andares adjacentes;
- Caso os níveis de ventilação natural não possam ser atingidos, pode-se recorrer ao uso de sistemas de ventilação mecânicas.

3.2.4.2. Arrefecimento por radiação

Os sistemas passivos baseados nesta estratégia utilizam geralmente a cobertura dos edifícios como elemento radiativo pelo simples facto de estar mais exposto à radiação solar, sendo mais privilegiadas as coberturas planas [76].

Caso a equipa de projeto pretenda optar por este tipo de arrefecimento devem utilizar um tipo de isolamento térmico para tal fim, isto porque a envolvente exterior estará provida de isolamentos que permitem minimizar as perdas de calor no inverno e os ganhos no verão. Logo é recomendado o uso de isolantes amovíveis que só são ativados durante o período diurno de forma a minimizar os ganhos de calor, permitindo as perdas noturnas (logo o arrefecimento) [76].

É importante referir que este tipo de arrefecimento tem aproveitamento máximo quando aplicado a habitações de um único andar. Caso pretenda ser usado em edifícios maiores, tem que se ter em atenção as necessidades térmicas das diferentes divisões.

3.2.4.3. Arrefecimento pelo solo

No período do verão, o solo quando apresente temperaturas inferiores às do interior do edifício pode funcionar como uma fonte de dissipação de calor quer de forma direta ou indireta. Através do contato direto, este constitui a extensão da própria envolvente do edifício enquanto na situação de arrefecimento por contato indireto com o solo, o interior do edifício está associado a tubagem subterrânea colocadas a uma profundidade que pode variar de 1 a 3 m. O desempenho do sistema indireto depende das dimensões das condutas, da temperatura

do solo à profundidade onde estas se encontram, da temperatura e velocidade do ar que circula no seu interior e é claro das propriedades térmicas das condutas [12] [76].

O material das condutas é um aspeto importante para o sucesso desta estratégia. Assim sendo, é recomendado o uso de um material que tenha grande condutibilidade térmica promovendo assim as trocas térmicas entre o ar e o solo [12]. A equipa de projeto pode optar por condutas de betão como meio de transferência visto estas cumprirem os requisitos.

A Figura 14 exemplifica o funcionamento das estratégias passivas de arrefecimento.

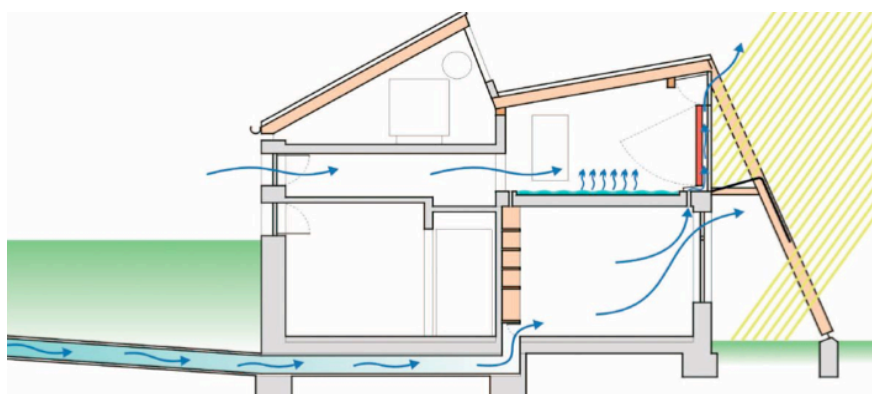


Figura 14. Exemplo de arrefecimento [34].

3.2.5. Envoltente do edifício

O primeiro passo para se atingirem edifícios com necessidades nulas ou quase nulas de energia é maximizar a eficiência energética da envolvente exterior, sendo desenhadas especificamente com a finalidade de reduzir ao máximo o consumo de energia sem afectar o conforto interno dos ocupantes [59].

A envolvente exterior condiciona a quantidade de energia necessária para ventilar, aquecer e arrefecer um edifício. Pode assim ser considerado o aspeto mais crítico na concepção dos edifícios de emissão quase zero, com ênfase nas características térmicas, de iluminação e acústicas. É claro que o balanço económico entre a envolvente do edifício e os seus níveis de desempenho é de grande importância se se pretender atingir um projeto efetivo em termos de custos, isto porque a envolvente exterior representa uma percentagem substancial do custo total do edifício, aproximadamente 20%. Os elementos a ter em atenção na envolvente exterior são as paredes exteriores, vãos envidraçados, cobertura, pavimentos (quando em contacto com o exterior) e com o solo e as pontes térmicas [20] [24] [78].

Sempre que possível, cada elemento e sistema da envolvente deve ser projetado e instalado por especialistas, sem esquecer a correlação funcional entre eles [78].

Antes de avançar com os aspetos da envolvente que estão acima do solo, convém referir que as áreas da envolvente dos pisos em contato com o solo geralmente usadas para arrumos, estacionamento, zonas técnicas, entre outros, apresentam pior desempenho térmico, já que a sua envolvente é considerada como uma envolvente interna entre em espaço aquecido e outro não aquecido e, estando em contato com o solo há transferência das temperaturas inferiores a que se encontra para o interior dessas divisões. Torna-se então importante tratar com algum cuidado os elementos que formam essas áreas, representados na Figura 15:

- Paredes das fundações (*Foundation wall*);
- Lajes em contato com o solo (*Floor slab*);
- Túneis, abobadas, caves.

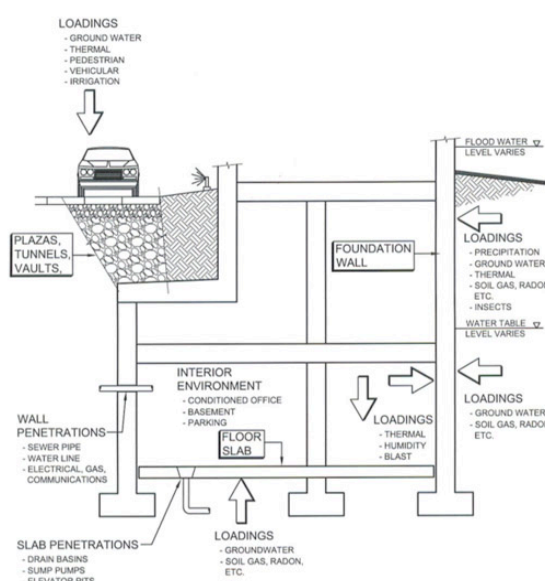


Figura 15. Esquema dos espaços subterrâneos do edifício [79].

3.2.5.1. Envolvente exterior e isolamentos térmicos

A transmissão de calor por condução através da envolvente dos edifícios, é um fenómeno que muito influencia o seu comportamento térmico. Para minimizar estes efeitos em ambas as estações, deve aumentar-se a resistência térmica dos elementos construtivos, que se pode conseguir [80]:

- No caso da envolvente opaca (paredes, coberturas e pavimentos), através da incorporação de materiais isolantes, de que são exemplo a cortiça, o poliestireno expandido, o poliuretano e as lãs minerais;
- No caso da envolvente envidraçada, através da seleção de janelas cujo conjunto vidro/caixilho/persiana, apresente valores de resistência térmica mais elevados, por exemplo, vidros duplos;

- Nos edifícios as perdas e os ganhos de calor pela cobertura assumem por vezes um papel particularmente importante, nomeadamente nos casos em que aquele elemento construtivo possui uma percentagem de área elevada relativamente aos restantes elementos construtivos.

Ao dimensionar a envolvente exterior não se pode exceder os limites máximos do coeficiente de transmissão térmica U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) impostos pelo RCCTE segundo a zona climática [81], pelo que a escolha e o correto dimensionamento do isolante térmico são os fatores essenciais para melhorar a eficiência energética do edifício [82].

As espessuras dos elementos opacos variam segundo o sistema construtivo escolhido, tendo este quer ser dimensionado de forma a atingir a melhor relação entre a espessura do ou dos panos de alvenaria e a espessura do isolamento. Na correção de pontes térmicas, a aplicação adequada de isolamento pelo exterior é uma medida eficaz. No entanto esta solução deve sempre ser objeto de uma execução cuidada visto existir o risco de o isolamento ficar indevidamente fixado e perder capacidade de aderência, podendo levar à fendilhação dos revestimentos e mesmo ao destacamento de elementos de revestimento e isolamento.

O sistema de isolamento térmico pelo exterior apresenta algumas vantagens:

- Redução das pontes térmicas;
- Aumenta a inércia térmica interior dos edifícios;
- Pode contribuir à diminuição da espessura das paredes exteriores, reduzindo assim o peso da envolvente e contribuindo para uma diminuição de cargas permanentes da estrutura;
- Diminui o gradiente de temperatura a que são sujeitas as camadas interiores das paredes;
- Aumenta a proteção da envolvente contra agentes atmosféricos.

O isolamento pelo interior também pode contribuir para a correção das pontes não sendo porém tão eficiente como o isolamento pelo exterior, e deve ter em consideração os seguintes aspetos [81]:

- Aderência do isolante ao suporte;
- Aderência do reboco, estuques e painéis de revestimento ao isolante;
- Resistência mecânica do revestimento de proteção;
- Risco de fendilhação dos revestimentos fabricados *in situ*;
- Compatibilização com aspetos arquitectónicos;
- Tratamentos de zonas de transição e de ligação entre outros elementos construtivos.

Quando se opta por paredes duplas com isolamento na caixa-de-ar, tem de ter em atenção a continuidade do isolamento térmico na zona de pontes térmicas planas. Na Figura 16 apresentam-se algumas soluções de correção de pontes térmicas planas [81].

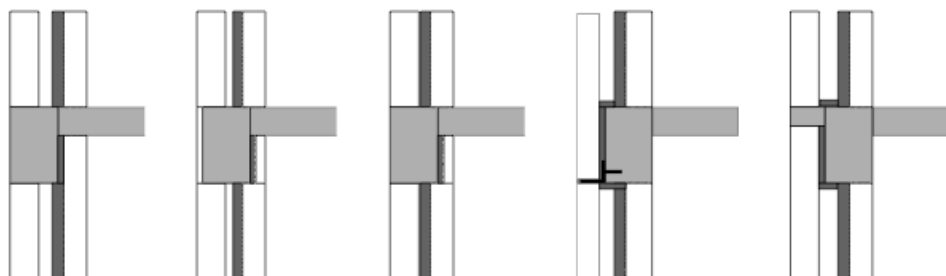


Figura 16. Exemplos esquemáticos de paredes duplas com correção de pontes térmicas planas [81].

Ao nível do pavimento em contato com o solo, o RCCTE [112] recomenda a aplicação de isolamento pelo menos na periferia do pavimento numa extensão de 1 m. Pode ser aplicado pelo exterior de forma a corrigir as pontes térmicas. Na cobertura, os valores recomendados de espessura de isolamento variam conforme o sistema de isolamento aplicado, dependendo das exigências e características do tipo de projeto em causa.

A escolha de diferentes espessuras de isolamento térmico entre as coberturas, pavimentos e paredes minimiza as perdas térmicas do edifício na estação de aquecimento. O isolamento, quando aplicado pelo exterior, aumenta a sua eficiência uma vez que no inverno a massa inercial é mantida no interior do edifício mantendo-o aquecido e, no verão, constitui uma primeira barreira à entrada do calor exterior [57].

Ter um isolante bem dimensionado e bem utilizado quer em coberturas, paredes ou pavimentos traduz-se em coeficientes de transmissão térmica mais baixos contribuindo para proteger os elementos construtivos face às variações de temperatura [76]. Na Tabela 9 apresenta-se uma análise comparativa entre alguns dos materiais de isolamento existentes no mercado.

Tabela 9. Propriedades específicas para 5 cm de materiais de isolamento térmico [83].

Tipo de isolante		Coef. De transferência de calor (W/m ² °C)	Peso específico (Kg/m ²)	Energia incorporada (kWh/m ²)
Lã de Rocha	20 a 35 Kg/m ²	0,00225	1,40	22
	35 a 180 Kg/m ²	0,00200	5,40	86
Lã de Vidro	8 a 12 Kg/m ²	0,00225	0,50	9
	12 a 80 Kg/m ²	0,00200	2,30	41

Tabela 9. Propriedades específicas para 5 cm de materiais de isolamento térmico (cont.)

Tipo de isolante	Coef. De transferência de calor (W/m ² °C)	Peso específico (Kg/m ²)	Energia incorporada (kWh/m ²)
Aglomerado negro de cortiça	0,00225	6,30	25
Poliestireno expandido	0,00200	1,30	140
Poliestireno expandido extrudido	0,00175	1,60	163
Espuma de poliuretano	0,00150	1,80	123

3.2.5.2. Paredes da envolvente interior

As paredes de separação entre espaços úteis e espaços não úteis devem cumprir os limites máximos de coeficiente de transmissão térmica U (W/m².°C) impostos pelo RCCTE segundo a zona climática, dependendo à respetiva exigência de isolamento da temperatura convencional do local não-aquecido, isto é, o fator τ [81].

Segundo o investigador Carlos Pina Santos [81], “*face aos valores que o coeficiente τ pode assumir nas situações mais habituais, pode concluir-se que as paredes simples de alvenaria de tijolo furado ou de blocos furados de betão leve com espessura igual ou superior a 0,20 m, permitem satisfazer os coeficientes de transmissão térmica da envolvente, em qualquer zona climática (e mesmo nas situações em que $\tau > 0,7$), aos requisitos mínimos aplicáveis ao respectivo coeficiente de transmissão térmica superficial (U). Haverá, no entanto, que tratar as eventuais pontes térmicas planas (pilares e talões de vigas, couretes) que terão também de satisfazer ao valor máximo exigido para o valor de U . Nestes pontos singulares as soluções terão de passar, quer pelo revestimento das pontes térmicas com materiais isolantes (devidamente revestidos) quer pelo desalinhamento daqueles elementos estruturais em relação ao plano da parede.*”

3.2.5.3. Phase Change Materials (PCM)

Uma outra solução para melhorar a eficiência energética da envolvente exterior, é a aplicação de materiais de mudança de fase (*Phase Change Materials, PCM*). Estes materiais introduziram uma nova forma de reduzir as necessidades de aquecimento e arrefecimento dos edifícios devida à sua efetiva capacidade de armazenar e libertar energia térmica: sob o efeito da temperatura o material muda da fase sólida à fase líquida absorvendo o calor para depois, quando a temperatura desce, arrefecer e passar da fase líquida à fase sólida libertando o calor absorvido. Embora não sendo um novo conceito, o interesse por estes materiais tem vindo a

crescer devido ao seu potencial térmico, tendo como pontos negativos o seu custo ainda elevado e o seu fraco desempenho conforme aumenta a espessuras das paredes.

Estes materiais têm sido incorporados em materiais e elementos construtivos, alguns dos quais se referem de seguida:

- Tijolos de alvenaria cerâmica com aplicação de PCM no seu interior de forma a incrementar a sua massa térmica e manter um fluxo de temperatura mais uniforme na fase interna da parede. A impregnação de PCM nos blocos de betão pode incrementar a sua capacidade de armazenamento térmico até valores próximos dos 300% [84] [85];
- Os *PCM* também podem ser usados em vãos envidraçados de forma a diminuírem os ganhos solares excessivos, através da colocação de painéis planos impregnados com PCM aplicados num plano por trás dos envidraçados (ou também aplicados entre os panos de vidro), orientados a sul, podendo ser virado, quer manual quer automaticamente, segundo o melhor ângulo para absorver calor nos meses de inverno. Estes painéis têm a capacidade de receber luz solar e de se ver perfeitamente através deles. O funcionamento destes sistemas consiste em aquecer durante o dia o espaço de ar entre o vidro e o painel ativando as propriedades do PCM. Uma vez o ar estar aquecido sobe por esse espaço e entra na divisão, funcionando como uma parede de Trombe. Ainda ao nível de envidraçados, podem ser usados pelo interior sistemas de sombreamento impregnados com partículas de PCM [84] [86] [87];
- Os PCM também estão a ser aplicados em placas de reboco designadas por *Phase Change Drywalls (PCD)*. Durante o dia acumulam o calor ao passarem à fase líquida as microesferas de PCM incrustadas nas placas, para no período noturno libertarem calor enquanto solidificam. Estas placas de reboco são uma excelente opção devido a armazenarem até 5 vezes mais calor que uma parede convencional de betão ou alvenaria de tijolo. Por exemplo, uma *PCD* com uma espessura de 1,5 cm acumula e libera tanta energia como uma parede de 12 cm de tijolo ou uma de 9 cm de betão [87].

3.2.5.4. Paredes de Trombe

Este é um sistema composto por um vão devidamente orientado em cujo interior se coloca uma parede maciça cuja espessura pode variar entre os 0,10 a 0,30 m. A superfície da parede é geralmente pintada em cor escura para assegurar maior captação de radiação solar (ou pode estar funcionando em conjunto com um sistema de PCM, como explicado no subcapítulo 5.2.5.3, para maior absorção de calor e libertação posterior do mesmo). A utilização deste

conjunto cria assim um sistema no qual predomina o efeito estufa com temperaturas entre os 30° e os 60° C no espaço entre o vidro e a parede de armazenamento. Se se optar por esta solução, as divisões adjacentes a estes sistemas serão aquecidas através da energia incidente, transferida para o interior do espaço aproveitando a convecção natural entre o espaço interior e o espaço do sistema, como indicado na Figura 17 [88].

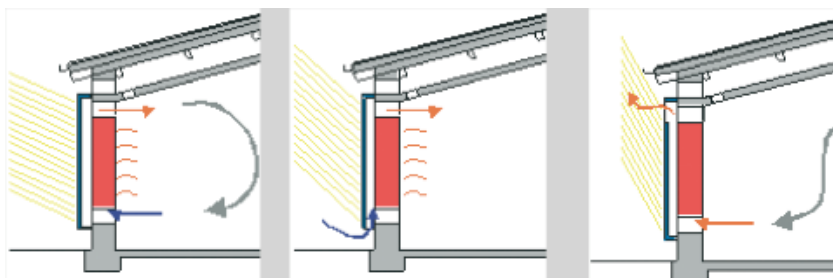


Figura 17. Funcionamento da parede de trombe (Inverno/Outono e Primavera/Verão) [88].

3.3. Fornecimento e produção de energias renováveis

Ao longo das últimas décadas tem-se verificado um aumento contínuo do consumo de energia. Com a consciência de que este não pode continuar a ser o caminho, não só porque as reservas dos combustíveis fósseis são limitadas mas também pelo seu brutal impacto ambiental, tornou-se urgente a utilização de estratégias de produção de energia alternativas, com recurso a energias renováveis, tendo recentemente surgido requisitos que vão obrigar à conceção de NZEB.

Na conceção dos NZEB tem de se dar sempre prioridade, quando possível, às energias geradas no local, energias *On-Site*. Depois, caso seja necessário, é que se deve recorrer ao fornecimento de energia proveniente de fora do local, desde que a origem desta seja renovável, caso da chamada energia *Off-Site*.

Assim sendo, as tecnologias que podem ser usadas *On-Site* para gerar energia renovável capaz de satisfazer as necessidades do edifício são [12]:

- Coletores Solares Térmicos (CST), usados para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e aquecimento;
- Módulos fotovoltaicos, para a produção de energia elétrica;
- Pequenas turbinas eólicas, para a produção de energia elétrica.

O aproveitamento das energias renováveis consiste em:

3.3.1. Energia solar

A energia solar pode ser considerada como a fonte de energia renovável mais atraente, devido ao facto da quantidade de energia disponível para conversão ser equivalente a algumas vezes o atual consumo energético mundial, além das suas características não poluentes.

A energia solar para além de proporcionar adequada iluminação diurna quando bem aproveitada (ver subcapítulo 3.2.3.2) e contribuir como já referido anteriormente para melhorar o desempenho térmico dos edifícios, pode ser aproveitada para a geração de energia através da instalação de painéis fotovoltaicos e para a produção de águas quentes, mediante coletores solares térmicos, quer para fins sanitários quer para fins de climatização.

3.3.1.1. Energia solar térmica

Um sistema dimensionado adequadamente segundo as necessidades do projeto pode chegar a representar poupanças de até 75% da energia necessária para o aquecimento de águas comparado com sistemas habituais.

Segundo as especificações desejadas pela equipa de projeto, estas devem ter especial atenção ao dimensionamento dos elementos que conformam o sistema solar térmico (SST): a área dos coletores solares, a dimensão dos depósitos principais e dos coletores auxiliares quando necessários, os permutadores de calor, tubagens, bombas circuladoras e vasos de expansão, conforme indica a Figura 18.



Figura 18. Componentes de um sistema solar térmico [58].

Pode-se escolher o tipo de SST que mais se adegue ao projeto, isto é, podem ser sistemas de circulação natural (termossifão) ou de circulação forçada, como mostra a Figura 19. Os SST de circulação em termossifão são os mais aconselháveis para moradias, mas esta escolha

depen­derá da carga ener­gética a satisfazer e do espaço disponível para a colocação dos equipamentos [58].



Figura 19. Esquema de utilização dos SST [58].

A Tabela 10 mostra uma comparação entre as vantagens e desvantagens de cada um destes sistemas solares térmicos.

Tabela 10. Vantagens e desvantagens dos tipos de SST [58].

SST	Vantagens	Desvantagens
<i>Termossifão</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Não tem equipamentos elétricos; • Menores riscos de fiabilidade; • Maior simplicidade de instalação e menores custos iniciais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta sensibilidade a perdas de carga; • Coletores operam com menor rendimento devido ao caudal ser regulado pela radiação incidente; • Maiores perdas térmicas e menor durabilidade do acumulador (sujeito às condições climáticas); • Impacto estético negativo.
<i>Circulação forçada</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidade na instalação do circuito primário (médias e grandes instalações); • Possibilidade de regulação de caudal; • Estratificação térmica do acumulador; • Facilita integração arquitectónica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumos elétricos associados apesar de pouco significativos; • Maior complexidade de instalação.

Os SST segundo as exigências e necessidades do projeto podem ocupar uma área considerável, calculadas segundo as exigências estabelecidas no RCCTE. Os painéis são normalmente fixados nas coberturas, mas também podem estar integrados no telhado ou eventualmente fixados na fachada, como indica a Figura 20.

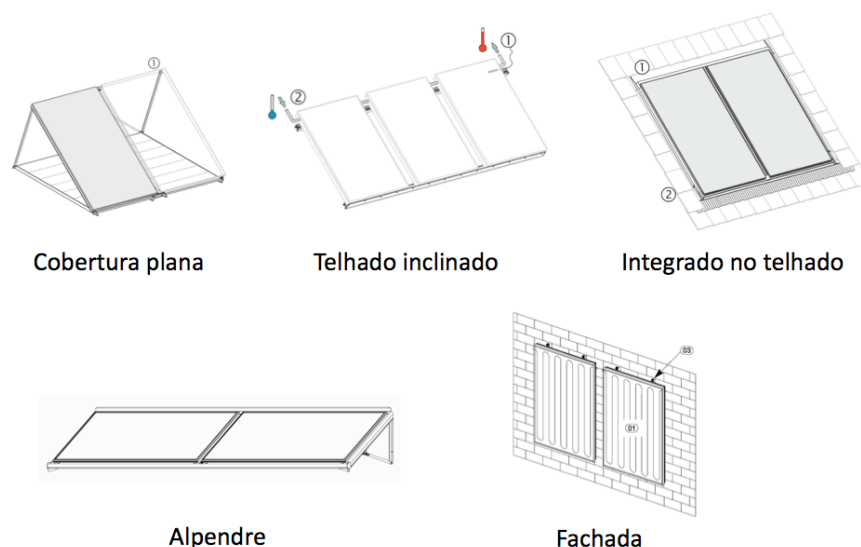


Figura 20. Exemplos de fixação dos coletores [58].

Segundo as medidas já referidas no subcapítulo 3.1 que dizem respeito à envolvente natural do edifício, há que ter em atenção que algumas dessas medidas não afetam o desempenho dos coletores solares térmicos. Para tal é recomendado que o local de fixação dos coletores não sejam sombreados durante o período que se inicia duas horas depois do nascer do Sol e duas horas antes do pôr do Sol ou que não existam obstruções com altura superior a 20° relativamente aos coletores [89].

No que diz respeito à orientação dos coletores solares térmicos, a mais adequada para maximizar a captação da radiação solar é a relativa ao sul geográfico, isto é, 4° à esquerda do sul magnético. Caso seja pretendido aproveitar a radiação solar em coberturas que estejam orientadas numa direção este-oeste é recomendado um desvio do coletor em direção a poente, isto porque em direção a nascente, a temperatura ambiente é mais baixa e existe sempre a possibilidade de eventuais neblinas matinais que afetam o desempenho dos coletores [58].

A inclinação para a sua instalação também é um aspeto importante a considerar, pois a energia captada é maximizada quando o coletor se encontra na perpendicular em relação à incidência solar. Como a altura do Sol varia ao longo do ano, recomenda-se a escolha de inclinações segundo a época de utilização (como indicado na Figura 21) e a latitude. Em Portugal a latitude média ronda os 40° .

Estes sistemas podem ser combinados com outros sistemas de forma a efetuar o aquecimento ou arrefecimento do ambiente interior do edifício. No aquecimento interior e na produção de águas quentes podem ser auxiliados pelo uso de caldeiras alimentadas por *pellets* (ver subcapítulo 2.4.3, energia biomassa) ou gás.

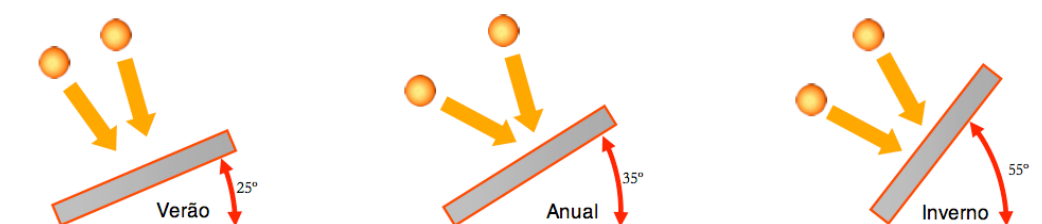


Figura 21. Inclinação dos CST segundo a trajetória anual do Sol [58].

Outra combinação de sistemas a considerar, quer para os SST quer para as referidas caldeiras, é o uso de um sistema central de aquecimento através do chamado piso radiante. É uma estratégia de aquecimento e de arrefecimento (quando combinado com uma bomba de calor reversível) amplamente eficaz, capaz de cobrir completamente as necessidades de aquecimento de qualquer edifício, oferecendo um conforto ideal resultante de uma distribuição completamente homogênea do calor [90].

Uma das vantagens do uso dos pisos radiantes é, quando dimensionados em consideração com as diferentes utilizações das divisões, a climatização de cada divisão poder ser adaptada às necessidades dos ocupantes. “É um sistema de baixa temperatura no qual a água (entre os 30°C e os 40°C) circula pela rede de tubos para conseguir uma temperatura no chão entre os 22 e os 27 graus. Deste jeito, é possível conseguir uma temperatura ambiente de conforto dois graus inferior à conseguida com o aquecimento tradicional, o que quer significar uma poupança no consumo médio de energia do 15%” [91], isto na estação de aquecimento já que no inverno a água que circula através dos tubos circula a uma temperatura aproximada aos 17°C [90].

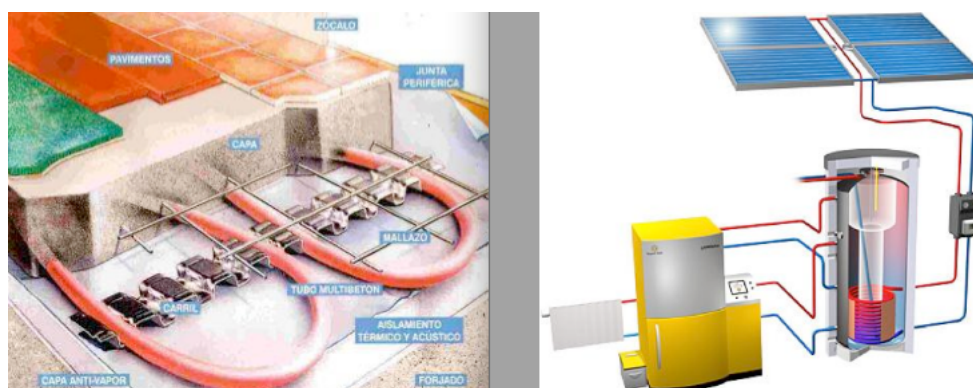


Figura 22. SST em apoio ao aquecimento e arrefecimento mediante colaboração com o piso radiante. Esquema construtivo de um piso radiante [58].

Quando se opte pela inclusão deste sistema num projeto, é recomendado prever a instalação em cada divisão de controladores individuais do sistema em conjunto com sensores de temperatura externa e interna de forma a precisar e regular o consumo e uso da água quente.

3.3.1.2. Energia fotovoltaica

Os sistemas de energia solar, mediante painéis fotovoltaicos, têm a capacidade de capturar energia térmica e transformá-la em eletricidade através das suas células fotovoltaicas. Esta energia elétrica alimenta diretamente o edifício ou é exportada (vendida ou compartilhada) à rede no caso da produção de energia exceder as necessidades do edifício. Esta tecnologia, ainda é uma tecnologia cara, mas no período de 2006/2010 os custos de instalação de painéis fotovoltaicos caiu aproximadamente de 30 a 40%. A aplicação destes painéis é geralmente efetuada em coberturas, embora atualmente já se adote também o uso deste sistema nas fachadas [2] [3] [30] [31] [32] [33].

São sistemas que convertem diretamente a potência associada à energia solar em energia elétrica. A projeção de uma instalação fotovoltaica tem de incluir algumas medidas que garantam o perfeito funcionamento dos módulos protegendo os seus elementos básicos. Entre eles [92]:

- Módulos fotovoltaicos. Captam a radiação solar e a transformam em energia elétrica através de células semicondutoras;
- Baterias. Servem para armazenar a energia e as suas capacidades de armazenamento que deve ser calculada segundo as necessidades previstas;
- Regulador de carga. Impede a sobrecarga das baterias;
- Inversores de corrente. Adaptam a corrente gerada à exigida pelos equipamentos da habitação.

Estes elementos são um aspeto importante na escolha dos painéis fotovoltaicos. Os módulos fotovoltaicos de maior rendimento, com valores aproximados a 90%, são os de Silício monocristalino, embora nos aspetos de avaliação de ciclo de vida (ACV, subcapítulo 2.2.1.1) exigem uma grande quantidade de energia no seu fabrico. Quanto menor for o rendimento dos módulos, menor a sua capacidade de absorção de radiação solar e maior terá de ser a área coletora necessária para obter a potência necessária [93].

A equipa de projeto terá de decidir se este terá integração à rede nacional (compra e venda de energia produzida de energias renováveis) ou se a energia necessária será produzida na totalidade no local de implantação do edifício. Esta é uma questão na qual a sua decisão é

crítica para todo o desempenho do sistema fotovoltaico, visto terem de escolher se o sistema produzirá energia para vender ou eventualmente para armazenar.

Assim sendo, os projetistas terão de escolher qual será o tipo de sistema fotovoltaico a usar no projeto. Alguns sistemas são autónomos produzindo eletricidade para consumo e armazenamento (*Off-Grid*) e outros sistemas estão ligados à rede (*On-Grid*) debitando nela a eletricidade que produzem e adquirindo aquela que necessitam. Estes últimos englobam os sistemas distribuídos, os sistemas de microgeração e os de macrogeração (grandes centrais fotovoltaicas) [94].

Os sistemas podem ser do *tipo isolado* com ou sem armazenamento de energia, ou podem ser do *tipo interligados*, isto é, podem estar ligados diretamente à rede pública, onde toda a energia produzida é vendida, sendo depois comprada a necessária, ou podem estar ligados à rede pública através da rede doméstica, onde a produção é para auto-consumo com venda do excesso de eletricidade [93].

Há essencialmente três tipos de desenho dos sistemas [95]:

- O sistema está conectado à rede e não tem baterias para um armazenamento extra de eletricidade;
- O sistema está conectado à rede e tem armazenamento de eletricidade em baterias para apoio em caso de eventuais emergências;
- O sistema não está ligado à rede e usa a energia produzida pelos fotovoltaicos e armazenada nas baterias fornecendo ao edifício toda a energia necessária.

Atualmente os sistemas fotovoltaicos mais usados são os ligados à rede sem baterias de armazenamento e, com módulos fotovoltaicos de silício cristalino. Nos últimos anos a tecnologia fotovoltaica tem vindo a desenvolver novos materiais que não precisem de grandes quantidades de energia para o seu fabrico. Em Portugal temos o exemplo do campo fotovoltaico de Mazouco, conselho de Freixo de Espada à Cinta, a qual utiliza células de película fina na vez de silício cristalino. As células de películas finas respondem à redução do consumo de silício cristalino (e da sua enorme necessidade energética para fabrico), embora apresente eficiências energéticas mais baixas que as do silício cristalino rondando os 6% a 8%. São frequentemente usadas nos painéis fotovoltaicos já integrados nos edifícios (em inglês *Building Integrated Photovoltaic – BIPV*) devido a sua relativa flexibilidade. Uma nova geração de películas finas, ainda em fase de testes, explora o aproveitamento de todo o espectro solar através das nanotecnologias [93] [94] [95].

Em Portugal o Decreto-Lei que impõe as condições, limites e remunerações relacionadas com a microgeração é o DL nº 363/2007, de 2 de novembro [96]. As aplicações fotovoltaicas dos

edifícios tem de respeitar estas condições e limitações. Independentemente do sistema fotovoltaico que se escolha para o projeto, a envolvente natural é significativa visto que é importante que os painéis fotovoltaicos não sejam sombreados ao longo do dia e tenham poucas obstruções, pelo menos garantindo incidência direta do sol entre as 9:00 horas e as 15:00 horas no solstício de inverno [95].

No que diz respeito aos tipos de montagem dos sistemas fotovoltaicos, a prática mais comum é a instalação na cobertura, mas recentemente tem vindo a ser prática crescente a integração dos painéis fotovoltaicos nas fachadas do edifício (Figura 23), e o uso de sistemas concentradores móveis seguidores solares. Este último tem vindo a ganhar popularidade nos últimos anos em Portugal.

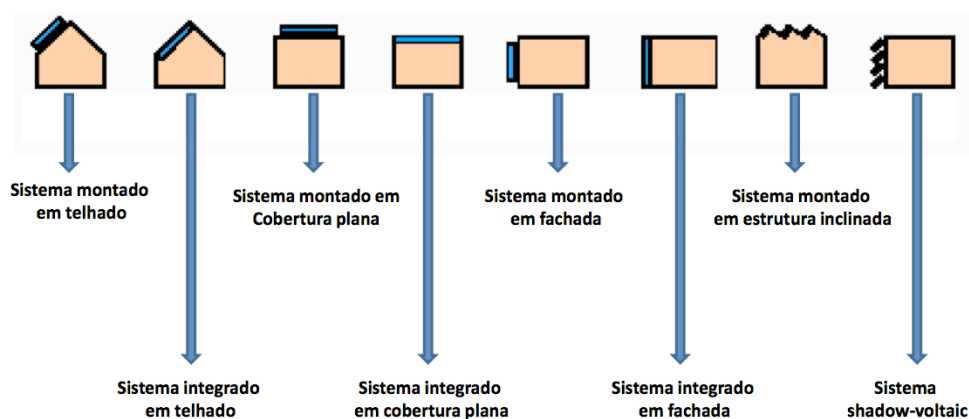


Figura 23. Tipos de montagem dos sistemas fotovoltaicos [93].

Como já referido no subcapítulo 3.2.3.4, que diz respeito aos dispositivos de sombreamento, os painéis fotovoltaicos podem ser aproveitados para tal função, conhecido em inglês como *Shadow-Voltaic technologies*.

Sempre que o projeto inclua a instalação de painéis fotovoltaicos na cobertura ou na fachada, os projetistas devem de ter especial cuidado ao considerar o peso dos painéis no seu dimensionamento (tendo valores próximos dos 10kg/m^2 [97]), visto que estes, segundo as necessidades do edifício, podem cobrir uma grande área quer da cobertura quer da fachada.

As tecnologias fotovoltaicas já integradas na envolvente do edifício (BIPV), quer na cobertura quer nas fachadas, têm um custo inicial maior que os painéis fotovoltaicos convencionais mas têm maior durabilidade e servem como um elemento adicional na proteção climatérica da envolvente, e ao substituírem elementos tradicionais o custo inicial dos BIPV é amortizado [98].



Figura 24. Fachada sul do Edifício Solar XXI com sistemas fotovoltaicos integrados na fachada [57].

Tendo como referencia o Edifício Solar XXI, quando os BIPV estão aplicados na fachada do edificio estes podem funcionar como uma opção de aproveitamento térmico. Na fachada orientada a sul estes sistemas BIPV podem ser projetados de forma a aproveitar o calor gerado na parte interior dos módulos fotovoltaicos no inverno e assim contribuir para o aquecimento do ar, como indica a Figura 25 [34] [57].

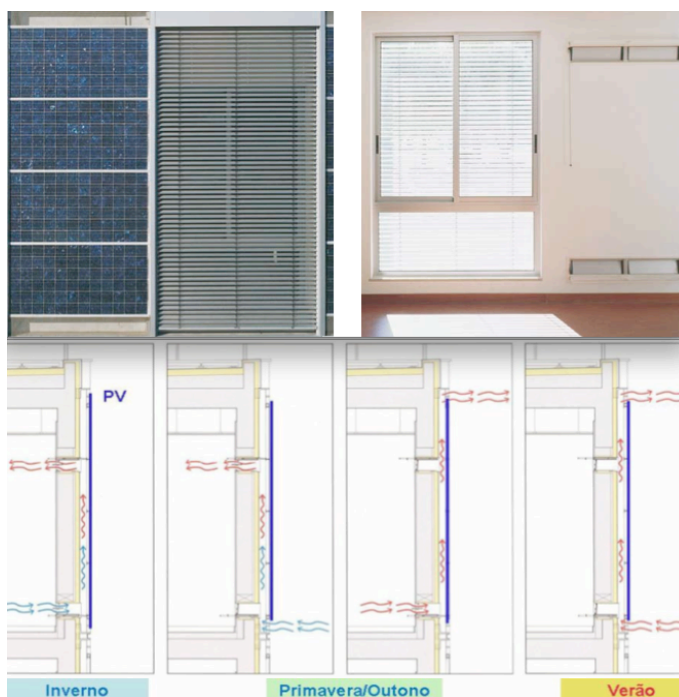


Figura 25. Aproveitamento térmico do sistema fotovoltaico nas diferentes estações do ano. Aspeto interior e exterior [34] [57].

Outra opção de instalação fotovoltaica são os já mencionados sistemas concentradores móveis seguidores solares. Estes têm vindo a ganhar grande popularidade em Portugal e permitem elevar até 35% a produção de energia anual através do posicionamento ótimo instantâneo do

sistema. Estes podem ser instalados de duas formas: só considerando a orientação (de 1 eixo) ou considerando a orientação e a inclinação (de 2 eixos) composto com um sistema de rastreo que permite seguir o movimento do Sol ao longo do dia, como indica a Figura 26 [93].

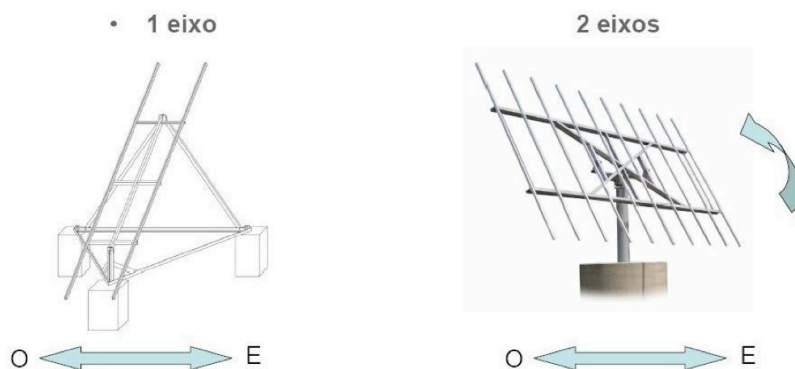


Figura 26. Sistemas concentradores móveis seguidores solares [93].

A orientação e inclinação têm um papel muito importante na produção da energia. Os sistemas fotovoltaicos para tirar o maior proveito da radiação solar devem estar desenhados e instalados de forma a respeitar um azimute dentro dos 45° com o sul e com uma inclinação que pelo menos iguale a latitude do local de implantação do edifício. Mas sempre que possível é recomendado uma inclinação ótima para os painéis fixos ao longo do ano. Quando o sistema estiver ligado à rede a inclinação recomendada é 5° menos que a latitude do local. Já para os sistemas isolados é recomendada uma inclinação com mais 15° da latitude do local de forma a dar prioridade ao inverno [93] [94] [95].

3.3.2. Energia eólica

A integração da energia eólica pode efetuar-se através de sistemas de micro e mini-eólicas, com potência que variam entre 1kW e os 50 kW [34].

O aproveitamento da energia eólica no edifício não é uma prática comum e não é frequentemente uma estratégia viável devido aos elevados custos, às características irregulares dos ventos em zonas urbanas, ao peso das microturbinas, às vibrações que geram e o ruído que provocam [30].

Quando se opta por turbinas instaladas no local de implantação do edifício a sua colocação é um aspeto importante. Estas de forma a aproveitarem ao máximo os ventos devem ser colocadas quando possível a uma altura de 9 a 15 metros acima do elemento mais alto e com cerca de 150 metros de raio sem obstáculos, isto é, o próprio edifício, árvores, entre outros

[30]. Pode optar-se pela implantação de microturbinas especialmente desenvolvidas para ambientes urbanos, como as desenvolvidas por uma equipa de investigadores em colaboração com o Laboratório Nacional de Engenharia e Geologia (LNEG), as quais requerem menos espaço para a sua implantação. Tais microturbinas são as *T.Urban*, de eixo horizontal com um diâmetro máximo do rotor de 2,30 m e uma potência nominal de 25kW, como mostra a Figura 27. Também é apresentado uma microturbina em desenvolvimento de eixo vertical com potência nominal de 20 kW [34] [99].



Figura 27. À esquerda microturbina urbana de eixo horizontal. À direita microturbina urbana de eixo vertical, em desenvolvimento pelo LNEG [34] [99].

A energia gerada pelas microturbinas/turbinas não conseguem satisfazer as necessidades energéticas dos edifícios, funcionando num sistema híbrido em conjunto com os sistemas fotovoltaicos [12].

Em Portugal nos últimos anos os campos eólicos têm vindo a aumentar e a ganhar uma importância considerável na produção de energia. Assim, quando o edifício incluir a compra de energia vinda de fora do local da sua implantação (*Off-Site*) a energia eólica pode ser uma opção a considerar.

3.3.3. Energia geotérmica

O aproveitamento geotérmico depende do local de implantação do edifício. Pode ser efetuado diretamente para temperaturas até 150°C mediante bombas de calor, ou na produção de energia quando as temperaturas são superiores a 150°C. A produção de energia através de tecnologias geotérmicas só é viável em solos com características vulcânicas, como é o caso dos Açores onde a existência de centrais geotérmicas na Ilha de São Miguel são responsáveis por

40% da energia usada. Quando as temperaturas do solo forem inferiores a 150°C, pode ser usada como energia complementar nos edifícios através de bombas de calor, para o aquecimento de águas e do próprio edifício [81] [100]. Em Portugal a energia geotérmica é maioritariamente usada para fins de aquecimento.

3.4. Medição do consumo energético

O setor dos edifícios portugueses até agora, na sua maioria, não contava com uma relação adequada dos ocupantes, o que foi resultando num comportamento inadequado, traduzido em desperdícios energéticos. Embora os ocupantes possam mostrar preocupação pelo meio ambiente e considerem a eficiência energética uma questão importante por vezes o maior gasto dos edifícios decorre das suas ações, quer pela falta de conhecimento e formação em como se manter dentro de limites adequados de consumos, quer pela falta de informação dos consumos, tornando-se então importante o desenvolvimento de comportamentos adequados e medições que visem benefícios energéticos por parte dos ocupantes.

Embora os ocupantes tenham um impacto indiscutível na eficiência do edifício nem toda a culpa pode cair sobre eles, pois os edifícios até agora foram projetados de forma a garantir e satisfazer o conforto dos ocupantes independentemente dos custos e gastos associados.

No ponto 2 do Art. nº 8 da Diretiva 2010/31/EU [1] é estabelecido que *“Os Estados-Membros incentivam a introdução de sistemas de contagem inteligentes para os edifícios em construção ou sujeitos a grandes renovações, não deixando de garantir, neste contexto, a observância do disposto no ponto 2 do anexo I da Diretiva 2009/72/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de Julho de 2009, que estabelece regras comuns para o mercado interno da eletricidade. Os Estados-Membros podem igualmente incentivar, se for caso disso, a instalação de sistemas de controlo ativos, nomeadamente sistemas de automatização, controlo e monitorização, destinados a poupar energia.”* Neste contexto a equipa de projeto deve prever um plano de sensibilização, comportamento e monitorização na fase de utilização do edifício.

É importante sempre que possível que os ocupantes do edifício (quer habitação isolada quer edifícios de apartamentos) acompanhem todo o projeto e 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.

Deve-se prever a instalação de sistemas de gestão de energia e gestão técnica incluindo sistemas de medição, se possível em tempo real, que controlem os sistemas instalados no

edifício e os consumos (na iluminação, energéticos, conforto térmico, quantidade de água usada e aquecida) independentes para cada habitação. Contudo, é importante garantir uma gestão de forma a evitar conflito de interesses entre os ocupantes e os parâmetros estabelecidos para os sistemas, sendo por esta razão muito importante que os ocupantes colaborem na otimização destes sistemas de gestão [101].

Os ocupantes dos edifícios com estes sistemas de gestão têm ao seu dispor uma importante ferramenta para atingirem um comportamento energético responsável e eficiente.

É importante referir que estes sistemas de gestão de energia e gestão técnica também serão consumidores constantes de energia no edifício, portanto, o seu correto dimensionamento e aplicação são importantes, de forma a colaborarem para a eficiência na qual estão a ser usados.

4. MÉTODO DE AVALIAÇÃO DOS NZEB

4.1. Metodologias de cálculo

A necessidade da existência de uma metodologia de cálculo para classificar os edifícios com necessidades nulas ou quase nulas de energia tem vindo a ganhar atenção com o crescente número de projetos NZEB e o interesse em como o balanço *zero* é calculado. Alguns países estão com intenção de incorporar os NZEB nos seus códigos nacionais de edificação, porém, ainda não existe um procedimento de cálculo padronizado que permita alcançar uma classificação para estes edifícios [14].

As metodologias para o cálculo da energia associada aos NZEB são diferentes em todo o mundo, pelo que é necessário estudar as diversas abordagens que existem [102].

O conceito de NZEB e de como o seu cálculo energético deve ser efetuado difere de país para país, relativamente aos diferentes parâmetros usados no cálculo, às diferentes opções do fornecimento de energias renováveis e às variadas necessidades energéticas [14] [102].

Para tal, uma série de combinações de diferentes parâmetros têm de ser analisadas, segundo as condições e necessidades de cada país, para o conceito NZEB poder ser completamente integrado nos códigos nacionais dos edifícios e nas especificações internacionais [14] [102].

Os referidos parâmetros são:

1. Medidas do balanço energético
 - Energia fornecida ao edifício
 - Energia primária
 - Emissões CO₂
 - Custos da energia
2. Período do balanço
 - Anual
 - Mensal
 - Ciclo de vida do edifício
3. Tipo de uso da energia
 - Energia de operação
 - Energia total
 - Energia incorporada
4. Tipo de balanço

- Geração/uso da energia
 - Da rede/para a rede.
5. Opções de fornecimento de energias renováveis
- Incorporadas no edifício
 - *On-Site*
 - *Off-Site*

O estudo de várias abordagens para o cálculo do balanço dos NZEB está baseada em metodologias propostas por investigadores de diversos países num projeto de cooperação internacional desenvolvido pela *International Energy Agency (IEA)* denominado *IEA SHC Task 40/ECBCS Annex 52 “Towards Net Zero Energy Solar Buildings”* [103], com o intuito de desenvolver um entendimento comum e estabelecer uma base internacional para a classificação e definição dos NZEB. Na Tabela 11 apresentam-se as combinações dos parâmetros das metodologias testadas e apresentadas pelos países que colaboraram neste projeto.

Tabela 11. Combinação dos parâmetros nas diferentes metodologias (Adaptada de [14]).

Numa rápida abordagem aos diferentes parâmetros utilizados, importa referir, no que diz respeito às medidas de balanço energético, que a unidade aplicada para se atingir o balanço zero pode ser influenciada por diversas medições, para além de que, mais de uma unidade de medição pode ser utilizada para a metodologia de cálculo. Segundo [14], esta pode ser:

- A energia final fornecida
- A energia primária
- As emissões equivalentes de CO₂
- O custo da energia

- Outros parâmetros eventualmente definidos pela política nacional de energia de cada país.

Segundo a informação apresentada na Tabela 11, a energia primária é a quantificação mais utilizada no cálculo do balanço dos NZEB. Quanto ao período a ter em conta, este pode abranger todo o ciclo de vida ou o período operacional do edifício, um período anual, sazonal ou mensal. Embora o anual seja o período mais utilizado, há autores que defendem um período de balanço que consideram mais apropriado, o equivalente ao ciclo de vida do edifício, pelo facto de que este incluiria, para além da energia de uso operacional, a energia incorporada nos materiais, construção e demolição, avaliando assim o verdadeiro impacto ambiental do edifício [14].

Como já referido, as metodologias de cálculo são baseadas na sua maioria num período de cálculo anual, também devido ao facto dos *softwares* de simulação energética darem como resultado final o total anual de energia usada pelo edifício [14].

O tipo de energia usada para o cálculo tem obrigatoriamente de incluir o consumo total de energia do edifício. Isto abrange quer o uso de energia do próprio edifício, quer a consumida pelos utilizadores [14]. Embora se possa utilizar uma metodologia onde não seja considerado o consumo energético relativo aos utilizadores, não seria particularmente aconselhada, devido a que essa energia, para aquecimento, arrefecimento, águas quentes entre outras, tem um grande impacto no desempenho dos NZEB.

O tipo de balanço é mais relevante quando se trata de edifícios NZEB conectados à rede, pelo facto destes edifícios terem dois tipos de combinações de balanços a considerar:

- Energia usada e energia renovável gerada.
- Energia fornecida ao edifício e energia enviada à rede.

O primeiro é mais aplicado no decorrer da fase de projeto do edifício, enquanto o segundo é mais aplicado na fase de monitorização [14], mas, a bibliografia existente demonstra que o tipo de balanço energético mais aceite é o da “*energia usada vs. energia renovável gerada*”.

No que diz respeito às opções de fornecimento de energia renovável, realça-se a importância da existência de uma hierarquia de opções de fornecimento, não se tendo contudo, chegado a um consenso para tal hierarquia.

A Diretiva 2010/31/EU, no Artº 3, impõem que “*Os Estados-Membros aplicam uma metodologia para o cálculo do desempenho energético dos edifícios em conformidade com o quadro geral comum estabelecido no anexo I*”. Para tal, os Estados-Membros devem estabelecer requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios. O anexo I estabelece

um “Quadro geral comum para a metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios” segundo o referido Artº 3 [1].

A metodologia requer que os Estados-Membros [5]:

- Definam uma referência de edifícios que seja representativa em termos de funcionalidade e condições climáticas.
- Definam medidas de eficiência energética a serem avaliadas para os edifícios de referência. Esta pode medir os edifícios como um todo, ou elementos do edifício ou uma combinação de elementos.
- Avaliem as necessidades energéticas primárias e finais nestes edifícios de referência, sempre que os cálculos sejam feitos de acordo com os padrões Europeus.
- Calculem os custos das medidas de eficiência energética durante o esperado ciclo de vida dos edifícios de referência.

A Diretiva 2010/31/EU [1] impõe que os Estados-Membros na preparação dos seus planos nacionais para a promoção dos edifícios com necessidades quase zero de energia, incluam nesses planos os objetivos diferenciados segundo a categoria do edifício [11].

Os edifícios podem ser categorizados por países em diferentes grupos segundo propriedades comuns e similares. É por esta razão que a definição de um edifício de referência é importante, já que atualmente cada Estado-Membro dispõem de uma grande variedade de edifícios que diferem uns dos outros na idade, no tipo, no tamanho, nas condições climáticas, nas condições do ambiente interior, no comportamento dos ocupantes, entre outras [5].

A Diretiva ambiciona uma metodologia para se atingirem custos ótimos dos requisitos para um elevado desempenho energético. Mas a implementação destas metodologias enfrentam uma série de desafios [5]:

- Examinar os custos sem deixar de ter em consideração os futuros objetivos em termos ambientais.
- Considerar todas as condições de limite adicionais, assim como todas as questões de conforto.
- Os detalhes das metodologias precisam de ser adequados de forma a garantir a sua abordagem.
- Um entendimento comum de todos os intervenientes é fundamental para que a interpretação dos resultados e a certificação dos cálculos sejam feitos de forma uniforme e comparável. Isto pode requerer um processo de intercâmbio entre os Estados-Membros.

Segundo a bibliografia existente, podem ser encontradas algumas discrepâncias entre as diferentes abordagens no cálculo energético do NZEB, pois existe uma ampla variedade de opções possíveis. Contudo, nenhuma das metodologias fornecidas e apresentadas explora todas as opções conhecidas.

4.2. Método de avaliação proposto

Nos capítulos anteriores foram apresentadas uma série de medidas e estratégias passivas de forma a orientar a equipa encarregada do projeto nas suas escolhas mais adequadas para atingirem um edifício NZEB. No entanto, ainda não foi referida nenhuma forma de poder classificar estes edifícios, nem os valores limites de eficiência para os quais os projetistas pretendam fixar as metas desejadas.

Neste contexto, o objetivo deste capítulo é desenvolver uma classificação na qual os projetistas se possam basear de forma a atingir um nível de eficiência determinado. Esta classificação será desenvolvida tendo como referência os níveis de desempenho eficiente em termos energéticos do edifício.

Basicamente a classificação de um edifício como NZEB obtém-se quando se atinge um balanço energético igual a “0” no final de um determinado período estipulado para a medição, normalmente de um ano. Para tal, a energia entregue ao edifício ou produzida (energias renováveis) no local, deve pelo menos satisfazer as suas necessidades energéticas.

Mas ao nível da eficiência energética este conceito tem uma falha, ou pelo menos um aspeto não considerado: um NZEB que tenha necessidades energéticas elevadas não deve ser classificado no mesmo nível dum NZEB de baixas necessidades energéticas. Na figura 28 é apresentado um exemplo onde dois edifícios NZEB têm eficiência energética completamente diferente, sendo a eficiência do Edifício 2 claramente inferior à do Edifício 1, pelo que se deverá diferenciar a classificação que cada um tem em termos dos NZEB.

Assim, baseando-se nas necessidades energéticas e na produção ou compra de energias renováveis, será proposta uma classificação de acordo com os gastos anuais do edifício, com valores expressos em kWh/m².ano. Para tal, terão de se impor limites máximos e mínimos das necessidades energéticas de forma a estabelecer uma classificação mais pormenorizada. Na escolha de uma base para a amplitude dos limites, recorreu-se aos requisitos do conceito da *Passivehaus* visto terem com os NZEB abordagens complementares no que diz respeito à eficiência energética [104].

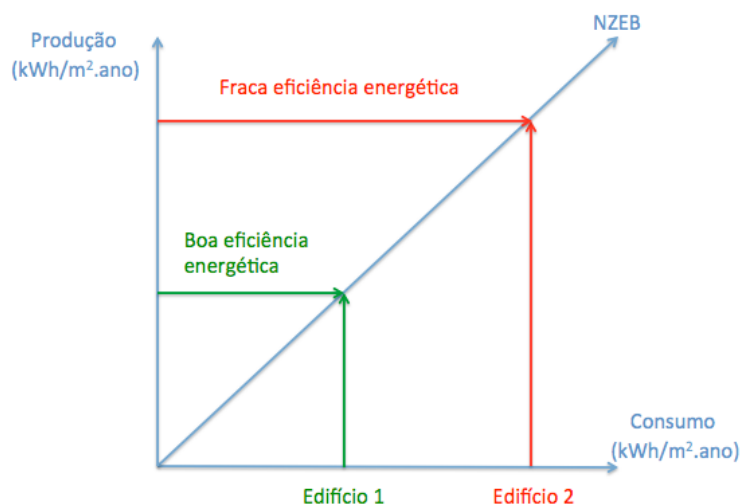


Figura 28. Boa eficiência vs. Fraca eficiência nos NZEB

A *Passivehaus* impõe um limite máximo de 15 kWh/m².ano quer para as necessidades de energia para aquecimento (N_{ic}), quer para as de arrefecimento (N_{vc}), e um limite de consumo anual global de energia primária (valor semelhante ao N_{ic}) que engloba a energia necessária para aquecimento, arrefecimento, aquecimento de águas sanitárias e eletricidade consumida pelos equipamentos, iluminação, e sistemas de aquecimento, arrefecimento, solares e de ventilação, de 120 kWh/m².ano [105] [107].

A classificação que se apresenta, estará baseada nos indicadores totais de energia necessária para o aquecimento (N_{ic}) e arrefecimento (N_{vc}) da *Passivehaus*, 30 kWh/m².ano, escolhendo como limite máximo o valor estipulado de 120 kWh/m².ano de energia primária (N_{tc}) (Figura 29).

Embora se estejam a comparar limites que correspondem a duas variantes diferentes, necessidades globais vs. necessidades nominais, o que se pretende é impor uma amplitude de valores nos quais se possam criar patamares relevantes de eficiência energética para os edifícios.

A energia primária pode ser calculada segundo a utilização, a dimensão do espaço ou a ocupação [106], indicando o consumo total de energia tendo em conta [107]:

- Consumo de energia (energia útil);
- Eficiência dos sistemas térmicos usados;
- Fatores de energia primária (fatores de conversão) das fontes de energias usadas.

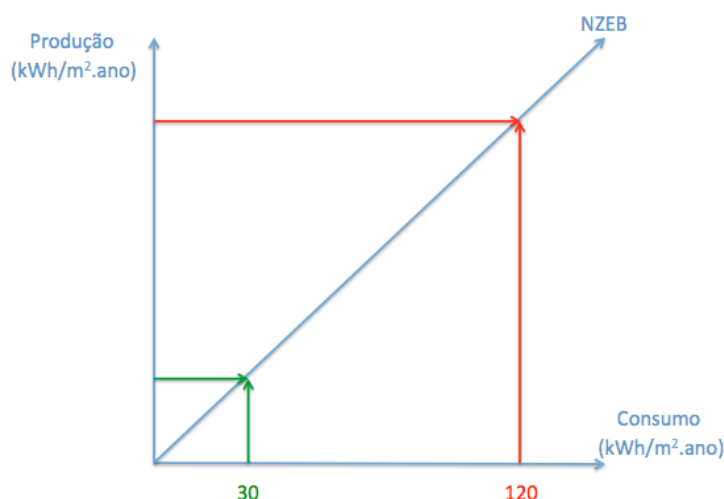


Figura 29. Valores estabelecidos no conceito da *Passivehaus*.

A avaliação final dos projetos tem de considerar as diferentes fontes de energia utilizada. Assim, a participação da energia renovável, incluindo a energia solar térmica, não é considerada, ou é-lhe atribuído um fator de conversão “0” no momento do cálculo. Os fatores de conversão das diferentes fontes de energia utilizadas pelo edifício estão indicados na Norma Europeia EN 15603, “*Energy Performance of Buildings*” [107].

Deste modo, e estabelecendo uma correlação com a classificação proposta por Pless e Torcellini (2010) [29] (Tabela 6), a classificação dos edifícios a propor será:

- $NZEB A^+ \leq 30 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
- $30 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} < NZEB A \leq 40 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
- $40 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} < NZEB B^+ \leq 50 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
- $50 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} < NZEB B \leq 70 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
- $70 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} < NZEB C \leq 90 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
- $90 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} < NZEB D \leq 120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$

À semelhança das classes energéticas atribuídas pelo sistema português de certificação energética, a amplitude de valores dos edifícios melhor qualificados será menor de forma a garantir uma classificação mais adequada.

Como indicado na Tabela 6, Pless e Torcellini (2010) propuseram uma matriz de classificação na qual um NZEB que satisfaz as suas necessidades energéticas com energias renováveis *Off-Site*, tem como classificação máxima NZEB C, visto darem prioridade às energias renováveis geradas no local de implantação do edifício. A classificação que aqui se propõe só considera o consumo anual global de energia primária, pelo que, não faria sentido, impor tal condição referente à fonte de obtenção de energia. Seria de considerar se esta classificação também

considerasse os custos *Net Zero* de todas as atividades do edifício ou eventualmente da avaliação do ciclo de vida. Na bibliografia podem ser encontradas metodologias de cálculo dos custos do edifício, que incluem os de construção e os relacionados com a eficiência do edifício [108]. Nestas metodologias especificasse que os custos ótimos dos NZEB não podem ser atingidos devido aos atuais custos de alguns sistemas de produção de energia renovável. Assim, para qualificar o desempenho de um edifício começou por se escolher os valores de referência apresentados anteriormente. O próximo passo será quantificar as medidas de eficiência que reduzem as necessidades energéticas e quantificar as opções de fornecimento de energia através de créditos para alcançar as exigências dos NZEB nos edifícios.

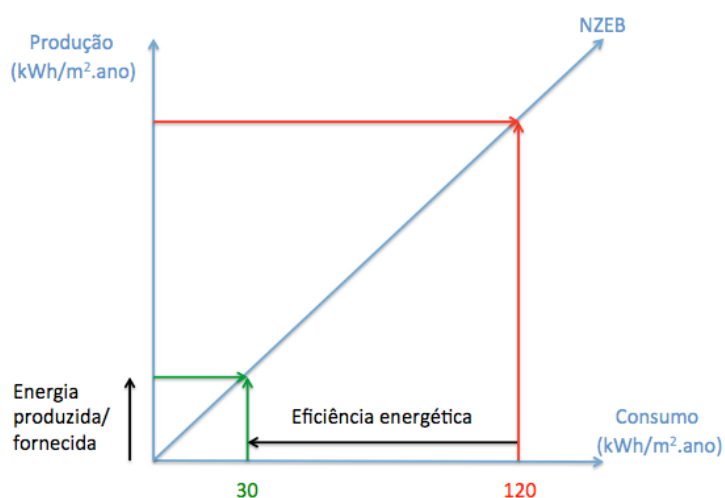


Figura 30. Energia produzida/fornecida vs. Eficiência energética

O balanço dos edifícios NZEB pode ser calculado de duas formas:

- Energia gerada vs. Necessidade energética;
- Energia exportada vs. Energia fornecida.

Seja qual for o método escolhido, a relação entre eles tem de ser:

- $|Energia\ gerada| - |Necessidade\ energética| \geq 0$
- $|Energia\ exportada| - |Energia\ fornecida| \geq 0$

A energia consumida por um edifício vai depender das suas necessidades energéticas tendo já sido apresentado em capítulos prévios desta dissertação, medidas que visam reduzir as necessidades energéticas dos edifícios, e cada uma dessas medidas terá a sua influência na equação global do desempenho energético.

Assim, os aspetos a considerar na redução das necessidades energéticas serão [12]:

- Otimização térmica através dum forte isolamento da envolvente de forma a reduzir as perdas e ganhos excessivos de calor;
- Aumento da inércia térmica;
- Otimização dos ganhos solares na estação de aquecimento, que envolve a iluminação natural, dispositivos de sombreamento e ventilação natural;
- Equipamentos e sistemas eficientes;
- Arrefecimento natural.

A produção/fornecimento de energia virá de todas as fontes de energias renováveis disponíveis (fotovoltaica, eólica, geotérmica, biomassa) incluindo os coletores solares térmicos para aquecimento de águas sanitárias [12].

Torna-se importante para esta proposta de classificação de NZEB que, à quantidade de variáveis e fatores a considerar na redução das necessidades energéticas, lhe sejam atribuídos níveis de importância segundo a sua influência no desempenho global do edifício.

Baseado na média de consumos energéticos em Portugal no ano 2010, a qual foi calculada pelo Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico 2010 (ICESD2010), realizado pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) e a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) [109], será feita uma relação entre as percentagens de gastos energéticos e as medidas de redução energética.

Os dados de balanço energético divulgados anualmente pela DGEG, demonstram uma evolução no consumo energético nas habitações em Portugal, apresentando uma trajetória crescente desde 1989 até 2005, ano em que se começa a verificar uma inversão desta tendência [109].

No ICESD2010 foram considerados alojamentos familiares de residência principal, excluindo alojamentos secundários e de uso sazonal. A informação obtida neste inquérito teve por base os alojamentos de residência habitual dos agregados familiares, para os quais foi obtida informação sobre o consumo de energia.

Este consumo de energia é eventualmente afetado pela idade dos edifícios. Em edifícios mais antigos as perdas de energia são maiores, tornando-a assim uma variável importante na análise do inquérito ao consumo energético [109].

Verifica-se que 7,5% dos alojamentos foram construídos antes de 1946 e 10,8% após o ano 2000, sendo que os maiores períodos de construção foram entre 1981 até 1999 com 37,6%, seguido pelo período de 1961 até 1980 com 34,9%. Estes dados correspondem a Portugal Continental, sendo que na Região Autónoma dos Açores a cada um destes períodos

corresponde 25% e na Região Autónoma da Madeira 35,4% e 25,6% respetivamente [109]. Visto o maior período de construção ocorrer entre 1981 até 1999, é importante referenciar neste ponto o aparecimento do primeiro RCCTE, Decreto-Lei nº40/90, de 6 de fevereiro, a meio desse período. Em Portugal, foi o primeiro instrumento legal a impor requisitos aos projetos de novos edifícios e de grandes remodelações de forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem necessidades excessivas de energia, quer no inverno, quer no verão [110].

Outros aspetos, igualmente importantes, foram considerados no inquérito, tais como a área média das habitações, a qual rondou os 107 m². A ocupação média verificou um valor de 2,7 indivíduos por alojamento em Portugal Continental, sendo de 3,2 e 3,0 por alojamento nas Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira respetivamente [109]. Este é um aspeto importante a considerar no cálculo da energia primária visto que os projetos com menor espaço por ocupante revelam menores consumos de energia primária [111].

Relativamente às condições de habitabilidade dos alojamentos, 99,9% possuem eletricidade com ligação à rede pública e 99,4% têm acesso a água canalizada, dos quais 87,7% com ligação à rede pública e 97,5% com água quente canalizada [109].

Neste inquérito foram considerados consumos de gás natural e GPL, com 95,5% dos alojamentos a recorrer a esta fonte de energia, sendo que destes 21,1% têm ligação à rede de Gás Natural, 10,3% têm ligação a redes de GPL canalizado e 70,5% dos alojamentos utilizam GPL em garrafa [109]. Foi também possível ter uma informação atualizada da qualidade do isolamento dos edifícios e da orientação destes de forma a aferir quais os edifícios que, pela forma como foram construídos, contribuem de forma mais eficiente para a utilização de energia solar passiva. Verifica-se que a utilização de isolamentos térmicos nas janelas ainda é reduzida, dado que os edifícios apresentam maioritariamente vidros simples (superior a 70%). No que diz respeito ao isolamento das paredes e da cobertura, apenas 21,1% dos alojamentos têm isolamento nas paredes exteriores e, entre os alojamentos que se localizam no último piso, cerca de 17% têm isolamento na cobertura [109].

Todos estes valores indicam um consumo de energia elétrica relevante no setor residencial com uma percentagem próxima dos 43% dos consumos globais das habitações, evidenciando a elevada dependência desta fonte energética. Portanto, o aumento do consumo energético está diretamente relacionado com o aumento das necessidades de conforto térmico e com o crescimento da utilização de equipamentos elétricos nas habitações [109]. A segunda principal fonte energética consumida é a lenha (maioritariamente pinho, eucalipto, resíduos florestais e outros tipos de lenhas entre elas os *pellets*), no aquecimento interior e das águas,

sendo o GPL a terceira fonte de maior consumo. O inquérito também mostra que a energia solar térmica representa uma reduzida expressão no consumo de energia, correspondendo a quase 1% do consumo total. Na altura do inquérito, as fontes de energia renováveis (neste caso referindo carvão vegetal, lenha e solar térmica) correspondiam a $\frac{1}{4}$ do consumo do setor doméstico [109].

Ao nível de utilizações globais finais, como indica a Figura 31, verifica-se que os maiores consumos foram efetuados em atividades de cozinha, aquecimento das águas, nos equipamentos elétricos, no aquecimento do ambiente e na iluminação, sendo muito reduzidos os valores das necessidades de arrefecimento do ambiente interior. Na cozinha o facto de existirem grandes eletrodomésticos leva a um elevado consumo energético, devido a que grande número destes equipamentos não era de uma classe de eficiência energética elevada (54% dos equipamentos eram classificados como A, A⁺ e A⁺⁺). Na iluminação verificou-se uma elevada utilização de lâmpadas incandescentes (presentes em perto de 80% dos alojamentos), havendo quase 50% de utilização de lâmpadas incandescentes e economizadoras (numa média referencial de 17 lâmpadas por habitação, 9 incandescentes e 8 economizadoras). O aquecimento do ambiente foi igualmente penalizador no consumo energético, devido em grande parte à utilização de aquecedores elétricos independentes, estando estes presentes em quase 61% dos alojamentos. É de notar a elevada dependência do uso dos diferentes tipos de gás no aquecimento das águas, sendo o esquentador o mais utilizado para esta finalidade em quase 79% dos alojamentos [109].

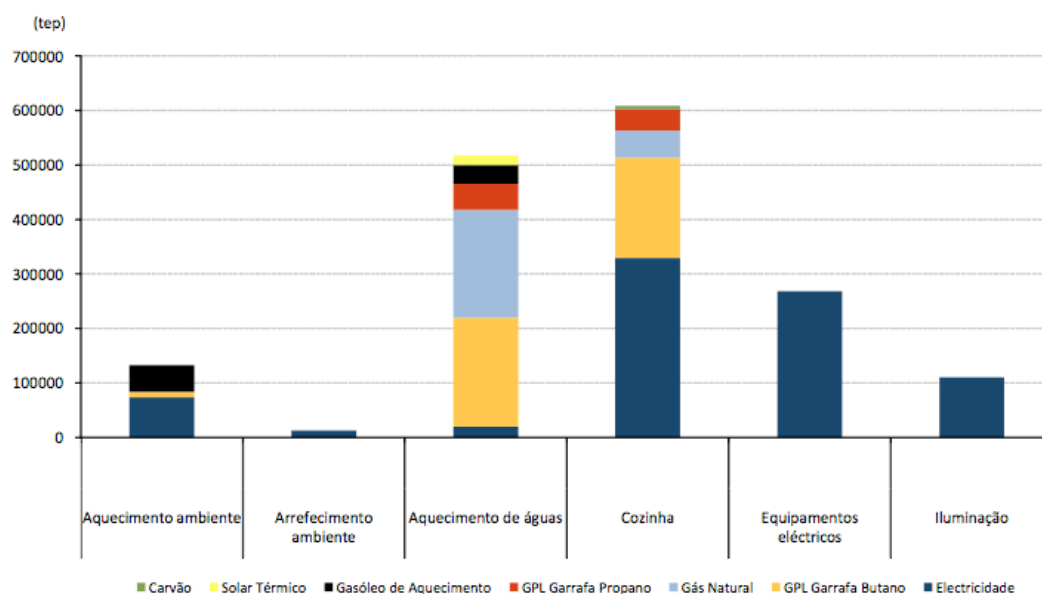


Figura 31. Distribuição do consumo de energia nas habitações, segundo o tipo de fonte energética [109].

No que diz respeito ao consumo individual de cada atividade, nesta proposta serão consideradas todas as atividades gravosas indicadas na Figura 31.

Os resultados do inquérito mostram um elevado consumo energético devido aos equipamentos elétricos e aos eletrodomésticos (iluminação, aquecimento de águas, equipamentos de cozinha e refrigeração, para aquecimento, arrefecimento e multimédia de entretenimento) presentes nos alojamentos, logo, nesta proposta, a eletricidade doméstica será tida em conta. Neste ponto, faz-se referência a um requisito da *Passivehaus* no que diz respeito ao cálculo da energia primária, isto é, no cálculo considera uma área de referência virtual, A_N , em vez da eletricidade doméstica consumida [111].

Assim sendo, de forma a contabilizar este consumo, propõe-se a expressão [1] que relaciona os consumos energéticos devido aos equipamentos elétricos e eletrodomésticos em função da área útil do pavimento da fração:

$$E_i = \sum_1^{12} \frac{E_{eletr}}{A_p} \quad (kWh/m^2.ano) \quad [1]$$

em que:

E_{equip} – Consumos energéticos devidos aos equipamentos elétricos e eletrodomésticos;

A_p – Área útil da fração.

Na bibliografia existente, podem ser encontradas referências que propõem considerar a média de ocupantes como fator padrão no cálculo da energia primária em vez de considerar a área útil (m^2) da fração [106]. Nesta proposta considerar-se-á a área útil.

Embora não tenha sido referenciado no inquérito, os elevados gastos energéticos associados à iluminação e equipamentos, também podem estar associados ao fator de forma (FF) não adequado do edifício. O *FF* é a relação que existe entre o somatório das áreas da envolvente exterior e interior do edifício com o respetivo volume interior, afetando diretamente os valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_i) (ponto 1 do Art. 15º, Capítulo V do RCCTE [112]).

As necessidades nominais para aquecimento e arrefecimento, dependem da caracterização do comportamento/desempenho térmico do edifício. Estes consumos vão estar diretamente relacionados com a qualidade da envolvente exterior, visto esta condicionar a quantidade de energia necessária para o ventilar, aquecer e arrefecer.

Em correlação com as *Passivehaus*, depois da otimização da envolvente do edifício, deve-se ter em consideração os consumos de energia elétrica. Baseado no estabelecido no anexo IV do RCCTE (DL nº 80/2006, de 4 de abril) [112], as necessidades anuais para aquecimento do edifício (N_{ic}) são calculadas para a estação convencional da estação de aquecimento segundo a expressão:

$$N_{ic} = \frac{(Q_t + Q_v - Q_{gu})}{A_p} \quad (kWh/m^2.ano) \quad [2]$$

em que:

Q_t – perdas de calor por condução através da envolvente do edifício;

Q_v – perdas de calor resultantes da renovação do ar;

Q_{gu} – ganhos úteis de calor úteis, resultantes da iluminação, dos equipamentos, dos ocupantes e dos ganhos solares através dos envidraçados;

A_p – área útil do pavimento da fração.

As equações e métodos de cálculo das parcelas da expressão de N_{ic} , podem ser consultadas no anexo IV do RCCTE [112] e de uma forma mais explícita nos quadros 4.3 ao 4.7 de [113].

Segundo os resultados do ICESD2010, as necessidades energéticas para arrefecimento são consideravelmente inferiores quando comparadas com os resultados das outras atividades (Figura 31), pelo que a nível energético, o fator de conversão que se pretende apresentar para os NZEB, terá um peso inferior às outras atividades, isto porque a relação de consumo energético, quando aplicadas medidas passivas efetivas, representará um valor baixo em relação à produção de energia do edifício.

Segundo o anexo V do RCCTE [112], as necessidades nominais de arrefecimento do edifício (N_{vc}), são calculadas para os quatro meses de verão, de junho a setembro (122 dias), segundo a expressão:

$$N_{vc} = \frac{Q_g \times (1 - \eta)}{A_p} \quad (kWh/m^2.ano) \quad [3]$$

em que:

Q_g – ganhos totais brutos do edifício, isto é, o balanço entre os ganhos e as perdas térmicas;

$1 - \eta$ – fator de utilização dos ganhos solares e internos na estação de arrefecimento, η_{arref} ;

A_p – área útil do pavimento da fração.

As equações e métodos de cálculos das parcelas da expressão de N_{vc} , podem ser consultadas no anexo V do RCCTE [112] e de uma forma mais explícita nos quadros 4.8 ao 4.12 de [113]. Da análise da Figura 31, verifica-se que as necessidades energéticas para o aquecimento de águas é uma das atividades mais penalizadoras. Segundo o anexo VI do RCCTE [112], as necessidades de energia para a preparação de águas quentes sanitárias do edifício (N_{ac}), são calculadas segundo a expressão:

$$N_{ac} = \frac{(Q_a/\eta_a - E_{solar} - E_{ren})}{A_p} \quad (kWh/m^2.ano) \quad [4]$$

em que:

Q_a – energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS;

η_a – eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS;

E_{solar} – contribuição dos coletores solares;

E_{ren} – contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis;

A_p – área útil do pavimento da fração.

Contudo, como indica a Figura 31, as necessidades para AQS têm uma elevada dependência do consumo de gás, mais o consumo de gasóleo e da eletricidade. Estas necessidades devem ser mitigadas com o uso de coletores solares e outras energias renováveis. Logo na expressão do (N_{ac}) propõe-se não considerar a parcela relativa a Q_a/η_a , visto nos NZEB ser pretendido eliminar os sistemas convencionais de AQS. Logo, a nova expressão de N_{ac} seria:

$$N_{ac} = \frac{(E_{solar} + E_{ren})}{A_p} \quad (kWh/m^2.ano) \quad [5]$$

As equações e métodos de cálculos das parcelas da expressão de N_{ac} , podem ser consultadas no anexo VI do RCCTE [112] e de uma forma mais explícita em [113].

É importante referenciar que no ponto 4 e 5 do Art. 15º, Capítulo V do RCCTE [112], as necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e AQS são convertidas em energia primária N_{ic} , valor que não deverá exceder um valor máximo admissível de energia primária N_t , o qual é calculado segundo as necessidades nominais de aquecimento, arrefecimento e AQS. Este valores de N_{ic} e N_t são expressos em $kgep/m^2.ano$, sendo que em energia primária 1 kWh eléctrico corresponde a 0,215 $kgep$ [114].

À semelhança dos fatores de conversão entre energia útil e energia primária (F_{pu}) apresentados no Despacho nº 14076/2010, de 8 de setembro de 2010, aplicáveis ao cálculo do desempenho energético dos edifícios servidos pela rede de produção e distribuição de frio e calor da Climaespaço, baseada na tecnologia de trigeração [115], devem ser calculados fatores de conversão para cada edifício segundo o tipo de fontes de energia nele presente, ou então calcular fatores de conversão médios aplicáveis à generalidade dos NZEB. À semelhança da nomenclatura do Despacho, os fatores de conversão serão:

- $F_{pu,i}$, para o aquecimento do ambiente;
- $F_{pu,v}$, para o arrefecimento do ambiente;
- $F_{pu,a}$, para águas quentes sanitárias.

O fator de conversão da energia necessária para os equipamentos elétricos e eletrodomésticos, pode ser nomeado de $F_{pu,eletr}$. Se a fonte de energia renovável do projeto for exclusivamente proveniente de painéis fotovoltaicos, o seu valor será de 0.7 [106].

Os fatores de conversão supra indicados devem ser afetados pela eficiência nominal dos equipamentos utilizados nos sistemas de aquecimento e arrefecimento, η_i e η_v , respetivamente, devendo utilizar os dados reais fornecidos pelos fabricantes na base de ensaios normalizados, correspondentes aos equipamentos efetivamente instalados, ou utilizar os valores indicados no Art. 18º do Capítulo V do RCCTE [112] [113] [115].

Assim sendo, baseada nas necessidades de energia primária final anual do NZEB, a expressão proposta para os classificar será:

$$C_{NZEB} = (F_{pu,eletr} \times E_i) + (F_{pu,i} \times N_{ic}) + (F_{pu,v} \times N_{vc}) + (F_{pu,a} \times N_{ac}) \quad [6]$$

A soma das 4 parcelas da equação [6] representará as necessidades anuais do edifício em kWh/m^2 , a qual permitirá classificar o edifício segundo os níveis anteriormente apresentados.

A título de exemplo para a aplicação desta proposta, em Portugal, o Edifício Solar XXI é o primeiro edifício orientado fundamentalmente à experimentar e testar estratégias solares passivas. Se este tivesse sido construído de acordo com os requisitos da regulamentação portuguesa e já contando com os sistemas de produção de energia previstos em projeto, ele teria necessidades energéticas de cerca de $100 kWh/m^2.ano$ [24], incluindo um comportamento típico dos ocupantes, valor com o qual seria classificado como um **NZEB D**. Com a melhoria da envolvente exterior, o edifício teria passado a ter necessidades de $90 kWh/m^2.ano$ [24], com as quais atingiria uma classificação de **NZEB C**. Mas, com a aplicação

de técnicas e medidas passivas, estimasse que o edifício tenha necessidades energéticas de 36 kWh/m².ano [24], atingindo um patamar de classificação de *NZEB A*.

Na altura da elaboração do documento de onde foram retirados os valores das necessidades energéticas referidas [24], ainda se pretendia melhorar o sistema de painéis fotovoltaicos para que o edifício produza mais energia do que aquela que precisa, ficando assim com um balanço positivo.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

5.1. Conclusão

Atualmente as crescentes preocupações em termos ambientais obrigam a ter-se uma nova visão sustentável em todos os setores da sociedade. Em Portugal, o setor da construção é um dos grandes consumidores de energia e é por isso importante projetar os edifícios de forma a serem cada vez mais auto sustentáveis e consumirem menos energia.

Com a aprovação da Diretiva 2010/31/EU (EPBD), o setor da construção está obrigado a introduzir, até final desta década, as bases do conceito *Zero Energy* em todos os seus novos projetos, quer comerciais quer residenciais. É um grande desafio que, embora imposto pelas organizações responsáveis, europeias e mundiais, representa uma revolução na forma em que serão concebidos os futuros edifícios. Urge assim reduzir o consumo energético com vista a diminuir o impacto ambiental e económico ao mesmo tempo que utilizam fontes de energia mais limpas e confiáveis.

A identificação e conjugação das tecnologias, medidas e protocolos necessários à transformação da energia e utilização dos recursos disponíveis são elementos chave no desenvolvimento e concepção dos NZEB.

No capítulo 3 desta dissertação, foi desenvolvido um guia que pretende orientar os projetistas na conceção de um NZEB, adotando e aplicando tecnologias construtivas e medidas passivas bioclimáticas. Neste contexto, têm de se ter em consideração:

- A integração urbana do edifício a nível da sua orientação e envolvente natural para o máximo aproveitamento dos recursos naturais.
- A otimização da envolvente exterior, dando especial atenção ao tipo de isolamento utilizado, à qualidade dos vãos envidraçados e às aberturas que permitam a ventilação natural de forma ao edifício poder garantir o adequado conforto térmico dos seus ocupantes.
- A implantação de fontes de energias renováveis, sendo um dos elementos chave a ter em conta no momento de conceber e desenvolver um NZEB.

Neste guia são explicados diversos modos de aplicação de forma a obter o máximo proveito 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. 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 atingir um balanço positivo segundo as suas necessidades energéticas, logo, a energia produzida em excesso pode ser armazenada no próprio edifício, assim como também pode ser partilhada com outros edifícios, ou exportada para a rede elétrica.

No mesmo contexto, é de igual importância a 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 contraproducente no desempenho energético do edifício. É importante sempre que possível que os ocupantes do edifício acompanhem todo o processo do projeto e 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. A instalação de sistemas de gestão de energia e gestão técnica incluindo sistemas de medição, se possível em tempo real, ajudam a controlar os sistemas instalados no edifício e os consumos independentes para cada habitação. Contudo, é importante garantir uma gestão devidamente operada de forma a evitar conflito de interesses entre os ocupantes e os parâmetros estabelecidos para o desempenho do edifício, sendo que, por esta razão é muito importante que os ocupantes acompanhem o decorrer do projeto nas diferentes fases e colaborem na otimização destes sistemas de gestão.

Tendo como referência os dados obtidos no *Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico 2010*, os quais mostram a diversidade de consumos energéticos nos edifícios existentes em Portugal, e com base nas classificações energéticas em vigor, concluiu-se que os NZEB, analogamente, não podem ser todos considerados energeticamente iguais na sua classificação. Esta dissertação propõe então uma classificação baseada no somatório dos consumos de energia primária anual e no consumo dos aparelhos elétricos e eletrodomésticos, estando cada uma destas atividades afetadas pelo seu coeficiente de conversão de energia segundo os dispositivos utilizados para cada uma delas (arrefecimento, aquecimento, AQS e energia elétrica). Para tal foram criados patamares de classificação que vão desde o NZEB A⁺ até o NZEB D, sendo o NZEB A⁺ o melhor classificado, os quais estão limitados por uma amplitude de consumos apresentados em $kWh/m^2.ano$. Os valores limite de cada patamar de classificação vão desde os $30 kWh/m^2.ano$ até os $120 kWh/m^2.ano$. Tendo sido considerado como referência no limite mínimo o somatório das necessidades de arrefecimento e

aquecimento do conceito das *Passivehaus*, e para o limite máximo é limite imposto nas *Passivehaus* para as necessidades de energia primária.

Os NZEB representam o futuro do setor da construção, portanto *é o momento de começar a trabalhar para alcançar o balanço zero de energia*, tendo-se, com a metodologia de classificação dos NZEB apresentada nesta dissertação, contribuído com um instrumento que permite a respetiva quantificação.

5.2. Proposta de trabalhos futuros

Como trabalhos futuros é proposta a aplicação, em diversos casos de estudo, da equação [6] apresentada. Para tal devem ser analisados os diferentes dispositivos utilizados nas diferentes atividades (aquecimento, arrefecimento, AQS e fontes de energia elétrica) de cada edifício ensaiado, de forma a calcular adequadamente os fatores de conversão propostos.

Visto esta dissertação estar orientada exclusivamente a edifícios de habitação novos, propõe-se a aplicação das medidas e tecnologias passivas apresentadas no guia, em edifícios de habitação já existentes ou que sejam alvos de reabilitação profunda e em edifícios de serviço com as devidas alterações, como seria o caso da inclusão de sistemas AVAC nestes últimos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho. Jornal Oficial da União Europeia. União Europeia. (2010). 153/13-153/35. Consultado em 4/10/2011.
- [2] Isolani, P. (05/2008). *Eficiência energética nos edifícios residenciais*. EnerBuilding. 48 p. Lisboa. Consultado em 27/10/2011.
- [3] *Guia da Eficiência Energética*. ADENE. (05/2010). 84p. ISBN 978-972-8646-17-2. Consultado em 27/10/2011.
- [4] Schwer, P., *Carbon Neutral and Net Zero*. Betterbricks. Consultado em 11/2011. Disponível em: <http://www.betterbricks.com/design-construction/reading/carbon-neutral-and-net-zero>.
- [5] *Cost Optimality. Discussing methodology and challenges within the recast Energy Performance of Buildings Directive*. The Buildings Performance Institute Europe (BPIE). (2010). p. 1-40. Bruxelas. Consultado em 24/09/2012.
- [6] Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. Jornal Oficial da União Europeia. União Europeia. (2002). 1/65-1/71. Consultado em 11/2011.
- [7] Gaspar, D.C. (2009). *Inovação na Arquitectura e Desempenho Ambiental*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Arquitectura. Instituto Superior Técnico. Universidade de Lisboa. 116 p. Lisboa. Consultado em 11/2011.
- [8] Hernandez, P., Kenny, P. (2009). *From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB)*. Energy and Buildings. (45). 815-821. Elsevier. Consultado em 13/11/2011.
- [9] Gonçalves, H. (2011). *Edifícios de Balanço Zero*. Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Lisboa. Consultado em 25/11/2011.
- [10] Torcellini, P., Pless, S., Deru, M. D. (2006). *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*. ACEEE Summer Study Pacific Grove. 13 p. California. Consultado em 4/10/2011.
- [11] *Nearly zero energy buildings: achieving the EU 2020 target*. European Council for an Energy Efficient Economy. (2011). 21 p. Consultado em 14/11/2011.
- [12] Salgueiro, A. (2011). *A contribuição de um sistema solar térmico no desempenho energético do do Edifício Solar XXI*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Energia e Bioenergia. Departamento de Ciências e Tecnologia da Biomassa da

- Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. 73 p. Lisboa. Consultado em 12/11/2011.
- [13] Heiselberg, A., Marszal, A. (2009). *A literature review of Zero Energy Building (ZEB) definitions*. Repote técnico nº78. 20 p. Aalborg University. Dinamarca. Consultado em 12/11/2011.
- [14] Marszal, A. et. al. (2011). *Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies*. Energy and Buildings 43. 971–979. Elsevier. Consultado em 21/09/2012.
- [15] Esbensen, T., Korsgaard, V. (1977). *Dimensioning of the solar heating system in the Zero Energy House in Denmark*. 195-199. Denmark. Consultado em 11/2011.
- [16] *Carlisle House*. Solar Design Associates. Consultado em 07/2012. Disponível em: http://www.solardesign.com/SDA_Today/carlisle-house/.
- [17] Charron, R., Athienitis A. (2006). *Design and Optimization of Net Zero Energy Solar Homes*. ASHRAE Transactions. American Society of Heating. 285-295. Canada. Consultado em 22/10/2011.
- [18] Nesler, C., Palmer, A. (2009). *Absolute Zero: Net Zero Energy commercial buildings – an inspiring vision for today*. Johnson Controls Inc. 16 p. Milwaukee. Consultado em 24/10/2011.
- [19] Henriques, A.C.R. (2008). *Metodologia para cálculo das emissões de gases de efeito de estufa associadas a edifícios*. Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. 76 p. Lisboa. Consultado em 11/2011. Disponível em: https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/230569/1/Dissertacao_Final_CatarinaHenriques.pdf.
- [20] *Net-Zero Energy, High-Performance Green Buildings*. Federal Research and Development Agenda. National Science and Technology Council de Committee on Technology. (2008). 60 p. EUA. Consultado em 10/2011. Disponível em: <http://www.bfrl.nist.gov/buildingtechnology/documents/FederalRDAGendaforNetZeroEnergyHighPerformanceGreenBuildings.pdf>.
- [21] Khasreen, M., Banfill, P., Menzies, G. (2009). *Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review*. Molecular Diversity Preservation International. Sustainability. (1), 674-701. ISSN 2071-1050. Suíça. Consultado 12/2011.

- [22] Arrifano, R. (2009). *Desempenho Ambiental e Soluções Arquitectónicas Sustentáveis em Complexos Desportivos*. Dissertação para a obtenção de grau de Mestre em Arquitectura. Instituto Superior Técnico da Universidade técnica de Lisboa. 75 p. Lisboa. Consultado em 10/2011. Disponível em: <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/357175/1/Dissertacao.pdf>.
- [23] ISO 14040:2006, *Environmental management. Life cycle assessment. principles and framework*. Norma Europeia. International Organization for Standardization de European Committee for Standartization. 30 p. Suíça. Consultado em 02/2012.
- [24] Aelenei, A., Gonçalves, H., Rodrigues, C. *The Road Towards “Zero Energy” in Buildings: Lessons Learned from SOLAR XXI Building in Portugal*. 8 p. Lisboa. Consultado em 04/2012.
- [25] Fonseca, D. (2007). *A casa de emissões nulas – Estudo conceptual*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro. 182 p. Aveiro. Consultado em 12/10/2011.
- [26] RIBEIRO, A. (2008) *Concepção de edifícios energeticamente eficientes com incorporação de energias renováveis*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletronica e de Computadores. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 282 p. Vila Real. Consultado em 03/2012. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/30711081/Concepcao-de-Edificios-Energeticamente-Eficientes-com-Incorporacao-de-Energias-Renovaveis>.
- [27] *Advantages of renewable energies*. Edp Renováveis. Edp, Portugal. Consultado em 10/2011. Disponível em: <http://www.edprenovaveis.com/Sustainability/AdvantagesofRenewableEnergies>.
- [28] Winter, S. (2011). *Net Zero Energy Buildings*. Whole Building Desing Guide. National Institute of Building Sciences. EUA. Consultado em 10/2011. Disponível em: <http://www.wbdg.org/resources/netzeroenergybuildings.php>.
- [29] Pless, S., Torcellini P. (06/2010). *Net-Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options*. Reporte Técnico. NREL/TP-550-44586. National Renewable Energy Laboratory. EUA. Consultado em 10/2011.
- [30] Aldrich, R. (2011). *Alternative Energy*. Whole Building Desing Guide. National Institute of Building Sciences. EUA. Consultado em 10/2011. Disponível em: <http://www.wbdg.org/resources/alternativeenergy.php>.
- [31] *Conversão: Energia solar eléctrica ou Fotovoltaica (PV)*. Portal das Energias Renováveis. Portugal. Consultado em 12/2011. Disponível em:

- http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=38&ID_area=8&ID_sub_area=26.
- [32] *Gerar a sua própria energia*. EcoEdp., Edp. Portugal. Consultado em 11/2011. Disponível em: <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/gerar/gerar-a-sua-propria-energia/gerar-a-sua-propria-energia>.
- [33] *Solar Photovoltaic Technology*. Edp Renováveis. Edp. Portugal. Consultado em 11/2011. Disponível em: <http://www.edprenovaveis.com/Technology/SolarPhotovoltaicTechnology>.
- [34] Mendes, J., Salgueiro A., Cardoso, J., Coelho, R. *Portugal 2020 e a Integração de Energias Renováveis nos Edifícios*. Jornadas AEAC_Aveiro. 12 p. LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Lisboa. Consultado em 11/2011. Disponível em: http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/1543/1/LNEG_III%20Jornadas%20AEAC%20Aveiro.pdf.
- [35] *Conversão: Energia solar térmica activa*. Portal das Energias Renováveis. Portugal. Consultado em 11/2011. Disponível em: http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=37&ID_area=8&ID_sub_area=26.
- [36] *Solar Thermal Technology*. Edp Renováveis. Edp. Portugal. Consultado em 11/2011. Disponível em: <http://www.edprenovaveis.com/Technology/SolarThermalTechnology>.
- [37] Biomassa. Portal das Energias Renováveis. Portugal. Consultado em 12/2011. Disponível em: http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=1&ID_area=2&ID_sub_area=2.
- [38] *Eólica*. Portal das Energias Renováveis. Portugal. Consultado em 12/2011. Disponível em: http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=15&ID_area=3&ID_sub_area=6.
- [39] *Wind Thechnology*. Edp Renováveis. Edp. Portugal. Consultado em 11/2011. Disponível em: <http://www.edprenovaveis.com/Technology/WindTechnology>.
- [40] *Geotérmica*. Portal das Energias Renováveis. Portugal. Consultado em 12/2011. Disponível em: http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=16&ID_area=4&ID_sub_area=10.

- [41] *Energia hidroeléctrica*. Energias Renováveis. Alentejo Litoral. Portugal. Consultado em 12/2011. Disponível em: <http://www.alentejolitoral.pt/PortalIndustria/Energia/Energiasrenovaveis/Hidroelectric a/Paginas/Energiahidroelectrica.aspx>.
- [42] Mourão, R., Costa, W. (2007). *Estudos para utilização das águas pluviais na usina termoelétrica de Santana, Estado do Amapá, Brasil: uma contribuição para o uso sustentável dos recursos hídricos*. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 11 p. Brasil. Consultado em 12/2011. Disponível em: http://www.abrh.org.br/novo/xvii_simp_bras_rec_hidric_sao_paulo_037.pdf.
- [43] Bayley, R. *Net Zero*. The Challenge Series. Roger Bayley Inc. Canadá. Consultado em 06/2012. Disponível em: <http://www.thechallengeseries.ca/chapter-07/net-zero/>.
- [44] *Zero-Energy Buildings*. Energia e Arquitetura. Environment and Ecology. Consultado em 11/2011. Disponível em: <http://www.environment-ecology.com/energy-and-architecture/152-zero-energy-building.html>.
- [45] *EPBD Recast (Directive 2010/31/EU)*. European Council for an Energy Efficient Economy. Consultado em 11/2011. Disponível em: http://www.eceee.org/buildings/EPBD_Recast.
- [46] Fragoso, R. (22/11/2011). *Perspectivas do sistema de certificação energética face às novas metas europeias*. Conferência Edifícios Balanço Zero: Rumo ao Impacte Nulo da Construção e Reabilitação nas Cidades. ADENE – Agência para a Energia. Lisboa. Consultado em 11/2011.
- [47] Maldonado, E. (26/06/2012). *EU Roadmap towards NZEBs*. Conferência de Net Zero-Energy Buildings. European “Buildings Concerted Action”. Porto. Consultado em 08/2012. Disponível em: http://www.lneg.pt/download/5660/EU%20Roadmap%20towards%20NZEBs_Eduardo%20Maldonado.pdf.
- [48] *Introduction to the Core Theme Reports*. Community’s Intelligent Energy Europe programme. Concerted Action Energy Performance Buildings. (04/2011). 481 p. ISBN 978-92-9202-090-3. Consultado em 07/2012. Disponível em: http://www.epbd-ca.org/Medias/Downloads/CA_Book_Implementing_the_EPBD_Featuring_Country_Reports_2010.pdf.
- [49] Rodrigues, F., Vicente, R., Lamas, F., Simões, F. (2011). *Contexto e Enquadramento - Módulo 1.1*. Ação de Formação em RCCTE Decreto-Lei no 80/2006. Unave. Universidade de Aveiro. Aveiro. Consultado em 11/10/2012.

- [50] *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*. (12/03/2011). Consultado em 08/2012. Disponível em: <http://www.rccte.com/rccte>.
- [51] Santos, P. (26/06/2012). *EPBD (recast) e as implicações para Portugal*. Conferência Net Zero-Energy Buildings. Adene. Lisboa. Consultado em 07/2012. Disponível em: [http://www.lneg.pt/download/5664/EPBD%20\(recast\)%20e%20as%20implica%20E7%20F5es%20para%20Portugal%20-%20Paulo%20Santos.pdf](http://www.lneg.pt/download/5664/EPBD%20(recast)%20e%20as%20implica%20E7%20F5es%20para%20Portugal%20-%20Paulo%20Santos.pdf).
- [52] Voss, K., Musall, E., Lichtmeß, M. (2010) *From Low-Energy to Net Zero-Energy Buildings: Status and Perspectives*. Journal of Green Building. 6 (1). 46-57. EUA. Consultado em 11/2011. Disponível em: http://www.iea-shc.org/publications/downloads/a06_Voss.pdf.
- [53] Joyce, A. (31/05/2007). *Edifício Solar XXI: an energy efficient building with BIPV*. EPIA event - "Boosting Solar Electricity in Portugal". INETI. 26 p. Lisboa. Consultado em 05/2012.
- [54] Gonçalves, H. (24/09/2009). *Solar Building XXI*. Comité Económico e Social Europeu (CESE). Laboratorio Nacional de Energia e Geologia (LNEG). Lisboa. Consultado em 08/2012. Disponível em: <http://www.eesc.europa.eu/resources/docs/edificio-solar-lisbon-portugal-en.pdf>.
- [55] *Zero Energy Buildings*. Zero Energy Buildings Database. U.S. Department of Energy's Building Technologies Program, High Performance Buildings. EUA. Consultado em 11/2011. Disponível em: <http://zeb.buildinggreen.com/>.
- [56] Fosdick, J. (2012). *Passive Solar Heating*. WBDG - Whole Building Design Guide. National Institute of Building Sciences. Consultado em 07/2012. Disponível em: <http://www.wbdg.org/resources/psheating.php>.
- [57] Gonçalves, H. et. al. (2010). *Solar XXI - Em Direção à Energia Zero / Towards zero energy*. LNEG. ISBN:978-989-675-007-7. Lisboa. Consultado em 08/2012.
- [58] Borges. *Painéis solares para produção de água quente*, Portugal Eficiência 2015, Solar Project. Consultado em 10/2012.
- [59] *Zero and Net-Zero Energy Buildings + Homes*. Building Design+Construction. (29/03/2011). 65 p. EUA. Consultado em 11/2011. Disponível em: <http://www.bdcnetwork.com/2011-zero-and-net-zero-energy-buildings-homes>.
- [60] Ander, G. (2012). *Daylighting*. WBDG - Whole Building Design Guide. National Institute of Building Sciences. EUA. Consultado em 07/2011. Disponível em: <http://www.wbdg.org/resources/daylighting.php?r=psheating>.

- [61] Ande, G. (2010). *Windows and Glazing*. WBDG - Whole Building Desing Guide. National Institute of Building Sciences. EUA. Consultado em 08/2011. Disponível em: <http://www.wbdg.org/resources/windows.php?r=psheating>.
- [62] Vigener, N., Brown, M. (2009). *Building Envelope Design Guide - Glazing*. WBDG - Whole Building Desing Guide. National Institute of Building Sciences. EUA. Consultado em 08/2012. Disponível em: http://www.wbdg.org/design/env_fenestration_glz.php.
- [63] Santos, J. (03/2007). *Vidros*. Trabalho para aulas de Materiais de Cobstrução I. UFRJ - Escola Politécnica. 15 p. Brasil. Consultado em 08/2012. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/57459356/VIDROS>.
- [64] *Heat-Strengthened Glass*. Techical Service Bulletin. Bulletin #IG06 - 05/08. (2008). 2 p. Cardinal IG Company. EUA. Consultado em 09/2012. Disponível em: http://www.cardinalcorp.com/wp-content/uploads/pdf/tsb/ig/IG06_05-08.pdf.
- [65] *Aquisição e recebimento de vidros*. APEX.Engenharia. Consultado em 09/2012. Disponível em: <http://pbqph.tripod.com/IM13.htm>.
- [66] *Vidrio Laminado*. Aluvitec. Consultado em 09/2012. Disponível em: <http://aluvitec.com/productos/vidrio/laminado/index.php>.
- [67] *Vidrio Insulado (doble vidriado)*. Aluvitec. Consultado em 09/2012. Disponível em: <http://aluvitec.com/productos/vidrio/insulado/index.php>.
- [68] Meshulam, M. (18/06/2009). *Annealed, Heat Strengthened, Tempered and Insulated Glass*. About windows & glass. Chicago Window Expert. EUA. Consultado em 09/2012. Disponível em: <http://chicagowindowexpert.com/2009/06/18/annealed-heat-strengthened-tempered-and-insulated-glass/>.
- [69] Rodrigues, F., Vicente, R., Lamas, F., Simões, F. (2011). *Metodologia de Aplicação do RCCTE - Módulo 1.2*. Ação de Formação em RCCTE Decreto-Lei no 80/2006. Unave. Universidade de Aveiro. Aveiro. Consultado em 11/10/2012.
- [70] Rebelo, A. (2009). *Optimização e dimensionamento de vãos envidraçados*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica. DECivil - Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. 82 p. Aveiro. Consultado em 1/11/2012.
- [71] *Fragment Retention Window Films*. Comercial Window Shield. Consultado em 08/2012. Disponível em: <http://commercialwindowshield.com/product-applications/fragment-retention-window-films>.

- [72] *Konforlux - Caixilharia em PVC*. Catálogo. Augusto Guimarães & Irmão Lda. 12 p. Vila Nova de Gaia. Consultado em 09/2012. Disponível em: http://www.construlink.com/LogosCatalogos/agi_kfl_caixilharia_brochura.pdf.
- [73] Gomes, J., Moret R. *Análise do ciclo de vida das caixilharias: um estudo comparativo*. Caixiave Group – Indústria de Caixilharia. 13 p.. Consultado em 09/2012. Disponível em: [http://www.caixiave.pt/download/Analise do ciclo de vida das caixilhariar.pdf](http://www.caixiave.pt/download/Analise_do_ciclo_de_vida_das_caixilhariar.pdf).
- [74] Prowler, D. (2008) *Sun Control and Shading Devices*. WBDG - Whole Building Desing Guide. National Institute of Building Sciences. EUA. Consultado em 06/2012. Disponível em: <http://www.wbdg.org/resources/suncontrol.php?r=psheating>.
- [75] Inger, D. *High Performance Windows*. David's Picks. Build it smart!. EUA. Consultado em 09/2012. Disponível em: <http://www.builditsmartvc.org/how/how0112.php>.
- [76] Antunes, B., Almeida, E., Gaspar, E. (2003/2004). *Edifícios: Técnicas de Aproveitamento Passivo da Energia Solar*. Gestão de Energia Elétrica. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra. 53 p. Coimbra. Consultado em 10/2012. Disponível em: http://lge.deec.uc.pt/ensino/gee/trabalhos%20pesquisa/2003_2004/solar%20passivo/solar%20passivo.PDF.
- [77] Walker, A. (2010). *Natural Ventilation*. WBDG - Whole Building Desing Guide. National Institute of Building Sciences. EUA. Consultado em 06/2012. Disponível em Available from: <http://www.wbdg.org/resources/naturalventilation.php?r=psheating>.
- [78] Arnold, C. (2009). *Building Envelope Design Guide - Introduction*. WBDG - Whole Building Desing Guide. National Institute of Building Sciences. EUA. Consultado em 06/2012. Disponível em: http://www.wbdg.org/design/env_introduction.php.
- [79] Postma, M. (2009). *Building Envelope Design Guide - Below Grade Systems*. WBDG - Whole Building Desing Guide. National Institute of Building Sciences. EUA. Consultado em 07/2012. Disponível em: http://www.wbdg.org/design/env_bg_overview.php.
- [80] *Construção Sustentável*. Construir Portugal. Construlink. Portugal. Consultado em 07/2012. Disponível em: http://www.construlink.com/Homepage/2010_construirportugal.com/?acao=submenu2&id=34.

- [81] Santos, C. (2007). *Evolução de soluções das paredes face a novas exigências regulamentares*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria (P.B. Lourenço et al.). LNEC. 41-64. Lisboa. Consultado em 20/10/2012. Disponível em: <http://www.pdfio.com/k-686351.html>.
- [82] *Building Envelope*. Global Climate Change. Center for Climate and Energy Solutions. (2011). EUA. Consultado em 09/2012. Disponível em: <http://www.c2es.org/technology/factsheet/BuildingEnvelope>.
- [83] Mendes, P. (2012). *Isolamentos Térmicos em Edifícios e seu Contributo para a Eficiência Energética*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade Fernando Pessoa. 81 p. Porto. Consultado em 18/10/2012. Disponível em: http://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/3333/3/DM_14576.pdf.
- [84] Soares, N., Costa, J. (26/06/2012). *The potential of PCMs to improve the energy efficiency of buildings. The path towards NZEB*. Net Zero Energy Building Conference 2012. Portugal. Consultado em 6/10/2012. Disponível em: http://www.lneg.pt/download/5673/The%20potential%20of%20PCMs%20to%20improve%20the%20energy%20efficiency%20of%20buildings%20_%20the%20path%20to%20wards%20NZEB.pdf.
- [85] Khudhair, A., Farid, M. (01/2004). *A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials*. Journal Energy Conversion and Management. 45(2). 263-275. Consultado em 08/2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890403001316>.
- [86] Zalba, B., Marín, J., Cabeza, L., Mehling, H. (02/2003). *Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications*. Journal Applied Thermal Engineering. 23(3). 251-283. Consultado em 09/2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431102001928>.
- [87] Silvan, J., *Passive Solar Desing*. Zonbak Inc. Consultado em 08/2012. Disponível em: <http://www.zonbak.com/knowledge/passive%20solar%20design/passivedesign.pdf>.
- [88] Gonçalves, H., Graça, J. (11/2004). *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*, Eficiência Energética nos Edifícios (IP-3E), Direção Geral de Geologia e Energia, 50 p., (ISBN 972-8268-34-3). Lisboa. Consultado em 08/2012. Disponível em: <http://www.lneg.pt/download/4117/Conceitos%20Bioclimáticos.pdf>.
- [89] *Sistema Solar Térmico – Energias Alternativas*. Energias Alternativas. EcoArkitekt. Consultado em 11/2012. Disponível em: <http://www.ecoarkitekt.com/pt/energias-alternativas/sistema-solar-termico/>.

- [90] *Aquecimento Central por Piso Radiante a Água*. Energia que transforma. SolarWaters. Consultado em 10/2012. Disponível em: <http://www.solarwaters.pt/aquecimento-central-por-piso-radiante-a-agua>.
- [91] *Superfícies Radiantes*. Grupo Roth. Global Plastic S.A. 16p. Espanha. Consultado em 10/10/2012. Disponível em: http://www.exemplyrigor.pt/pdfs/produtos/Piso_Radiante_Folheto_P.pdf.
- [92] *Energia Solar Fotovoltaica*. Agência Municipal de Energia do Seixal (AMESEIXAL). 5p. Seixal. Consultado em 11/2012. Disponível em: http://www.cm-seixal.pt/ameseixal/municipe/energiasRenovaveis/documents/energia_solar_fotovoltaica.pdf.
- [93] Serrano, F., *Energia Solar Fotovoltaica*. Seminário Energias Renováveis – Sistemas. Solar Project. 63 p. Portugal. Consultado em 14/10/2012.
- [94] Proença, E. (2007). *Energia Solar Fotovoltaica em Portugal*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. 88 p. Lisboa. Consultado em 14/10/2012. Disponível em: <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/154634/1/Tese%20-%20A%20Energia%20Solar%20Fotovoltaica%20em%20Portugal.pdf>.
- [95] (2012). *Photovoltaics*. WBDG - Whole Building Desing Guide. National Institute of Building Sciences. EUA. Consultado 08/2012. Disponível em: <http://www.wbdg.org/resources/photovoltaics.php>.
- [96] Decreto–Lei nº 363/2007. Diário da República nº 211. 1ª série. 7978 - 7984. (2007). Ministério da Economia e da Inovação. Consultado 10/2012.
- [97] *Principais tipos de painéis solares fotovoltaicos*. (10/10/2011). Vidrado. Consultado em 10/2012. Disponível em: <http://noticias.vidrado.com/artigos/principais-tipos-de-paineis-solares-fotovoltaicos/>.
- [98] Strong, S. (2011). *Building Integrated Photovoltaics (BIPV)*. WBDG - Whole Building Desing Guide. National Institute of Building Sciences. EUA. Consultado em 08/2012. Disponível em: <http://www.wbdg.org/resources/bipv.php>.
- [99] *T.Urban - Technical Details*. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI). Portugal. Consultado em 10/2012. Disponível em: <http://turban.ineti.pt/entrada.htm>.
- [100] Pinto, A. (01/02/2007). *Energia Geotérmica – calor aos nossos pés*. Ciência Hoje/Visionarium. CiênciaHoje. Portugal. Consultado em 10/2012. Disponível em: <http://www.cienciahoje.pt/index.php?oid=17462&op=all>.

- [101] Felizes, R.A. (06/2010). *Planos comportamentais para a melhoria da eficiência em edifícios públicos*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletronica e de Computadores. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 66 p. Porto. Consultado em 15/10/2012. Disponível em: <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59863/1/000144817.pdf>.
- [102] Marszal, A. et. al. *Net Zero Energy Buildings - Calculation Methodologies versus National Building Codes*. IEA SHC Task 40 / ECBCS Annex 52 “Towards Net Zero Energy Solar Buildings”. Consultado em 09/2012. Disponível em: http://www.iea-shc.org/publications/downloads/Task40a-Net_Zero_Energy_Buildings_Calculation_Methods_and_Input_Variables.pdf.
- [103] Ayoub, J. (2010). *Towards Net Zero Energy Solar Buildings*. IEA SHC Task 40/ECBCS Annex 52. Consultado em 09/2012. Disponível em: <http://www.iea-shc.org/task40/>.
- [104] *Solar Passive Houses*. Gekoandfly. Consultado em 10/2012. Disponível em: <http://www.gekoandfly.com/books/solar-passive-houses.html>.
- [105] Musall, E., Voss, K. (2012) *The Passive House Concept as Suitable Basis towards Net Zero Energy Buildings*. Pasiv Haus Institute. 6 p. Hanover. Consultado em 11/2012. Disponível em: http://www.arch.uni-wuppertal.de/Aktuell/Veroeffentlichungen/p_pics/The%20Passive%20House%20Concept%20as%20Suitable%20Basis%20towards%20Net%20Zero%20Energy%20Buildings_120206.pdf.
- [106] Rosenbaum, M., *A US Passive House Standard*. 6th Annual North American Passive House Conference. South Mountain Company, 29 p., West Tisbury, MA. Consultado em 11/2012. Disponível em: <http://www.passivehouse.us/phc2011/2011%20Presentations%20PDF/Rosenbaum.pdf>
- [107] *Passive House guide*. LANGconsulting. Alemanha. Consultado em 11/2012. Disponível em: <http://www.langconsulting.at/index.php/en/the-passive-house/passive-house-guide>.
- [108] Kurnitski, J. et. al. (29/08/2011). *Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation*. *Jornal Energy and Buildings*. 45. 3279-3288. Consultado em 10/2012. Disponível em: <ftp://iristor.vub.ac.be/patio/ARCH/pub/fdescamp/bruface/literature/2012/nzeb/CostOptimal.pdf>.

- [109] *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*. (2011). Estatísticas Oficiais. Instituto Nacional de Estatística e Direcção-Geral de Energia e Geologia. 117 p. ISSN 2182-0139. Lisboa. Consultado em 10/2012.
- [110] Freitas, V. (2006). Nota introdutória ao RCCTE. 164 p. Portugal. Consultado em 09/2012. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/RCCTE200502.pdf>.
- [111] *Passive House heating systems in practice*. Consultado em 11/12. Disponível em: http://www.passipedia.org/passipedia_en/planning/building_services/heating_and_dhw/heating/passive_house_heating_systems_in_practice/primary_energy-passive_house_heating_systems_in_practice_-_primary_energy.
- [112] Decreto-Lei n.º 80/2006. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Diário da República n.º 67. I Série A. 2468-2513. (2006). Consultado em 03/2012.
- [113] Camelo, S., Ramalho, A., Horta, C., Gonçalves, H., Maldonado, E. (09/2005). *Manual de apoio à aplicação do RCCTE*. INETI. 215 p. Lisboa. Consultado em 01/11/2012. Disponível em: https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/147755/1/Manual_RCCTE_10_10_2006.pdf.
- [114] Águas, M. (17/06/09). *Preços de energia (combustíveis)*. Gestão de energia : 2008/2009. Instituto Superior Técnico, 5 p., Lisboa. Consultado em 11/2012. Disponível em: https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/320692/1/GE_P_07_PreEnergia2_V2.pdf.
- [115] Despacho n.º 14076/2010, Diário da República n.º 175. 2.º Série. (8/09/2010). Direcção Geral de Energia e Geologia. Consultado em 11/2012. Disponível em: <http://www.climaespaco.pt/Despacho14076.pdf>.
- [116] Decreto-Lei n.º 38382. *Regulamento Geral das Edificações Urbanas*, 7/08/1951. Imprensa Nacional, Casa da Moeda. Consultado em 09/2012.