

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Andrei Daniel Babicean

**CONTRIBUIÇÃO DOS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO
DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA A EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS**

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Construções, orientada pelo Professor Doutor Diogo Manuel Rosa Mateus e apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Dezembro de 2020

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Civil

Andrei Daniel Babicean

CONTRIBUIÇÃO DOS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Construções,
orientada pelo Professor Doutor Diogo Manuel Rosa Mateus e pela Professora Doutora Andreia Sofia Carvalho Pereira.

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC
declina qualquer responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter.

Dezembro de 2020

1 2  9 0

UNIVERSIDADE D
COIMBRA

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação não seria possível sem um conjunto de pessoas que sempre estiveram presentes e disponíveis para me apoiar durante a sua realização.

Assim, gostaria de agradecer aos meus orientadores, o Professor Doutor Diogo Manuel Rosa Mateus e a Professora Doutora Andreia Sofia Carvalho Pereira, por terem aceite esta posição, pelo apoio, disponibilidade e possibilidade de discussão de ideias e conhecimentos.

Aos meus pais, irmã, namorada e pais da minha namorada, por todo o apoio incondicional durante todo o meu percurso académico, o que me permitiu chegar até à última página desta dissertação.

Aos meus amigos, por todo o apoio, força e amizade, não só durante a realização desta dissertação, mas também durante todo este percurso académico.

Ao Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade (ITECONS), através do Professor Doutor Nuno Albino Vieira Simões, que me disponibilizou a folha de cálculo térmico utilizada e por todos os conhecimentos transmitidos durante as aulas de Comportamento Térmico e Energético dos Edifícios.

Ao Professor Doutor Paulo Jorge Rodrigues Amado Mendes, pela dedicação no ensino da disciplina Competência Transversal II, onde me preparou para a realização desta dissertação, transmitindo-me boas orientações a nível de escrita, estrutura e pormenores relevantes.

A todos os docentes do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, que contribuíram, de forma direta ou indireta, para a minha formação profissional.

Um grande obrigado.

RESUMO

Nas últimas décadas, as iniciativas promovidas a nível social, mundialmente, demonstram a crescente preocupação em relação à preservação ambiental. Esta preocupação reflete-se na atual legislação Europeia, nomeadamente na diretiva europeia 2018/844, do parlamento europeu e do conselho, de 30 de maio de 2018 (Jornal Oficial da União Europeia, 2018). A maior parte do conteúdo destes regulamentos foca-se no setor da construção, uma vez que na Europa cerca de 40% dos gastos de energia e cerca de 36% das emissões de CO₂ estão relacionadas com os edifícios (European Commission, 2016).

As fontes de energia convencionais, baseadas nos combustíveis fósseis, são limitadas e poluentes. Estes fatores, aliados ao crescente aumento dos consumos de energia nos edifícios ao longo dos anos, sendo acompanhados de um contínuo investimento nas energias renováveis por parte dos governos, tornam o estudo de fontes de energias alternativas um assunto cada vez mais importante hoje em dia. Em 2018, as energias renováveis representaram 18,9 % da energia consumida na Europa, tendo-se como objetivo atingir 20% em 2020 (Eurostat, 2020). Portugal estabeleceu a ambiciosa meta de alcançar 47% para a energia proveniente de fontes renováveis em 2030 (Governo de Portugal, 2019).

Neste contexto, é objetivo da presente dissertação, numa primeira instância, caracterizar o setor energético europeu e português, apresentando-se as diferentes políticas energéticas em vigor. Numa segunda instância, pretende-se apresentar e caracterizar diversas energias renováveis existentes, bem como as diferentes tecnologias que existem atualmente para as aproveitar. Por último, será calculada a parcela de energias renováveis de vários sistemas tecnológicos possíveis de aplicar nos edifícios de habitação, com recurso ao *software* SCE.ER, disponibilizado pela Direção Geral de Energia e Geologia, utilizando-se os valores obtidos para calcular o desempenho térmico e energético de um edifício habitacional, através da metodologia do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, variando-se diversos parâmetros intervenientes no cálculo e registando-se a sua influência no balanço energético final.

Palavras-chave: Preservação Ambiental, Energias Renováveis, Políticas Energéticas, Sistemas Tecnológicos, Edifícios de Habitação, Balanço Energético.

ABSTRACT

In recent decades, initiatives promoted at the social level, worldwide, demonstrate the growing concern in relation to environmental preservation. This concern is reflected in current European legislation, more precisely in the European directive 2018/844, of the European parliament and of the council, of 30 May 2018 (Jornal Oficial da União Europeia, 2018). Most of the content of these regulations focuses on the construction sector, since in Europe about 40% of energy consumption and about 36% of CO₂ emissions are related to buildings (European Commission, 2016).

Conventional sources of energy, based on fossil fuels, are limited and polluting. These factors, coupled with the growing energy consumption in buildings over the years, accompanied by a continuous investment in renewable energies by governments, make the study of alternative energy sources an increasingly important topic nowadays.

In 2018, renewable energies represented 18.9% of the energy consumption in Europe, intending to achieve 20% in 2020 (Eurostat, 2020). Portugal has set an ambitious target of reaching 47% for energy that comes from renewable sources, in 2030 (Governo de Portugal, 2019).

In this context, the objective of this dissertation, in a first instance, is to characterize the European and Portuguese energy sector, presenting the existing energy policies. In a second instance, it is intended to present and characterize some existing renewable energies, as well as the different technologies that currently exist to take advantage of them. Finally, it will be calculated the contribution of renewable energy from various technological systems that can be applied to residential buildings, using the SCE.ER software, provided by General Direction of Energy and Geology, and the values obtained will be used to thermally calculate a residential building, using the Regulation of Energy Performance of Residential Buildings methodology, varying several parameters involved in the calculation and recording its influence on the final energy balance.

Keywords: Environmental Preservation, Renewable Energies, Energy Policies, technological systems, residential buildings, Energy Balance.

ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1 - Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Motivação e Objetivos.....	3
1.3 Estrutura da Dissertação	4
CAPÍTULO 2 – Estado da Arte.....	5
2.1 A Insustentabilidade do Paradigma Atual	5
2.2 Políticas Climáticas e Energéticas	6
2.2.1 Política Climática da União Europeia	6
2.2.2 Política Energética da União Europeia.....	8
2.2.3 Política Energética Portuguesa	10
2.3 Energias Renováveis.....	12
2.3.1 Energia Solar	16
2.3.1.1 Energia Solar Ativa	16
2.3.1.2 Energia Solar Passiva	20
2.3.2 Bioenergia.....	23
2.3.3 Aerotermia.....	26
2.4 Eficiência Energética nos Edifícios.....	27
2.4.1 Metodologia REH.....	30
2.4.2 Software SCE.ER	31
2.4.3 Certificação Energética.....	31
2.4.4 Edifícios com Necessidades Quase Nulas de Energia (NZEB).....	33
2.4.5 Produção Descentralizada de Energia	34
CAPÍTULO 3 – Caso de Estudo e Metodologia	37
3.1 Caracterização do Caso de Estudo.....	37
3.2 Metodologia de Cálculo do software SCE.ER	43

3.3 Metodologia de Cálculo REH	48
CAPÍTULO 4 – Resultados e Discussão	55
4.1 Software SCE.ER	55
4.2 Folha de Cálculo REH	59
CAPÍTULO 5 – Considerações Finais	64
5.1 Conclusões	64
5.2 Desenvolvimentos Futuros	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
OUTRA BIBLIOGRAFIA	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Evolução do Produto Interno Bruto, das Emissões Totais de CO ₂ e do Consumo de Energia Primária (em %) (2000 = 100) (Governo de Portugal, 2019)	1
Figura 2.1 - Relação entre os objetivos nacionais e as dimensões do PNEC (Governo de Portugal, 2019)	12
Figura 2.2 - Produção de energia primária, UE-28, 2017 (% do total, com base em toneladas equivalentes de petróleo) (Eurostat, 2020)	13
Figura 2.3 - Emissões Globais de CO ₂ , em megatoneladas (Uzar, 2020)	13
Figura 2.4 - Quota de energia proveniente de fontes renováveis, nos países europeus (em %) (Eurostat, 2020)	14
Figura 2.5 - Diferença entre um sistema solar ativo e um sistema solar passivo (Lavado, 2009)	17
Figura 2.6 - Energia Solar de Concentração (Torresol Energy, 2012)	18
Figura 2.7 - Central Fotovoltaica de Évora (Região-Sul, 2019).....	19
Figura 2.8 - Sistemas de ganhos indiretos (Pinto & Dias, 2017).....	21
Figura 2.9 - Incidência das medidas de melhoria presentes no relatório anexo ao CE, a nível dos elementos e sistemas presentes num edifício de habitação, para os edifícios construídos até 2011 (ADENE, 2011).....	33
Figura 2.10 - Gráfico representativo dos cenários de evolução do potencial económico de cogeração até 2026 (MWe) (Governo de Portugal, 2019).....	36
Figura 3.1 - Corte número 1 da moradia	37
Figura 3.2 - Cortes números 2 e 3 da moradia	38
Figura 3.3 - Planta do Rés-de-Chão da moradia.....	38
Figura 3.4 - Planta do piso superior da moradia.....	39
Figura 3.5 - Planta da cobertura da moradia.....	39
Figura 3.6 - Perfil de consumo de águas quentes sanitárias, assumido para a cidade de Coimbra. Fonte: <i>Software SCE.ER</i>	44
Figura 3.7 - Perfil de consumo elétrico. Fonte: <i>Software SCE.ER</i>	44
Figura 3.8 - Necessidades de consumo de energia para aquecimento ambiente. Fonte: <i>Software SCE.ER</i>	45

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Perspetivas de evolução da capacidade instalada para a produção de eletricidade por tecnologia em Portugal no horizonte 2030 (Governo de Portugal, 2019).....	15
Quadro 2.2 - Tecnologias das fontes de energia renováveis e respetivos usos (Rosário da Costa, 2012).....	15
Quadro 2.3 - Vantagens e desvantagens do uso da energia solar fotovoltaica como fonte de energia (Lavado, 2009).....	20
Quadro 2.4 - Vantagens e desvantagens do uso da energia solar passiva e ativa (Lavado, 2009)	22
Quadro 2.5 - Vantagens e desvantagens do uso da energia da biomassa como fonte de energia (Lavado, 2009)	24
Quadro 2.6 - Contributo indicativo nacional em matéria de eficiência energética para o cumprimento da meta de 32,5% de eficiência energética na União em 2030 (Governo de Portugal, 2019)	28
Quadro 2.7 - Tipos de energias renováveis existentes e possibilidade de serem aplicadas à microgeração (Rosário da Costa, 2012)	35
Quadro 3.1 - Caracterização das soluções construtivas adotadas no edifício em estudo	40
Quadro 3.2 - Área dos compartimentos.....	41
Quadro 3.3 - Área das paredes e PTPs exteriores.....	42
Quadro 3.4 - Área dos vãos envidraçados exteriores	42
Quadro 3.5 - Ângulos de sombreamento dos vãos envidraçados exteriores	42
Quadro 3.6 - Massa total das soluções construtivas	43
Quadro 3.7 - Perdas consideradas no sistema solar fotovoltaico. Fonte: <i>Software SCE.ER</i>	46
Quadro 3.8 – Resumo dos Sistemas Técnicos utilizados no software SCE.ER, da sua constituição e finalidades.....	47
Quadro 3.9 - Resumo dos Sistemas Técnicos utilizados no cálculo térmico, da sua constituição e finalidades.....	50
Quadro 4.1 - Resultados do cálculo da energia renovável proveniente de um sistema solar térmico, através do programa SCE.ER.....	56
Quadro 4.2 - Resultados do cálculo da energia renovável proveniente de uma bomba de calor e de um sistema solar fotovoltaico, através do programa SCE.ER	56

Quadro 4.3 - Resultados do cálculo da energia renovável proveniente de uma caldeira a lenha e de uma caldeira a granulados, através do programa SCE.ER.....	58
Quadro 4.4 - Resultados do cálculo da energia renovável proveniente de um recuperador de calor e de uma salamandra, através do programa SCE.ER	58
Quadro 4.5 - Resultados do cálculo dos parâmetros térmicos para a cidade de Albufeira, através da folha de cálculo REH do ITECONS	59
Quadro 4.6 - Resultados do cálculo dos parâmetros térmicos para a cidade de Lisboa, através da folha de cálculo REH do ITECONS	60
Quadro 4.7 - Resultados do cálculo dos parâmetros térmicos para a cidade de Coimbra, através da folha de cálculo REH do ITECONS	61
Quadro 4.8 - Resultados do cálculo dos parâmetros térmicos para a cidade de Vila Real, através da folha de cálculo REH do ITECONS	62
Quadro 4.9 - Resultados do cálculo dos parâmetros térmicos para a cidade de Funchal, através da folha de cálculo REH do ITECONS	63

ABREVIATURAS

- ADENE – Agência para a Energia
APA – Agência Portuguesa do Ambiente
APREN – Associação Portuguesa de Energias Renováveis
AQS – Águas Quentes Sanitárias
AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CE – Certificado Energético
CECA – Comunidade Europeia do Carvão e do Aço
CELE - Comércio Europeu de Licenças de Emissão
CO₂ – Dióxido de Carbono
COP - *United Nations Climate Change Conference*
DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia
DL – Decreto de Lei
EBC – *Energy in Buildings and Communities*
EC – Economia Circular
ECO.AP – Programa de Eficiência Energética na Administração Pública
EL – Economia Linear
EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*
EU – *European Union*
EURATOM – Comunidade Europeia da Energia Atómica
FER – Fontes de Energia Renováveis
HTF – *Heat Transfer Fluid*
INE – Instituto Nacional de Estatística
ITECONS - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade
LULUCF – *Land Use, Land-Use Change and Forestry*
NZEB – *Nearly Zero Energy Buildings*
PCE – Pré-certificado Energético
PIB – Produto Interno Bruto
Plano SET – Plano para o desenvolvimento de tecnologias hipocarbónicas
PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
PNBEPH – Programa Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroelétrico
-

PNEC – Plano Nacional Energia e Clima

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RESP – Rede Elétrica de Serviço Público

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética

SCE.ER – Sistema Nacional de Certificação Energética – Energias Renováveis

SCOP/SPF – Coeficiente de Desempenho Sazonal

TFUE – Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia

UE – União Europeia

UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*

CAPÍTULO 1 - Introdução

1.1 Enquadramento

O ser humano tornou-se dependente de fontes de energia para conseguir realizar as mais diversas atividades necessárias à sua existência. Historicamente, o consumo de energia tem vindo a crescer desde a revolução industrial até aos dias atuais. Este contínuo aumento, sustentado com sucessivas apostas nos combustíveis fósseis, causou grandes impactos negativos no ambiente. Hoje em dia, tem-se plena consciência das consequências negativas da utilização de combustíveis fósseis e consequentes emissões de gases com efeito de estufa para a atmosfera, pelo que as organizações governamentais procuram permanentemente medidas para a diminuição do consumo de combustíveis fósseis e para a utilização de novas fontes de energia, não poluentes, como as energias renováveis (Rosário da Costa, 2012).

Os combustíveis fósseis, como carvão, petróleo bruto e gás natural correspondem a uma grande fatia do consumo primário de energia a nível mundial. De acordo com os dados disponíveis (2018), o consumo global de energia primária cresceu 2.9%, o maior aumento desde 2010, e de uma forma global o consumo de combustíveis fósseis decresceu ligeiramente nos últimos anos (Uzar, 2020). A Figura 1.1 (Governo de Portugal, 2019) fornece uma visão da evolução do PIB, das emissões totais de CO₂ e do consumo de energia primária em Portugal do ano de 2000 ao ano de 2017, em percentagem.

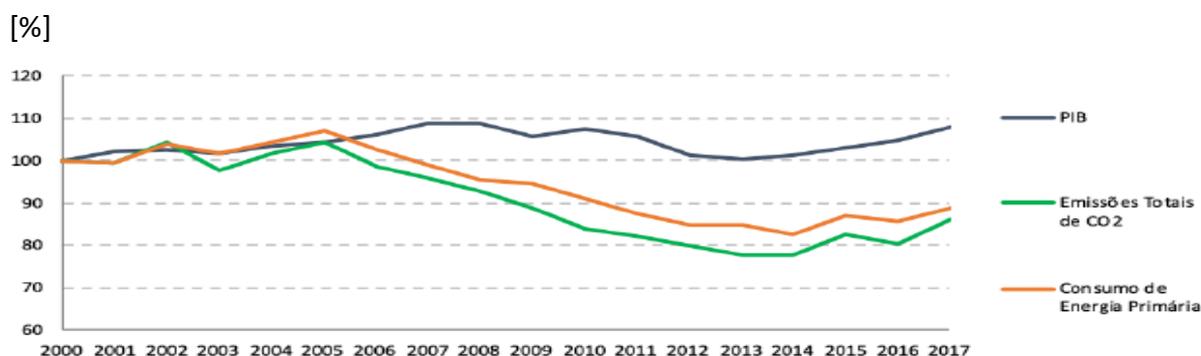


Figura 1.1 - Evolução do Produto Interno Bruto, das Emissões Totais de CO₂ e do Consumo de Energia Primária (2000 = 100) (em %) (Governo de Portugal, 2019)

Na Europa, cerca de 40% dos gastos de energia e cerca de 36% das emissões de CO₂ estão relacionadas com os edifícios (European Commission, 2016). Como tal, o setor da construção tem grande potencial de implementação de energias renováveis e de melhoria da eficiência energética. Também neste sentido, a União Europeia aprovou, no âmbito do Regulamento (UE) 2018/1999, de 11 de dezembro, relativo à Governança da União da Energia e da Ação Climática, um conjunto de metas ambiciosas que visam alcançar vários objetivos em 2030 (Governo de Portugal, 2019).

A preocupação com a preservação ambiental reflete-se também nas diretivas comunitárias 2010/31/EU e 2012/27/EU. A maior parte do conteúdo destes regulamentos foca-se no setor da construção, uma vez que na Europa os edifícios são responsáveis por grande parte dos gastos energéticos e emissões de CO₂ (European Commission, 2016). A União Europeia aprovou e publicou, ainda, a diretiva sobre o desempenho energético dos edifícios (European Commission, 2019). Uma grande parte dos gastos de energia relacionados com os edifícios pode ser reduzida apostando-se em medidas de eficiência energética, de forma a obter-se um maior conforto térmico e reduzindo-se o consumo de energia (Rosário da Costa, 2012).

Existem vários fatores que justificam uma aposta nas energias renováveis, como por exemplo, a alta dependência europeia da energia importada, mas também os consumos de energia excessivos nos edifícios, relacionados com os baixos níveis de eficiência energética. Neste sentido, a União Europeia publicou a diretiva do desempenho energético dos edifícios (Diretiva 2002/91 CE de 16 de dezembro de 2002), transposta para a legislação Portuguesa em três diplomas (Certificação Energética dos Edifícios, s.d.): SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (DL 78/2006); RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (DL 79/2006); RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (DL 80/2006).

A Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, foi transposta para o direito nacional com o intuito de vir a melhorar a sistematização e definir o âmbito de aplicação do sistema de certificação energética e respetivos regulamentos, bem como de alinhar os requisitos nacionais às imposições explicitamente decorrentes da mesma. Assim sendo, foi possível reunir num único diploma (DL n.º 118/2013), o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) (Diário da República, s.d.). Nesta dissertação será apenas objeto de estudo o REH.

Com as diferentes políticas implementadas, crescente preocupação com a preservação ambiental, intenção contínua em diminuir os gastos energéticos e emissões de gases com efeito de estufa, constata-se que o caminho a seguir passa por um desenvolvimento sustentável e, conseqüentemente, uma aposta nas energias renováveis e em sistemas técnicos cada vez mais eficientes em edifícios (Rosário da Costa, 2012).

O conceito de desenvolvimento sustentável foi introduzido pela primeira vez num relatório chamado “*Our Common Future*”, publicado pela Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1987. Segundo este relatório, desenvolvimento sustentável é “atender às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades” (Keeble, 1987).

1.2 Motivação e Objetivos

O tema da presente dissertação – Contribuição dos sistemas de aproveitamento de energias renováveis para a eficiência energética dos edifícios – surge numa altura crucial, uma vez que, a nível mundial, verificam-se esforços por parte dos governos em tentar mudar o paradigma atual, assente na utilização de combustíveis fósseis, que se verifica ser insustentável, procurando-se implementar um novo paradigma assente na utilização de energias renováveis, que não são poluentes e são fontes inesgotáveis de energia.

Assim sendo, a presente dissertação tem por objetivo apresentar e explicar quais são e no que consistem as energias renováveis atualmente conhecidas e mais comuns de aplicação nos edifícios, bem como explorar os sistemas tecnológicos existentes para as aproveitar. Com o trabalho prático a realizar, pretende-se calcular a parcela de energias renováveis de vários sistemas tecnológicos possíveis de aplicar aos edifícios de habitação, com recurso ao *software* SCE.ER, disponibilizado pela Direção Geral de Energia e Geologia, para que posteriormente se possa utilizar esses dados no cálculo térmico e energético de uma moradia, através da metodologia indicada no REH. Através de uma folha de cálculo que contém a metodologia indicada no REH, irão variar-se alguns parâmetros e registar-se a sua influência no balanço energético da habitação unifamiliar.

Com o trabalho a realizar, pretende-se conseguir perceber, com clareza, a importância e contribuição de cada sistema tecnológico estudado nos gastos energéticos dos edifícios de habitação unifamiliar, quais as necessidades de climatização e AQS da moradia e como variam de acordo com a localização da mesma, qual a parcela contributiva para as energias renováveis,

qual a relevância de cada um na obtenção de uma classe energética elevada, qual é a relação da classe energética com os gastos energéticos e qual a eficiência dos sistemas técnicos estudados.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos, sendo estes respetivamente: Introdução; Estado da Arte; Caso de Estudo e Metodologia; Resultados e Discussão; Considerações Finais. O documento inclui, ainda, as referências bibliográficas e a regulamentação estudada (outra bibliografia).

O presente capítulo tem por objetivo realizar um enquadramento geral de forma a contextualizar a temática e demonstrar a importância da mesma na atualidade, explicar a forma como se divide a dissertação e os objetivos que se pretende atingir com a mesma.

No segundo capítulo começa-se por demonstrar o porquê de o paradigma atual ser insustentável e ser necessária uma mudança global de paradigma, assente numa aposta em energias renováveis. Posteriormente, são apresentadas as políticas energéticas atualmente em vigor na Europa e em Portugal, são apresentadas algumas energias renováveis existentes, possíveis e comuns de aplicação nos edifícios de habitação, e os sistemas tecnológicos capazes de as aproveitar, sendo que se termina o capítulo desenvolvendo o conceito de eficiência energética, bem como vários conceitos pertinentes e intrinsecamente associados ao mesmo.

No terceiro capítulo é apresentado e descrito o edifício que constitui o caso de estudo, bem como a metodologia que será utilizada, assente no *software* SCE.ER e no regulamento REH.

No quarto capítulo são apresentados e discutidos os resultados relevantes obtidos a partir do estudo realizado.

No quinto e último capítulo resumem-se as principais conclusões do trabalho realizado e são sugeridas propostas de trabalhos futuros, de forma a dar-se continuidade a este trabalho.

CAPÍTULO 2 – Estado da Arte

2.1 A Insustentabilidade do Paradigma Atual

Historicamente, o ser humano procurou sempre novas fontes de energia. Inicialmente eram utilizadas fontes naturais, como a luz, o calor proveniente do sol e o fogo. Com a urbanização verificada nos últimos séculos e o aparecimento de atividades industriais, a procura de novas fontes de energia tornou-se um fator decisivo para o desenvolvimento de várias atividades humanas (Bizerra, Aquino de Queiroz, & Coutinho, 2018).

A revolução industrial verificada a nível mundial, nos séculos XVIII e XIX, levou a grandes desenvolvimentos, tendo sido impulsionada pela utilização de combustíveis fósseis. O carvão foi o principal suporte energético para o processo de industrialização do século XIX, tendo a produção aumentado de 10 para cerca de 1000 milhões de toneladas por ano (Lavado, 2009).

O petróleo é conhecido desde a antiguidade, tendo sido utilizado no médio oriente há 4000 anos (a.C), no entanto, só a partir de 1853 é que começou a sua exploração a larga escala, com a descoberta do processo de destilação em querosene pelo cientista polaco Ignacy Lukasiewicz. Assim, a segunda metade do século XIX ficou marcada por inúmeras descobertas e desenvolvimentos que revolucionaram a procura e exploração do petróleo, que era mais vantajoso quando comparado com os óleos utilizados na altura. Por sua vez, todas as descobertas e desenvolvimentos verificados, levaram ao crescimento exponencial do consumo de petróleo como fonte primária de energia. O gás natural só começou a ser utilizado a partir de 1950 (Lavado, 2009).

Os combustíveis fósseis são fontes de energia não renovável, porque as reservas mundiais são finitas e têm impactos nocivos sobre o ambiente. Atualmente, os combustíveis fósseis são a fonte de energia predominante a nível mundial. A partir da década de 1960, as preocupações em relação à poluição começaram-se a acentuar, devido à poluição do ar e das águas, acentuação das alterações climáticas e derrames de petróleo que, por vezes, ocorriam (Bizerra et al., 2018).

Atualmente, intensificam-se os esforços a nível global no sentido de se substituir estas fontes poluentes e limitadas, que são os combustíveis fósseis, por fontes de energia limpas e renováveis, pois o paradigma energético assente na utilização de fontes não renováveis de energia demonstrou ser insustentável (Bizerra et al., 2018).

O desenvolvimento económico e o uso indiscriminado de recursos naturais para a satisfação das necessidades de uma sociedade cada vez mais globalizada têm uma base comum assente num modelo de Economia Linear (EL). O modelo de Economia Linear assenta em conceitos como Extrair-Produzir-Consumir-Eliminar, sendo bastante prejudicial a diferentes níveis, nomeadamente para o ambiente e para as comunidades mais pobres. É evidente que este modelo não é sustentável para o futuro e, por esta razão, é imperativo procurar rapidamente alternativas mais eficientes na tentativa de mudar padrões de produção e de consumo, que reduzam a pressão sobre os recursos naturais e sobre o clima, relacionados com a atividade humana (Pimenta, Poggi, & Firmino, 2018).

Como alternativa ao modelo EL surge um novo modelo denominado de Economia Circular (EC), que assenta numa abordagem circular no uso de materiais e energia, denominada 4R: Reduzir-Reutilizar-Reciclar-Recuperar, sendo esta a forma encontrada para reduzir o desperdício de recursos naturais e da poluição gerada (Pimenta et al., 2018).

As organizações governamentais têm vindo a apoiar a transição de uma Economia Linear para uma Economia Circular através de diversas estratégias, legislando e propondo a revisão de diversas políticas setoriais a nível de resíduos sólidos, energias renováveis e eficiência energética (Pimenta et al., 2018). A transição para uma Economia Circular é precisamente uma das linhas de atuação previstas no Plano Nacional Energia e Clima para o horizonte 2020-2030 (Governo de Portugal, 2019).

2.2 Políticas Climáticas e Energéticas

2.2.1 Política Climática da União Europeia

A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (UNFCCC), também designada por COP 20, ocorreu em Lima (Peru) em dezembro de 2014 e contou com a presença de 193 países, que tinham por objetivo alcançar um novo acordo global para a redução dos gases com efeito de estufa. Este acordo tinha por finalidade substituir o protocolo de Quioto II, a partir do ano de 2020. No entanto, só em dezembro de 2015 é que se realizou a cimeira do

clima de Paris das Nações Unidas (COP 21), que contou com a presença de 195 países e permitiu alcançar um novo tratado internacional, desta vez vinculativo, para a substituição do protocolo de Quioto II. Este tratado teve por objetivo a redução da subida da temperatura do planeta em 1,5 ° C em relação à época pré-industrial, constituindo uma estratégia de combate ao aquecimento global (Reis, Crisostomo, Bortolotto, & Moutinho, 2015).

Em 2008 foi implementado o primeiro pacote que contemplava o clima e energia, por parte da União Europeia, tendo fixado as metas para 2020. Os objetivos gerais para 2020 eram a redução das emissões de gases com efeito de estufa em 20 % (relativamente a 1990), aumentar a quota das energias renováveis para 20% e aumentar a eficiência energética em 20%. A União Europeia conseguiu cumprir todas estas metas, tendo a última sido cumprida em 2018, quando se conseguiu reduzir a emissão de gases com efeito de estufa em 23% (Conselho Europeu, 2020).

Em 2014, como já referido, foi acordado um quadro relativo ao clima e à energia, que contemplava um conjunto ainda mais ambicioso de metas para o período 2021-2030. O quadro contém diversas estratégias e objetivos que visam tornar a economia e o sistema energético europeu ainda mais competitivos, seguros e sustentáveis. Por outro lado, ainda foi revisto o Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) e foram adotadas novas regras relativamente à monitorização e comunicação de informações, tendo sido exposta a necessidade de definir planos relativos a cada país na matéria de energia e clima, com estratégias a longo prazo (Conselho Europeu, 2020).

Em fevereiro de 2018 foi revisto, por parte da EU, o CELE, que foi criado em 2005 e é o maior mercado de carbono do mundo. Definiu-se um limite para a quantidade de CO₂ que a indústria pesada e as centrais elétricas podem emitir. O volume total das emissões permitidas é distribuído pelas empresas sob a forma de licenças, que podem ser comercializadas (Conselho Europeu, 2020).

Em junho de 2019, implementaram-se limites para as emissões de CO₂, dos camiões e outros veículos pesados. As novas regras passam por impor aos fabricantes a redução das emissões de CO₂ dos novos camiões, em média, 15 % a partir de 2025 e 30 % a partir de 2030, em relação aos níveis de 2019 (Conselho Europeu, 2020).

Em dezembro de 2019, foi aprovado o ambicioso objetivo de alcançar uma União Europeia com impacto neutro no clima até 2050 (Conselho Europeu, 2020)

2.2.2 Política Energética da União Europeia

A União Europeia enfrenta vários desafios a nível energético, desde o aumento da dependência das importações, limitada diversificação, preços elevados e voláteis da energia, crescente procura energética a nível global, riscos em matéria de segurança que afetam os países produtores e de trânsito, crescentes ameaças devido às alterações climáticas, progresso lento em matéria de eficiência energética, até aos desafios colocados pela crescente quota-parte de energias renováveis. Um outro desafio importante é a necessidade de transparência, integração e interligação dos mercados energéticos. Assim sendo, de um ponto de vista geral, pretende-se conseguir atingir um mercado energético integrado, privilegiando a segurança no aprovisionamento energético e a obtenção de um setor energético sustentável (Ciucci, 2020).

A base jurídica da União Europeia referente às políticas energéticas assenta essencialmente no artigo 194º do Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia (TFUE), que contém disposições específicas referentes às seguintes matérias (Ciucci, 2020):

- ➔ Segurança no aprovisionamento: Artigo 122º do TFUE;
- ➔ Redes e energia: Artigos 170º, 171º e 172º do TFUE;
- ➔ Carvão: Protocolo 37, que clarifica as consequências financeiras resultantes da expiração do Tratado que institui a Comunidade Europeia do Carvão e do Aço (CECA), em 2002;
- ➔ Energia nuclear: O Tratado que institui a Comunidade Europeia da Energia Atómica (Tratado Euratom) constitui a base jurídica da maioria das ações da EU no domínio da energia nuclear;
- ➔ Mercado interno da energia: Artigo 114º do TFUE;
- ➔ Política energética externa: Artigos 216º a 218º do TFUE;

A política energética atual assenta essencialmente nas medidas adotadas pelo Conselho Europeu em outubro de 2014 e revistas em dezembro de 2018, tendo-se estabelecido os seguintes objetivos a alcançar até 2030 (Ciucci, 2020):

- ➔ Uma redução de, pelo menos, 40% nas emissões de gases com efeito de estufa em comparação com os níveis de 1990;
- ➔ Um aumento para 32 % da quota-parte das energias renováveis no consumo de energia;
- ➔ Uma melhoria de 32,5 % na eficiência energética;
- ➔ A interconexão de, pelo menos, 15 % das redes elétricas da UE.

Em dezembro de 2018 entrou em vigor o Regulamento (UE) 2018/1999, relativo à governação da União da Energia e da Ação Climática. Nos termos do regulamento, cada Estado-Membro deve estabelecer no seu plano nacional integrado em matéria de energia e de clima, bem como

os objetivos, contributos, políticas e medidas nacionais para as cinco dimensões da União da Energia: descarbonização, eficiência energética, segurança energética, mercado interno da energia e investigação, inovação e competitividade (Ciucci, 2020).

De forma a melhorar o funcionamento do mercado interno da energia, a União Europeia aprovou um quarto pacote legislativo neste domínio, que contém os seguintes regulamentos: Regulamento relativo às orientações para as infraestruturas energéticas transeuropeias (Regulamento (UE) n.º 347/2013); o Regulamento relativo à integridade e à transparência nos mercados grossistas da energia (Regulamento (UE) n.º 1227/2011); a Diretiva Eletricidade (COM(2016)0864); o Regulamento Eletricidade (COM(2016)0861); o Regulamento Preparação para Riscos (COM(2016)0862) (Ciucci, 2020).

No âmbito da eficiência energética, tem-se como pedra angular a diretiva 2012/27/EU, de 25 de outubro de 2012. Em 2016, através da revisão da Diretiva 2012/27/UE (COM/2016/0761 e COM/2016/0765), a Comissão Europeia teve por objetivo reforçar o desempenho energético dos edifícios novos, acelerar o ritmo de renovação de edifícios existentes para os tornar mais eficientes em termos energéticos e aproveitar da melhor forma possível o enorme potencial de ganhos de eficiência energética no setor da construção (Ciucci, 2020).

A nova Diretiva Desempenho Energético dos Edifícios (Diretiva (UE) 2018/844), estabelece roteiros com etapas indicativas para 2030, 2040 e 2050 e estratégias a longo prazo para os Estados-Membros apoiarem a renovação do parque nacional de edifícios residenciais e não residenciais, tanto públicos como privados, com vista à obtenção de um parque imobiliário altamente eficiente em termos energéticos e descarbonizado até 2050 (Ciucci, 2020). A Portaria n.º 98/2019 refere ainda que os Estados Membros têm o “dever de assegurar que, até à data de 31 de dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam edifícios NZEB, aplicando-se a mesma obrigação para todos os demais edifícios novos, até à data de 31 de dezembro de 2020” (Portaria n.º 98/2019) (Diário da República, 2019). Outro documento importante de salientar, relativo ao desempenho energético dos edifícios, é a nova Diretiva 2010/31/EU de 19 de maio de 2010, que substituiu a anterior (de 2002) a partir de 1 de fevereiro de 2012, e que apresenta as orientações que os Estados Membros devem incorporar nos regulamentos nacionais, referentes aos requisitos mínimos regulamentares de desempenho energético dos edifícios, de modo a garantir a respetiva eficiência energética (Lopes, 2016).

Outros objetivos basilares no domínio das políticas energéticas europeias passam por um reforço das relações externas no domínio da energia, melhorando-se a segurança no aprovisionamento energético e apostando-se numa cooperação a nível internacional. De forma

a promover a cooperação e regulamentação internacional, surgiu o regulamento (COM/2011/0539) em 2011, bem como o regulamento (T7/0343/2012) em 2012, que são uma aposta no intercâmbio de informações tanto a nível europeu como internacional, no setor da energia. Para a melhoria da segurança no aprovisionamento, a União Europeia aprovou em 2010 o regulamento (UE) n.º 994/2010, alargou o âmbito de aplicação da Diretiva 2009/73/CE (Diretiva Gás) aos gasodutos de e para países terceiros, incluindo gasodutos existentes e futuros (COM/2017/660), e alterou a Diretiva Gás em 2019 para a Diretiva (UE) 2019/692, que assegura que as regras que regem o mercado interno do gás sejam aplicáveis aos gasodutos entre um Estado-Membro e um país terceiro, com derrogações para os gasodutos existentes (Ciucci, 2020).

Por último, a União Europeia reforçou a aposta em projetos de investigação, desenvolvimento e demonstração, através do programa Horizonte 2020 (H2020) e do Plano Estratégico Europeu para as Tecnologias Energéticas (Plano SET) (Ciucci, 2020).

Em 2013, foi publicada a comunicação intitulada “Tecnologias e Inovação Energética” (COM/2013/0253), que define uma estratégia que permitirá à UE dispor de um setor de tecnologia e de inovação de nível mundial, capaz de enfrentar os desafios que se colocam até 2020 e para além desta data (Ciucci, 2020).

2.2.3 Política Energética Portuguesa

Atualmente, a política energética portuguesa assenta nos seguintes documentos (Governo de Portugal, 2019):

- Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis 2013-2020 (PNAER) e Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética 2013 -2016 (PNAEE);
- Programa Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroelétrico (PNBEPH);
- Plano Nacional para a Promoção de Bio refinarias;
- Estratégia Industrial e Plano de Ação para as Energias Renováveis Oceânicas;
- Programa de Eficiência Energética na Administração Pública - ECO.AP;
- Relatório de Monitorização da Segurança de Abastecimento do sistema Elétrico Nacional, de 2018 e 2019, e Relatório de Monitorização da Segurança de Abastecimento do Sistema Nacional de Gás Natural, de 2018 e 2019;
- Plano de Desenvolvimento e Investimento da Rede Nacional de Transporte de Eletricidade para o período 2018-2027;
- Plano de Desenvolvimento e Investimento da Rede Nacional de Transporte, infraestruturas de armazenamento e terminais de Gás Natural Liquefeito para o período 2018-2027;

- Plano de Desenvolvimento e Investimento da Rede Nacional de Distribuição de Eletricidade para o período 2019-2023, em avaliação;
- Plano de Desenvolvimento e Investimento da Rede Nacional de Distribuição de Gás Natural para o período 2019-2023, em avaliação.

Para se atingir a neutralidade carbónica em 2050 é necessário abandonar progressivamente o modelo de economia linear, que assenta na utilização de combustíveis fósseis, e apostar-se num modelo de economia que assente na utilização de recursos renováveis e que utilize os recursos de forma eficiente, prosseguindo-se com modelos de economia circular, que valorizam o território e promovem a coesão territorial (Governo de Portugal, 2019).

A nível energético, Portugal apresenta metas ambiciosas para o horizonte 2030. Segundo o que consta no Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030, Portugal pretende atingir em 2030 um índice de eficiência energética de 35%, reduzir as emissões entre 45% e 55% em relação a 2005, atingir 47% da energia produzida proveniente de fontes renováveis e 20% nos transportes, bem como um aumento de 15% nas interligações elétricas (Governo de Portugal, 2019).

A estratégia nacional procura ir de encontro da estratégia comunitária, de forma a poder cumprir-se as metas impostas pela União Europeia. Assim, para se cumprir as metas e objetivos estabelecidos para 2030, foram definidos oito objetivos nacionais numa lógica de integração de energia e clima. A interligação destes objetivos contribuirá para se dar mais um grande passo em direção à neutralidade carbónica, sendo estes os seguintes (Governo de Portugal, 2019):

- ➔ Descarbonizar a economia nacional;
- ➔ Dar prioridade à eficiência energética;
- ➔ Reforçar a aposta nas energias renováveis e reduzir a dependência energética do país;
- ➔ Garantir a segurança no abastecimento;
- ➔ Promover a mobilidade sustentável;
- ➔ Promover uma agricultura e floresta sustentáveis e potenciar o sequestro de carbono;
- ➔ Desenvolver uma indústria inovadora e competitiva;
- ➔ Garantir uma transição justa, democrática e coesa.

Estes objetivos, definidos no Plano Nacional Energia e Clima para o horizonte 2021-2030, contribuem diretamente para as cinco dimensões da União da Energia, descritas no Regulamento (UE) 2018/1999, relativo à governação da União da Energia e da Ação Climática (Governo de Portugal, 2019).

No esquema representado na Figura 2.1 (Governo de Portugal, 2019), é possível verificar a relação de contribuição dos oito objetivos nacionais para as cinco dimensões da União da Energia. Na matriz que se segue, verifica-se que uma aposta nas energias renováveis para reduzir a dependência energética do país, contribui simultaneamente para a dimensão da União da Energia chamada Descarbonização, com o grau 5 (numa escala de 0 a 5), ou seja, tem uma grande contribuição, mas tem uma contribuição nula relativamente à dimensão eficiência energética, tem uma contribuição de grau 4 para a segurança energética, de grau 3 no mercado interno e de grau 4 na investigação, inovação e competitividade. Já a aposta na eficiência energética tem contribuição nula na dimensão mercado interno, contribuição de grau 2 na segurança energética, de grau 4 na investigação, inovação e competitividade, e de grau 5 na descarbonização e eficiência energética (Governo de Portugal, 2019).

OBJETIVOS	DIMENSÕES/PNEC				
	DESCARBONIZAÇÃO	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	SEGURANÇA ENERGÉTICA	MERCADO INTERNO	INVESTIGAÇÃO, INOVAÇÃO E COMPETITIVIDADE
1. DESCARBONIZAR A ECONOMIA NACIONAL	●●●●●	●●●●○	●●●●○	●●●●○	●●●●○
2. DAR PRIORIDADE À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	●●●●●	●●●●●	●●●●○	○●●●○	●●●●○
3. REFORÇAR A APOSTA NAS ENERGIAS RENOVÁVEIS E REDUZIR A DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA DO PAÍS	●●●●●	○●●●○	●●●●○	●●●●○	●●●●○
4. GARANTIR A SEGURANÇA DE ABASTECIMENTO	●●●●○	○●●●○	●●●●●	●●●●○	●●●●○
5. PROMOVER A MOBILIDADE SUSTENTÁVEL	●●●●○	●●●●○	●●●●○	●●●●○	●●●●○
6. PROMOVER UMA AGRICULTURA E FLORESTA SUSTENTÁVEIS E POTENCIAR O SEQUESTRO DE CARBONO	●●●●○	●●●●○	○●●●○	○●●●○	●●●●○
7. DESENVOLVER UMA INDÚSTRIA INOVADORA E COMPETITIVA	●●●●○	●●●●○	○●●●○	○●●●○	●●●●○
8. GARANTIR UMA TRANSIÇÃO JUSTA, DEMOCRÁTICA E COESA	●●●●○	●●●●○	●●●●○	●●●●○	●●●●○

Figura 2.1 - Relação entre os objetivos nacionais e as dimensões do PNEC (Governo de Portugal, 2019)

2.3 Energias Renováveis

A energia pode ser definida como a capacidade de se produzir ou realizar trabalho. A energia não se cria, já existe no universo, o que acontece é a transformação de uma forma de energia para outra (Guerra, Youssef, & Rodrigues, 2011). As fontes renováveis de energia são recursos

naturais que têm a capacidade de se regenerar num curto espaço de tempo e de forma sustentável (Associação de Energias Renováveis, s.d.). Na Europa, 29.9% da energia produzida provêm de fontes renováveis e 38.8% de combustíveis fósseis, como se pode constatar pela análise do gráfico representado na Figura 2.2 (Eurostat, 2020).

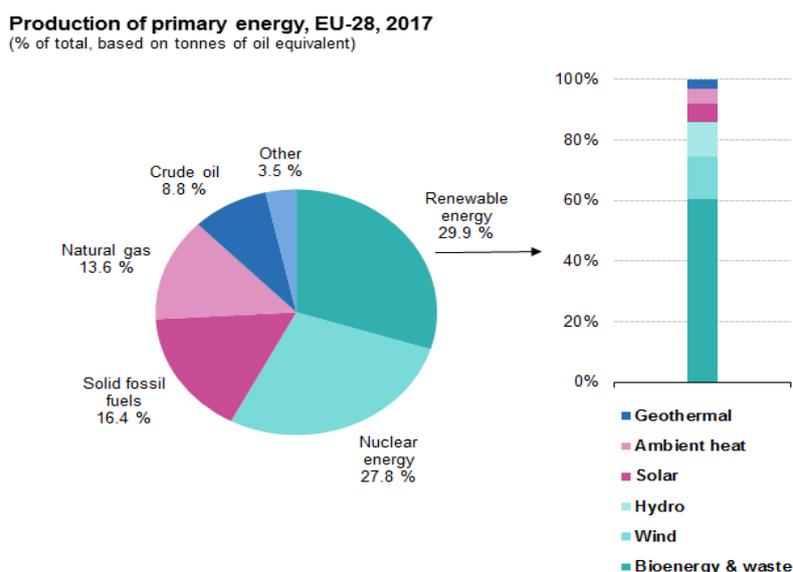


Figura 2.2 - Produção de energia primária, UE-28, 2017 (% do total, com base em toneladas equivalentes de petróleo) (Eurostat, 2020)

Com o aumento do consumo de energia ao longo dos anos e crescentes emissões de gases com efeito de estufa, torna-se imperativo uma aposta contínua nas energias renováveis. O gráfico apresentado na Figura 2.3 (Uzar, 2020) representa precisamente a tendência crescente de aumento das emissões de CO₂ (em megatoneladas), um dos principais gases responsáveis pelo agravamento do efeito de estufa (Uzar, 2020).

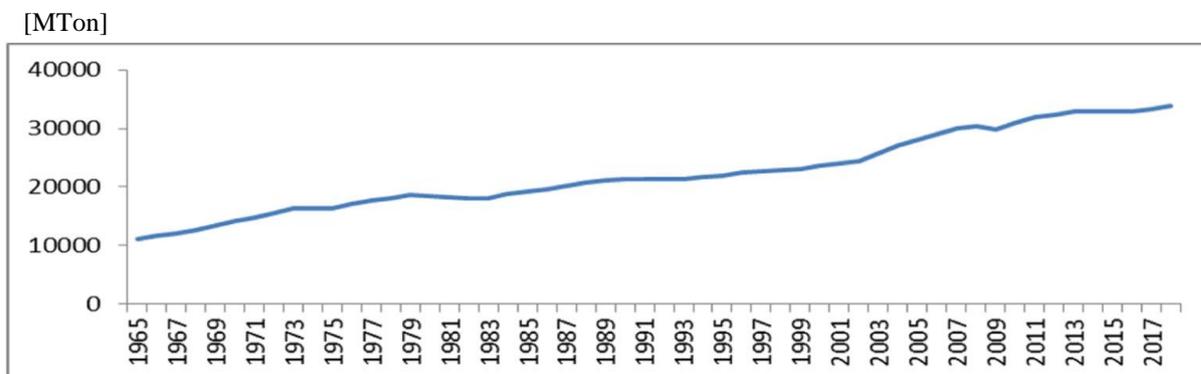


Figura 2.3 – Emissões Globais de CO₂, em megatoneladas (Uzar, 2020)

Pela Figura 2.4 (Eurostat, 2020), que contém dados relativos ao ano de 2017, verifica-se no gráfico que Portugal está perto de atingir uma produção de energias renováveis de 30% da energia total, cumprindo antecipadamente a meta dos 20% estabelecida para 2020. Para poderem ser cumpridas as metas ambiciosas estabelecidas para 2030, é necessária mais aposta nas energias renováveis, na melhoria da eficiência energética dos sistemas técnicos e edifícios, bem como políticas para reduzir as emissões de CO₂, para além de uma contínua aposta nas energias renováveis (Governo de Portugal, 2019).

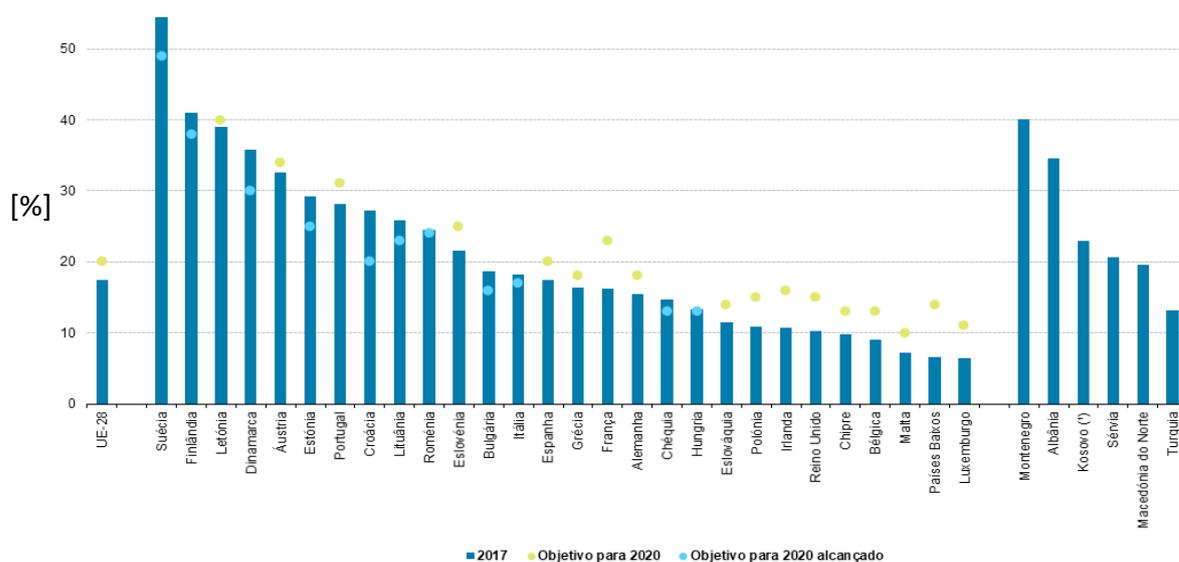


Figura 2.4 - Quota de energia proveniente de fontes renováveis, nos países europeus (em %) (Eurostat, 2020)

De acordo com as metas definidas pelo Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC) para 2030 e tendo em conta a aposta prevista nas energias renováveis, no mesmo plano perspetivou-se a evolução da capacidade total instalada e desagregada por tecnologia para os anos 2020, 2025 e o horizonte de 2030, que pode ser consultada no Quadro 2.1 (Governo de Portugal, 2019).

Quadro 2.1 - Perspetivas de evolução da capacidade instalada para a produção de eletricidade por tecnologia em Portugal no horizonte 2030 (Governo de Portugal, 2019)

(GW)	2020	2025	2030
Hídrica	7,0	8,2	8,2 - 8,7
da qual em bombagem	2,7	3,6	3,6 - 4,1
Eólica	5,4	6,8	9,3
Eólica onshore	5,4	6,7	9,0
Eólica offshore	0,03	0,1	0,3
Solar Fotovoltaico	2,0	6,6	9,0
do qual centralizado	1,5	5,8	7,0
do qual descentralizado	0,5	0,8	2,0
Solar Térmico Concentrado	0	0,1	0,3
Biomassa	0,4	0,4	0,5
Outros renováveis	0,03	0,06	0,1
Geotermia	0,03	0,03	0,06
Ondas	0,001	0,03	0,07
Carvão	1,8	0	0
Gás Natural	3,8	3,8	2,8 - 3,8
Fuel/Gasóleo	0,4	0,3	0,3
TOTAL	20,8	26,3	30,5 - 32,0

NOTA: Não inclui Cogeração

Através do Quadro 2.1, pode constatar-se que a capacidade total instalada para a produção de eletricidade, por tecnologia, irá evoluir de 20,8 GW (em 2020) para 30,5 a 32 GW em 2030, sendo que a parte correspondente à aposta em combustíveis fósseis se mantém praticamente inalterada para o gás natural e fuel/gasóleo, havendo até a eliminação do uso de carvão. Também se verifica que as maiores apostas vão para o aproveitamento da energia hídrica, eólica e solar fotovoltaica (Governo de Portugal, 2019).

Atualmente, existem diversas fontes de energias renováveis, como as que se ilustram no Quadro 2.2 (Rosário da Costa, 2012): energia eólica; energia hídrica; energia solar; energia oceânica; energia geotérmica; bioenergia. Cada uma destas energias renováveis tem vantagens e desvantagens e pode-se tirar proveito delas conforme a situação, no entanto, há uma vantagem que é comum a todas – são fontes naturais inesgotáveis de energia e não poluentes (Rosário da Costa, 2012).

Quadro 2.2 - Tecnologias das fontes de energia renováveis e respetivos usos (Rosário da Costa, 2012)

	Electricidade	Aquecimento e arrefecimento	Transporte
Eólico	Em terra (onshore) No mar (offshore)	-	-
Hídrico	Mini-hídrico (<10MW) Grande hídrico (>10MW)	-	-
Solar	Fotovoltaico Solar termoelectrico de concentração	Solar térmico	-
Oceânico	Ondas Marés	Energia associada ao diferencial térmico dos oceanos (OTEC)	-
Geotérmico	Convencional Sistemas geotérmicos avançados	Uso directo Bombas de calor geotérmicas	-
Bioenergia	Biomassa Biogás	Biomassa Biogás	Bioetanol Biodiesel Biogás

2.3.1 Energia Solar

A energia solar é uma fonte de energia renovável, não poluente e inesgotável, sendo emitida pelo sol sob a forma de radiação que atinge a superfície terrestre. Na superfície terrestre, a radiação incidente pode ser dividida em direta, difusa e refletida, sendo que a soma das três componentes corresponde à radiação global, que tem um valor médio de 1700 kWh/m² por ano, constituindo cerca de 10000 vezes o consumo global de energia no planeta. Existe, assim, um grande potencial de aproveitamento desta fonte renovável de energia (Carreira Serra, 2010).

A energia solar tem impactos ambientais muito reduzidos e apresenta grandes vantagens relativamente à segurança do mercado energético. Atualmente, esta energia pode ser aproveitada através da sua conversão direta em eletricidade ou pela sua conversão em energia térmica (Lavado, 2009).

2.3.1.1 Energia Solar Ativa

A energia solar ativa engloba dois tipos de aplicações, nomeadamente a energia solar térmica e a energia solar fotovoltaica. A energia solar térmica tem por base o aproveitamento das propriedades da termodinâmica de forma a aumentar a temperatura de um fluido, normalmente água, aumentando-se a sua energia térmica e consequentemente a sua entropia. A energia solar térmica não tem por objetivo a geração de eletricidade, exceto em centrais solares termoelétricas (Planas, 2017).

Um sistema de aquecimento ativo permite absorver a energia solar pela bombagem dum fluido com grande capacidade calorífica (como por exemplo água), recorrendo a um sistema de coletores especial, normalmente instalados no telhado e orientados em direção ao sol, como se pode verificar na Figura 2.5 (Lavado, 2009). Parte do calor captado pode ser usado diretamente, enquanto que a parte restante pode ser armazenada num depósito e utilizada quando se deseje (Lavado, 2009).

Um conjunto de sistemas solares térmicos consegue captar a energia solar e transformá-la em energia térmica, que pode ser utilizada diretamente ou pode ser convertida em eletricidade. Existem essencialmente três formas de produção de eletricidade a partir da energia solar, sendo através de células fotovoltaicas, através de centrais fotovoltaicas ou através de torres de controlo (energia solar de concentração) (Lavado, 2009).

A energia solar ativa tem inúmeras aplicações, como por exemplo a produção de águas quentes sanitárias (AQS), aquecimento de piscinas, aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente (sistemas híbridos), produção de água a altas temperaturas para uso industrial, estufas, secadores, secadores desalinizadores, destoxificadores (ultravioleta) e cozinhas solares (Portal das Energias Renováveis, s.d.-a).

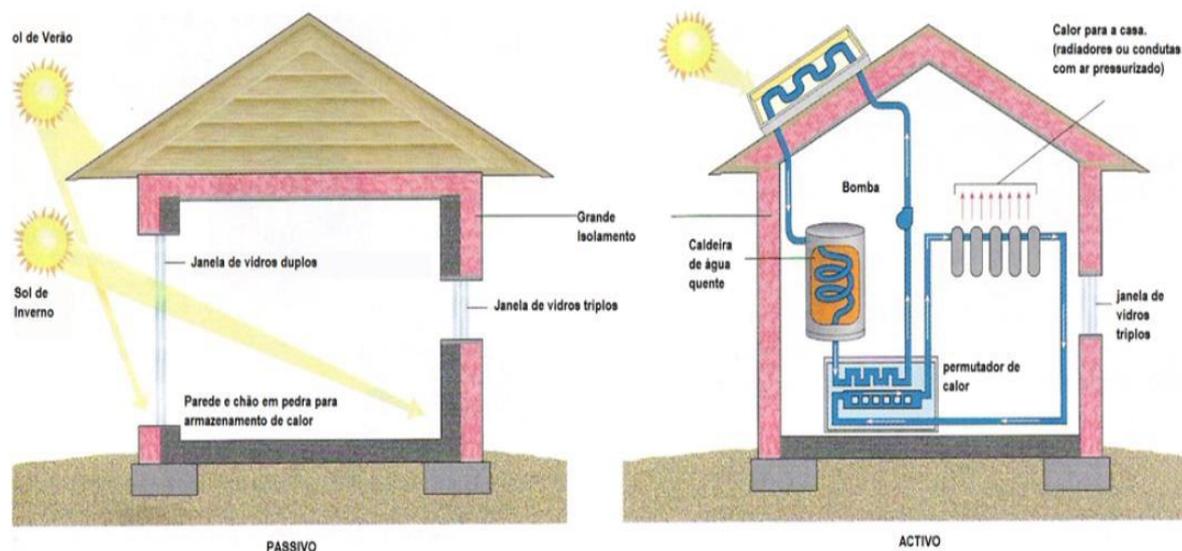


Figura 2.5 - Diferença entre um sistema solar ativo e um sistema solar passivo (Lavado, 2009)

Um coletor solar térmico tem a função de captar a radiação solar através de uma placa metálica, que funciona como um corpo negro e transmite essa energia a um fluido de transferência. Este compreende um sistema de tubagens que transferem a energia térmica criada para o dito fluido de transferência (mistura de água com um anticongelante), sendo o fluido de transferência encaminhado em direção ao depósito de acumulação. O calor transportado pelo fluido de transferência é transferido para a água potável existente no depósito de acumulação, através de um permutador de calor. Após este processo, a temperatura do fluido de transferência baixa significativamente, sendo transportada novamente até ao coletor, através de outra conduta, para ser novamente aquecida. Dentro do depósito, a água quente sobe e a água fria fica no fundo, criando-se uma estratificação no interior do depósito, sendo que o funcionamento do sistema se baseia precisamente nessa diferença de temperaturas entre o ponto mais frio do depósito (na base) e o ponto de saída dos coletores (ponto mais quente). Este ciclo repete-se sempre que essa diferença de temperaturas atinge um determinado valor. Num sistema de circulação forçada, este ciclo é acionado por um centro de controlo, que aciona automaticamente a bomba quando se atinge uma determinada diferença de temperatura. Quando a energia solar captada não é suficiente para elevar a temperatura da água até ao valor pretendido, esse sistema funciona

como pré-aquecimento e a água que sai do depósito é aquecida novamente, através de sistemas de apoio, até à temperatura pretendida, sendo de seguida encaminhada para os locais de consumo (Amaral, 2012).

Segundo o PNEC, em 2020, Portugal tem uma capacidade instalada para produção de eletricidade de 2 GW proveniente de energia solar fotovoltaica, dos quais 1,5 GW são provenientes de sistemas centralizados e 0,5 GW de sistemas descentralizados. Portugal perspetiva para 2030 uma capacidade instalada de 9 GW para a energia solar fotovoltaica, dos quais 7 GW provêm de sistemas centralizados e 2 GW de sistemas descentralizados (Governo de Portugal, 2019).

Uma forma de produzir eletricidade a partir da energia solar é utilizando um sistema de receção central denominado torre de controlo, constituído por um conjunto de refletores computadorizados, denominados helióstatos, que seguem o sol e focam os raios solares na torre central coletora de calor (recetor térmico) (Lavado, 2009). Este método denomina-se energia solar de concentração e a radiação solar concentrada absorvida servirá posteriormente para aquecer um fluído (fluído de transferência de calor, HTF). O calor contido neste fluído pode ser armazenado num sistema de armazenamento de energia térmica para uso posterior ou pode ser utilizado num ciclo termodinâmico para produção de eletricidade. Quando necessário, estas centrais podem ter sistemas de apoio capazes de cobrir total ou parcialmente as necessidades de energia durante os períodos de baixa radiação. Existem essencialmente quatro tecnologias principais para este método: espelhos cilindro-parabólicos; refletores de Fresnel lineares; sistemas recetores centrais; espelhos de disco parabólico (Newsol, s.d.). Na Figura 2.6 é possível observar uma fotografia de uma central de energia solar de concentração, instalada em Sevilha, Espanha.



Figura 2.6 - Energia Solar de Concentração (Torresol Energy, 2012)

Outra forma de se produzir eletricidade a partir da energia solar é através de centrais fotovoltaicas, cujo princípio de funcionamento consiste na captação e absorção dos raios solares focando-os num sistema de tubos cheios de óleo. Neste processo geram-se temperaturas bastante altas de forma a que se consiga movimentar um conjunto de turbinas e, através do movimento mecânico das turbinas, gerar-se eletricidade. Este processo está dependente do clima, sendo que de noite ou em dias muito nublados é necessário ter-se um sistema de apoio para atuar e movimentar as turbinas, sendo que as turbinas são normalmente movimentadas a gás natural, nesta situação. Este processo tem algumas desvantagens, como a necessidade de se ocupar grandes áreas, o que torna os solos utilizados obsoletos, polui a água e o ar, a construção é demorada (1 a 2 anos), têm baixa eficiência (na ordem de 8 a 20% nos conversores) e possuem custos elevados de investimento. Todos estes fatores tornam, ainda, este tipo de sistemas pouco competitivos (Lavado, 2009). A Figura 2.7 ilustra a central fotovoltaica instalada em Évora, Portugal (Região-Sul, 2019).



Figura 2.7 - Central Fotovoltaica de Évora (Região-Sul, 2019)

Outra forma de produção de eletricidade a partir da energia solar são as células fotovoltaicas. Estas podem ser colocadas nos telhados das casas, nas janelas ou até as próprias telhas dos telhados podem ser constituídas por células fotovoltaicas. As células fotovoltaicas têm a vantagem de necessitar de pouca manutenção, de não produzir poluição sonora ou do ar em laboração e apresentar um elevado tempo de vida (20 a 40 anos). O custo de investimento inicial ainda é elevado, mas com uma contínua aposta neste tipo de solução este pode vir a baixar futuramente (Lavado, 2009).

Os sistemas tecnológicos fotovoltaicos podem apresentar-se com uma das seguintes configurações (Carreira Serra, 2010):

- **Sistemas ligados à rede:** estes sistemas encontram-se ligados à rede elétrica local, permitindo que todo ou apenas o excesso de energia produzida seja vendido à rede. Durante as horas em que não exista produção, a eletricidade provem da rede;

- **Sistemas isolados:** a maior parte destes sistemas utiliza baterias, tipicamente de chumbo e ácido, para o armazenamento da energia excedente, a qual será usada quando a energia produzida não satisfaz as necessidades. Estes sistemas são comuns em locais isolados, onde não é rentável a ligação à rede local mais próxima;
- **Sistemas híbridos:** são sistemas combinados com outra fonte de energia, como por exemplo um gerador a biomassa, uma turbina eólica ou um motor a diesel, de forma a assegurar um fornecimento constante de energia. Normalmente estes sistemas não se encontram ligados à rede elétrica.

Uma grande desvantagem dos sistemas solares ativos prende-se com o facto de não poderem ser implementados em habitações já existentes que não possuam uma orientação solar adequada ou que estejam localizadas em locais com pouca exposição solar. Estes tipos de sistemas têm também a desvantagem de requererem mais manutenção e reparação do que, por exemplo, os sistemas solares passivos, tendo, portanto, um custo mais elevado. Tal como na maioria dos sistemas tecnológicos das várias energias renováveis, as emissões dos sistemas solares ativos são quase nulas, verificando-se apenas durante a sua construção, instalação e manutenção (Lavado, 2009).

No Quadro 2.3 (Lavado, 2009) resumem-se as vantagens e desvantagens da utilização da energia solar fotovoltaica como fonte de energia.

Quadro 2.3 - Vantagens e desvantagens do uso da energia solar fotovoltaica como fonte de energia (Lavado, 2009)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Rede energética moderada;• Impacto ambiental moderado;• Não existe emissão de CO₂;• A construção realiza-se entre 1 a 2 anos;• Custos reduzidos com sistema de <i>backup</i> de turbinas a gás natural.	<ul style="list-style-type: none">• Baixa eficiência;• Custos elevados;• Ser intermitente;• Necessita dum sistema de <i>backup</i> ou de armazenamento;• Requer luz solar a maior parte do período de laboração;• Uso do solo elevado;• Pode provocar distúrbios em áreas desérticas.

2.3.1.2 Energia Solar Passiva

A energia solar passiva consiste essencialmente no aquecimento dos edifícios (climatização) e/ou águas sanitárias, orientando-os de forma a que beneficiem da máxima exposição solar (Lavado, 2009). Os sistemas solares passivos não requerem energia adicional para operar e,

portanto, têm custos operacionais nulos, não emitem gases de efeito de estufa em operação e têm baixos custos de manutenção. Neste tipo de solução, geralmente não é utilizada qualquer energia externa, pois o objetivo passa por aproveitar o melhor possível a radiação solar direta (ganhos diretos) (Planas, 2015). No entanto, dependendo do clima, algumas habitações podem ter um sistema de apoio que funcione a gás natural ou propano (Lavado, 2009). Outra forma de aproveitar os ganhos diretos é através de um sistema de ganho direto com circuito de convecção através de enrocamento, sendo este um sistema misto que combina ganhos diretos com um circuito de convecção que pode ser natural ou por ventilação mecânica (Morais, 2015).

Os sistemas de aquecimento solar passivo têm por objetivo a absorção e armazenamento do calor proveniente da radiação solar direta, diretamente dentro das habitações. Destes tipos de soluções podem fazer parte pequenas estufas ligadas às casas (ganhos isolados), que consistem em duas zonas, separadas por uma parede maciça, que armazena a energia e a transmite ao espaço adjacente por condução ou por convecção, caso existam aberturas (Morais, 2015). Deste tipo de sistemas fazem também parte as janelas eficientes, paredes e pavimentos termicamente eficientes, cujos materiais são escolhidos a rigor. Outros sistemas, como a parede de Trombe (ganho indireto), captam a radiação solar incidente através de um vidro e mantêm-na aprisionada, sob a forma de calor, entre o vidro e uma parede maciça, transmitindo-a para o interior por condução. Existem, ainda, outros sistemas de ganhos indiretos, que consistem em armazenar água em contentores próprios, que vai armazenar o calor durante o período de exposição solar e libertá-lo nos períodos mais frios, ou mesmo colocar os contentores de água no telhado (*Roof Pond*) (Lavado, 2009). No projeto de edifícios solares passivos, os elementos são projetados para captar, armazenar e distribuir a energia solar sob a forma de calor no inverno e dissipar a energia solar captada no verão (Planas, 2015). Na Figura 2.8 podem ser observados alguns sistemas de ganhos indiretos (Pinto & Dias, 2017).

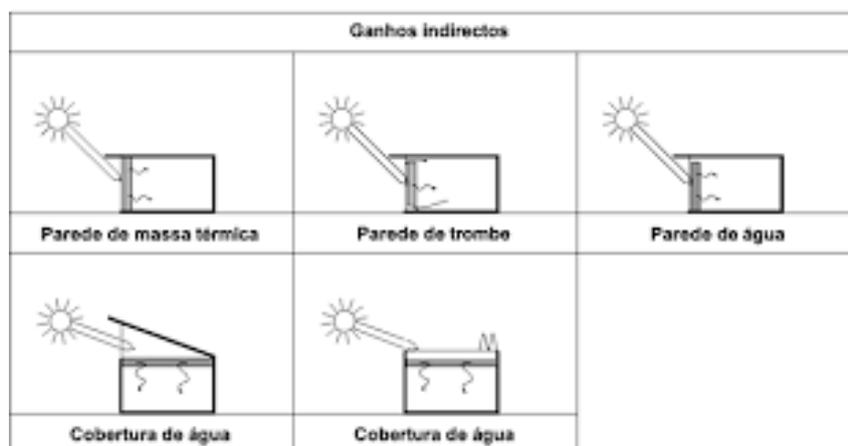


Figura 2.8 - Sistemas de ganhos indirectos (Pinto & Dias, 2017)

Do ponto de vista económico, um sistema solar passivo é a forma mais barata de se aquecer uma habitação ou um pequeno prédio nas regiões com grande exposição solar. Um sistema deste tipo, normalmente, envolve um aumento de 5 a 10% do preço total da construção, mas os custos de manutenção deste sistema são cerca de 30 a 40% menores que os de uma habitação normal, que tem outros tipos de sistemas técnicos instalados, que exigem uma manutenção frequente. O tempo de amortização de uma habitação passiva é de 3 a 7 anos (Lavado, 2009). No Quadro 2.4 (Lavado, 2009) encontram-se resumidas as principais vantagens e desvantagens da utilização de energia solar ativa e passiva.

Quadro 2.4 - Vantagens e desvantagens do uso da energia solar passiva e ativa (Lavado, 2009)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• A rede energética é moderada (activa) e elevada (passiva);• Instalação rápida;• Não existe emissão de CO₂;• Baixa poluição da água;• Uso do solo muito baixo (construído de raiz ou instalados na própria casa);• Custo moderado (passiva);• Permite o aquecimento de águas e de interiores.	<ul style="list-style-type: none">• Precisa de receber luz solar 60% do tempo;• Outras estruturas podem bloquear a luz do sol;• É necessário instalar um sistema de aquecimento (activa);• O sistema activo necessita de manutenção e reparação;• Os colectores activos são esteticamente pouco atractivos.

Como referido anteriormente, estes tipos de sistemas não requerem energia adicional para operar e, portanto, têm custos operacionais zero e baixos custos de manutenção. Neste tipo de solução geralmente não é utilizada qualquer energia externa, o objetivo passa por aproveitar o melhor possível a radiação solar direta. Assim sendo, os sistemas tecnológicos a aplicar nos edifícios estão inteiramente relacionados com a própria construção, podendo ir desde a localização e tamanho das janelas, ao tipo de vidro a escolher, isolamento térmico, massa térmica e sombreamento. Outros elementos importantes de considerar são a orientação solar (ganhos diretos), espessura das paredes (por exemplo paredes Trombe, de grande inércia térmica), ventilação nos telhados, ventilação das próprias habitações e vegetação para sombreamento. A termodinâmica, através da transferência de calor e temperatura, desempenha um papel crucial neste tipo de sistemas (Planas, 2015).

2.3.2 Bioenergia

A bioenergia é a energia obtida a partir da matéria orgânica, sendo o resultado da conversão da radiação solar em energia química, realizada pela biomassa vegetal no seu processo de fotossíntese. As plantas, através da fotossíntese, utilizam a radiação solar para combinar o CO₂ da atmosfera com a água e outros nutrientes que retiram do solo, garantindo o seu crescimento. Assim sendo, a bioenergia pode ser considerada uma energia renovável e atualmente representa cerca de 11% do consumo global de energia primária, sendo ainda o único recurso energético com carbono que não emite CO₂ para a atmosfera. Da bioenergia fazem parte os biocombustíveis e a biomassa (Direção Geral de Energia e Geologia, s.d.-a).

A biomassa é a matéria orgânica, quer seja de origem vegetal ou animal, que pode ser utilizada como fonte de energia no estado sólido, líquido ou gasoso, constituindo uma das formas mais antigas de gerar energia. Esta tem origem na fotossíntese, utilizando o CO₂ da atmosfera e a energia da radiação solar para depois dar origem à matéria que compõe as plantas (Direção Geral de Energia e Geologia, s.d.-a). São exemplos de biomassa os subprodutos da floresta, agricultura, pecuária, da indústria da madeira e do papel e a parte biodegradável dos resíduos sólidos. A biomassa, quando queimada, é uma fonte de energia que pode ser usada em centrais térmicas para produzir eletricidade, tendo igualmente um importante papel na produção de calor. Usar os resíduos da floresta com este fim diminui o risco de incêndio, se a limpeza das florestas for conjugada com o ordenamento florestal (Associação de Energias Renováveis, s.d.).

A biomassa é uma fonte de energia renovável se os recursos que lhe dão origem não forem colhidos a uma velocidade superior à sua capacidade de regeneração. Uma solução para este problema é a criação de grandes plantações de biomassa com espécies de rápido crescimento, havendo um planeamento para não esgotar os nutrientes existentes no solo (Lavado, 2009).

A biomassa, os resíduos sólidos agrícolas e da pecuária, quando queimados, podem ser transformados em combustíveis sólidos ou biocombustíveis sólidos, gasosos ou líquidos. A energia obtida a partir da biomassa encontra-se presente no mercado térmico, elétrico e de transportes. A queima de biomassa liberta CO₂ para a atmosfera, mas se a taxa de utilização da biomassa não for superior ao tempo de regeneração das culturas, existe um equilíbrio na quantidade de CO₂ presente na atmosfera. Uma grande desvantagem da biomassa está relacionada com a sua variabilidade económica, dado que o seu preço varia de acordo com a sua qualidade. Outra desvantagem são as emissões de CO₂ para a atmosfera durante o transporte da matéria para as centrais (Lavado, 2009). No Quadro 2.5 (Lavado, 2009) estão resumidas as principais vantagens e desvantagens da utilização da biomassa como fonte de energia.

**Quadro 2.5 - Vantagens e desvantagens do uso da energia da biomassa como fonte de energia
(Lavado, 2009)**

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Grande potencial de abastecimento em determinadas áreas;• Não há libertação de CO₂ para a atmosfera, caso seja colhida e queimada de modo sustentável;• A plantação pode-se localizar em zonas semi-áridas que não sejam necessárias para plantio;• A plantação pode ajudar recuperar solos degradados;• Utiliza resíduos de agricultura, de madeira e urbanos;• A energia pode ser utilizada conforme a necessidade, pois encontra-se armazenada;• O uso de plantas energéticas nacionais reduz a dependência de importações.	<ul style="list-style-type: none">• Não renovável se for utilizado de modo não sustentável;• Moderado a elevado impacto ambiental;• Libertação de CO₂ para a atmosfera caso o recurso seja utilizado de modo não sustentável;• Erosão dos solos, poluição da água e perda de vida selvagem;• As plantações de biomassa poderão competir com as dedicadas à agricultura;• Muitas vezes queimada em fogueiras a céu aberto ou fornos ineficientes e que poluem.

Os biocombustíveis são derivados da biomassa através de vários processos químicos. Os mais importantes a nível mundial são os biocombustíveis líquidos, especialmente o bioetanol e o biodiesel, utilizados nos transportes. Os biocombustíveis podem ser uma alternativa para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis (principalmente os países altamente dependentes das importações), aumentando a segurança energética no setor dos transportes e consequentemente reduzindo as emissões de CO₂ para a atmosfera. Por estas razões, a produção de biocombustíveis é fortemente incentivada pelos governos a nível mundial, através de instrumentos e benefícios financeiros aos agricultores (Lavado, 2009).

Uma grande desvantagem dos biocombustíveis é o desgaste dos solos para plantações de biomassa, assim como uma possível intensa desflorestação, devido à procura de solos, e perda de biodiversidade. É possível diminuir os impactos negativos referidos através duma gestão correta e sustentável, que promova uma produção que possa mitigar os impactos negativos no ambiente. Uma solução possível seria a utilização de culturas transgênicas de espécies com elevada capacidade de produção de biocombustíveis (Lavado, 2009).

O biogás obtém-se a partir do processo de digestão anaeróbia de algumas formas de biomassa, obtendo-se um biocombustível gasoso constituído por 60% metano e 40% CO₂. Em muitos países existem digestores de biogás onde se colocam os resíduos urbanos e lamas resultantes do tratamento de águas residuais, dando origem ao biogás que posteriormente é utilizado no aquecimento e, em algumas situações, para produção de eletricidade. Os resíduos remanescentes no fim do processo podem ser utilizados como fertilizantes em determinados solos. A principal desvantagem do biogás é a tecnologia utilizada, uma vez que os digestores são eficientes, mas demasiado demorados, imprevisíveis e libertam CO₂ para a atmosfera (Lavado, 2009).

Atualmente, em Portugal, a capacidade instalada para produção de eletricidade a partir de biomassa é de 0,4 GW, sendo que se perspetiva uma capacidade instalada de 0,5 GW para 2030 (Governo de Portugal, 2019).

Atualmente, nas legislações existentes, Portugal considera os seguintes biocombustíveis (Direção Geral de Energia e Geologia, s.d.-a): biodiesel; bioetanol; biometanol; bio-DME; bio-ETBE; bio-MTBE; biogás; gasóleo Fischer-Tropsch; biohidrogénio; óleo vegetal puro; óleo vegetal tratado com hidrogénio.

A biomassa pode ser utilizada para a produção de energia a partir de processos de pirólise, gasificação, combustão ou co-combustão do material orgânico disponível (Reis, 2020). O processo de pirólise consiste em submeter a biomassa a altas temperaturas sem a presença de oxigénio, acelerando a decomposição da mesma. O que sobra da decomposição é uma mistura de gases, líquidos (óleos vegetais) e sólidos (carvão vegetal) (Reis, 2020).

No processo de gasificação, à semelhança da pirólise, também se submete a biomassa a altas temperaturas (mais baixas que na pirólise) na ausência do oxigénio, no entanto o produto final destina-se a ser um gás inflamável. Esse gás pode ainda ser filtrado, com o objetivo de remover alguns componentes químicos residuais (Reis, 2020).

A combustão da biomassa consiste na queima a altas temperaturas na presença de oxigénio, sendo que o produto final é um vapor a alta pressão. O vapor produzido é geralmente utilizado em caldeiras ou para imprimir movimento às turbinas para produção de eletricidade, sendo que a eficiência energética do processo se situa entre 20 e 25% (Reis, 2020).

O processo de co-combustão consiste na substituição de parte do carvão mineral utilizado em centrais termoelétricas por biomassa, permitindo reduzir significativamente a emissão de poluentes. A eficiência energética da biomassa neste processo ronda os 30 a 37% (Reis, 2020).

Atualmente, uma grande parte da biomassa é queimada de forma direta para o aquecimento de habitações ou para processos industriais, sendo que outra grande parte é indiretamente utilizada para fazer movimentar turbinas na produção de eletricidade. Nas centrais de cogeração, onde o calor produzido auxilia na produção de eletricidade, o calor remanescente do processo é utilizado como fonte de energia térmica em processos industriais ou para o aquecimento, sendo que esta gestão inteligente dos recursos permite aumentar globalmente a eficiência de 35% para aproximadamente 80% (Lavado, 2009).

A produção de energia elétrica a partir da biomassa é menos eficiente que a produção a partir de outros combustíveis, porque o combustível aqui utilizado tem menor poder calorífico, maior heterogeneidade e existe uma maior variabilidade do conteúdo em termos de humidade (Lavado, 2009).

2.3.3 Aerotermia

A aerotermia é uma energia renovável que aproveita a energia térmica existente no ar e que a transfere para o interior da habitação, onde pode ser aproveitada para aquecimento, refrigeração ou água quente sanitária. A aerotermia pode ser aproveitada através de bombas de calor aerotérmicas, que transferem, sob a forma de calor, a energia calorífica do ar exterior para o sistema de aquecimento no interior da habitação (Baxi, s.d.). Na presente dissertação, apenas serão objeto de estudo as bombas de calor aerotérmicas (permuta ar-água).

As bombas de calor são máquinas térmicas que movem o calor de uma fonte para outra, com recurso a pouca energia auxiliar, existindo desde meados do século passado. As bombas de calor podem ser classificadas em duas grandes categorias (Facão, 2015):

→ Segundo o ciclo termodinâmico:

- Bombas de calor de compressão
- Bombas de calor de absorção: permuta água – brometo de lítio ou água – amónia;
- Bombas de calor de adsorção;
- Bombas de calor com acionamento por ciclo de Rankine;
- Bombas de calor termoelétricas;
- Bombas de calor de ciclo aberto.

→ Segundo a fonte energética:

- Permuta com ar ambiente: temperaturas de -10 °C a 15 °C;
- Permuta com ar de ventilação interior: temperaturas de 15 °C a 25 °C;
- Permuta com água subterrânea: temperaturas de 4 °C a 10 °C;
- Permuta com água de um lago: temperaturas de 0 °C a 10 °C;
- Permuta com água de um rio: temperaturas de 0 °C a 10 °C;
- Permuta com água do mar: temperaturas de 3 °C a 8 °C;
- Permuta com rochas: temperaturas de 0 °C a 5 °C;
- Permuta com os solos: temperaturas de 0 °C a 10 °C;
- Permuta com água de efluentes: temperaturas superiores a 10 °C.

As bombas de calor possuem uma unidade termodinâmica instalada no exterior da habitação e outra instalada no interior da habitação, que consiste num módulo hidráulico (caldeira) capaz de dar ao circuito de aquecimento a energia recuperada pela unidade termodinâmica (Reis, 2018). As bombas de calor aerotérmicas são uma tecnologia altamente eficiente, que aproveita uma fonte de energia inesgotável e renovável que é o ar, permitindo reduzir os gastos energéticos e não produzindo emissões diretas de CO₂, contribuindo assim para a diminuição das emissões de gases com efeito de estufa. As bombas de calor são sistemas altamente eficientes que permitem transformar uma unidade de energia elétrica em 4 ou mais unidades de energia de aquecimento, podendo garantir um elevado rendimento, inclusive com temperaturas exteriores baixas. Outra grande vantagem das bombas de calor aerotérmicas é a sua versatilidade, podendo ser combinadas com emissores térmicos tais como radiadores, ventiloconvertores ou pavimento radiante, o que permite conseguir um elevado nível de conforto nas habitações. Quando inseridas em sistemas híbridos, ou seja, combinadas com outros geradores, como caldeiras a gás ou a gasóleo, é possível obter poupanças energéticas de até 60% em comparação com o funcionamento individual de uma caldeira a gás, retirando-se simultaneamente as vantagens das duas tecnologias (Baxi, s.d.).

2.4 Eficiência Energética nos Edifícios

Em 1977 foi criado o programa EBC (*Energy in Buildings and Communities*), pela Agência Internacional de Energia, que tem como objetivo a investigação e desenvolvimento para a eficiência energética nos edifícios, através da promoção de projetos de colaboração a nível europeu. A missão específica do EBC é desenvolver e facilitar a integração de tecnologias e processos orientados para a eficiência energética, apostando nos seguintes domínios (Direção Geral de Energia e Geologia, s.d.-c):

- Projeto integrado de planeamento e construção;
- Sistemas energéticos dos edifícios, incluindo o uso de energias renováveis;
- Envolvente construtiva eficiente;
- Métodos de gestão e monitorização de consumos de energia em comunidades;
- Métodos de quantificação, previsão e gestão dos consumos reais de energia nos edifícios.

Em 2012 foi publicada a Diretiva 2012/27/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à eficiência energética, que altera as Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/EU, e revoga as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE. Esta diretiva estabelece um quadro comum de medidas de promoção da eficiência energética a nível europeu. A diretiva estabeleceu, ainda, regras destinadas a eliminar os obstáculos no mercado da energia e a ultrapassar as deficiências do mercado que impedem a eficiência no aprovisionamento e na utilização da energia, e prevê o

estabelecimento de objetivos nacionais indicativos em matéria de eficiência energética para 2020. A transposição desta diretiva para a ordem jurídica interna foi efetuada pelo Decreto-Lei n.º 68-A/2015, de 30 de abril, que estabelece disposições em matéria de eficiência energética e cogeração (Direção Geral de Energia e Geologia, s.d.-c).

Ainda em matéria de eficiência energética, foi elaborado um novo quadro legal, o Decreto-Lei 162/2019, com o objetivo de incentivar a produção distribuída e o autoconsumo de energia a partir de fontes renováveis, possibilitando e fomentando o autoconsumo individual, coletivo e a constituição de comunidades de energia. Este novo quadro legal veio permitir aos cidadãos, empresas e demais entidades públicas e privadas, a produção, consumo, partilha, armazenamento e venda da energia produzida a partir de fontes de energia renovável, participando, assim, ativamente na transição energética (Governo de Portugal, 2019).

A eficiência energética é uma das grandes dimensões das políticas europeias em matéria de energia e clima, tendo sido adaptadas ao contexto nacional através do Plano Nacional Energia e Clima, em 2019. A eficiência energética constitui um dos vetores mais importantes para concretizar uma transição para uma economia neutra em carbono, ao mesmo tempo que gera crescimento, emprego e oportunidades de investimento. Desta forma, Portugal pretende atingir uma meta de redução do consumo de energia primária de 35% em 2030, como contributo indicativo nacional em matéria de eficiência energética para o cumprimento da meta de 32,5% de eficiência energética na união europeia (Quadro 2.6) (Governo de Portugal, 2019).

Quadro 2.6 - Contributo indicativo nacional em matéria de eficiência energética para o cumprimento da meta de 32,5% de eficiência energética na União em 2030 (Governo de Portugal, 2019)

	2020	2030
Meta de redução do consumo de energia primária¹⁵	25%	35%

O setor dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa e cerca de 30% para o caso de Portugal, segundo a DGEG, em 2020. Estima-se que cerca de 50% deste consumo possa ser reduzido através de medidas de eficiência energética, o que representa uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂ – quase a totalidade do compromisso da UE no âmbito do Protocolo de Quioto. Perante esta realidade, os Estados-Membros têm vindo a promover um conjunto de medidas com vista a impulsionar a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios, em linha com a Diretiva 2002/91/CE e a Diretiva 2010/31/EU, relativas ao desempenho energético dos edifícios (Direção Geral de Energia e Geologia, s.d.-c).

Segundo o Plano Nacional Energia e Clima, em 2019, no setor residencial pretende-se reforçar o conforto térmico das habitações, tanto no aquecimento como no arrefecimento, privilegiando as soluções de isolamento e prosseguindo-se com a tendência de eletrificação do setor. Pretende-se realizar uma aposta continua na reabilitação urbana, o que irá conferir a oportunidade de aplicação de melhorias na eficiência energética e hídrica, incorporando-se materiais de baixo impacto ambiental e fontes de energia renovável, contribuindo assim para o combate à pobreza energética. No sector dos serviços, pretende-se aumentar a eletrificação dos consumos, reduzindo-se o consumo proveniente de fontes não renováveis de energia, aumentar a eficiência energética dos equipamentos instalados e incorporar fontes de energia renovável. Outra aposta do PNEC, para o horizonte 2021-2030, passa pela aposta nos edifícios NZEB (*Nearly Zero Energy Buildings*), uma vez que as suas necessidades de energia para climatização são quase nulas (Governo de Portugal, 2019).

A eficiência energética nos edifícios pode ser melhorada de diferentes formas, sendo uma delas a forma como se utilizam os edifícios (comportamento humano), devendo existir uma utilização racional da iluminação, apenas deixando acesas as lâmpadas enquanto efetivamente se utilizam os espaços e utilizar-se equipamentos elétricos mais eficientes (Carreira Serra, 2010).

Outros aspetos fundamentais para a melhoria da eficiência energética nos edifícios estão relacionados com o projeto e construção dos mesmos. Algumas boas práticas de construção podem levar a um aumento da eficiência energética dos edifícios, como por exemplo (Carreira Serra, 2010): a escolha adequada da orientação e distribuição das divisões; adaptação dos edifícios às condições locais; escolha criteriosa de materiais de construção mais ecológicos; utilização de isolamentos térmicos com elevado desempenho térmico; janelas termicamente eficientes; coberturas devidamente isoladas e impermeabilizadas; racionalização na escolha das aberturas para o exterior e promoção de uma aposta em medidas de arquitetura solar passiva; utilização de fontes de energia renováveis para diminuição da dependência energética do edifício (como por exemplo coletores solares térmicos e painéis solares fotovoltaicos); utilização racional da água; aposta em sistemas de reutilização de águas. Algumas das medidas referidas encontram-se contempladas no Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética para o período 2013-2016 (PNAEE) e no Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis para o período 2013-2020 (PNAER) (Governo de Portugal, 2019).

2.4.1 Metodologia REH

A partir da transposição para o direito nacional da Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, foi possível reunir num único diploma (DL n.º 118/2013), o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) (Diário da República, s.d.).

No âmbito de aplicação do REH é necessária a utilização de diversas portarias e despachos, de forma a poder-se calcular diversos parâmetros intervenientes no cálculo térmico, designadamente (Certificação Energética dos Edifícios, s.d.): Portaria n. 349-B/2013; Despacho n.º 15793- I/2013; Despacho n.º 15793- K/2013; Despacho n.º 3777/2017; Portaria n.º 319/2016; Despacho 15793-H/2013.

O ponto 1 do artigo 22 do DL n.º 118/2013 (Diário da República, s.d.) refere que “o REH estabelece os requisitos mínimos para os edifícios de habitação, novos ou sujeitos a intervenções, bem como os parâmetros e as metodologias de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, de todos os edifícios de habitação e dos seus sistemas técnicos, no sentido de promover a melhoria do respetivo comportamento térmico, a eficiência dos seus sistemas técnicos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente”. De seguida, o ponto 2 do mesmo artigo refere que “os requisitos mínimos referidos no número anterior são estabelecidos de forma a alcançar níveis ótimos de rentabilidade e revistos periodicamente em função dos resultados da análise de custo ótimo realizada para os edifícios de habitação, com intervalos não superiores a cinco anos”. O artigo 23 do mesmo decreto indica o âmbito de aplicação deste regulamento.

A utilização da metodologia do REH para realizar o cálculo térmico dos edifícios permite avaliar o contributo de diversas soluções construtivas e equipamentos para a eficiência energética e conforto térmico das habitações.

2.4.2 Software SCE.ER

O SCE.ER é um programa informático de definição de requisitos mínimos e de verificação regulamentar, para sistemas de aproveitamento de fontes de energia renováveis em edifícios (Direção Geral de Energia e Geologia, s.d.-f).

O SCE.ER implementa metodologias oficiais do contexto do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE, viz. Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto alterado pelo Decreto-Lei n.º 68-A/2015, de 30 de abril, pelo Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro, pelo Decreto-Lei n.º 251/2015, de 25 de novembro, pelo Decreto-Lei n.º 28/2016, de 23 de junho, e pela Lei n.º 52/2018, de 20 de agosto), que são previstas nas Portarias 349-B/2013, de 29 de novembro (REH - Regulamento de desempenho energético dos Edifícios de Habitação) e Portaria 349-D/2013 de 2 de dezembro (RECS - Regulamento de desempenho energético dos Edifícios de Comércio e Serviços) e concretizadas nos Despachos do Diretor-geral de Energia e Geologia n.º 15793/2013 de 3 de dezembro (cf. em particular secções F e H), n.º 14985/2015 de 17 de dezembro e ainda n.º 3156/2016 de 1 de março. Este último, indica o SCE.ER como sendo de utilização obrigatória para o cálculo da contribuição de sistemas de energia solar (térmica ou fotovoltaica) para o balanço energético de edifícios (Direção Geral de Energia e Geologia, s.d.-f).

O *software* SCE.ER será utilizado no caso prático para calcular a energia renovável proveniente de cada sistema técnico estudado.

2.4.3 Certificação Energética

A diretiva 2002/91/CE (EPBD), relativa ao desempenho energético de edifícios, deu origem, em 2006, a três decretos lei, nomeadamente o DL n.º 78/2006 (SCE), DL n.º 79/2006 (RSECE) e o DL n.º 80/2006 (RCCTE). O EPBD indica que os certificados energéticos são obrigatórios aquando da construção, venda ou arrendamento de um edifício, e que devem incluir valores de referência para que os consumidores possam comparar e avaliar o desempenho energético do edifício. Devem também incluir medidas de melhoria da eficiência energética, são emitidos por peritos qualificados e têm validade de 10 anos (Direção Geral de Energia e Geologia, s.d.-b).

Segundo a DGEG, “a obrigatoriedade da implementação de um sistema de certificação energética tem como objetivo informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da construção, venda arrendamento ou locação dos mesmos, permitindo aos futuros utilizadores a obtenção de informações sobre os consumos de energia potenciais (para novos

edifícios), reais ou aferidos para padrões de utilização típicos (para edifícios existentes)”. Uma novidade deste novo diploma é a da obrigação de todos os proprietários de edifícios, promotores ou mediadores de venda ou locação, indicarem a classificação energética da fração ou edifício constante no respetivo pré-certificado ou certificado SCE, em todos os anúncios publicados com vista à venda ou locação, a partir de 1 de dezembro de 2013 (Direção Geral de Energia e Geologia, s.d.-b).

A certificação energética privilegia a ventilação natural em vez da utilização de equipamentos de ventilação mecânica, impõe a manutenção de valores mínimos de caudal de ar renovado por espaço e estabelece limites para os níveis de concentração de poluentes nos espaços. Devem ser controladas as fontes de poluição e devem ser adotadas medidas preventivas não só aquando da conceção dos edifícios, mas também durante a sua operação. De uma forma geral, a certificação, nos edifícios já existentes, presta informação sobre as medidas de melhoria de desempenho energético e da qualidade do ar interior, com viabilidade económica, que o proprietário pode implementar para reduzir as suas despesas energéticas e simultaneamente melhorar a eficiência energética do imóvel. Já nos edifícios novos, a certificação energética permite comprovar a correta aplicação da regulamentação térmica (Direção Geral de Energia e Geologia, s.d.-b).

Segundo a DGEG, “o Certificado SCE (CE) é um documento emitido por um perito qualificado no âmbito do SCE e descreve a situação efetiva de desempenho energético de um imóvel, onde consta o cálculo dos consumos anuais de energia previstos e qualifica a qualidade do ar interior de um edifício ou fração autónoma, classificando o imóvel em função do seu desempenho energético numa escala de 8 classes (de A+ a F)”. Qualquer imóvel que cumpra apenas os requisitos mínimos exigidos pelos novos regulamentos terá apenas uma classificação de B –. Existem dois tipos de certificados energéticos, um para os edifícios de habitação e outro para os edifícios de comércio e serviços (Direção Geral de Energia e Geologia, s.d.-f).

A partir de 1 de janeiro de 2009, tornou-se obrigatório que qualquer edifício, novo ou já existente, tenha que possuir um certificado válido, o qual é de apresentação obrigatória aquando da celebração de um contrato de compra, locação ou arrendamento (Direção Geral de Energia e Geologia, s.d.-f).

No decurso do procedimento de licenciamento ou de autorização de construção de um edifício, o perito qualificado não emite um certificado energético, mas sim um Pré-Certificado (PCE), que comprova que o projeto cumpre os requisitos impostos pelos regulamentos em vigor. O Pré-Certificado possui um formato idêntico e o mesmo tipo de informação que um certificado energético (Direção Geral de Energia e Geologia, s.d.-f).

A Figura 2.9 (ADENE, 2011) contém um gráfico que apresenta a incidência das medidas de melhoria presentes no relatório que vem em anexo ao certificado energético, que permite concluir que a maior parte das sugestões de medidas para melhoria da eficiência energética, num edifício habitacional, estão relacionadas com o aquecimento de águas sanitárias (31%), seguindo-se melhorias a nível das energias renováveis (22%) que se encontram a par com a envolvente opaca (18%), de seguida climatização (15%), vãos envidraçados (11%) e ventilação (4%). A implementação de melhorias a estes níveis poderá levar a um aumento da classe energética do imóvel (mais conforto e mais poupança energética) e consequente valorização do mesmo.

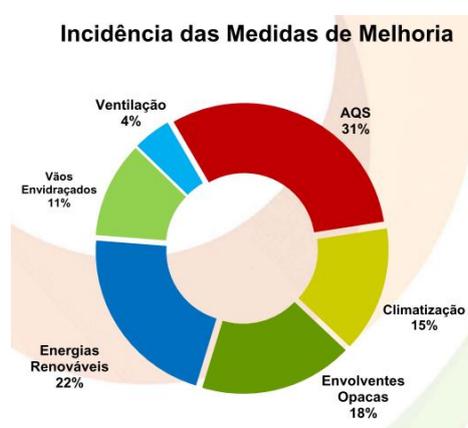


Figura 2.9 - Incidência das medidas de melhoria presentes no relatório anexo ao CE, a nível dos elementos e sistemas presentes num edifício de habitação, para os edifícios construídos até 2011 (ADENE, 2011)

2.4.4 Edifícios com Necessidades Quase Nulas de Energia (NZEB)

NZEB é o acrónimo utilizado pela Comissão Europeia para definir um edifício *nearly zero energy building*, ou seja, edifícios com necessidades quase nulas de energia. De acordo com o artigo 2 (ponto 2) da EPBD (reformulada), NZEB é um edifício com necessidades quase nulas de energia e com um desempenho energético muito elevado. As necessidades de energia, quase nulas ou muito pequenas, deverão ser cobertas em grande parte por energias renováveis (Graña, 2018).

Pelo artigo 9º da diretiva 2010/31/UE, relativa ao desempenho energético dos edifícios, os Estados-Membros devem elaborar planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia, sendo que, o mais tardar a 31 de dezembro de 2020, todos os edifícios novos devem ser edifícios com necessidades quase nulas de energia (Diário da República, s.d.).

Como tem sido referido anteriormente, para alcançar um edifício com elevado desempenho energético, é necessário conhecer em detalhe o clima local, a envolvente do edifício e aplicar inúmeras estratégias passivas, tais como (Torcellini, Pless, Deru, & Crawley, 2006): Melhor aproveitamento de espaços; Otimização térmica da envolvente (bom isolamento); Fator de forma compacto (levando a um menor valor das necessidades de aquecimento); Otimização dos ganhos solares (boa orientação e sombreamento dos envidraçados); Janelas e caixilharias termicamente eficientes; Iluminação natural (minimizando as necessidades de iluminação); Ventilação natural (aplicação de AVAC específicos para o clima local e para as necessidades restantes); Iluminação eficiente; Equipamentos Eficientes; Sombreamento eficaz para proteção solar no verão.

A portaria n.º 98/2019 refere que para um edifício de habitação poder ser considerado NZEB, em Portugal, as fontes de energia renováveis deverão suprir os usos de climatização e AQS em pelo menos 50%.

2.4.5 Produção Descentralizada de Energia

Historicamente, as primeiras centrais elétricas apenas conseguiam fornecer energia aos clientes localizados nas imediações, uma vez que as redes de distribuição apenas funcionavam através de corrente contínua. Só mais tarde, com o aparecimento das redes elétricas de corrente alternada, foi possível transportar a eletricidade a grandes distâncias. Nas últimas décadas, com os recentes avanços tecnológicos verificados no aproveitamento de diferentes fontes de energia para produção de eletricidade e com a importância crescente da preservação ambiental, observou-se um crescimento da produção descentralizada de energia, que se traduz na microgeração ou microprodução, cogeração e trigeração (Lavado, 2009).

Atualmente, a produção descentralizada de energia assume um papel cada vez mais relevante na redução de perdas nas redes de distribuição, contribuindo para a redução dos custos de transporte, de transformação e distribuição de energia, para diminuição da dependência energética do exterior, sendo que simultaneamente permite que o consumidor tenha um papel mais ativo no mercado energético e contribui-se para a diminuição das emissões de gases com efeito de estufa. A nível social, permite a criação de postos de trabalho relacionados com as novas centrais de produção de energia. Ainda há, no entanto, alguma dificuldade no armazenamento da energia produzida, esperando-se ultrapassar este problema no futuro (Lavado, 2009).

A microgeração ou microprodução consiste na produção descentralizada de energia, elétrica ou térmica, em pequena escala. Esta forma de produção de energia pode ser aplicada aos edifícios habitacionais e oferece a possibilidade de entrega de energia elétrica à rede pública. A energia elétrica produzida nestas instalações provém de fontes renováveis, baseadas numa das seguintes tecnologias de produção (Barbosa, 2013): microturbinas; células de combustível; microeólicas; painéis fotovoltaicos; mini e microhídricas; cogeração; trigeração. Em Portugal, o sistema de microgeração é regulado pelo decreto de lei n.º 118-A/2010 (Diário da República, s.d.). O Quadro 2.7 (Rosário da Costa, 2012) apresenta os vários tipos de energias renováveis e indica se cada uma destas é possível de ser aplicada à microgeração.

Quadro 2.7 - Tipos de energias renováveis existentes e possibilidade de serem aplicadas à microgeração (Rosário da Costa, 2012)

Tipos de Energia Renovável	Possível aplicação à microgeração?
Energia Solar	Sim
Energia das Ondas/Marés	Não
Energia Eólica	Sim
Energia da Biomassa	Não
Energia Geotérmica	Sim
Energia Hídrica ou Hidráulica	Não

Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia, pode definir-se a cogeração como sendo um processo de produção e utilização combinada de eletricidade e calor, proporcionando um aproveitamento de mais de 70% da energia térmica proveniente dos combustíveis utilizados no processo. Em Portugal, a cogeração encontra-se regulamentada pelo Decreto-Lei n.º 538/99, de 13 de dezembro, e com as modificações introduzidas pelos Decreto-Lei nos 312/2001 e 313/2001. A transposição para a ordem jurídica interna da diretiva n.º 2004/8/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de fevereiro, relativa à promoção da cogeração com base na procura de calor útil no mercado interno de energia, foi feita pelo Decreto-Lei n.º 23/2010, de 25 de março, e com as alterações introduzidas pela Lei n.º 19/2010, de 23 de agosto. As unidades de cogeração em funcionamento em 2014 totalizaram 1 759 MW de potência elétrica instalada, e 4 631 MW de potência térmica, tendo produzido um total de 7 484 GWh de energia elétrica e 19 249 GWh de energia térmica. As unidades de cogeração existentes apresentam um rendimento global de 79% e um número médio de horas de utilização da potência de 4 349 (Governo de Portugal, 2019). O gráfico contido na Figura 2.10 (Governo de Portugal, 2019), representa a evolução do potencial económico de cogeração até 2026, tendo

em conta um cenário pessimista, onde se prevê primeiro um decréscimo e posteriormente uma ligeira subida, mantendo-se abaixo do verificado em 2020, sendo que o cenário otimista consiste num aumento constante até 2026.

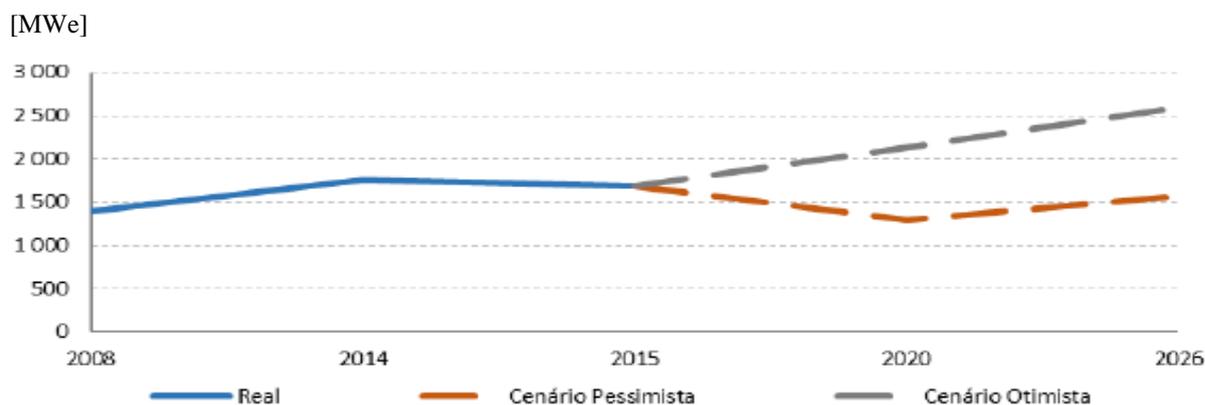


Figura 2.10 - Gráfico representativo dos cenários de evolução do potencial económico de cogeração até 2026 (MWe) (Governo de Portugal, 2019)

A trigeração consiste num sistema produtor de três formas distintas de energia, utilizando um único combustível. Partindo de uma fonte de energia primária, um sistema de trigeração produz simultaneamente energia elétrica, energia térmica sob a forma de calor e energia térmica sob a forma de frio (geralmente pela produção de água fria ou gelada, através de *chillers* de absorção) (Direção Geral de Energia e Geologia, s.d.-c).

CAPÍTULO 3 – Caso de Estudo e Metodologia

3.1 Caracterização do Caso de Estudo

O objeto de estudo é uma habitação unifamiliar (V2), implementada no interior de uma zona urbana e construída em 2019. A habitação encontra-se orientada a Oeste (alçado principal), Norte, Este e Sul, encontrando-se em contacto com um edifício adjacente a Norte. A habitação desenvolve-se em dois pisos acima da cota de soleira e é composta, no rés-do-chão, por uma sala, cozinha, um quarto, uma instalação sanitária e um hall de acesso ao piso superior. No piso superior existe um quarto e um arrumo. As plantas e cortes da moradia podem ser consultadas nas Figuras 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5.

As janelas (giratórias e de correr) são de caixilharia de alumínio sem corte térmico, de classe 3, com vidro duplo incolor (6 mm) + lâmina de ar (12 mm) + incolor (5 mm), com proteção exterior de persiana de réguas plásticas de cor clara. As caixas de estore têm ligação com o interior da habitação e encontram-se bem vedadas.

A nível de ventilação existe, no interior da instalação sanitária, um sistema de ventilação mecânica, com 35 Watts de potência e um caudal de exaustão de 100 m³/h, o qual funciona continuamente durante 12 horas por dia. Estão também instaladas aberturas de admissão de ar autorreguláveis de 2 Pa, na caixilharia, as quais garantem, no total, um caudal de 150 m³/h. As telhas consideram-se fracamente ventiladas, a inércia térmica da habitação é considerada média e a moradia tem uma área útil de pavimento de 88,84 m².

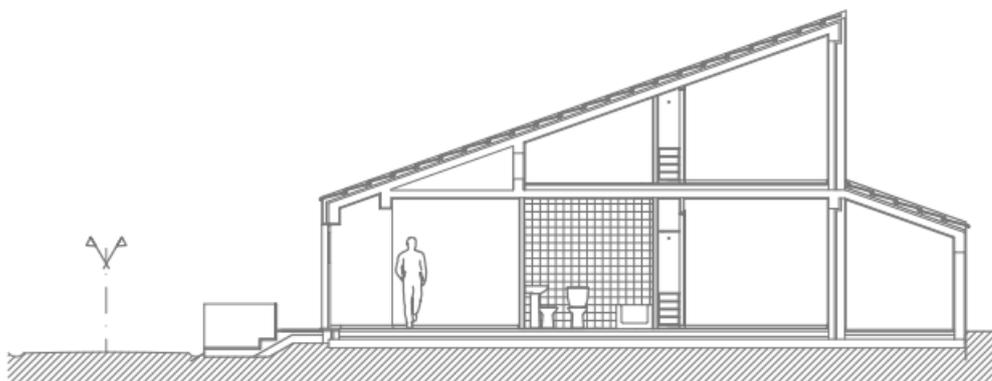


Figura 3.1 - Corte número 1 da moradia

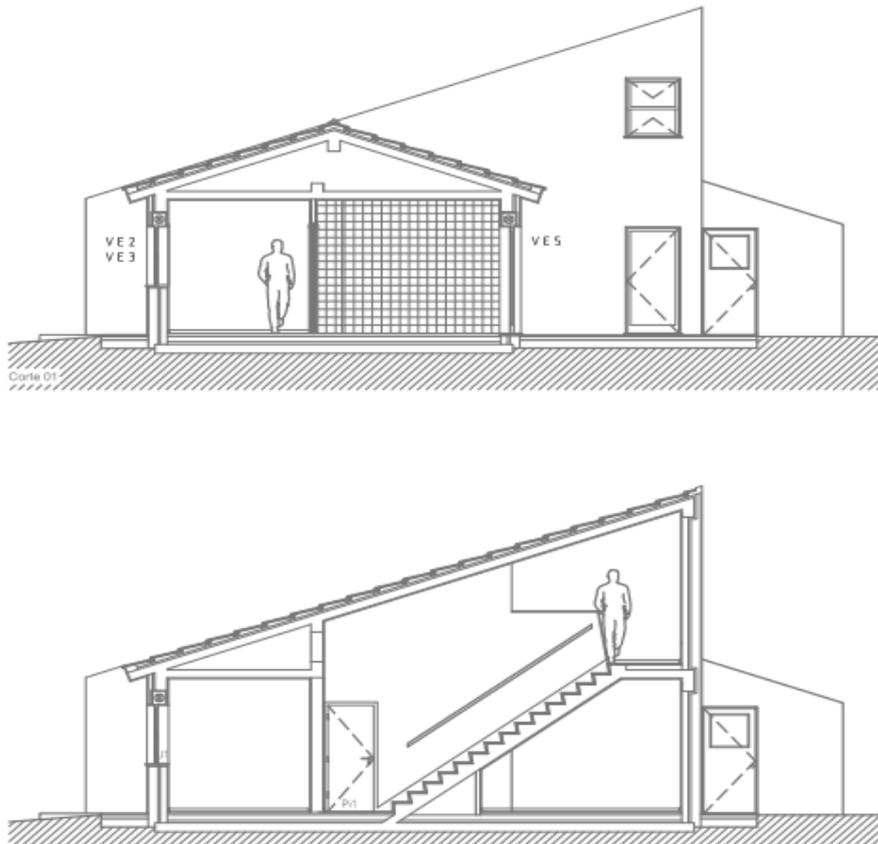


Figura 3.2 - Cortes números 2 e 3 da moradia

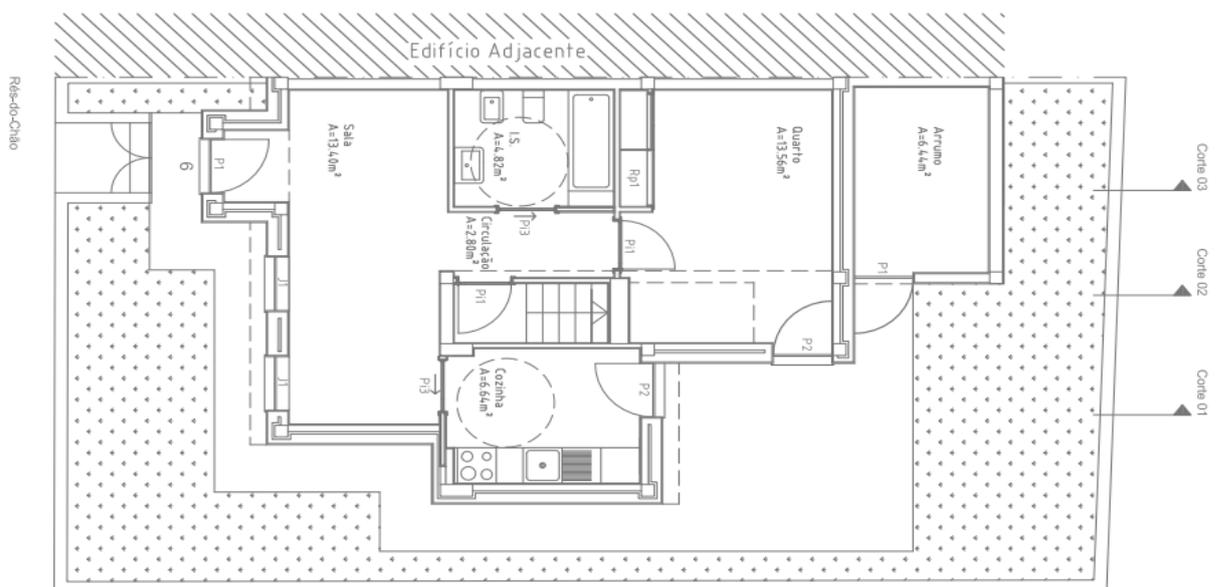


Figura 3.3 - Planta do Rês-de-Chão da moradia

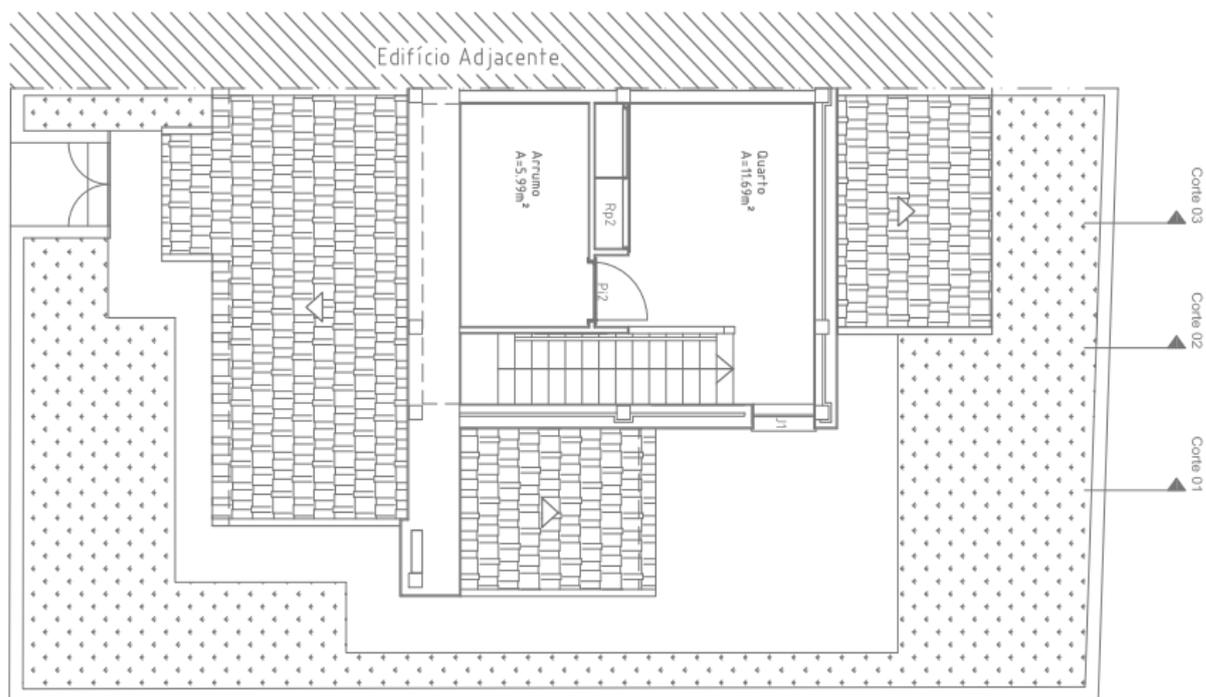


Figura 3.4 - Planta do piso superior da moradia

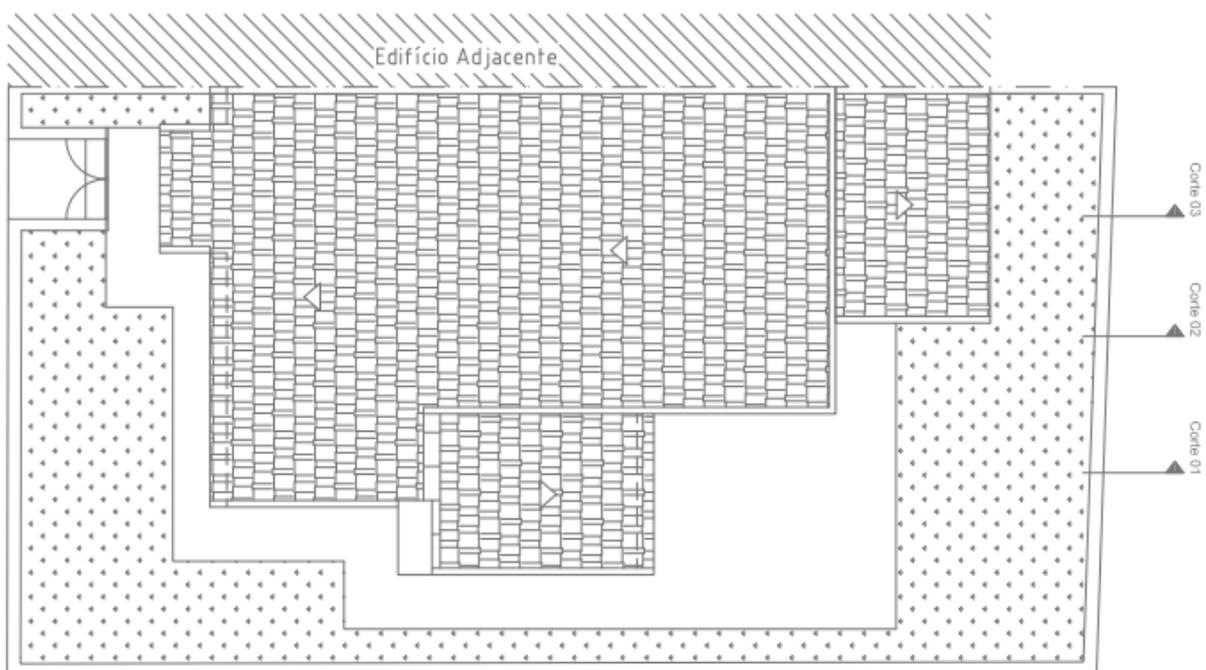


Figura 3.5 - Planta da cobertura da moradia

A nível de soluções construtivas, encontram-se caracterizadas no Quadro 3.1 todas as soluções adotadas, a nível de paredes, janelas, portas, cobertura, pavimentos e pontes térmicas.

Quadro 3.1 - Caracterização das soluções construtivas adotadas no edifício em estudo

Parede exterior (zona corrente) [PDE1]	A parede possui 36 cm de espessura e é constituída (do interior para o exterior) por 2 cm de reboco tradicional (massa volúmica de 2000 kg/m ³), seguido de um pano de simples de tijolo cerâmico furado normal com 11 cm de espessura, 3 cm de isolamento de poliestireno expandido extrudido, tijolo cerâmico furado normal de 15 cm de espessura, revestida exteriormente por reboco tradicional com 2 cm de espessura (massa volúmica de 2000 kg/m ³). U=0,5 W/m ² .°C
Ponte térmica plana exterior (pilares/vigas) [PTPPDE1]	A ponte térmica tem 36 cm de espessura e é constituída (do interior para o exterior) por 2 cm de reboco tradicional (massa volúmica de 2000 kg/m ³), seguido por elemento estrutural em betão armado com 20 cm de espessura (massa volúmica de 2300 kg/m ³), 3 cm de isolamento em poliestireno expandido extrudido (massa volúmica de 30 kg/m ³), tijolo cerâmico furado normal de 7 cm de espessura (massa de 90 kg/m ²), revestida exteriormente por reboco tradicional (massa volúmica de 2000 kg/m ³) com 2 cm de espessura. U=0,65 W/m ² .°C
Ponte térmica plana (caixa de estore) [PTPPDE2]	É constituída (do interior para o exterior) por 2 cm de reboco tradicional (massa volúmica de 2000 kg/m ³), seguido por forra em tijolo cerâmico furado com 7 cm de espessura seguido por 3 cm de isolamento em poliestireno expandido moldado (massa volúmica > 20 kg/m ³). U=0,83 W/m ² .°C
Cobertura exterior [CBE1]	Possui 24 cm de espessura e é constituída (do interior para o exterior) por reboco tradicional, laje aligeirada de blocos cerâmicos com 23 cm de espessura, seguida de isolamento em poliestireno expandido extrudido sobre a laje com 10 cm, revestido superiormente com telha cerâmica. – U _{asc} =0,32 W/m ² .°C; U _{desc} =0,31 W/m ² .°C
Janela de correr [EVE1]	Envidraçado simples, em caixilharia de madeira, de correr, classe 3 em relação à permeabilidade ao ar, com vidro duplo incolor (6 mm) + lâmina de ar (12 mm) + incolor (5 mm), com proteção exterior de persiana de réguas plásticas de cor clara - U=2,32 W/m ² .°C
Janela giratória [EVE2]	Envidraçado simples, em caixilharia de madeira, giratório, classe 4 relativamente à permeabilidade ao ar, com vidro duplo incolor (6 mm) + lâmina de ar (12 mm) + incolor (5 mm), com proteção exterior de persiana de réguas plásticas de cor clara - U=2,32 W/m ² .°C
Porta exterior [PTE1]	Porta de entrada mais aro/sistema de batente, em perfis de alumínio com preenchimento de espuma rígida em poliuretano, do tipo <i>ThermoSafe</i> da Hormann, ou equivalente. – U=0,80 W/m ² .°C
Parede em contacto com o edifício adjacente [PDI1]	Parede simples com 28 cm de espessura constituída (do interior para o exterior da habitação) por reboco tradicional, seguido por tijolo cerâmico furado normal de 20 cm de espessura e isolamento em poliestireno expandido extrudido com 6 cm de espessura. – U=0,41 W/m ² .°C
Parede em contacto com o edifício adjacente (pilares/vigas) [PTPI1]	Possui 28 cm de espessura e é constituída (do interior para o exterior da habitação) por reboco tradicional, seguido por elemento estrutural em betão armado com 20 cm de espessura e isolamento em poliestireno expandido extrudido com 6 cm de espessura. – U=0,50 W/m ² .°C
Parede em contacto com o arrumo [PDI2]	Parede dupla com 36 cm de espessura, constituída (do interior para o exterior) por reboco tradicional, seguido por tijolo cerâmico furado normal de 11 cm de espessura, isolamento em poliestireno expandido extrudido com 6 cm de espessura, seguido por tijolo cerâmico furado normal com 15 cm, rebocado na outra face. – U=0,39 W/m ² .°C

Parede em contacto com o arrumo (pilares/vigas) [PTPI2]	Possui 36 cm de espessura e é constituída (do interior para o exterior) por 2 cm de reboco tradicional, seguido por elemento estrutural em betão armado com 20 cm de espessura, 5 cm de isolamento em poliestireno expandido extrudido, tijolo cerâmico furado normal de 7 cm de espessura, revestida exteriormente por reboco tradicional com 2 cm de espessura. – $U=0,52 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$
Parede em contacto com o desvão de cobertura [PDI3]	Parede simples com 22 cm de espessura, constituída por gesso cartonado e caixa-de-ar, seguido por tijolo cerâmico furado normal de 20 cm de espessura e resistência térmica de $0,52 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$. – $U=1,0 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$
Parede em contacto com o desvão de cobertura (pilares/vigas) [PTPI3]	Possui 22 cm de espessura e é constituída por gesso cartonado e caixa-de-ar, seguido por elemento estrutural em betão armado com 20 cm de espessura. – $U=1,72 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$
Cobertura sobre a cozinha [CBI1]	Possui 24 cm de espessura e é constituída por reboco tradicional, laje aligeirada de blocos cerâmicos com 17 cm de espessura, seguida de isolamento em poliestireno expandido extrudido sobre a laje com 5 cm. – $U_{asc}=0,56 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$
Cobertura sobre a sala [CBI2]	Possui 24 cm de espessura, e é constituída por reboco tradicional, laje aligeirada de blocos cerâmicos com 17 cm de espessura, seguida de isolamento em poliestireno expandido extrudido sobre a laje com 5 cm. – $U_{asc}=0,57 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$
Pavimento em contacto com o solo [PVS1]	Possui 39 cm de espessura e é constituído por um revestimento em material cerâmico com 2 cm (massa volúmica de 2300 kg/m^3), camada de betonilha com espessura de 5 cm (betão normal com massa volúmica de 2000 kg/m^3), camada de betão armado com 15 cm de espessura (betão armado com percentagem de armadura $< 1\%$), isolamento em poliestireno expandido extrudido contínuo sob a laje com 5 cm
Paredes divisórias	Parede de compartimentação com 11 cm de espessura, constituída por tijolo cerâmico furado normal de 7 cm de espessura, rebocado em ambas as faces
Pavimentos de compartimentação	Pavimento constituído por revestimento cerâmico, betonilha de assentamento com 5 cm de espessura, camada com 19 cm de betão de inertes de poliestireno expandido, seguido de laje aligeirada com 17 cm de espessura e rebocado inferiormente

Para melhor caracterizar os elementos do edifício foi feito um levantamento dimensional, a partir dos cortes, alçados e plantas, sendo que toda a informação recolhida se encontra resumida nos Quadros 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6.

Quadro 3.2 - Área dos compartimentos

	Descrição do Local de medição	Área (m²)	Pé direito (m)	Volume (m³)
Rés-do- chão	Sala	13,40	2,50	33,50
	Cozinha	6,69	2,50	16,73
	Quarto 1	13,56	2,41	32,68
	Instalações Sanitárias	4,86	2,50	12,15
	Patamar escadas	1,19	3,78	4,50
	Arrumo	6,44	2,14	13,78
Piso 1	Quarto 2	11,69	2,31	27,00
	Arrumo	7,87	1,27	9,99
	Escadas	3,50	3,21	11,24
	Desvão cobertura	19,64	0,45	8,84

Quadro 3.3 - Área das paredes e PTPs exteriores

Solução	Orientação	Área (m²)
PDE1	Oeste	8,47
	Sul	21,70
	Norte	1,41
	Este	15,90
PTPPDE1	Oeste	1,10
	Sul	3,97
	Norte	0,16
	Este	2,46
PTPPDE2	Oeste	0,51
	Sul	0,46
	Este	0,23

Quadro 3.4 - Área dos vãos envidraçados exteriores

	Descrição do Local de medição	Orientação	Área (m²)	Vão envidraçado
Rés-do-chão	Sala	Oeste	0,99	EVE1
	Sala	Oeste	0,99	EVE1
	Cozinha	Sul	1,8	EVE2
	Quarto 1	Este	1,8	EVE2
Piso 1	Quarto 2	Sul	0,99	EVE1

Quadro 3.5 - Ângulos de sombreamento dos vãos envidraçados exteriores

	Descrição do Local de medição	Orientação	Vão envidraçado	Ângulos de sombreamento (°)			
				Hor	Pala Hor	Pala Vert Esq	Pala Vert Dir
Rés-do-chão	Sala	Oeste	EVE1	45	22	15	47
	Sala	Oeste	EVE1	45	22	15	22
	Cozinha	Sul	EVE2	45	10	15	53
	Quarto 1	Este	EVE2	45	11	82	15
Piso 1	Quarto 2	Sul	EVE1	45	18	21	21

Quadro 3.6 - Massa total das soluções construtivas

Elemento	Solução	Massa total (kg/m ²)	Área (m ²)
Paredes Exteriores	PDE1	126,00	-
	PTPPDE1	547,20	-
	PTPPDE2	106,00	-
Coberturas exteriores	CBE1	268,00	-
Paredes em contacto com espaços não úteis	PDI1	154,00	-
	PDI2	124,00	-
	PDI3	166,00	-
	PTPPDI1	508,00	-
	PTPPDI2	508,00	-
	PTPPDI3	481,00	-
Coberturas Interiores	CBI1	268,00	-
	CBI2	288,00	-
Pavimentos térreos	PVT1	513,50	-
Paredes de compartimentação	-	196,00	38,47
Pavimentos de compartimentação	-	500,00	19,59

3.2 Metodologia de Cálculo do software SCE.ER

Foi utilizada a folha de cálculo SCE.ER, versão 1.6.4, de 12 de setembro de 2019, disponibilizada pela Direção Geral de Energia e Geologia, para realizar os cálculos regulamentares do sistema de certificação de edifícios relativos ao aproveitamento de energias renováveis.

Neste *software* começou-se por introduzir os dados de base necessários antes de se iniciar os cálculos, nomeadamente o perfil de consumo de águas quentes sanitárias (Figura 3.6), o perfil de consumo elétrico (Figura 3.7), os dados básicos do edifício e as necessidades de consumo de energia para aquecimento ambiente (Figura 3.8), podendo-se constatar os dados através das figuras que se seguem. Importa salientar que o perfil de consumo elétrico, os dados básicos do edifício e as necessidades de consumo de energia para aquecimento ambiente são iguais para todas as localizações calculadas, mantendo-se também o perfil de consumo de AQS, mas variando neste último a temperatura da água de consumo e abastecimento.

Assumi-se, por diversas vezes, os valores já existentes por defeito no programa, considerando-se uma ocupação anual da moradia para efeitos de consumo de AQS e eletricidade e, em termos horários, que apenas no período da manhã e da noite é que existiam necessidades de consumo de AQS. Os consumos apresentados são os existentes por defeito no *software* SCE.ER, para um uma tipologia T2.

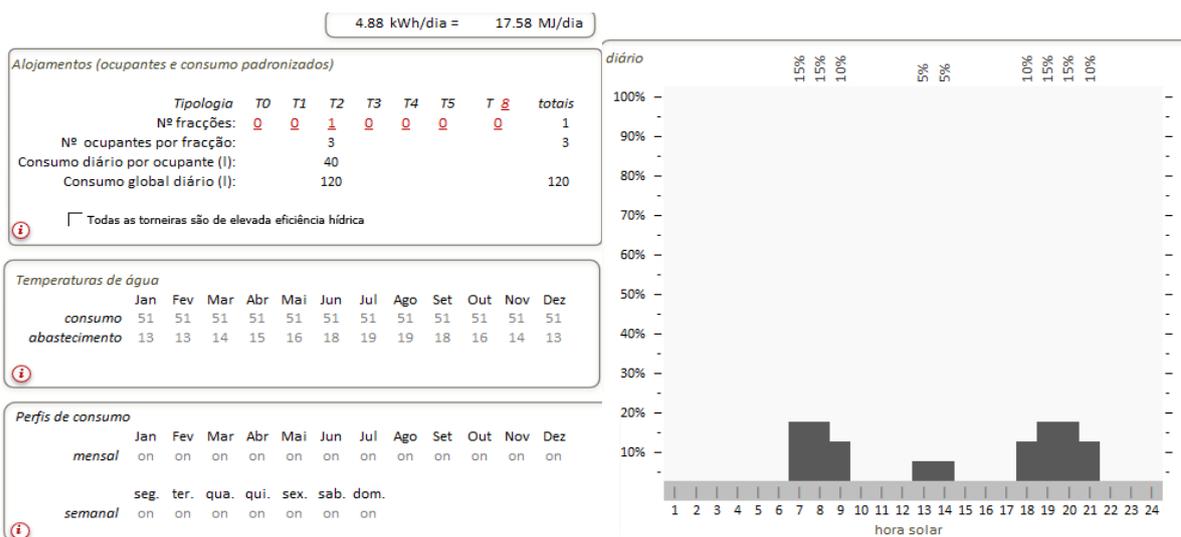


Figura 3.6 - Perfil de consumo de águas quentes sanitárias, assumido para a cidade de Coimbra, com gráfico representativo do consumo horário diário de AQS. Fonte: *Software* SCE.ER

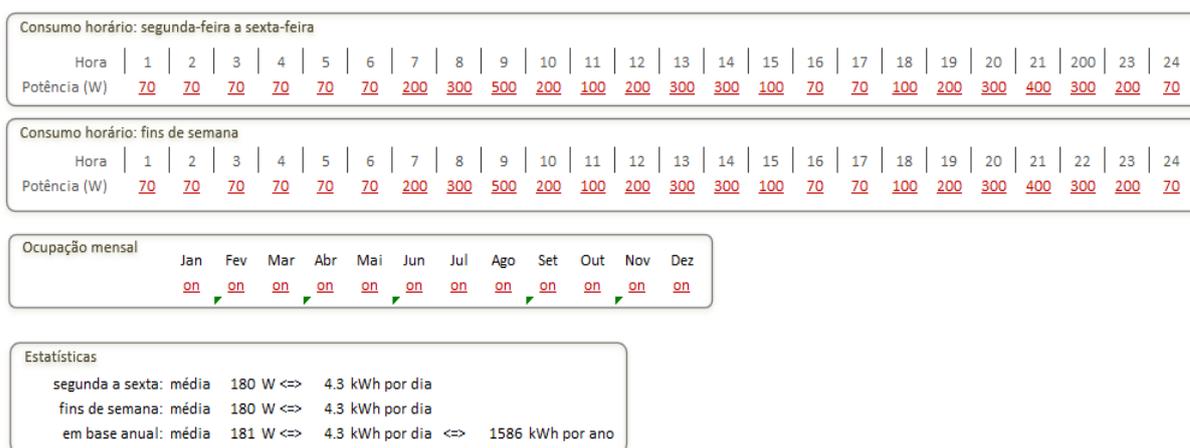


Figura 3.7 - Perfil de consumo elétrico. Fonte: *Software* SCE.ER



Figura 3.8 - Necessidades de consumo de energia para aquecimento ambiente. Fonte: Software SCE.ER

Para se calcular a energia renovável proveniente de um sistema solar térmico que se destina apenas ao consumo AQS, consideraram-se 2 coletores térmicos da marca Vulcano modelo FCC-2S, com uma área total de abertura de 4,2 m², montagem fixa, orientação 0° (Sul) e inclinação 35° (Vulcano s.d.). Considerou-se que o sistema tinha armazenamento central num depósito posicionado verticalmente, da marca Vulcano, modelo TSS300 e 300 litros de capacidade (Vulcano s.d.). O apoio é do tipo elétrico, com rendimento 100%, montagem ao depósito e controlo temporizado. O circuito primário funciona por circulação forçada, as tubagens têm um diâmetro nominal de 15 milímetros, um comprimento de 10 metros no exterior e 7 metros até ao depósito, sendo isoladas com lã de vidro de 20 milímetros de espessura. Já o fluido circulante, possui 25% de anticongelante e as bombas possuem uma potência de 30 Watts, proporcionando um caudal de 46 litros/m² por hora. O circuito de distribuição possui tubagens com um diâmetro nominal de 18 milímetros, com um comprimento de 20 metros para a zona de consumo e isolamento em poliuretano de 20 milímetros. Registaram-se os resultados referentes à fração solar, necessidades totais, necessidades satisfeitas via apoio e satisfeitas via solar. Como referido, trata-se de um sistema de painéis solares que funcionam por circulação forçada, que são em tudo idênticos aos painéis termossifões, com a diferença de que o depósito de água é colocado no interior da habitação, há a necessidade de instalação de bombas no circuito hidráulico e pode ainda ser acoplado a outros sistemas.

De seguida, calculou-se outro sistema solar térmico, desta vez o Kit (sistema integrado), tendo-se considerado um Kit de marca e modelo Vulcano TSS300 FCC-2 (termossifão), que inclui 2 coletores Vulcano FCC-2S e um depósito Vulcano TSS300 horizontal, como no caso anterior, sendo que se manteve uma inclinação de 35° e uma orientação de 0° (Sul) para os painéis

(Vulcano s.d.). Neste caso, o apoio continua a ser do tipo elétrico, com rendimento 100%, montado ao depósito e com controlo temporizado. O circuito de distribuição possui tubagens com um diâmetro de 18 milímetros, comprimento de 20 metros para a zona de consumo e isolamento em poliuretano de 20 milímetros. Registaram-se os resultados referentes à fração solar, necessidades totais, necessidades satisfeitas via apoio e satisfeitas via solar. No Kit (sistema integrado), o painel solar termossifão e o depósito de água, que fica junto ao painel, estão instalados no telhado e, por isso, o abastecimento aos diferentes aparelhos é feito por gravidade.

Para o cálculo da energia renovável proveniente de um sistema solar fotovoltaico, foram utilizados 10 módulos fotovoltaicos da marca Schuco, modelo MPE 200 PS 05 (de 200 Watts), que funcionam com 1 string de potência nominal 1.6 kW, em montagem fixa com uma orientação de 0° (Sul) e 35° de inclinação. Os módulos ocupam uma área de 15 m² e possuem um bloco inversor/controlador com uma eficiência típica de 96%. Consideraram-se autoconsumos de 3 kWh em ventiladores e 0 kWh em seguimento do Sol. Considerou-se que o tempo diurno gasto em resolução de avarias e manutenção é de 6 horas por ano, que o sistema é explorado em modo autoconsumo e que não existem baterias instaladas. As perdas consideradas para o sistema encontram-se referidas no Quadro 3.7. Registaram-se os resultados referentes às necessidades, produção, injeção na RESP e autoconsumo, relativamente a cada localização.

Quadro 3.7 - Perdas consideradas no sistema solar fotovoltaico. Fonte: Software SCE.ER

Perdas de eficiência PV por variação espectral	0.5 %
Perdas por problemas de limpeza nos painéis	0.5 %
Perdas em interconexões	1 %
Outras perdas resistivas gerais	0.7 %
Perdas adicionais na ligação à rede	0.5 %

A nível de biomassa, foram calculados quatro sistemas: caldeira a lenha; caldeira a granulados; recuperador de calor; salamandra. Para todos os sistemas, considerou-se que a caldeira estava instalada no interior da moradia, que a eficiência da queima era de 85% para a caldeira a granulados e 75% para os restantes sistemas, que a contribuição para AQS era de 30% e para a climatização de 50%. Foram registados os resultados para os quatro sistemas, a nível de necessidades para AQS e climatização, necessidades atendidas (E_{ren}) e energia primária de origem renovável.

Para o cálculo da energia renovável proveniente da bomba de calor elétrica, do tipo aerotérmica (permuta ar-água), considerou-se que esta tinha uma potência de 13000 Watts, que o número estimado de horas de funcionamento à potência nominal (H_{hp}) era de 1170 horas, que o calor utilizável produzido pela bomba (Q_{usable}) era de 15210 kWh e que o fator de desempenho sazonal (SPF) era de 4.3. A bomba de calor destina-se à climatização. Assim, foi possível obter e registar os cálculos relativamente ao aproveitamento de energia renovável (E_{ren}).

Foram cumpridos todos os requisitos mínimos impostos pelo programa, que tem em conta os decretos de lei em vigor referidos no ponto 2.4.2 – *Software SCE-ER*, e através do programa foram calculados os vários sistemas referidos para cinco localidades, diferentes em termos de altitude, exposição solar e zona climática, sendo estas: Albufeira, Coimbra, Lisboa, Funchal e Vila Real. Todos os resultados obtidos apresentam-se no capítulo que se segue, onde serão também discutidos. Foram escolhidas estas cidades por pertencerem a zonas climáticas distintas, com diferentes altitudes, proximidades ao mar e necessidades de aquecimento e arrefecimento, tendo-se como propósito realizar um estudo bastante abrangente.

O quadro que se segue representa, de forma resumida, os sistemas técnicos considerados, a sua constituição e as suas finalidades.

Quadro 3.8 - Resumo dos Sistemas Técnicos utilizados no software SCE.ER, da sua constituição e finalidades

Sistemas Técnicos Utilizados	Constituição	Finalidade
Sistema Solar Térmico	2 Coletores Térmicos Vulcano, 1 depósito Vulcano e 1 Apoio Elétrico	Consumo de Águas Quentes Sanitárias
Sistema Solar Térmico KIT (Sistema Integrado)	2 Coletores Térmicos Vulcano, 1 depósito Vulcano e 1 Apoio Elétrico	Consumo de Águas Quentes Sanitárias
Sistema Solar Fotovoltaico	10 Módulos Fotovoltaicos Schuco	Consumo de Águas Quentes Sanitárias, Climatização e Injeção na RESP
Bomba de Calor Aerotérmica (elétrica)	1 Bomba de Calor Mitsubishi	Consumo de Águas Quentes Sanitárias e Climatização
Caldeira a Lenha, Caldeira a Granulados, Recuperador de Calor e Salamandra	1 Caldeira a Lenha, 1 Caldeira a Granulados, 1 Recuperador de Calor e 1 Salamandra	Consumo de Águas Quentes Sanitárias e Climatização

Cumprindo os valores fornecidos pelo *software* SCE.ER, foi possível garantir também o cumprimento dos valores mínimos regulamentares impostos pelo regulamento REH, referentes à energia renovável utilizada no AQS, impostos para os sistemas técnicos.

3.3 Metodologia de Cálculo REH

Para o cálculo térmico da moradia, foi utilizada a folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético dos edifícios (versão V3.11, de 2 de maio de 2018), de acordo com o REH (Decreto de Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto), elaborada e disponibilizada pelo Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade (ITECONS).

Em primeiro lugar, foram introduzidos na folha de cálculo diversos dados necessários ao cálculo térmico da moradia, relacionados com as soluções construtivas, todos eles referidos no ponto 3.1 – *Caracterização do Objeto de Estudo*. Para a realização desta parte variou-se a localização da moradia, a altitude, a proximidade ao mar e os sistemas técnicos instalados, registando-se as variações introduzidas no balanço energético da moradia. Todos os valores obtidos para os parâmetros energéticos, para cada situação testada, serão apresentados e discutidos no capítulo seguinte.

De forma a simular a influência no desempenho térmico da moradia, de um sistema solar térmico para satisfação dos consumos de AQS, foram introduzidos na folha de cálculo dois coletores solares da marca Vulcano, descritos em pormenor no ponto anterior, e um termoacumulador de apoio com uma potência de 2 kW, uma eficiência de equipamento sazonal de 0.95, uma perda estática (QPR) de 1.30 kWh/dia e uma perda estática máxima (QPR máximo) de 1.90 kWh/dia, que se destinam à satisfação dos consumos de AQS (Vulcano s.d.). Para o termoacumulador assumiram-se dados médios, comuns neste tipo de sistemas. Apesar do *software* SCE.ER, no que respeita ao cálculo dos sistemas solares térmicos, apenas fornecer os valores mínimos para o cumprimento do REH em relação à energia renovável para AQS, também se consideraram na folha de cálculo térmico sistemas para a climatização, nomeadamente 2 aparelhos de ar condicionado para a climatização, da marca Mitsubishi, modelo Mural Inverter, com uma potência de 3,15 kW e um SCOP de 3.8 (Mitsubishi Electric, s.d.). Para cada localização da moradia, além da altitude e proximidade ao mar, variou-se a fração solar, que difere de local para local, de acordo com os resultados do SCE.ER. Por último, registaram-se os valores dos indicadores energéticos.

Para simular a influência, no desempenho térmico da moradia, de um sistema solar térmico Kit (sistema integrado) para satisfação dos consumos de AQS, consideraram-se exatamente os mesmos sistemas (dois coletores solares e um termoacumulador), com as mesmas características referidas anteriormente. Apesar do *software* SCE.ER, no que respeita ao cálculo dos sistemas solares térmicos, apenas fornecer os valores mínimos para o cumprimento do REH

em relação à energia renovável para AQS, também se consideraram na folha de cálculo térmico sistemas para a climatização, nomeadamente dois aparelhos de ar condicionado, com as mesmas características descritas anteriormente. Para cada localização da moradia, além da altitude e proximidade ao mar, variou-se a fração solar, que difere de local para local e difere do caso anterior para este, de acordo com os resultados obtidos no programa SCE.ER. Por último, registaram-se os valores dos indicadores energéticos.

Para simular a influência no desempenho térmico da moradia, de um sistema solar fotovoltaico para satisfação dos consumos elétricos dos sistemas responsáveis pela produção de AQS e climatização, consideraram-se dois casos distintos. Num primeiro caso, consideraram-se dez módulos fotovoltaicos, uma bomba de calor e dois aparelhos de ar condicionado. Os módulos fotovoltaicos são da marca Schuco, a bomba de calor e os aparelhos de ar condicionado aqui utilizados e também mais adiante, são da marca Mitsubishi. A bomba de calor é da marca Mitsubishi, modelo Hydrobox DUO EHST20C-VM2C (Mitsubishi Electric, s.d.), com uma potência de 16 kW para climatização (SCOP de 4.3) e 12.5 kW para o circuito hidráulico. Os dois aparelhos de ar condicionado são, também eles, da marca Mitsubishi, modelo Mural Inverter MSZ-HJ VA (Mitsubishi Electric, s.d.), sendo inteiramente responsáveis por realizar a climatização da moradia, enquanto que a bomba de calor é inteiramente responsável pela satisfação dos consumos de AQS. Num segundo caso, consideraram-se igualmente dez módulos fotovoltaicos e dois aparelhos de ar condicionado, mas substituiu-se a bomba de calor por um termoacumulador da marca Vulcano, já anteriormente descrito. O termoacumulador é inteiramente responsável pela produção de AQS, enquanto que os aparelhos de ar condicionado são inteiramente responsáveis pela climatização da moradia. A energia elétrica produzida pelos painéis fotovoltaicos (autoconsumo) destina-se em 40% para a satisfação dos consumos elétricos destinados a AQS e em 60% para satisfação dos consumos elétricos destinados à climatização. A energia renovável proveniente dos módulos fotovoltaicos corresponde à energia que se destina ao autoconsumo. Para cada localização da moradia, além da altitude e proximidade ao mar, variou-se, portanto, a fração destinada à satisfação dos consumos elétricos de AQS e climatização, uma vez que a energia elétrica obtida para autoconsumo varia de um local para outro. Por último, registaram-se os valores dos indicadores energéticos.

Para simular a influência no desempenho térmico da moradia de um sistema de biomassa para satisfação dos consumos de AQS e climatização, considerou-se uma caldeira a lenha, um termoacumulador e dois aparelhos de ar condicionado. A caldeira a lenha considerada é da marca Cirelius, gama Solius, modelo ECOMAX Easy 30, com uma potência de 30 kW e uma eficiência do equipamento sazonal de 0.80 (Cirelius, 2017). Os aparelhos de ar condicionado (Mitsubishi) e o termoacumulador (Vulcano) são os mesmos que foram descritos anteriormente.

Os aparelhos de ar condicionado são inteiramente responsáveis por realizar o arrefecimento da moradia, contribuindo apenas em 20% para o aquecimento da mesma. A caldeira é responsável por satisfazer os consumos de AQS em 60%, e pelo aquecimento em 80%, sendo auxiliada em 40% pelo termoacumulador no AQS. No cálculo térmico, variou-se a localização da moradia e por consequência a altitude e proximidade ao mar, tendo-se registado os valores dos indicadores energéticos.

Para simular a influência no desempenho térmico da moradia de uma bomba de calor aerotérmica para satisfação dos consumos de AQS e climatização, considerou-se um sistema constituído por uma bomba de calor (Mitsubishi) e dois aparelhos de ar condicionado (Mitsubishi). A bomba de calor é inteiramente responsável pela produção de AQS. Os aparelhos de ar condicionado são inteiramente responsáveis por realizar a climatização da habitação. No cálculo térmico, variou-se a localização da moradia e por consequência a altitude e proximidade ao mar, tendo-se registado os valores dos indicadores energéticos.

No quadro que se segue, sintetizam-se todas as opções tomadas no cálculo térmico da moradia, tal como foram explicadas ao longo do texto.

Quadro 3.9 - Resumo dos Sistemas Técnicos utilizados no cálculo térmico, da sua constituição e finalidades

Quadro Resumo dos Sistemas e Considerações Utilizadas no Cálculo					
Energia Renovável	Tipologias segundo SCE.ER	Constituição do Sistema	Destinado a AQS (%)	Destinado à Climatização (%)	
				Aquecimento	Arrefecimento
Solar	Consumo AQS	2 coletores solares	100% (variável com fração solar)	0	
		1 Termoacumulador	100% (variável com fração solar)	0	
		2 ar condicionado	0	100	
	Kit (sistema integrado)	2 coletores solares	100% (variável com fração solar)	0	
		1 Termoacumulador	100% (variável com fração solar)	0	
		2 ar condicionado	0	100	
	Fotovoltaico	10 módulos fotovoltaicos	40	60	
		1 bomba de calor	100	0	
		2 ar condicionado	0	100	
	Fotovoltaico	10 módulos fotovoltaicos	40	60	
		1 Termoacumulador	100	0	
		2 ar condicionado	0	100	
Biomassa	Biomassa	1 Caldeira Lenha	60	80	0
		1 Termoacumulador	40	0	
		2 ar condicionado	0	20	100
Aerotermia	Bomba de Calor	1 bomba de calor	100	0	
		2 ar condicionado	0	100	

Após introdução na folha de cálculo de todos os sistemas técnicos aqui referidos e explicados, registaram-se todos os resultados referentes ao balanço energético da moradia, sendo estes:

- N_{ic} : Necessidades nominais de energia útil para aquecimento (kWh/(m².ano));
- N_{vc} : Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento ((kWh/m².ano));
- Q_a : Energia útil para preparação de águas quentes sanitárias (kWh/ano);
- W_{vm} : Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano);
- E_{ren} : Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano);
- $E_{ren\ AQS}$: Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano), para efeitos de verificação dos requisitos mínimos;
- $E_{ren,ext}$: Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano);
- N_{tc} : Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh_{ep}/(m².ano));
- N_{tc}/N_t ;
- Classe energética.

A folha de cálculo utilizada contempla a metodologia REH, pelo que serão de seguida explicados os principais parâmetros energéticos que foram registados para se obter as tabelas apresentadas no próximo capítulo.

O N_{ic} (kWh/(m².ano)), necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, é obtido através da seguinte fórmula:

$$N_{ic} = \frac{(Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})}{A_p} \quad (1)$$

Em que:

- $Q_{tr,i}$ – Transferências de calor por transmissão (kWh);
- $Q_{ve,i}$ – Transferência de calor por ventilação (kWh);
- $Q_{gu,i}$ – Ganhos térmicos úteis (kWh);
- A_p – Área útil de pavimento (m²).

O N_{vc} (kWh/(m².ano)), necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, é obtido através da seguinte fórmula:

$$N_{vc} = \frac{Q_{g,v} \cdot (1 - \eta_v)}{A_p} \quad (2)$$

Em que:

- $Q_{g,v}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento (kWh);
- η_v – Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento;
- A_p – Área útil de pavimento (m^2).

Q_a (kWh/ano), energia útil necessária para a preparação de águas quentes sanitárias, é obtido através das seguintes fórmulas:

$$Q_a = \frac{MAQS \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot \eta_d}{3600000} \quad (3)$$

$$MAQS = 40 \cdot n^\circ \text{ de ocupantes} \cdot feh \quad (4)$$

Em que:

- M_{AQS} – Consumo médio diário de referência (L/dia);
- ΔT – Aumento de temperatura necessário para preparação das AQS ($^\circ C$);
- η_d – Número anual de dias de consumo de AQS (dias);
- feh - Fator de eficiência hídrica.

N_{tc} ($kWh_{ep}/(m^2 \cdot \text{ano})$), necessidades nominais anuais globais de energia primária, é obtido através da seguinte fórmula:

$$\begin{aligned} N_{tc} = & \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} \\ & + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} \\ & + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_j \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \end{aligned} \quad (5)$$

Em que:

- N_{ic} - necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ($kWh/(m^2 \cdot \text{ano})$);
- N_{vc} - necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento ($kWh/(m^2 \cdot \text{ano})$);
- Q_a - Energia útil necessária para a preparação de AQS (kWh/ano);

- $f_{i,k}/f_{a,k}/f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento / arrefecimento / preparação de AQS supridas pelo sistema k;
- $F_{pu,j} / F_{pu,p}$ - Fator de conversão da energia útil para energia primária (kWh_{ep}/kWh);
- A_p – Área útil de pavimento (m²);
- $W_{vm,j}$ – Energia necessária ao funcionamento dos ventiladores mecânicos (kWh/ano);
- $E_{ren,p}$ – Energia consumida produzida a partir de fontes de origem renovável (kWh/ano);
- δ – Risco de sobreaquecimento;
- η_k – Eficiência do sistema k.

O N_t , valor máximo de referência das necessidades nominais anuais energéticas, é obtido através da seguinte fórmula:

$$N_t = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} \quad (6)$$

Em que:

- N_i - Valor máximo de referência para as necessidades nominais de energia útil para aquecimento (kWh/(m².ano));
- N_v – Valor máximo de referência para as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (kWh/(m².ano));
- $f_{i,k}/f_{a,k}/f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento / arrefecimento / preparação de AQS, supridas pelo sistema;
- $F_{pu,j}$ – Fator de conversão da energia útil para energia primária (kWh_{ep}/kWh);
- $\eta_{ref,k}$ – Fator de utilização de ganhos de referência;
- Q_a - Energia útil necessária para a preparação de águas quentes sanitárias (kWh/ano);
- A_p – Área útil de pavimento (m²).

N_i (kWh/(m².ano)), valor máximo de referência para as necessidades nominais de energia útil para aquecimento, é obtido através da seguinte fórmula:

$$N_i = \frac{(Q_{tr,iref} + Q_{ve,iref} - Q_{gu,iref})}{A_p} \quad (7)$$

Em que:

- $Q_{gu,iref}$ – Ganhos de calor úteis de referência na estação de aquecimento (kWh);
- $Q_{tr,iref}$ – Transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência na estação de aquecimento (kWh);
- $Q_{ve,iref}$ – Transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento (kWh);
- A_p – Área útil de pavimento (m^2);

N_v (kWh/(m^2 .ano)), valor máximo de referência para as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento, é obtido através da seguinte fórmula:

$$N_v = \frac{(1 - \eta_{vref}) \cdot (Q_{g,vref})}{A_p} \quad (8)$$

Em que:

- η_{vref} – Fator de utilização dos ganhos de referência;
- $Q_{g,vref}$ – Ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento (kWh);
- A_p – Área útil de pavimento (m^2).

CAPÍTULO 4 – Resultados e Discussão

4.1 Software SCE.ER

Os quadros compreendidos entre o Quadro 4.1 e o Quadro 4.4, representam os resultados obtidos a partir da utilização do programa SCE.ER. Como se pode constatar pela análise destes quadros, foram utilizadas cinco cidades diferentes para a moradia unifamiliar estudada, sendo estas: Albufeira, Coimbra, Lisboa, Vila Real e Funchal. Localizando a moradia nos diferentes locais referidos, foi possível ter uma noção da influência que a variação dos diferentes parâmetros referidos tem no cálculo das energias renováveis provenientes dos diferentes sistemas técnicos estudados.

Pela análise do Quadro 4.1, onde se apresentam os resultados do cálculo de vários sistemas solares térmicos (consumo AQS e Kit), pode verificar-se pela análise das colunas referentes ao consumo de AQS e Kit (sistema integrado) que, apesar das necessidades serem idênticas para os dois tipos de sistemas e para as cinco localidades (1782 kWh), uma maior fração solar, devido a uma maior exposição solar implica, necessariamente, que a quantidade de energia proveniente de fontes renováveis (solar) tenha que ser superior e, conseqüentemente, a parte satisfeita via sistema de apoio tenha que ser inferior. Os dois coletores solares com um depósito de 300 litros, auxiliados por um sistema de apoio do tipo elétrico, destinam-se exclusivamente à satisfação dos consumos de AQS, que são iguais independentemente da localização da moradia, dado que dependem apenas da ocupação da mesma e do perfil de consumo (assumido igual para os vários locais). Assim, Albufeira é a cidade com maior fração solar, com maior quantidade de energia proveniente de fontes renováveis (solar) e menor quantidade de energia utilizada pelo sistema de apoio elétrico, sendo que em oposição tem-se Funchal, que tem a menor fração solar e quantidade de energia proveniente de fontes renováveis (solar), sendo que por consequência necessita de uma maior cobertura por parte do sistema de apoio elétrico.

Quadro 4.1 - Resultados do cálculo da energia renovável proveniente de um sistema solar térmico, através do programa SCE.ER

Sistemas de Aproveitamento de Energias Renováveis																				
Zona					Consumo			Sistema Solar Térmico												
Zona Climática	NUTS III	Município	Altitude (m)	Horizonte Obstruído	Tipologia	Volume Médio Diário (L)	Variação sazonal	Armazenamento (L)	Azimute	Inclinação (°)	Área de coletor (m2)	Apoio	Consumo AQS				kit (sistema integrado)			
													Eren (kWh)	Necessidades (kWh)	Sistema de Apoio (%)	Fração solar (%)	Eren (kWh)	Necessidades (kWh)	Sistema de Apoio (%)	Fração solar (%)
I1 V2	Algarve	Albufeira	30	Não	V2	120	Não	300	Sul	35	4.2	Ao depósito	1608	1782	10	90	1532	1782	14	86
I1 V2	Grande Lisboa	Lisboa	100	Não	V2	120	Não	300	Sul	35	4.2		1563	1782	12	88	1482	1782	17	83
I1 V2	Baixo Mondego	Coimbra	100	Não	V2	120	Não	300	Sul	35	4.2		1518	1782	15	85	1429	1782	20	80
I3 V2	Douro	Vila Real	500	Não	V2	120	Não	300	Sul	35	4.2		1445	1782	19	81	1350	1782	24	76
I1 V1	R.A. Madeira	Funchal	30	Não	V2	120	Não	300	Sul	35	4.2		1217	1782	32	68	1064	1782	40	60

Quadro 4.2 - Resultados do cálculo da energia renovável proveniente de uma bomba de calor e de um sistema solar fotovoltaico, através do programa SCE.ER

Sistemas de Aproveitamento de Energias Renováveis										
Bomba de Calor Aerotérmica (elétrica)						Sistema Solar Fotovoltaico				
Município	Necessidades (kWh)	SPF	Potência (Watts)	Hhp (horas)	Qusable máximo (kWh)	Eren (kWh)	Autoconsumo (AC) (kWh)	Necessidades (kWh)	Produção (AC) (kWh)	Para injeção na RESP (kWh)
Albufeira	10000	4.3	13000	1170	15210	7674	771	1580	3381	771
Lisboa	10000					7674	754	1580	3246	754
Coimbra	10000					7674	750	1580	3119	750
Vila Real	10000					7674	727	1580	2993	727
Funchal	10000					7674	691	1580	2276	691

No Quadro 4.2, nomeadamente nas colunas referentes ao sistema solar fotovoltaico, são apresentados os resultados obtidos para as cinco localidades a nível de autoconsumo, necessidades, produção total e parcela injetada na RESP (Rede Elétrica de Serviço Público). Dos casos calculados anteriormente, sabe-se as localidades com maior exposição solar, e pela análise destas colunas é possível verificar, uma vez mais, que quanto maior a exposição solar, maior a produção de energia elétrica dos dez módulos fotovoltaicos instalados, maior a parcela destinada ao autoconsumo e maior é a parcela de energia elétrica destinada à injeção na RESP (Rede Elétrica de Serviço Público). Verifica-se, novamente, que Albufeira, devido à sua excelente exposição solar, é onde se verifica a maior produção de energia elétrica por parte dos módulos fotovoltaicos (3381 kWh), sendo que, em contrapartida, Funchal é a cidade com menor capacidade de produção (2276 kWh). As necessidades de energia decrescem do sistema solar térmico para o fotovoltaico, uma vez que o primeiro tem apoio elétrico e o segundo não.

Ainda através do Quadro 4.2, podem ser consultados os resultados obtidos através do programa, para as cinco localidades, com uma bomba de calor aerotérmica (elétrica). Consideraram-se umas necessidades de aquecimento anuais de 10000 kWh, sugeridas por defeito no programa, um SPF de 4.3, uma potência de 13000 Watts, um H_{hp} (o número estimado de horas de funcionamento à potência nominal) de 1170 horas e um Q_{usable} máximo (calor utilizável produzido pela bomba) de 15210 kWh. Após a realização dos cálculos, obteve-se a mesma quantidade de energia renovável para as cinco localidades (7674 kWh), o que pode ser explicado com o facto da bomba de calor funcionar a eletricidade e não depender da localização ou do clima, fatores tidos em conta pelo programa. Constata-se, claramente, que a energia renovável total proveniente de uma bomba de calor, à partida, é muito superior a qualquer sistema solar estudado até agora, sendo inclusivamente superior à energia renovável proveniente dos sistemas técnicos que funcionam a biomassa, como se verá mais adiante.

Os Quadros 4.3 e 4.4 apresentam os resultados obtidos, através do programa SCE.ER, referentes ao cálculo da energia renovável proveniente da biomassa. Foram calculados uma caldeira a lenha, uma caldeira a granulados, um recuperador de calor e uma salamandra, para cada uma das cinco localizações referidas. Em todos os sistemas técnicos e para todas as localizações, permaneceram idênticas as necessidades da moradia para AQS (1782 kWh), para climatização (10000 kWh) e as necessidades totais (11782 kWh). Assim sendo, obteve-se uma quantidade de energia renovável idêntica (5232 kWh) para todos os sistemas técnicos estudados. A quantidade de energia primária de origem renovável manteve-se, também esta, idêntica (6976 kWh) para a caldeira a lenha, recuperador de calor e salamandra, variando apenas na caldeira a granulados (6155 kWh), onde foi ligeiramente inferior. De todos os sistemas técnicos

calculados, verifica-se que a biomassa é o segundo melhor em termos de quantidade de energia fornecida que é proveniente de fontes renováveis.

Quadro 4.3 - Resultados do cálculo da energia renovável proveniente de uma caldeira a lenha e de uma caldeira a granulados, através do programa SCE.ER

Sistemas de Aproveitamento de Energias Renováveis										
Biomassa										
Município	Caldeira a Lenha					Caldeira a Granulados				
	Necessidades totais (kWh)	Necessidades para AQS (kWh)	Necessidades para climatização (kWh)	Necessidades atendidas (kWh)	Energia primária de origem renovável (kWh)	Necessidades totais (kWh)	Necessidades para AQS (kWh)	Necessidades para climatização (kWh)	Necessidades atendidas (kWh)	Energia primária de origem renovável (kWh)
Albufeira	11782	1782	10000	5232	6976	11782	1782	10000	5232	6155
Lisboa	11782	1782	10000	5232	6976	11782	1782	10000	5232	6155
Coimbra	11782	1782	10000	5232	6976	11782	1782	10000	5232	6155
Vila Real	11782	1782	10000	5232	6976	11782	1782	10000	5232	6155
Funchal	11782	1782	10000	5232	6976	11782	1782	10000	5232	6155

Quadro 4.4 - Resultados do cálculo da energia renovável proveniente de um recuperador de calor e de uma salamandra, através do programa SCE.ER

Sistemas de Aproveitamento de Energias Renováveis										
Biomassa										
Município	Recuperador de Calor					Salamandra				
	Necessidades totais (kWh)	Necessidades para AQS (kWh)	Necessidades para climatização (kWh)	Necessidades atendidas (kWh)	Energia primária de origem renovável (kWh)	Necessidades totais (kWh)	Necessidades para AQS (kWh)	Necessidades para climatização (kWh)	Necessidades atendidas (kWh)	Energia primária de origem renovável (kWh)
Albufeira	11782	1782	10000	5232	6976	11782	1782	10000	5232	6976
Lisboa	11782	1782	10000	5232	6976	11782	1782	10000	5232	6976
Coimbra	11782	1782	10000	5232	6976	11782	1782	10000	5232	6976
Vila Real	11782	1782	10000	5232	6976	11782	1782	10000	5232	6976
Funchal	11782	1782	10000	5232	6976	11782	1782	10000	5232	6976

4.2 Folha de Cálculo REH

Os quadros compreendidos entre o Quadro 4.5 e o Quadro 4.9, incluem os resultados obtidos (balanço energético) através da folha de cálculo REH, para todos os sistemas técnicos referidos no ponto anterior e para as cinco localidades avaliadas. Nas tabelas que se seguem é possível verificar que a energia útil necessária à preparação de águas quentes sanitárias (Q_a) é igual, em valor, (1782 kWh/ano) para todos os sistemas técnicos instalados e para todas as localidades, uma vez que este valor depende apenas da ocupação da moradia e do perfil de consumo dos ocupantes, idênticos tanto para os sistemas técnicos como para as diferentes localizações. A análise das tabelas revela também que a energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos ($E_{ren,ext}$) é igual, em valor (0 kWh/ano), para todos os sistemas técnicos e localizações utilizadas, uma vez que não existem outros usos para a energia renovável senão o AQS e climatização. Outro parâmetro idêntico, em valor (262.8 kWh/ano), para todos os sistemas técnicos e localizações utilizadas, é a energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (W_{vm}), uma vez que o sistema de ventilação mecânica instalado na moradia é o mesmo (fixo), seja qual for a localização ou sistema técnico instalado.

Quadro 4.5 - Resultados do cálculo dos parâmetros térmicos para a cidade de Albufeira, através da folha de cálculo REH do ITECONS

Desempenho Térmico de uma Moradia Unifamiliar													
Dados				Parâmetros Térmicos									
Município	Altitude (m)	Tipologias segundo SCE.ER	Sistemas	Nic (kWh/m2.ano)	Nvc (kWh/m2.ano)	Qa (kWh/ano)	Wvm (kWh/ano)	Eren (kWh/ano)	Eren,AQS (kWh/ano)	Eren,ext (kWh/ano)	Nic (kWh/m2.ano)	Nic/Ni	Classe Energética
Albufeira	30	Consumo AQS	2 coletores solares + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	10.29	15.32	1782	262.8	3281	1608	0	29.55	0.38	A
		Kit (sistema integrado)	2 coletores solares + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	10.29	15.32	1782	262.8	3209	1532	0	31.67	0.41	A
		Fotovoltaico	10 módulos fotovoltaicos + 1 bomba de calor + 2 ar condicionado	10.29	15.32	1782	262.8	3816	1677	0	14.22	0.33	A
		Fotovoltaico	10 módulos fotovoltaicos + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	10.29	15.32	1782	262.8	2448	308	0	55.36	0.71	B
		Biomassa	1 Caldeira Lenha + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	10.29	15.32	1782	262.8	3389	1337	0	39.96	0.62	B
		Bomba de Calor	1 bomba de calor + 2 ar condicionado	10.29	15.32	1782	262.8	3045	1368	0	35.92	0.83	B-

Apesar de se terem registado os resultados do programa SCE.ER referentes à caldeira a lenha, caldeira a granulados, recuperador de calor e salamandra, no cálculo térmico apenas se considerou a caldeira a lenha, visto que os resultados referentes às necessidades para AQS e climatização, bem como as necessidades atendidas (E_{ren}) eram iguais, em valor, para os quatro sistemas calculados. Apenas a energia primária de origem renovável é diferente para a caldeira a granulados, sendo igual nos três outros sistemas.

Os parâmetros N_{ic} , necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, e N_{vc} , necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, refletem o peso do clima das diferentes localidades nas necessidades de aquecimento e arrefecimento da moradia. Devido ao clima ameno, Funchal é a cidade com menores necessidades de aquecimento, seguindo-se Albufeira, Lisboa, Coimbra e sendo Vila Real a cidade com maiores necessidades de aquecimento, devido ao clima mais frio a que está sujeita. Por sua vez, as necessidades de arrefecimento são maiores em Albufeira, uma vez que está sujeita a um clima mais quente o ano inteiro, enquanto que Funchal apresenta as menores necessidades de arrefecimento, dado que o clima é mais ameno durante todo o ano (mais próximo da temperatura de conforto (25°C)). Já Vila Real, consegue apresentar, também, umas elevadas necessidades de arrefecimento, possivelmente devido à existência de maiores variações térmicas entre o dia e a noite, e durante as estações de aquecimento e arrefecimento, em relação às restantes localidades, devido à zona climática a que pertence. Os valores de N_{ic} e N_{vc} são iguais, dentro de cada localidade, para todos os sistemas técnicos instalados.

Quadro 4.6 - Resultados do cálculo dos parâmetros térmicos para a cidade de Lisboa, através da folha de cálculo REH do ITECONS

Desempenho Térmico de uma Moradia Unifamiliar													
Dados				Parâmetros Térmicos									
Município	Altitude (m)	Tipologias segundo SCE.ER	Sistemas	N_{ic} (kWh/m ² .ano)	N_{vc} (kWh/m ² .ano)	Q_a (kWh/ano)	W_{wm} (kWh/ano)	E_{ren} (kWh/ano)	$E_{ren,AQS}$ (kWh/ano)	$E_{ren,ext}$ (kWh/ano)	N_{tc} (kWhcp/m ² .ano)	N_{tc}/N_i	Classe Energética
Lisboa	100	Consumo AQS	2 coletores solares + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	17.15	11.05	1782	262.8	3414	1563	0	32.31	0.41	A
		Kit (sistema integrado)	2 coletores solares + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	17.15	11.05	1782	262.8	3325	1482	0	34.95	0.44	A
		Fotovoltaico	10 módulos fotovoltaicos + 1 bomba de calor + 2 ar condicionado	17.15	11.05	1782	262.8	3968	1670	0	16.40	0.37	A
		Fotovoltaico	10 módulos fotovoltaicos + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	17.15	11.05	1782	262.8	2600	302	0	57.54	0.72	B
		Biomassa	1 Caldeira Lenha + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	17.15	11.05	1782	262.8	3809	1337	0	38.04	0.56	B
		Bomba de Calor	1 bomba de calor + 2 ar condicionado	17.15	11.05	1782	262.8	3214	1368	0	37.61	0.84	B-

O parâmetro E_{ren} , energia obtida a partir de fontes renováveis para usos regulados, é fundamental para a obtenção de uma alta classe energética. A análise dos Quadros 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9, revelam que este parâmetro praticamente duplica quando se utiliza simultaneamente um sistema de aproveitamento de energias renováveis para AQS e climatização, em comparação com a utilização de um sistema técnico com a finalidade AQS apenas ($E_{ren,AQS}$).

Dentro de cada localidade, o sistema solar fotovoltaico com termoacumulador (caso 2) e a bomba de calor, são os que fornecem resultados inferiores em número, em termos de energias renováveis, com exceção dos sistemas solares térmicos em Vila Real e Funchal (menor E_{ren}), onde a bomba de calor fornece valores de E_{ren} superiores a estes. Os melhores resultados, em termos do parâmetro E_{ren} , correspondem sempre à biomassa e aos painéis fotovoltaicos com bomba de calor (caso 1), claramente superiores a todos os outros. Uma das razões deste caso 1, para os painéis fotovoltaicos, ser largamente superior ao caso 2, deve-se à combinação dos módulos fotovoltaicos com bomba de calor no caso 1, sendo que ambas as tecnologias produzem energia renovável, enquanto que no caso 2 (combinado com termoacumulador) apenas se tem a energia renovável proveniente dos 10 módulos fotovoltaicos. Considerando todos os locais e todos os sistemas técnicos, a utilização de 10 módulos fotovoltaicos, com 1 termoacumulador e 2 aparelhos de ar condicionado (caso 2) para AQS e climatização, na cidade de Funchal, apresenta os valores mais baixos das tabelas para a energia renovável (1539 kWh/ano). Já o melhor resultado das tabelas corresponde à utilização de uma caldeira a lenha (biomassa), combinada com 1 termoacumulador e 2 aparelhos de ar condicionado, na cidade de Vila Real, para a satisfação simultânea dos consumos de AQS e climatização (5557 kWh/ano). Os sistemas solares térmicos também se apresentam, de uma forma geral, como sendo uma boa solução para as várias localidades, não sendo tão viáveis quando a fração solar é mais baixa.

Quadro 4.7 - Resultados do cálculo dos parâmetros térmicos para a cidade de Coimbra, através da folha de cálculo REH do ITECONS

Desempenho Térmico de uma Moradia Unifamiliar													
Dados				Parâmetros Térmicos									
Município	Altitude (m)	Tipologias segundo SCEER	Sistemas	Nic (kWh/m ² .ano)	Nvc (kWh/m ² .ano)	Qa (kWh/ano)	Wvm (kWh/ano)	Eren (kWh/ano)	Eren,AQS (kWh/ano)	Eren,ext (kWh/ano)	Nic (kWh/m ² .ano)	Nic/Nt	Classe Energética
Coimbra	100	Consumo AQS	2 coletores solares + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	23.2	8.85	1782	262.8	3613	1518	0	36.43	0.46	A
		Kit (sistema integrado)	2 coletores solares + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	23.2	8.85	1782	262.8	3524	1429	0	39.07	0.49	A
		Fotovoltaico	10 módulos fotovoltaicos + 1 bomba de calor + 2 ar condicionado	23.2	8.85	1782	262.8	4217	1668	0	19.05	0.43	A
		Fotovoltaico	10 módulos fotovoltaicos + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	23.2	8.85	1782	262.8	2849	300	0	60.20	0.76	B-
		Biomassa	1 Caldeira Lenha + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	23.2	8.85	1782	262.8	4282	1337	0	37.40	0.54	B
		Bomba de Calor	1 bomba de calor + 2 ar condicionado	23.2	8.85	1782	262.8	3467	1368	0	40.15	0.90	B-

$E_{ren,AQS}$ é idêntico ao E_{ren} quando a finalidade do sistema técnico é apenas a satisfação dos consumos de AQS, sendo que E_{ren} aumenta quando se pretende garantir também a climatização.

Verifica-se que, para todas as localizações, os sistemas solares térmicos e fotovoltaicos são os que têm melhor desempenho no fornecimento de energia renovável para a produção de AQS, exceto no Funchal, onde a bomba de calor e a biomassa são superiores aos sistemas solares térmicos, por o local ter uma reduzida fração solar.

O parâmetro N_{tc} , necessidades nominais anuais globais de energia primária, revela-se muito superior aquando da utilização de um sistema solar fotovoltaico com 1 termoacumulador e 2 aparelhos de ar condicionado (caso 2). Logo de seguida, as que apresentam maior N_{tc} são os sistemas de aerotermia e de biomassa. O maior valor registado verifica-se para Vila Real, precisamente para o sistema solar fotovoltaico (caso 2) com 1 termoacumulador e 2 aparelhos de ar condicionado (70.57 kWh/m².ano), destinado à satisfação dos consumos de AQS e climatização, uma vez que todos os constituintes são elétricos. Em contrapartida, o sistema solar fotovoltaico com bomba de calor e 2 aparelhos de ar condicionado (caso 1), apresenta os valores mais baixos de N_{tc} , para todas as localidades, verificando-se o mais baixo de toda a tabela para o sistema solar fotovoltaico instalado na cidade de Funchal (8.14 kWh/m².ano), possivelmente devido ao facto das necessidades, tanto de aquecimento como de arrefecimento, serem inferiores nesta cidade, mas também porque o sistema solar fotovoltaico não só tem necessidades energéticas reduzidas como também produz energia elétrica.

Quadro 4.8 - Resultados do cálculo dos parâmetros térmicos para a cidade de Vila Real, através da folha de cálculo REH do ITECONS

Desempenho Térmico de uma Moradia Unifamiliar													
Dados				Parâmetros Térmicos									
Município	Altitude (m)	Tipologias segundo SCEER	Sistemas	N_{tc} (kWh/m ² .ano)	N_{vc} (kWh/m ² .ano)	Q_a (kWh/ano)	W_{wm} (kWh/ano)	E_{ren} (kWh/ano)	$E_{ren,AQS}$ (kWh/ano)	$E_{ren,ext}$ (kWh/ano)	N_{tc} (kWh/m ² .ano)	N_{tc}/N_t	Classe Energética
Vila Real	500	Consumo AQS	2 coletores solares + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	31.62	15.23	1782	262.8	4510	1445	0	48.27	0.51	B
		Kit (sistema integrado)	2 coletores solares + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	31.62	15.23	1782	262.8	4421	1350	0	50.91	0.54	B
		Fotovoltaico	10 módulos fotovoltaicos + 1 bomba de calor + 2 ar condicionado	31.62	15.23	1782	262.8	5162	1659	0	29.42	0.49	A
		Fotovoltaico	10 módulos fotovoltaicos + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	31.62	15.23	1782	262.8	3793	291	0	70.57	0.74	B
		Biomassa	1 Caldeira Lenha + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	31.62	15.23	1782	262.8	5557	1337	0	42.70	0.49	A
		Bomba de Calor	1 bomba de calor + 2 ar condicionado	31.62	15.23	1782	262.8	4435	1368	0	49.88	0.83	B-

Uma vez que o N_{tc} representa as necessidades nominais anuais globais de energia primária, significa que também reflete os gastos com a fatura de eletricidade. Tomando-se como exemplo o sistema solar fotovoltaico na cidade de Vila Real, com um sistema constituído por 10 módulos

fotovoltaicos e um termoacumulador, destinado a AQS, e 2 aparelhos de ar condicionado para a climatização, apresentando o maior N_{tc} (70,57 kWh/m².ano) da tabela e um certificado energético B, caso se compare este sistema com uma bomba de calor, destinada a AQS, com 2 aparelhos de ar condicionado destinados à climatização, que apresentam em conjunto um N_{tc} inferior (49,88 kWh/m².ano) e uma pior classe energética (B-), pode-se constatar que a classe energética não reflete todos os benefícios que a instalação de determinados sistemas técnicos apresentam. Conclui-se, assim, que apesar da bomba de calor apresentar uns gastos de energia inferiores do que este sistema solar fotovoltaico (caso 2), leva sempre à obtenção de uma pior classe energética na moradia. A bomba de calor seria, em termos práticos, mais benéfica para a moradia, por levar a poupanças na conta da eletricidade e utilizar sempre uma quantidade de energias renováveis superior, apesar de conferir uma classe energética pior.

O quociente entre os parâmetros N_{tc} e N_i , valor máximo de referência das necessidades nominais anuais energéticas, permite obter o valor que vai definir a classe energética da moradia, conforme todas as soluções construtivas adotadas, localização e sistemas técnicos instalados. Conseguiu-se obter uma classe energética A para os sistemas solares térmicos instalados em Albufeira, Lisboa e Coimbra, para o sistema solar térmico Consumo AQS na cidade de Funchal, para a biomassa na cidade de Vila Real e para o fotovoltaico (caso 1) em todas as localidades. O sistema solar fotovoltaico (caso 2) forneceu sempre uma classe energética B, com exceção da cidade de Coimbra, onde foi B-. Por sua vez, a biomassa forneceu sempre uma classe energética B, com exceção da cidade de Vila Real, onde forneceu A e a bomba de calor aerotérmica forneceu uma classe energética B- para todas as localidades.

Quadro 4.9 - Resultados do cálculo dos parâmetros térmicos para a cidade de Funchal, através da folha de cálculo REH do ITECONS

Dados				Desempenho Térmico de uma Moradia Unifamiliar									
Município	Altitude (m)	Tipologias segundo SCE.ER	Sistemas	Parâmetros Térmicos									
				N_{tc} (kWh/m ² .ano)	N_{vc} (kWh/m ² .ano)	Q_a (kWh/ano)	W_{wm} (kWh/ano)	E_{ren} (kWh/ano)	$E_{ren,AQS}$ (kWh/ano)	$E_{ren,ext}$ (kWh/ano)	N_{tc} (kWh/m ² .ano)	N_{tc}/N_i	Classe Energética
Funchal	30	Consumo AQS	2 coletores solares + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	3.64	9.32	1782	262.8	2060	1217	0	32.40	0.50	A
		Kit (sistema integrado)	2 coletores solares + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	3.64	9.32	1782	262.8	1917	1064	0	37.06	0.56	B
		Fotovoltaico	10 módulos fotovoltaicos + 1 bomba de calor + 2 ar condicionado	3.64	9.32	1782	262.8	2908	1645	0	8.14	0.26	A
		Fotovoltaico	10 módulos fotovoltaicos + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	3.64	9.32	1782	262.8	1539	276	0	49.29	0.75	B
		Biomassa	1 Caldeira Lenha + 1 termoacumulador + 2 ar condicionado	3.64	9.32	1782	262.8	2318	1337	0	35.13	0.70	B
		Bomba de Calor	1 bomba de calor + 2 ar condicionado	3.64	9.32	1782	262.8	2217	1368	0	27.59	0.88	B-

CAPÍTULO 5 – Considerações Finais

5.1 Conclusões

Viu-se ao longo desta dissertação que um paradigma assente na utilização de combustíveis fósseis é insustentável, uma vez que se trata de fontes não renováveis de energia, poluentes e com diversos impactos ambientais. Uma alternativa a esta situação é a aposta nas energias renováveis, que são fontes naturais e inesgotáveis de energia, de reduzidos impactos ambientais ou nulos. Felizmente, os governos compreendem a importância de uma aposta nas fontes de energia renováveis e têm vindo a desenvolver cada vez mais políticas neste sentido, disponibilizando mais fundos e procurando atingir uma total descarbonização para o ano de 2050, como se explicou no estado da arte.

Posteriormente, foram apresentados todos os resultados obtidos a partir do estudo realizado, divididos em resultados obtidos a partir do programa SCE.ER e resultados obtidos a partir da folha de cálculo REH. Todos os resultados obtidos, para efeitos de sistematização e maior facilidade de consulta da informação, foram apresentados em quadros, compreendidos desde o Quadro 4.1 ao Quadro 4.9.

O objetivo da realização deste estudo, através do programa SCE.ER, é o de registar a influência que tem a variação do local e, conseqüentemente, da exposição solar, zona climática, necessidades de aquecimento, entre outros parâmetros automaticamente calculados pela folha de cálculo térmico, na quantidade de energia proveniente de fontes renováveis. Assim, após a variação do local e aplicação de todos os sistemas técnicos já referidos, pode-se concluir o seguinte:

- ➔ Para a energia renovável proveniente dos sistemas solares térmicos, a energia renovável é superior para os locais em que a fração solar é superior e, conseqüentemente, a quantidade de energia satisfeita pelo apoio elétrico é inferior.
- ➔ Para a instalação de um sistema solar fotovoltaico na moradia, verificou-se que, uma vez mais, uma maior fração solar leva a uma maior quantidade de energia renovável (autoconsumo), a uma maior quantidade de energia destinada à injeção na RESP e a uma maior capacidade de produção total de energia.

- ➔ A instalação de uma bomba de calor aerotérmica (elétrica) na moradia, permite obter, independentemente do local e do clima ou exposição solar, a maior quantidade de energias renováveis de todos os sistemas técnicos avaliados, apresentando assim um elevado desempenho e constituindo, através dos resultados do *software* SCE.ER, a melhor solução à partida.
- ➔ A instalação de biomassa na moradia também forneceu excelentes resultados para a quantidade de energia proveniente de fontes renováveis, só ficando atrás da bomba de calor. Verificou-se que todos os sistemas técnicos forneciam a mesma quantidade de energia renovável, pelo que se considerou apenas um sistema técnico na folha de cálculo térmico (caldeira a lenha).

O estudo realizado através do programa SCE.ER permitiu comparar os diversos sistemas a nível do aproveitamento das energias renováveis e necessidades, sendo que esses resultados foram posteriormente inseridos na folha de cálculo REH, juntamente com os sistemas técnicos. A folha de cálculo REH permitiu ter uma noção da importância do aproveitamento de energias renováveis na classe energética, bem como estudar a influência da localização, dos sistemas técnicos inseridos e dos parâmetros energéticos, na classificação energética. A partir do estudo realizado, segundo a folha de cálculo REH, foi possível concluir o seguinte:

- ➔ A energia útil necessária à preparação de águas quentes sanitárias (Q_a) é igual para todos os sistemas técnicos instalados e para todas as localidades, uma vez que este valor depende apenas da ocupação da moradia e do perfil de consumo dos ocupantes, idênticos tanto para os sistemas técnicos como para os diferentes locais.
- ➔ Funchal é a cidade com menores necessidades de aquecimento, por ter um clima mais ameno e Vila Real é a cidade com maiores necessidades de aquecimento, apresentando também altas necessidades de arrefecimento, por ter um clima mais frio e com maiores variações térmicas. A cidade com maiores necessidades de arrefecimento é Albufeira, por ter um clima mais quente o ano inteiro.
- ➔ O parâmetro E_{ren} tem uma forte influência na obtenção de uma boa classe energética, sendo que praticamente duplica quando a finalidade é de satisfazer tanto os consumos de AQS como os de climatização, em comparação com AQS apenas. A biomassa e o sistema solar fotovoltaico (caso 1) apresentam os melhores resultados de todos os sistemas no aproveitamento de energias renováveis. Dentro de cada localidade, o sistema solar fotovoltaico (caso 2) e a bomba de calor, são os que fornecem resultados inferiores em termos de energias renováveis, com exceção dos sistemas solares térmicos em Vila Real e Funchal (menor E_{ren}), onde a bomba de calor fornece valores de E_{ren} superiores a estes.

- O parâmetro $E_{ren,AQS}$ avalia apenas a energia produzida a partir de fontes renováveis para a produção de AQS, enquanto que o parâmetro E_{ren} avalia toda a energia renovável produzida, incluindo aquela destinada à climatização. Os dois parâmetros são iguais quando a finalidade do sistema técnico é apenas a satisfação dos consumos de AQS. Verifica-se que, para todas as localizações, os sistemas solares térmicos e fotovoltaicos (caso 1) são os que têm melhor desempenho no fornecimento de energia renovável para a produção de AQS, exceto no Funchal, que tem uma reduzida fração solar, onde a bomba de calor e a biomassa são superiores aos sistemas solares térmicos.
- O parâmetro N_{tc} , necessidades nominais anuais globais de energia primária, revela-se geralmente superior aquando da utilização de um sistema solar fotovoltaico (caso 2), para todas as localidades, sendo que os maiores valores registados se verificam para Vila Real, precisamente para o sistema solar fotovoltaico do caso 2 (70,57 kWhep/m².ano), destinado à satisfação dos consumos de AQS e climatização. Em contrapartida, o sistema solar fotovoltaico constituído por uma bomba de calor 2 aparelhos de ar condicionado (caso 1), apresenta os valores mais baixos de N_{tc} , para todas as localidades, verificando-se o mais baixo de toda a tabela para o sistema solar fotovoltaico instalado na cidade de Funchal (8.14 kWhep/m².ano).
- Relacionando o parâmetro N_{tc} com as classes energéticas obtidas, foi possível constatar que apesar da bomba de calor apresentar uns gastos de energia inferiores do que um sistema solar fotovoltaico (caso 2), em todas as localidades, leva sempre à obtenção de uma pior classe energética na moradia. A bomba de calor seria, em termos práticos, mais benéfica para a moradia em certas circunstâncias, por levar a poupanças na conta da eletricidade, apesar de conferir uma classe energética pior.
- O quociente entre os parâmetros N_{tc} e N_t , valor máximo de referência das necessidades nominais anuais energéticas, permite definir a classe energética da moradia, conforme todas as soluções construtivas adotadas, localização e sistemas técnicos instalados. Assim, conseguiu-se obter uma classe energética A para os sistemas solares térmicos instalados em Albufeira, Lisboa e Coimbra, para o sistema solar térmico Consumo AQS na cidade de Funchal, para a biomassa na cidade de Vila Real e para o fotovoltaico (caso 1) em todas as localidades. O sistema solar fotovoltaico (caso 2) forneceu sempre uma classe energética B, com exceção da cidade de Coimbra, onde foi B-. Por sua vez, a biomassa forneceu sempre uma classe energética B, com exceção da cidade de Vila Real, onde forneceu A e a bomba de calor aerotérmica forneceu uma classe energética B- para todas as localidades.

5.2 Desenvolvimentos Futuros

Na sequência do trabalho aqui realizado, sugere-se, para o futuro, a realização dos cálculos relativos ao aproveitamento de energias renováveis através do *software* Solterm, para posterior comparação com os resultados obtidos a partir do *software* SCE.ER. Sugere-se, também, a realização de um segundo estudo complementar, onde se insere os resultados obtidos através do *software* Solterm numa folha de cálculo térmico e se avalia a influência desses resultados no balanço energético final.

Sugere-se, ainda, a realização de um estudo para a avaliação de outras fontes de energias renováveis, como pequenos aproveitamentos hidroelétricos, pequenas turbinas eólicas ou geotermia de baixa entalpia, destinados à satisfação dos consumos de urbanizações ou inteiras freguesias. Seria interessante explorar, também, o potencial da microgeração, cogeração e trigeração.

Outra área interessante de explorar é a comportamental, de forma a caracterizar o comportamento dos ocupantes dos edifícios e o impacto desses comportamentos na eficiência energética dos mesmos, em várias zonas climáticas do país. Em complemento, seria interessante caracterizar de forma rigorosa os consumos energéticos de edifícios com diferentes tipologias e ocupações, desenvolvendo, até, métodos para os contabilizar rigorosamente.

Por último, sugere-se a realização de estudos económicos aos diferentes sistemas de energias renováveis possíveis de aplicar em edifícios, que contabilizem os custos de construção, instalação e exploração dos sistemas, mas também o retorno proveniente dos mesmos, avaliando-se a sua viabilidade económica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENE - Agência para a Energia (2011). *Certificação Energética e Ar Interior: Edifícios*. 16. Lisboa.
- Amaral, G. R. F. S. (2012). *Aplicação de coletores solares em edifícios existentes* (Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto). Disponível em <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68168/1/000154950.pdf>.
- Associação de Energias Renováveis. (s.d.). Energias Renováveis - O que são. Consultado a 21 de agosto de 2020. Disponível em <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/o-que-sao>.
- Barbosa, A. M. (2013). *EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ENERGIAS RENOVÁVEIS EM EDIFÍCIOS* (Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto). Disponível em https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/6576/1/DM_SandraBarbosa_2013_MEESE.pdf.
- Baxi. (s.d.). O QUE É A AEROTERMIA. Consultado a 21 de agosto de 2020. Disponível em <https://www.baxi.pt/ajuda-e-conselhos/energias-renovaveis/o-que-e-a-aeroterminia>.
- Bizerra, A. M. C., Aquino de Queiroz, J. L., & Coutinho, D. A. M. (2018). O impacto ambiental dos combustíveis fósseis e dos biocombustíveis: as concepções de estudantes do ensino médio sobre o tema. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, 13(3), 299–315. Disponível em <https://doi.org/10.34024/revbea.2018.v13.2502>.
- Carreira Serra, F. (2010). *Implementação de Fontes de Energia Renovável em Meio Urbano - O Caso do Bairro da Portela de Sacavém* (Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico). Disponível em https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjona_mt83rAhU05OAKHWvTDIIQFjAAegQIAxAB&url=https%3A%2F%2Ffenix.tecnico.ulisboa.pt%2FdownloadFile%2F395142227797%2Fdissertacao.pdf&usg=AOvVaw0TZUwm5k-zAeDKXCalGfoW.
- Certificação Energética dos Edifícios. (s.d.). Legislação. Consultado a 10 de julho de 2020. Disponível em <https://www.sce.pt/legislacao/>.
- Cirelius (2017). Ficha de Produto (Caldeira a Combustível Sólido). Consultado a 25 de outubro de 2020. Disponível em: https://solius.pt/docs/biomassa/fp/FP_EcoMax_Easy_30.pdf.
- Ciucci, M. (2020). Política energética: princípios gerais. Consultado a 20 de agosto de 2020. Disponível em <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/68/politica-energetica-principios-gerais>.

- Conselho Europeu. (2020). Alterações climáticas: medidas que a UE está a tomar. Consultado a 20 de agosto de 2020. Disponível em <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/climate-change/>.
- Diário da República. (s.d.). Legislação. Consultado a 10 de julho de 2020. Disponível em <https://dre.pt/>.
- Direção Geral de Energia e Geologia. (s.d.-a). Biocombustíveis. Consultado a 18 de julho de 2020. Disponível em <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/biocombustiveis/>.
- Direção Geral de Energia e Geologia. (s.d.-b). Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios. Consultado a 20 de abril de 2020. Disponível em <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/diretiva-do-desempenho-energetico-dos-edificios/diretiva-dos-edificios/>.
- Direção Geral de Energia e Geologia. (s.d.-c). Eficiência Energética. Consultado a 27 de junho de 2020. Disponível em <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/>.
- Direção Geral de Energia e Geologia. (s.d.-f). SCE.ER. Consultado a 20 de abril de 2020. Disponível em <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/sce-er/>.
- Eurostat. (2020). Estatísticas das energias renováveis. Consultado a 15 de agosto de 2020. Disponível em https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics/pt.
- European Commission (2019). Energy performance of buildings directive. Consultado a 14 de outubro de 2020. Disponível em: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en.
- European Commission, “Report from the Commission to the European Parliament and the Council - Progress by Member States in reaching cost-optimal levels of minimum energy performance requirements”, 2016.
- Facão, J. (2015). Será Renovável a Energia obtida a partir de Bombas de Calor?. Laboratório Nacional de Energia e Geologia.
- Governo de Portugal. (2019). *Plano Nacional Energia E Clima 2021-2030 (PNEC 2030)*. Disponível em https://apambiente.pt/_zdata/Alteracoes_Climaticas/Mitigacao/PNEC/PNEC_PT_Template_Final_2019_30122019.pdf.
- Graña, S. (2018). As novas políticas para a Eficiência Energética nos edifícios e as suas implicações nos Sistemas de Gestão Técnica. apirac.
- Guerra, J. B. S. O. de A., Youssef, Y., & Rodrigues, P. R. (2011). Unisul (Ed.), *Energia Eólica em Energias Renováveis* (8-12; 32-36). Disponível em

- https://www.researchgate.net/publication/259868038_Energia_Eolica_em_Energias_Renovaveis.
- Jornal Oficial da União Europeia (2018). DIRETIVA (UE) 2018/844 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, de 30 de maio de 2018. Consultado a 6 de dezembro de 2020. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>
- Keeble, B. R. (1987). *The Brundtland Report: "Our Common Future"* (Vol. 4). Disponível em <https://doi.org/10.1080/07488008808408783>
- Lavado, A. L. C. (2009). *Os Actuais Desafios da Energia. Implementação e Utilização das Energias Renováveis (Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa)*. Disponível em https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/1447/1/20901_ulfc080580_tm.pdf
- Lopes, A. B. (2016). *Metodologia harmonizada de avaliação do comportamento térmico e desempenho energético de edifícios: estudo dos ganhos solares* (Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra). Disponível em [https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/38729/1/Metodologia harmonizada de avaliacao do comportamento termico e desempenho energetico de edificios estudo dos ganhos solares.pdf](https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/38729/1/Metodologia%20harmonizada%20de%20avaliacao%20do%20comportamento%20termico%20e%20desempenho%20energetico%20de%20edificios%20estudo%20dos%20ganhos%20solares.pdf)
- Mitsubishi Electric (s.d.). Ar Condicionado. Consultado a 5 de setembro de 2020. Disponível em <http://www.mitsubishielectric.pt/admin/uploadedfiles/7e8e346e82924c12499765851ba8cecd.pdf>
- Mitsubishi Electric (s.d.). Soluções de climatização e AQS para o uso residencial. Consultado a 5 de setembro de 2020. Disponível em <http://mitsubishielectric.pt/admin/uploadedfiles/bcc52f7996fc71858c09f62de18be91e.pdf>
- Morais, A. F. P. (2015). *Avaliação do Comportamento Térmico de uma Moradia Residencial Experimental* (Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra). Disponível em <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/38680>
- Newsol. (s.d.). Energia Solar de Concentração (CSP Concentrated Solar Power). Consultado a 23 de julho de 2020. Disponível em <http://www.newsol.uevora.pt/pt-pt/tecnologia-csp/>
- PIMENTA, R., POGGI, F., & FIRMINO, A. (2018). ID 842: A importância do setor das energias renováveis na economia circular: Uma revisão crítica aplicada ao contexto português. Apresentado a XVI Colóquio Ibérico de Geografia.
- Pinto, A. R., & Dias, B. J. S. D. (2017). Aquecimento solar passivo: ganhos diretos, indiretos e isolados (84-85). Disponível em: https://repositorio.ulusiada.pt/bitstream/11067/3400/1/ral_7_6.pdf
- Planas, O. (2015). ENERGIA SOLAR PASSIVA. TÉCNICAS, VANTAGENS E
-

- EXEMPLOS. Consultado a 18 de julho de 2020. Disponível em <https://pt.solar-energia.net/que-e-energia-solar/energia-solar-passiva>
- Planas, O. (2017). O QUE É ENERGIA SOLAR ATIVA?. Consultado a 15 de julho de 2020. Disponível em <https://pt.solar-energia.net/que-e-energia-solar/energia-solar-ativa>
- Portal das Energias Renováveis. (s.d.-a). Conversão: Energia solar térmica activa. Consultado a 13 de julho de 2020. Disponível em http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=37&ID_area=8&ID_sub_area=26
- Reis, P. (2017). Energia geotérmica o seu funcionamento e tecnologia. Consultado a 8 de julho de 2020. Disponível em <https://www.portal-energia.com/energia-geotermica-seu-funcionamento-tecnologia/>
- Reis, P. (2018). Vantagens e desvantagens das Bombas de Calor aerotérmicas. Consultado a 20 de junho de 2020. Disponível em <https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-das-bombas-calor-aerotermicas/>
- Reis, P. (2020). O que é a energia da Biomassa? Tudo sobre Biomassa. Consultado a 25 de agosto de 2020. Disponível em <https://www.portal-energia.com/o-que-e-energia-biomassa/>
- Reis, T., Crisostomo, A. C., Bortolotto, F., & Moutinho, P. (2015). *De Lima a Paris: resultados da COP 20 e perspectivas para a COP 21*. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/281640492_De_Lima_a_Paris_Resultados_da_COP_20_e_Perspectivas_a_COP_21%27
- Região-Sul (2019). Central fotovoltaica de Évora entra em funcionamento na sexta-feira. Consultado a 14 de outubro de 2020. Disponível em: <https://regiao-sul.pt/2019/06/13/economia/central-fotovoltaica-de-evora-entra-em-funcionamento-na-sexta-feira/469387>.
- Rosário da Costa, G. C. (2012). A CONTRIBUIÇÃO DOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS E FOTOVOLTAICOS PARA O BALANÇO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES (Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa).
- Torcellini, P., Pless, S., Deru, M., & Crawley, D. (2006). *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*. Apresentado a ACEEE Summer Study, California.
- Torresol Energy (2012). Torresol Energy wins de CSP Today Seville award. Consultado a 14 de outubro de 2020. Disponível em: https://www.renewableenergymagazine.com/solar_thermal_electric/torresol-energy-wins-the-csp-today-seville-20121115.
- Uzar, U. (2020). Political economy of renewable energy: Does institutional quality make a difference in renewable energy consumption? *Elsevier*, 155, 591–595. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.172>.
-

Vulcano (s.d.). Coletores Solares Compactos. Consultado a 5 de setembro de 2020. Disponível em <https://vulcano.pt/pt/pt/ocs/vulcano/coletores-solares-compactos-1098526-p/>

Vulcano (s.d.). Soluções Solares. Consultado a 5 de setembro de 2020. Disponível em https://www.vulcano.pt/ocsmedia/optimized/full/o417417v272_catalogo_solucoes_solar_es.pdf

OUTRA BIBLIOGRAFIA

- Decreto-Lei n° 118/2013 de 20 de Agosto -Diário da República n° 159/ 2013 – I Série. Ministério da Economia e do Emprego, Lisboa, 2013.
- Decreto-Lei n° 40/1990 de 6 de Fevereiro -Diário da República n° 31/ 1990 – I Série. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Lisboa, 1990.
- Decreto-Lei n° 78/2006 de 4 de Abril -Diário da República n° 67/ 2006 – I Série A. Ministério da Economia e Inovação, Lisboa, 2006.
- Decreto-Lei n° 79/2006 de 4 de Abril -Diário da República n° 67/ 2006 – I Série A. Ministério da Economia e Inovação, Lisboa, 2006.
- Decreto-Lei n° 80/2006 de 4 de Abril -Diário da República n° 67/ 2006 – I Série A. Ministério da Economia e Inovação, Lisboa, 2006.
- Despacho n° 15793-H/2013 de 3 de Dezembro -Diário da República n° 234/ 2013 – II Série. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, Lisboa, 2013.
- Despacho n° 15793-I/2013 de 3 de Dezembro -Diário da República n° 234/ 2013 – II Série. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, Lisboa, 2013.
- Despacho n° 15793-K/2013 de 3 de Dezembro -Diário da República n° 234/ 2013 – II Série. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, Lisboa, 2013.
- Despacho n° 3777/2017 de 5 de Maio -Diário da República n° 87/ 2017 – II Série. Ministério da Economia – Direção-Geral de Energia e Geologia, Lisboa, 2017.
- Directiva 2002/91/CE de 16 de Dezembro de 2002 – Desempenho energético dos edifícios. Jornal Oficial da União Europeia, 2003.
- Directiva 2010/31/UE de 19 de Maio – Desempenho energético dos edifícios (reformulação). Jornal Oficial da União Europeia, 2010.
- Portaria n° 98/2019 de 2 de abril – Diário da República n.º 65/2019 – Série I de 2019-04-02. Ambiente e Transição Energética, Lisboa, 2019.
- Portaria n° 319/2016 de 15 de Dezembro -Diário da República n° 239/ 2016 – Série I. Ministério da Economia, Lisboa, 2016.
- Portaria n° 349-B/2013 de 29 de Novembro -Diário da República n° 232/ 2013 – Série I. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, Lisboa, 2013.
- Portaria n.º 98/2019 de 2 de Abril - Diário da República n.º 65/2019 - Série I. Ministério do Ambiente e Transição Energética, Lisboa, 2019.