



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Análise de Rentabilidade Económica de Sistemas Solares Térmicos e Biomassa em Edifícios Residenciais Existentes

Dissertação a apresentar para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Território e Gestão do Ambiente

Autor

Ana Rita Simões Raposo

Orientador

Nuno Albino Vieira Simões (DEC-FCTUC)

António José Barreto Tadeu (DEC-FCTUC)

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Colaboração institucional



Coimbra, Outubro, 2014

AGRADECIMENTOS

As minhas primeiras palavras de agradecimento são dirigidas aos meus orientadores, os Professores Nuno Simões e António Tadeu, pela disponibilidade, sugestões e esclarecimentos que me deram ao longo deste projeto.

Agradeço ao Engenheiro Sérgio Tadeu do ITeCons por toda a paciência e calma que teve para me explicar conceitos, esclarecer dúvidas e lidar com a minha ansiedade constante.

Aos Engenheiros Márcio Gonçalves e Liliana Sousa do ITeCons pela prontidão demonstrada para me auxiliar.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da Iniciativa Energia para a Sustentabilidade da Universidade de Coimbra e apoiado pelo projeto EMSURE - Energy and Mobility for Sustainable Regions (CENTRO-07-0224-FEDER-002004).

Aos meus familiares e amigos, pelo apoio que sempre me deram quando eu achava que o mundo ia acabar. Obrigada pelas vossas palavras de incentivo e motivação.

E por último, queria agradecer aos meus pais pela aposta que fizeram em mim, pelos valores que me transmitiram, que me ajudam a ser o que sou hoje e, obrigada pela paciência para me ouvirem mesmo quando estava com um mau humor inacreditável.

RESUMO

Os edifícios são responsáveis por uma expressiva percentagem do consumo energético na Europa. Para reverter esta situação, têm sido criadas políticas que incentivam a diminuição das necessidades energéticas dos edifícios, em particular promovendo a instalação de fontes de energia renováveis.

A primeira Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) datada de 2002 sofreu uma reformulação em 2010 e, introduz o objetivo de alcançar um equilíbrio ótimo de rentabilidade económica entre o investimento efetuado em soluções de melhoria da eficiência energética e os custos de energia economizados durante o tempo de vida útil do edifício. Os Estados-Membros devem, por isso, aplicar a metodologia recomendada pela diretiva para estabelecer requisitos com rentabilidade económica.

Em Portugal, na sequência da reformulação da EPBD foi publicada em 2013 o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), que vem substituir o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e, pretende transformar a construção em Portugal mais eficiente, do ponto de vista energético. Esta nova regulamentação integra as recomendações da diretiva, embora não inclua ainda requisitos que garantam a rentabilidade económica.

A presente dissertação tem como objetivo principal aplicar a metodologia de avaliação da rentabilidade económica da instalação isolada de sistemas solares térmicos e biomassa, ou da combinação dos dois tipos de sistemas, em edifícios residenciais unifamiliares construídos entre 1961 e 1990. Para isso, determina-se o contributo dado por cada sistema e, integram-se os sistemas renováveis com outras medidas de melhoria de eficiência energética da envolvente e de sistemas convencionais, que pretendem diminuir as necessidades de energia primária do edifício.

Os resultados comprovam que os conjuntos de medidas com fontes de energia renovável são uma boa opção para os edifícios residenciais, pois permitem baixar as necessidades de energia primária e reduzir os custos. Em relação aos períodos de retorno financeiros, de entre todas as opções, os pacotes com instalação de sistema solar térmico são os que apresentam menores períodos de retorno.

ABSTRACT

Buildings are responsible for a significant percentage of the energy consumption in Europe. To reverse this situation, policies that encourage the reducing of energy needs in buildings have been created, in particular by promoting the installation of renewable energy.

The first Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) dated of 2002 underwent a redesigned in 2010 and, introduces the objective of achieving an optimal balance in economic profitability between the investment made in solutions to improve energy efficiency and the energy costs saved during the useful lifetime of the building. The Member States should therefore apply the methodology recommended by the directive to establish the requirements with economic profitability.

In Portugal, in the following of the EPBD redesign, was published, in 2013, the Regulation of Energy Performance in Housing buildings (REH), which came to replace the Regulations of Characteristics of the Buildings Thermal Performance (RCCTE) and, pretends to becomes the construction in Portugal more efficient, on the point of view of the energy efficiency. This new regulation incorporates the directive recommendations, although it not include yet the requirements to ensure the economic profitability.

This thesis aims to apply the methodology of the economic profitability evaluation on the installation of isolated systems of solar thermal and biomass, or the combination of the both systems types, in unifamiliares residential buildings built between 1961 and 1990. For this, is determined the contribution of each system and, integrated the renewables systems with others measures of energy efficiency improvement of the surrounding and conventional systems, which pretends to reduce the primary energy needs of the building.

The results show that the sets of measures with renewable energy sources are a good option for residential buildings because they allow to reduce the primary energy needs and the costs. In relation of the financial return periods, of all options, the packages with installation of solar thermal systems are those which shows a lower return periods.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE QUADROS	viii
SIMBOLOGIA	ix
SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento e Motivação	1
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Estrutura do Documento	4
2. ESTADO DA ARTE	6
2.1 Introdução	6
2.2 Metodologia.....	6
2.3 Revisão Bibliográfica	10
2.4 Sistemas Solares Térmicos e Sistemas a Biomassa.....	22
3. METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DO CONTRIBUTO DE SISTEMAS	31
3.1 Introdução	31
3.2 Aplicação da metodologia a sistemas solares térmicos	34
3.3 Aplicação da metodologia a sistemas a biomassa	40
4. METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DE RENTABILIDADE ECONÓMICA	46
4.1 Introdução	46
4.2 Metodologia de determinação das necessidades energéticas e custos globais	46
4.3 Dados para a aplicação da metodologia de determinação da rentabilidade económica	49
4.3.1 Definição do edifício de referência	49
4.3.2 Identificação de medidas de eficiência energética	50
4.3.3 Cálculo das necessidades de energia primária.....	54
4.3.4 Cálculo do custo global	55
4.3.5 Análise de sensibilidade	56
4.3.6 Determinação dos níveis ótimos de rentabilidade	57
5. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	58
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	71

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
-------------------------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1-Consumo de energia gerada por fontes renováveis (Adaptado de INE, 2010)	3
Figura 2.1 - Curva do custo ótimo (Adaptado de BPIE, 2010 e Comissão Europeia, 2010)	10
Figura 2.2-Método de obtenção de balanço energético nulo (Adaptado de Costa, 2012)	14
Figura 2.3 - Esquema de um sistema solar térmico	16
Figura 2.4 – Esquema de um sistema combinado (solar térmico e biomassa) (Adaptado Solzaima@, 2014b)	19
Figura 2.5 – Coletor solar plano: a) Esquema representativo (Adaptado Campaniço, 2010); b) Imagem real (Archiexpo@,2014)	23
Figura 2.6 – Coletor de tubos de vácuo: a) Esquema representativo (Pereira, 2011); b) Imagem real (Boltherm@, 2014)	23
Figura 2.7 – Coletor parabólico composto: a) Esquema representativo (Lusosol@, 2014); b) Imagem real (Calpak@, 2014)	24
Figura 2.8 – Sistemas solares térmicos: a) sistema termossifão; b) sistema de circulação forçada (PlanoB@, 2014)	25
Figura 2.9 – Diferentes tipos de biomassa: a) pellets; b) lenha; c) cascas de amêndoa (Energlobo@, 2014; Vulka@, 2014)	26
Figura 2.10 – Esquema de um equipamento de aquecimento a ar (Decflex@, 2014)	26
Figura 2.11 – Esquema de um equipamento de aquecimento a água (Casaplus@, 2014)	27
Figura 2.12 – Fases do funcionamento de uma caldeira a pellets (Adaptado de Sopradiante@, 2014)	28
Figura 2.13 – Recuperador de calor (Resul@, 2014)	29
Figura 2.14 – Equipamentos a biomassa: a) Salamandras; b) caldeira a pellets e lenha (Solzaima@, 2014a; Larinox@, 2014)	30
Figura 3.1 – Evolução do consumo de energia no setor doméstico por tipo de fonte em Portugal (INE, 2010)	31
Figura 3.2 - Mapa da radiação global anual horizontal na Europa (Geomodelsolar@, 2014).)	32
Figura 3.3 – Radiação solar diária horizontal: a) Alfândega da Fé; b) Albufeira; c) Amares	36

Figura 3.4 - Radiação solar global anual para diferentes orientações e inclinações da superfície recetora (MárioLoureiro@, 2014)	37
Figura 4.1 - Cálculo do valor residual de uma fonte de energia renovável do edifício (Comissão Europeia, 2012)	56
Figura 4.2 – Evolução dos custos da eletricidade (€/kWh)	57
Figura 5.1 – PRS dos pacotes sem e com FER	61
Figura 5.2 – Curva custo ótimo para os pacotes sem FER	62
Figura 5.3 – Curva custo ótimo para os pacotes com FER: a) solar térmico e biomassa, simultaneamente; b) biomassa; c) solar térmico	62
Figura 5.4 – Curva do custo ótimo para pacotes de medidas com FER, custos globais inferiores: a) solar térmico e biomassa, simultaneamente; b) biomassa; c) solar térmico	64
Figura 5.5 – Curva do custo ótimo para pacotes de medidas com FER, custos globais superiores: a) solar térmico e biomassa, simultaneamente; b) biomassa; c) solar térmico	64
Figura 5.6 – Curva de custo ótimo para pacotes de medidas com FER, para Albufeira e Alfândega da Fé	65
Figura 5.7 – Curva de custo ótimo para pacotes de medidas com FER, com taxa de desconto 6%	66
Figura 5.8 – Curva de custo ótimo para pacotes de medidas com FER, com taxa de desconto 12%	66
Figura 5.9 – Curva de custo ótimo para pacotes de medidas com FER, Eurostat	67
Figura 5.10 – Curva de custo ótimo para pacotes de medidas com FER, aumento linear de 2,5%/ano	68
Figura 5.11 – Curva de custo ótimo para pacotes de medidas com FER, 20% das <i>Nic</i>	69
Figura 5.12 – Curva de custo ótimo para pacotes de medidas com FER, 100% das <i>Nic</i>	69

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Características do edifício de referência	34
Quadro 3.2 – Dados climáticos da estação de aquecimento	35
Quadro 3.3 – Dados climáticos da estação de arrefecimento	35
Quadro 3.4 – Caracterização dos sistemas solares térmicos estudados	39
Quadro 3.5 – Total de energia captada (<i>Eren</i>), energia útil, energia desperdiçada em kWh/ano e fração solar em % dos sistemas solares térmicos para as três localizações	39
Quadro 3.6 – Caracterização dos sistemas a biomassa estudados	43
Quadro 3.7 – Contribuição anual e energia útil, em kWh/ano, dos sistemas a biomassa que fazem climatização	44
Quadro 3.8 – Contribuição anual e energia útil, em kWh/ano, dos sistemas a biomassa que desempenham uma dupla função	45
Quadro 4.1 - Custo inicial do reforço térmico da envolvente	50
Quadro 4.2 – Custo inicial, energia útil e custo de produção de energia dos sistemas solares térmicos	52
Quadro 4.3 – Custo global e custo de produção de energia dos sistemas a biomassa	53
Quadro 5.1 – Pacotes de medidas de eficiência energética base, sem FER	59
Quadro 5.2 – Pacotes de medidas de eficiência energética com sistema solar térmico	59
Quadro 5.3 – Pacotes de medidas de eficiência energética com sistema a biomassa	60
Quadro 5.4 – Pacotes de medidas de eficiência energética com sistema solar térmico e biomassa	60

SIMBOLOGIA

$C_{energia}$ - Custo de energia de um equipamento a biomassa durante um período de 30 anos, €

$C_{exploração}$ - Custo de exploração de um equipamento a biomassa durante um período de 30 anos, €

$C_{manutenção}$ - Custo de manutenção de um equipamento a biomassa durante um período de 30 anos, €

$C_{global (sistema a biomassa)}$ - Custo global de um equipamento a biomassa durante um período de 30 anos, €

$C_{substituição}$ - Custo de substituição de um equipamento a biomassa, €

$E_{útil}$ - Energia útil dos sistemas renováveis, kWh/ano

$E_{desperdiçada}$ - Energia desperdiçada pelos sistemas renováveis, kWh/ano

E_{final} - Energia final dos sistemas renováveis, kWh/ano

$E_{ren,p}$ - Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p , incluindo apenas energia consumida, kWh/ano

E_{ren} - Contribuição anual ou energia final dos sistemas renováveis, kWh/ano

A - Área, em m^2

CO_2 - Dióxido de carbono

U - Coeficiente de transmissão térmica de elementos opacos, em $W/m^2 \cdot ^\circ C$

$U_{ascendente}$ - Coeficiente de transmissão térmica ascendente na cobertura com desvão, em $W/m^2 \cdot ^\circ C$

$U_{descendente}$ - Coeficiente de transmissão térmica descendente na cobertura com desvão, em $W/m^2 \cdot ^\circ C$

U_{wdn} - Coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados, em $W/m^2 \cdot ^\circ C$

SIGLAS E ACRÓNIMOS

ADENE - Agência para a Energia
AEA - Agência Europeia do Ambiente
AQS - Águas quentes sanitárias
B – Sistema a Biomassa
BSIM - *Building Simulation*
CE – Comissão Europeia
EM – Estados Membros
EPBD - *Energy Performance of Buildings Directive*
EPS - Poliestireno expandido moldado
FER – Fontes de Energias Renováveis
GD – Números de graus-dias
GEE – Gases com Efeito de Estufa
GSHP - *Ground Source Heat Pump*
INE – Instituto Nacional de Estatística
IVA – Imposto sobre o Valor Acrescentado
LNEG – Laboratório Nacional Energia e Geologia
NSGA II - Elitist on-dominated Sorting Genetic Algorithm
nZEB - *Net Zero Energy Buildings*
PHPP - *Passive House Planning Package*
PIB – Produto Interno Bruto
PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
PRA - Período de retorno atualizado
PRS – Período de retorno simples
RCCTE – Regulamento das Características e Comportamento Térmico dos Edifícios
REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
REHVA - *Federation of European Heating Ventilation Air-conditioning Associations* SCE -
Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
ST – Sistema Solar Térmico
TRNSYS - *Transient System Simulation*
UE – União Europeia
VAL – Valor Líquido Atual

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e Motivação

Com o aumento da população, o desenvolvimento económico e a alteração do modo de vida, os Estados-Membros (EM) têm investido na construção de edifícios para satisfazer as necessidades da sociedade.

Esse investimento é feito sobretudo no setor residencial, representando 75% do parque edificado europeu. Os edifícios consomem 40% das necessidades energéticas totais na Europa, representando o maior setor de consumo, com 36% das emissões de dióxido de carbono (CO₂), (Boermans *et al.*, 2011 e BPIE, 2011).

Perante esta realidade, a Comissão Europeia (CE) é responsável pela criação de um conjunto de políticas para tentar reverter esta situação e obrigar os Estados-Membros a aumentarem o desempenho energético dos edifícios assumindo, assim, uma posição ativa relativamente às questões ambientais.

Uma das políticas aplicadas corresponde à Estratégia Europa 2020, também conhecida por UE 20-20-20, onde foram estabelecidos três objetivos: a redução de 20% das emissões de gases com efeito de estufa (GEE), relativas aos níveis de 1990; aumento em 20 % do consumo energético proveniente de fontes de energia renováveis (FER); e por fim, melhoria de 20 % na eficiência energética (Comissão Europeia@, 2014). Para além do referido, criou-se o Roteiro Europeu de Baixo Carbono 2050, que mostra que as emissões no setor da construção devem ser reduzidas em até 90 % até ao ano de 2050 (BPIE, 2011).

Em 2010 surge a reformulação da Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) que exige aos Estados-Membros que os edifícios novos sejam de energia quase zero (nZEB). Um nZEB é um “edifício com um desempenho energético muito elevado (...), as necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida

no local ou nas proximidades” (Comissão Europeia, 2010a). A diretiva ajuda também a encontrar as soluções ótimas de rentabilidade nos edifícios.

Outra política implementada foi a Diretiva de Eficiência Energética, aprovada em Outubro de 2012, que exige que os Estados-Membros desenvolvam estratégias de renovação a longo prazo para os edifícios de construção nacionais (BPIE, 2013a).

Encontrar os níveis ótimos de rentabilidade através da EPBD é um processo complexo, uma vez que é necessário explorar um número indefinido de combinações de medidas de eficiência energética e sistemas de alimentação de energia, incluindo fontes de energia renováveis, de acordo com o quadro metodológico comparativo (Hamdy *et al.*, 2012).

Para determinar os níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos tem de se cumprir as seis etapas descritas pelo quadro metodológico de otimização de rentabilidade que serão abordadas no presente trabalho (Comissão Europeia, 2012).

Com a demonstração das diferentes fases do quadro metodológico, consegue-se perceber que pela primeira vez, os EM são capazes de avaliar os custos de vida globais dos edifícios, de forma a perceber quais as necessidades futuras de desempenho energético (BPIE, 2013b).

Durante a aplicação da metodologia, as FER são referidas como uma medida de eficiência energética. É importante aumentar a contribuição dos sistemas de energias renováveis nos edifícios para que as metas propostas pela CE, em relação ao consumo de energia e às emissões de GEE no setor residencial, sejam atingidas.

Em Portugal, o setor de edifícios representa quase 30% do consumo total de energia, mas apenas 25% provém de fontes de energia renovável, como se verifica na Figura 1.1. Consideram-se como fontes de energia renováveis as lenhas, carvão vegetal e solar térmico (INE, 2010).

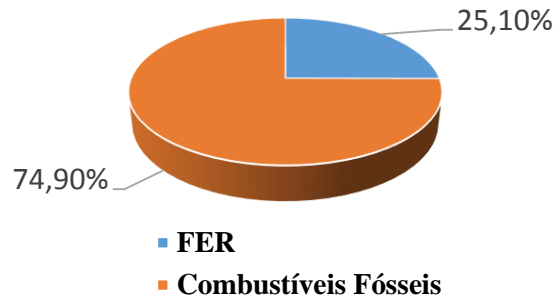


Figura 1.1-Consumo de energia gerada por fontes renováveis (Adaptado de INE, 2010)

Em 2010, Portugal apresentou à Comissão Europeia um Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) ao abrigo da Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu. Este plano de ação pretende fixar metas nacionais relativas à quota de energia produzida a partir de fontes renováveis, para diferentes setores. A meta para Portugal fixou-se nos 31% para a quota de energias renováveis no consumo final bruto de energia e deve ser atingida em 2020.

Este plano, durante esta década, dará prioridade ao desenvolvimento nas tecnologias baseadas no aproveitamento de energia solar, tanto em grande escala como em sistemas de microprodução, sendo a biomassa uma das fontes que serão também importantes para o futuro.

O grande inconveniente das FER são os custos associados. Estes sistemas são uma tecnologia relativamente cara e, por isso, do ponto de vista económico nem sempre é rentável a sua aplicação. O investimento em medidas de poupança de energia e/ou instalação de sistemas renováveis só é viável se as taxas de evolução dos preços da energia forem muito elevadas (Hamdy *et al.*, 2012).

Neste contexto surge esta dissertação, onde se pretende avaliar se, do ponto de vista económico, é viável aplicar a um edifício residenciais existentes, sistemas de energias renováveis, designadamente sistemas solares térmicos, biomassa ou sistemas híbridos que combinam as duas soluções. No presente trabalho, o edifício de referência em estudo é unifamiliar, construído entre 1961 e 1990 e de tipologia T3. Durante o estudo, esse edifício será simulado em três regiões diferentes para avaliar o efeito das condições climáticas nos sistemas.

1.2 Objetivos

No presente estudo propõe-se analisar a rentabilidade económica de sistemas de energias renováveis em edifícios residenciais existentes, tendo em conta as políticas/medidas impostas pela Comissão Europeia aos Estados- Membros. Deste modo, com este trabalho pretendem alcançar-se os seguintes objetivos:

- Levantamento dos sistemas de energias renováveis existentes no mercado e aplicáveis a edifícios residenciais;
- Identificação das metodologias disponíveis para estimar o contributo dos sistemas a biomassa e solar térmico;
- Aplicação das metodologias para determinar a energia renovável gerada nos sistemas mais comuns;
- Determinação dos custos dos sistemas, através da consulta de mercado, base de dados, catálogos, propostas apresentadas por diferentes empresas da especialidade, entre outras possibilidades;
- Aplicação da metodologia de rentabilidade económica considerando sistemas de biomassa e solar térmico, que inclui as seguintes fases:
 - Identificação de edifício de referência que represente as características típicas do parque edificado habitacional em Portugal;
 - Dados climáticos do local onde está situado o edifício de referência;
 - Definição da metodologia para efetuar balanço energético, nomeadamente com incorporação da energia gerada pelas fontes renováveis;
 - Cálculo dos custos globais, em valor líquido atual (VAL), determinando o nível ótimo de custo para o ciclo de vida do edifício de referência;
- Por último, análise comparativa dos resultados obtidos com diferentes sistemas e realização de uma análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados.

1.3 Estrutura do Documento

A presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos principais, aos quais se acrescenta a listagem de referências bibliográficas, transmitindo de forma clara e sucinta os conceitos abordados.

No presente capítulo, *"Introdução"*, realizou-se uma introdução ao tema abordado neste estudo. Inicialmente, fez-se um breve enquadramento, onde se apresentou a legislação aplicada pela Comissão Europeia aos Estados-Membros. Deste modo, descreveram-se as motivações que levam à realização deste trabalho e os objetivos a que se propõe esta dissertação.

No segundo capítulo, *"Estado da Arte"*, descreve-se o quadro metodológico presente no Regulamento Delegado nº244/2012 (Comissão Europeia, 2012) que serve de complemento à Diretiva 2010/31/EU (Comissão Europeia, 2010a). De seguida, apresenta-se uma revisão bibliográfica de estudos desenvolvidos, nacionais e internacionais, sobre a rentabilidade económica, os nZEB e os sistemas de energias renováveis, designadamente solar térmico, biomassa e híbridos e levantamento dos sistemas existentes no mercado que se podem aplicar a edifícios residenciais existentes.

O terceiro capítulo, *"Metodologia de Determinação do Contributo de Sistemas"*, identifica-se as metodologias para estimar o contributo desses sistemas, define-se o edifício de referência e aplicam-se as metodologias para determinar a energia renovável gerada.

O capítulo 4, *"Metodologia de Determinação de Rentabilidade Económica"*, começa-se por mostrar as expressões matemáticas necessárias ao cálculo das necessidades energéticas e aos custos globais associados ao tempo de vida útil do edifício. Em seguida, fornece-se os dados necessário a aplicação da metodologia de rentabilidade económica, onde são apresentados os custos dos sistemas, recorrendo a catálogos, dados de base, propostas de empresas entre outras

No capítulo 5, *"Análise de Resultados"*, faz-se uma análise comparativa e de sensibilidade dos resultados obtidos através das diferentes simulações consideradas ao longo do estudo.

No sexto capítulo, *"Considerações Finais"*, apresentam-se as conclusões do presente estudo e ideias para futuros trabalhos.

No sétimo e último capítulo, *"Referências Bibliográficas"*, expõe-se as referências bibliográficas citadas na presente dissertação.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Introdução

Neste capítulo começa-se por descrever todas as etapas do quadro metodológico de otimização da rentabilidade. De seguida, apresentam-se estudos relacionados com a rentabilidade económica nos edifícios. Alguns destes tipos de estudos têm como objetivo alcançar o custo global ótimo e, simultaneamente, atingir níveis de desempenho energéticos adequados de modo a que as habitações atinjam a classe de edifícios de energia quase zero. Ainda no decorrer do capítulo, expõem-se alguns trabalhos sobre sistemas solares térmicos, biomassa e sistemas híbridos que combinam estes dois tipos de sistemas. Na parte final do capítulo, faz-se um levantamento e caracterização dos sistemas solares térmicos e a biomassa que se podem aplicar a edifícios unifamiliares existentes.

2.2 Metodologia

Com a nova legislação imposta pela Comissão Europeia aos Estados-Membros, as medidas de poupança de energia e as fontes de energias renováveis começam a ter um papel preponderante para a concretização dos objetivos de eficiência energética. Agregada a estas medidas, surge a análise de rentabilidade económica, um fator muito importante do ponto de vista do investidor, pois o proprietário de um edifício opta por medidas e sistemas consoante as vantagens financeiras que estes lhe proporcionem.

Em 2010, surge a reformulação da Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios, complementada pelo Regulamento Delegado nº 244/2012 que descreve as etapas do quadro metodológico de otimização de rentabilidade.

Para que os cálculos dos níveis ótimos de rentabilidade económica sejam credíveis, têm de ser estabelecidos, para efeito de cálculo, os seguintes parâmetros: período de cálculo, tempo de vida dos equipamentos, a taxa de desconto, o custo de energia e a sua evolução de preço, custo exploração, manutenção e mão-de-obra e os fatores de conversão de energia primária (BPIE, 2013b; Comissão Europeia, 2012).

Para encontrar a solução ótima, o quadro metodológico está organizado em seis etapas, descritas em seguida:

A primeira etapa do quadro metodológico consiste na definição dos edifícios de referência, estes edifícios devem representar, da forma mais precisa possível, o parque habitacional do Estado Membro, para que os resultados dos cálculos sejam representativos. O edifício deve caracterizar a função para a qual foi construído, a localização geográfica e as condições climáticas (BPIE, 2013b; Comissão Europeia, 2010a). Esta etapa é importante, pois não seria possível calcular os níveis de rentabilidade para cada edifício.

Os EM devem definir edifícios referência para as seguintes categorias: edifícios unifamiliares, blocos de apartamentos e edifícios multifamiliares, edifícios de escritórios e outras categorias descritas no anexo I, ponto 5, alíneas d) e i), da Diretiva 2010/31/EU, que tenham requisitos de desempenho energético específicos (Comissão Europeia, 2010a).

A Diretiva recomenda que os edifícios de referência sejam estabelecidos de uma das duas formas:

- Seleção de um exemplo real que represente o edifício mais típico de uma determinada categoria específica (tipo de utilização com o padrão de ocupação de referência, área construída, densidade do edifício expressa como área envolvente/fator de volume, estrutura da envolvente do edifício com o valor U correspondente, sistemas de serviços técnicos e vetores energéticos, juntamente com a respetiva quota de utilização da energia).
- Criação de um “edifício virtual” que, em relação a cada parâmetro relevante, inclua os materiais e sistemas mais utilizados.

A escolha entre as opções mencionadas deve ser efetuada com base na consulta de peritos, na disponibilidade de dados estatísticos, entre outras razões. Os EM devem comunicar à Comissão de que forma foi escolhido o caso de referência através do modelo de comunicação sugerido no anexo III do Regulamento Delegado nº 244/2012 (Comissão Europeia, 2012).

A escolha do edifício padrão pode gerar desvios e inconsistências na comparação de custo ótimo, uma vez que o conhecimento estatístico sobre o parque imobiliário existente é limitado, pois não existem muitas informações sobre o tipo de materiais de construção e outros aspetos das habitações. Deste modo é importante tentar minimizar os erros fazendo uma seleção adequada e criteriosa (BPIE, 2013b).

Depois de definido o edifício de referência, surge a segunda etapa, onde se identificam as medidas e/ou conjunto de medidas de eficiência energética a aplicar aos edifícios, que podem ser relativas à envolvente, sistemas convencionais e fontes de energia renováveis. As medidas que atuam sobre o sistema podem afetar o desempenho energético de outro sistema. Deste modo, recomenda-se que as medidas sejam combinadas em pacotes e /ou variantes, uma vez que as combinações significativas de medidas podem criar efeitos que tendem a resultados melhores (no que respeita aos custos e ao desempenho energético) do que os das medidas isoladas (Comissão Europeia, 2010a).

O principal objetivo da metodologia de determinação dos níveis ótimos de rentabilidade é garantir uma concorrência leal entre as diferentes tecnologias, não se limitando ao cálculo do custo global dos pacotes/variantes já estabelecidos e comprovados (Comissão Europeia, 2010a).

A Comissão revela que o número de pacotes / variantes aplicadas a cada edifício de referência não deve ser inferior a 10 mais o caso de referência (Comissão Europeia, 2010a). Quanto maior for o número de pacotes/variantes utilizados, mais preciso será o nível ótimo de desempenho que pode ser alcançado. No entanto, a combinação de pacotes de medidas selecionados deve ser realista e completa, de modo a conduzir o edifício a um bom desempenho energético.

É importante salientar que os pacotes / variantes aplicadas não devem ser considerados como a única solução de rentabilidade otimizada, mesmo que se tenham demonstrado eficientes em termos de custos durante o período de cálculo (Comissão Europeia, 2010a).

A terceira etapa tem como principal objetivo o cálculo das necessidades de energia primária resultantes da aplicação de medidas/pacotes de medidas ao edifício de referência. No anexo I, secção 3 do Regulamento nº244/2012, o cálculo do desempenho energético começa pelo cálculo das necessidades de energia final para aquecimento e arrefecimento, depois o cálculo das necessidades de energia final para todas as outras utilizações de energia e, em terceiro lugar, o cálculo da utilização de energia primária (Comissão Europeia, 2010a). Para efeitos do cálculo de otimização da rentabilidade, os resultados do desempenho devem ser expressos em metros quadrados de área útil de pavimento do edifício e referir-se ao consumo de energia primária (Comissão Europeia, 2012).

Segue-se a etapa do cálculo dos custos globais para o edifício de referência, expresso em valor líquido atualizado (VAL), que resulta da soma dos custos de investimento inicial com os custos de exploração/anuais. Os custos de exploração incluem os custos de energia, que dependem da evolução do preço da energia, custos de manutenção, que, neste estudo, se consideram 1% dos custos de investimento inicial, os custos de substituição e, se pertinente, os custos de

eliminação. Segundo o Regulamento nº244/2012, o cálculo dos custos deve utilizar um período de cálculo de 30 anos, no caso de um edifício residencial (Comissão Europeia, 2012). Os Estados-Membros são incentivados a utilizar o anexo A da norma EN 15459, relativa aos parâmetros económicos dos componentes de edifícios, para a definição dos ciclos de vida económicos estimados dos componentes de edifícios em causa (Comissão Europeia, 2012).

Na quinta etapa, é necessário fazer uma análise de sensibilidade para identificar os parâmetros mais importantes no cálculo de otimização de rentabilidade (Comissão Europeia, 2012). A evolução do preço da energia e a taxa de desconto são alguns dos parâmetros que devem ser sujeitos a análise de sensibilidade. Relativamente à evolução do preço da energia, os EM devem analisar todos os vetores de energia utilizados de forma significativa nos edifícios. O Regulamento nº 244/2012, através do Anexo II, fornece indicações sobre a evolução dos custos de energia até 2030. De qualquer modo, cada país deve elaborar previsões nacionais da evolução dos preços de energia (Comissão Europeia, 2012).

A taxa de desconto é expressa em termos reais, excluindo, por isso, a inflação (Comissão Europeia, 2010a). Segundo a EN 15459, a taxa de desconto é utilizada para comparar custos em diferentes momentos, ou seja, permite perceber atualmente quais os valores que irão ser recebidos ou pagos no futuro. No caso dos edifícios, a taxa de desconto deve refletir a rentabilidade do investimento feito em medidas de poupança de energia no momento da construção ou da renovação do edifício (BPIE, 2013b).

Durante a análise de sensibilidade são utilizadas, pelo menos, duas taxas de desconto diferentes. Uma das taxas a utilizar, na análise macroeconómica, está fixada nos 3%, valor padrão europeu que reflete os benefícios do investimento em eficiência energética para os ocupantes ao longo do ciclo de vida do investimento. A outra taxa de desconto é mais elevada, normalmente superior a 4% excluindo a inflação e, reflete uma abordagem comercial de avaliação do investimento.

Na última etapa, determinam-se os níveis ótimos de rentabilidade do desempenho energético para o edifício de referência. Depois de calculadas as necessidades de energia primária e os custos globais associados aos pacotes de medidas é possível organizar a informação para tentar identificar o custo ótimo para cada combinação de medidas, ilustrada na Figura 2.1. A curva é constituída por vários pontos, cada um representando um pacote de medidas. Cada ponto apresenta as necessidades de energia primária do edifício de um pacote de medidas, expressas em kWh/(m².ano), e o respetivo custo durante o período de cálculo, em €/m².

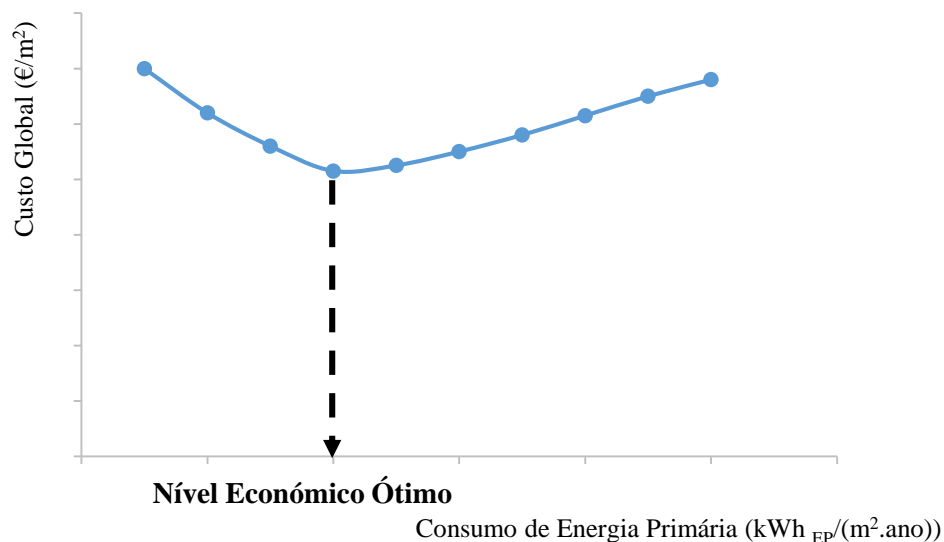


Figura 2.1 - Curva do custo ótimo (Adaptado de BPIE, 2010 e Comissão Europeia, 2010)

Depois de identificado o pacote de medidas que indica o nível ótimo de rentabilidade, deve-se comparar o resultado obtido com os requisitos mínimos de desempenho energético nacionais. Se os requisitos mínimos de desempenho energético nacionais estiverem 15% abaixo dos níveis ótimos de rentabilidade, considerados com padrão de referência nacional, então essa discrepância deve ser justificada à Comissão (Comissão Europeia, 2012).

2.3 Revisão Bibliográfica

Boermans *et al.* (2011) realizou um estudo cujo objetivo foi contribuir para o debate iniciado na Europa após a implementação do quadro metodológico, sendo referida a importância de identificar o cálculo dos custos ótimos apontando para fatores e efeitos importantes. Este estudo analisa as diferentes etapas da metodologia de cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade. Na primeira etapa, define o edifício de referência que tem que distinguir os edifícios residenciais de não residenciais e ter-se em conta o clima e as suas condições de funcionalidade. Na segunda etapa, define-se os pacotes de medidas de eficiência energética para os edifícios de referência. Estas medidas são combinadas e estão relacionadas com os elementos construtivos (envolvente opaca e envidraçada), os sistemas convencionais e os sistemas de energias renováveis. A terceira etapa avalia a necessidade de energia final e primária nos edifícios de referência, expressas em kWh/(m².ano), com as medidas de poupança de energia já aplicadas. Na última etapa, são calculados os custos globais (expressos em VAL) das medidas/ pacotes de medidas aplicados anteriormente.

O resultado é expresso em euros, e inclui os custos de investimento, substituição e operacionais. No entanto, para se poderem comparar diferentes geometrias e tamanhos de construções o resultado deve ser apresentado em €/m² de área útil e esta área deve ser definida, segundo as normas europeias, a fim de que as comparações possam ser corretas e transparentes.

Porém, os níveis ótimos de rentabilidade podem ser obtidos através de outros métodos. Hamdy *et al.* (2012) publicaram um estudo científico que descreve um método de otimização multifásico que é aplicado para encontrar os níveis ótimos de rentabilidade e desempenho energético para nZEB. Para este estudo, considerou-se uma casa unifamiliar em clima frio na Finlândia. Em relação à metodologia do estudo, começa-se por definir as características do edifício de referência e as variáveis de projeto (isolamento, tipo de janela, opção de sombreamento, unidades de recuperador de calor, sistemas de aquecimento/arrefecimento e sistema de energia solar), as funções objetivo (consumo de energia primária e custos do ciclo de vida do edifício) e, por fim, aplica-se o próprio método. O método multifásico está dividido em três fases:

- Na primeira fase, o objetivo é encontrar as combinações ideais na envolvente-recuperador de calor que influenciam o desempenho energético do edifício, para isso, é utilizado o algoritmo genético (NSGA II - elitist on-dominated sorting genetic algorithm), que acelera o processo e evita a repetição de variáveis;
- Na segunda fase, avalia-se a viabilidade económica e ambiental da aplicação de sistemas de aquecimento /arrefecimento para as combinações ideais alcançadas na primeira fase;
- Na terceira fase, analisam-se as possibilidades de melhorar as soluções ideais, encontradas na segunda fase, integrando as fontes de energia renováveis (solar térmico e fotovoltaico) como sistemas suplementares para aquecimento e produção de eletricidade.

Através deste estudo podem-se tirar várias conclusões:

- A implementação de medidas de poupança energética, nomeadamente, fontes de energia renováveis dependem da evolução do preço da energia e dos sistemas de aquecimento/arrefecimento escolhidos;
- O sistema solar térmico é economicamente menos viável do que o fotovoltaico, pois o solar térmico tem custos de investimento maiores, não produz energia elétrica, logo o consumo de energia elétrica manter-se-á inalterado e, normalmente o tempo de vida de um fotovoltaico é maior;
- As medidas de poupança que poderão aumentar o sobreaquecimento no Verão não serão recomendadas do ponto de vista económico, uma vez que obrigam a

implementação de sistemas de arrefecimento. Estes sistemas, para além de acarretar custos de investimento, ainda implicam custos operacionais e de manutenção, a solução passará pela colocação de sombreamento eficaz e arrefecimento natural através das janelas;

- O isolamento também deve ser bem estudado, dado que o aumento na espessura do isolamento tem uma influência limitada sobre a poupança de energia no aquecimento do espaço;
- Os sistemas solares no local ainda não se consideram uma solução de custo-ótimo global, uma vez que os custos de capital são elevados, deste modo recorrerem-se a incentivos financeiros para a aplicação destes sistemas, só assim as FER são economicamente viáveis.

Quando se faz um estudo de rentabilidade económica de um edifício, envolvem-se obrigatoriamente várias combinações de medidas de poupança de energia, podendo utilizar-se outros tipos de processos sem ter de recorrer a algoritmos de otimização ou método iterativo.

No estudo realizado por Kurnitski (2011), mostra-se que é possível calcular os custos ótimos e o desempenho energético de um edifício através de um procedimento que define cuidadosamente os conceitos de construção levando a uma quantidade limitada de cálculos de energia. Isto, combinado com sistemas e cálculos económicos permite obter o custo ótimo de energia primária. Este procedimento foi criado pela REHVA (Federation of European Heating Ventilation Air-conditioning Associations), está dividido em sete etapas e é conhecido como a definição técnica de nZEB. Podemos ver a sua aplicação no artigo do mesmo autor descrito em seguida.

Kurnitski *et al.* (2011) determinou o custo ótimo e os níveis de desempenho energético para nZEB, a partir de um procedimento de sete etapas que atua de forma científica, sistemática e robusta. Os cálculos foram realizados para um edifício de referência geminado na Estónia. O processo inclui os seguintes passos:

- 1- Seleção do edifício/construção de referência;
- 2- Definição dos conceitos de construção baseados na otimização da envolvente do edifício para quatro níveis de perdas fixas de calor específicos;
- 3- Especificação de construção de sistemas técnicos;
- 4- Simulações de energia para os conceitos de construção especificados;
- 5- Pós-processamento dos resultados da simulação para calcular a energia entregue (energia final), exportada e primária;
- 6- Cálculos económicos para o custo de construção e cálculos de valor atual líquido (VAL);
- 7- Análise de sensibilidade para a taxa de juros, a evolução dos preços da energia e de outros parâmetros importantes.

Neste estudo, consideraram-se quatro conceitos de construção diferentes (DH 0,42; DH 0,58; DH 0,76; DH 0,96). O DH 0,96 é o edifício de referência com necessidades de energia 157,7 kWh/(m².ano), enquanto que o DH 0,42 é considerado um nZEB com 103,2 kWh/(m².ano) de necessidade energética. Os conceitos DH 0,42 e DH 0,58 são altamente isolados, com e sem solar térmico, respetivamente. Em DH 0,42 foi também aplicado um painel fotovoltaico com 5 kW de potência.

Através deste estudo, conclui-se que o processo de sete etapas mostra que o custo de utilização ótimo de energia primária pode ser calculado com número limitado de simulações de energia, sendo que neste caso foram simulados quatro conceitos de construção diferentes e calculado o respetivo custo. O procedimento inclui a especificação dos componentes de revestimento do edifício com base no coeficiente de perda de calor específico e o cálculo de sistemas com pós-processamento de resultados de simulação de energia. Neste processo, mostrou-se que não há necessidade de limitar os sistemas técnicos estudados, porque o rápido pós-processamento assegura que a solução de custo ótimo não é desperdiçada. Para além disso, os níveis ideais de desempenho energético e os custos dos nZEB foram determinados com um esforço de cálculo aceitável, sem recorrer a métodos iterativos ou algoritmos de otimização.

Cálculos de custos globais para os conceitos de construção com envolvente altamente isolada (DH 0,42) e com, praticamente, todos os sistemas técnicos mostraram que, a energia primária correspondente ao custo ótimo no edifício em estudo foi de 110 ou 140 kWh/(m².ano). A energia primária de 110 kWh/(m².ano) foi obtida com a aplicação de uma bomba de calor de origem térrea (GSHP- Ground Source Heat Pump) ou de aquecimento a gás, que correspondem a custos globais semelhantes. Excepcionalmente, se o valor do fator de conversão de energia primária da eletricidade se altera de 1,5 para 2,5, a energia primária ideal do edifício com GSHP passaria de 110 a 140 kWh/(m².ano). Comparado com os requisitos mínimos de 180 kWh/(m².ano) de energia primária, o custo global ideal reduziu-se em 7 €/m², mostrando que o edifício de referência (DH 0,96) pode significar custos globais mais baixos. Com a instalação de um painel fotovoltaico com 5kW de potência, a energia primária em DH 0,42 atingirá o valor de 40 kWh/(m².ano) e o edifício será considerado nZEB. Contudo, esta alteração implica uma distância custo ótimo de 239 €/m², uma vez que este tipo de tecnologia ainda se mantém no mercado com custos de investimento elevado.

Os custos ótimos calculados foram sensíveis à taxa de desconto e à evolução dos preços da energia. Neste estudo, os resultados numéricos apresentados foram aplicados para os mercados da Estónia com energia local, materiais e preços de mão-de-obra. A metodologia apresentada fornece uma experiência valiosa que pode ser aplicada amplamente para fins similares na Europa.

Os nZEB são o principal objetivo da Comissão Europeia até 2020 em relação aos EM. Este tipo de edifícios, em termos de necessidade de energia primária, conseguem níveis de desempenho energético elevados mas, em relação aos custos globais, são uma solução desvantajosa.

Segundo a dissertação de Costa (2012), os nZEB não se limitam apenas à instalação de FER para satisfazer as necessidades do edifício. O desempenho de um edifício deste tipo depende da redução das necessidades energéticas do edifício, que se consegue através da implementação de medidas passivas, da produção de energia elétrica ou outro tipo de energia a partir das FER, com o objetivo de obter o balanço energético ideal descrito na Figura 2.2.

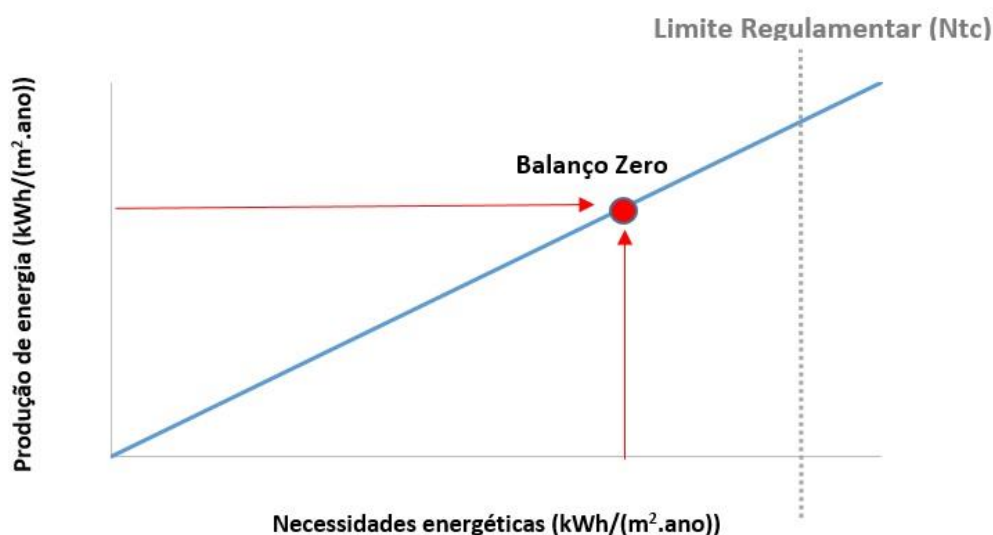


Figura 2.2-Método de obtenção de balanço energético nulo (Adaptado de Costa, 2012)

Como se pode verificar pela Figura 2.2, os nZEB acabam por ter uma definição abrangente, uma vez que o balanço energético é igual a zero para várias necessidades energéticas e respetivas produções de energia.

Todavia, este tema continua a ser estudado e debatido por vários autores, na tentativa de se encontrarem os valores mais favoráveis.

Num estudo de Panão *et al.* (2013), discute-se quão baixo deve ser a necessidade de energia primária para um nZEB e como se pode transformar um edifício convencional num edifício mais eficiente. A habitação em estudo está inserida no clima mediterrâneo, especificamente na área de Lisboa.

Com este artigo, conclui-se que a transformação de edifícios convencionais em nZEB é conseguida através da instalação de solar térmico ou outro sistema similar. Uma vez que parte da energia primária é gerada no local, com a aplicação de isolamento (paredes e cobertura) e com a substituição de janelas, que fazem baixar as necessidades de energia. A energia primária depende dos valores do fator de conversão que varia de país para país. A resposta encontrada baseou-se em três cenários diferentes para os fatores de conversão (EN15603, PHPP - Passive House Planning Package, Portugal (PT2013)). Deste modo, conclui-se que a energia primária nas habitações é considerada baixa se:

- 70 kWh/(m².ano) forem para usos regulamentados (aquecimento, arrefecimento e AQS), ou 100-110 kWh/(m².ano) para usos totais, segundo a EN15603;
- 60 kWh/(m².ano) forem para usos regulamentados ou 90-100 kWh/(m².ano) para usos totais, segundo PHPP e PT2013.

Num trabalho de Milan *et al.* (2012), aplicou-se um modelo, baseado em programação linear, para dimensionar um sistema de abastecimento 100% renovável e ideal em termos de custos globais. Este modelo é aplicado a um edifício de estudo na Dinamarca, em que o objetivo é encontrar a configuração ótima para os nZEB. Neste estudo, combinam-se três tecnologias de abastecimento: o coletor solar térmico e a bomba de calor com origem térrea, agrupados através de um tanque de armazenamento de calor, e o painel fotovoltaico que gera eletricidade, que pode ser distribuída pela bomba de calor, trocada com a rede pública ou utilizada pela procura de eletricidade.

A análise de resultados está dividida em três setores: custos associados ao sistema completo, a produção de eletricidade e calor. Em relação ao custo do sistema de otimização ao longo da fase de operação é cerca de 75200 €, sendo que 53300 € são relativos aos custos de investimento que ocorrem durante a fase de instalação do sistema. Este tipo de sistemas custa anualmente 657 € só em custos de operação e manutenção. Ao fim de um ano, o painel fotovoltaico troca com a rede cerca de 6700 kWh, a procura geral de eletricidade, incluindo o consumo da bomba de calor, é de 5300 kWh, implicando que 37% da procura é diretamente suportada pela célula solar. Em relação à produção de calor, a saída de calor aumenta nos meses de Verão, devido ao aumento da temperatura dos solos. O perfil de consumo de calor e o armazenamento são idênticos ao longo do ano. Nos meses de Inverno, é usual a capacidade máxima de armazenamento do tanque ser excedida, dado que ocorre um maior número de cargas de pico. Este modelo facilita a implementação da variabilidade de fontes de energias renováveis no local, permite uma avaliação rápida de diferentes opções de fornecimento, com um baixo esforço computacional e altas resoluções de taxas de consumo de energia por hora e produção. Os resultados obtidos com o sistema combinado são favoráveis, em relação à produção de eletricidade e calor. Já nos custos de investimento, manutenção e operação, este tipo de

tecnologia renovável é bastante dispendiosa. Para que os nZEB se tornem competitivos no mercado futuro, é necessário explorar os potenciais de poupança destes sistemas, pois, em comparação com os edifícios convencionais, os nZEB são muito dispendiosos.

Os sistemas solares térmicos são uma tecnologia capaz de transformar a radiação solar em calor útil. Esta fonte de energia renovável substitui as fontes convencionais de calor como a eletricidade ou os combustíveis fósseis. A aplicação mais comum deste tipo de tecnologia é no aquecimento de águas sanitárias, como descrito na Figura 2.3. Na Europa, a energia solar térmica tem tido um grande crescimento no setor da energia (EREC, 2004). Este tipo de sistema permite poupar até 70% da energia necessária para aquecimento de água, considerando um ano de utilização (PaineisSolares@, 2009). Em Portugal, nos edifícios novos com condições adequadas de exposição solar, é obrigatória a implementação de um coletor solar térmico (REH).

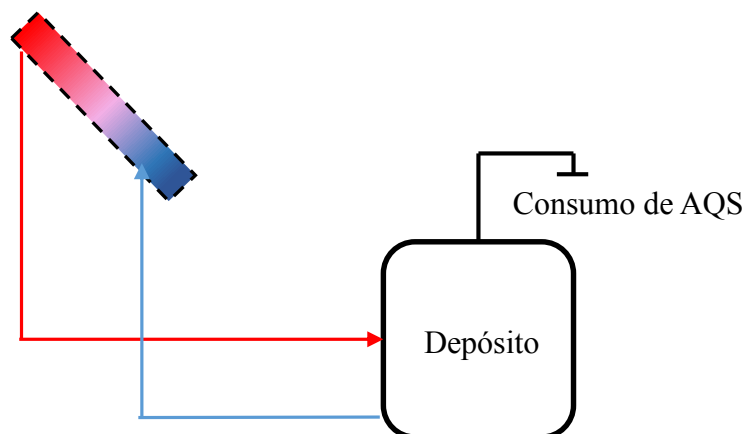


Figura 2.3 - Esquema de um sistema solar térmico

Com o aumento da procura deste tipo de sistema, os estudos e pesquisas sobre os diferentes tipos, eficiências e aplicações surgem de imediato.

Pereira (2011), na sua dissertação, estudou a avaliação da quantidade de energia produzida anualmente para aquecimento através de um sistema solar térmico existente no Edifício Solar XXI. Foram criados dois cenários de consumo representativos de dois tipos de utilização diferentes. Com recurso ao *software* SolTerm prevê-se a contribuição energética e a respetiva redução das necessidades para climatização do edifício em estudo. Este edifício é constituído por 8 coletores planos seletivos, instalados em 4 baterias em paralelo, tendo cada bateria dois coletores em série, sendo a alimentação do campo de coletores invertida. Relativamente às necessidades energéticas, foram criados dois cenários: cenário A, cenário pessimista que considera as necessidades de aquecimento entre as 7.00 h e as 20.00 h, em que todas as salas do edifício, durante esse período, têm os radiadores ligados (com o total da potência instalada);

o cenário B, em que o horário de funcionamento é o mesmo, mas apenas para as salas viradas a norte, com ocupação permanente, têm o aquecimento ligado à sua potência máxima, as salas com ocupação não permanente não estão incluídas e para as salas com exposição a sul apenas se considera metade da potência instalada de aquecimento.

No cenário A, a contribuição do sistema solar térmico é de, aproximadamente, 2,5 MWh/ano, que para uma carga de 119,3 MWh/ano representa uma redução de, aproximadamente, 2,1% das necessidades anuais. Para o cenário B, construído para uma situação mais realista a contribuição do sistema solar térmico é de, aproximadamente, 4,8MWh/ano para uma carga de, aproximadamente, 59,1 MWh/ano, sendo a poupança de 8,1%.

O edifício encontra-se no limiar nZEB, uma vez que necessita de apenas 11,5 kWh/(m².ano) de energia. Como o cenário A produz aproximadamente 2,1 kWh/(m².ano) e o cenário B produz 4,0 kWh/(m².ano), as necessidades energéticas do Solar XXI no primeiro caso passariam a ser de 9,4 kWh/(m².ano) e no segundo caso passariam a ser de 7,5 kWh/(m².ano). Deste modo, a contribuição do sistema solar térmico não é suficiente, para que o edifício atinja o estatuto de nZEB, o cenário A teria de dar uma contribuição de 11 MWh/ano e para o cenário B de 9 MWh/ano, para satisfazer as suas necessidades energéticas.

O objetivo da dissertação de Queiró (2012) era desenhar, medir e avaliar o desempenho de um sistema solar térmico ativo de baixo custo, que iria ser utilizado para aquecimento de uma casa. O sistema em estudo utiliza com fluido, o ar, em vez da água, permitindo a injeção direta dentro da casa. Recorre apenas a um ventilador com silenciador e, sem qualquer instalação de piso radiante, depósito e bomba de água. Como o objetivo era ensaiar um coletor com baixo custo, utilizou-se como placa de absorção a própria parede da casa orientada a Sul com uma área de 12 m² e com forma trapezoidal de bases 2,2 m e 1,1 m e altura 7,3 m. A área de parede foi pintada com uma tinta preta, com um poder de absorção elevado, permitindo um bom nível de absorção da potência incidente. O custo total de instalação, já incluído o ventilador, foi de 3267 € e o custo de operação fixou-se nos 1,3 cêntimos por hora. De acordo com o RCCTE, o valor limite das necessidades térmicas da casa é de 2966 kWh de aquecimento ao ano, experimentalmente o sistema instalado, com uma potência de 1445± 622 W, quando em funcionamento, ao longo do ano traduz-se em 1851,2 horas de funcionamento e num total de 2675,3 kWh de aquecimento injetado dentro da casa, que corresponde a 90,2% do limite nominal dado pelo RCCTE.

Em suma, com este trabalho concluiu-se que o sistema em estudo é cerca de 72% mais barato que um sistema solar térmico a água, por piso radiante e em relação ao custo de operação, o sistema é 77 % mais barato. A potência e o rendimento estimados estão de acordo com os resultados medidos experimentalmente, a potência mínima de 1180,7 W e a máxima de 2266,4

W, correspondendo a um rendimento entre 12,4 e 23,9. Para além disso, ainda se determinou que o retorno financeiro do coletor é de 6 a 8,5 anos, dependendo da fonte de energia que o sistema está a substituir.

A biomassa trata-se do aproveitamento energético de qualquer tipo de matéria orgânica nomeadamente resíduos florestais, agropecuários, alimentares, industriais ou de tratamento de efluentes domésticos e industriais. Os resíduos florestais como a lenha são utilizados no setor residencial para sistemas de aquecimento. Para além da lenha, têm sido implementados os *pellets* de madeira que são um tipo de lenha produzido a partir de serragem ou serradura, que depois sofre compressão (PRESTENERGIA@, 2014).

Carvalho (2010) realizou um estudo com o objetivo de analisar o desempenho energético e ambiental de diferentes fogões a biomassa utilizados em habitações unifamiliares. Para prever quais os consumos energéticos e a temperatura no interior das moradias unifamiliares utilizou-se o *software* BSIM- Building Simulation de simulação térmica e dinâmica. Esta ferramenta possibilitou a análise integrada da intervenção dos fogões a biomassa em residências unifamiliares na Dinamarca, com e sem isolamento térmico. No decorrer do estudo, foram feitas 10 simulações para as habitações, com e sem isolamento, durante o período de 1 ano, com o objetivo de comparar os diferentes cenários de utilização dos fogões. Os tipos de fogões considerados neste estudo foram os fogões de ferro fundido e os fogões de massa térmica.

Neste trabalho, conclui-se que o consumo de energia final para a utilização de um fogão a biomassa é de 86 kWh/(m².ano) e 220 kWh/(m².ano) para uma habitação moderna e uma habitação construída na década de 80, respetivamente. Esta discrepância pode ser justificada pelo elevado valor de coeficiente de transmissão térmico das paredes exteriores do edifício mais antigo. Apesar da elevada eficiência térmica dos fogões a biomassa de ferro fundido, concluiu-

se que estes sistemas geram fluxos de calor intermitentes, podendo levar ao sobreaquecimento das habitações mais modernas e a perdas de energia térmica que poderiam ser armazenadas. A implementação de um *design* adequado para a câmara de combustão pode melhorar a performance energética deste tipo de sistemas de aquecimento. Para completar estas medidas de eficiência ao nível dos equipamentos, surge o desenvolvimento e a implementação de sistemas de controlo de temperatura da chama e injeção de ar de combustão secundário. De forma a melhorar este tipo de tecnologia, mais medidas poderiam ser aplicadas através da projeção de sistemas de armazenamento, integração de materiais de mudança de fase, ou componentes com uma inércia térmica superior à do ferro fundido.

O artigo elaborado por Elsarrag e Alhorr (2013) investiga a redução máxima de CO₂ que se poderia alcançar com a utilização de tecnologias que combinam a cogeração (produção

combinada de calor e eletricidade) e a biomassa. Para além disso, ainda avalia a redução de emissões de CO₂, mas para um sistema de trigeração, isto é, um sistema no qual são incorporados refrigeradores de absorção ligados à cogeração e que produzem frio.

Conclui-se que a utilização de refrigeradores de absorção vai resultar numa redução de CO₂ adicional pequena e numa redução máxima não exceda 1,5%. Já num sistema de cogeração combinado com uma caldeira a biomassa, a redução máxima de CO₂ obtida era cerca de 26%. O estudo sugere uma cuidada análise no dimensionamento desta nova tecnologia combinada e fornece uma fórmula simplificada para estimar a contribuição de cada tecnologia para redução de carbono. Os resultados obtidos permitem demonstrar que as tecnologias de cogeração combinadas com outras tecnologias de poupança de energia podem ser utilizadas para edifícios residenciais, de escritórios ou serviços e optar por estes sistemas leva a benefícios significativos, nomeadamente maior eficiência energética, redução das emissões de CO₂ e economia melhorada.

Na Europa, os sistemas combinados ou híbridos ainda não são muito conhecidos (Chasapis *et al.*, 2008). Os sistemas híbridos podem combinar todos os tipos de FER, sendo que nesta dissertação apresentam-se apenas os que combinam biomassa e solar térmico, representado pela Figura 2.4. Este tipo de sistemas trazem inúmeros benefícios, como por exemplo, redução do uso de biomassa, uma vez que é compensado em parte pela energia solar, redução da emissão de carbono e é eficiente na conversão de energia solar térmica, entre outros (NEPAD@, 2014).

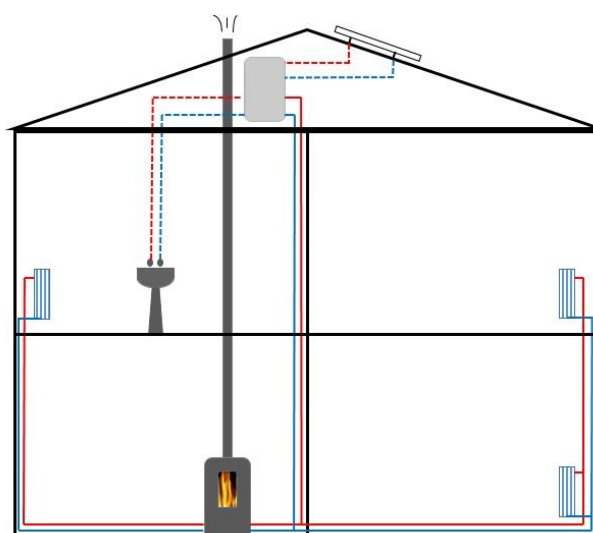


Figura 2.4 – Esquema de um sistema combinado (solar térmico e biomassa) (Adaptado Solzaima@, 2014b)

Hartl *et al.* (2012) fez uma investigação experimental e numérica de um sistema disponível no mercado que combina biomassa e solar térmico, para aquecimento e preparação de água quente, projetado para pequenas aplicações residenciais. O sistema consiste numa caldeira de *pellets* com armazenamento integrado e um circuito de energia solar térmica que fornece calor para a mesma capacidade de armazenamento ao longo de um permutador de calor. As investigações foram realizadas com o objetivo de otimizar a interação dos dois subsistemas – biomassa e solar térmico. Os dados sobre a caldeira de *pellets* foram ensaiados sob diferentes condições de operação em estado estacionário e transiente e selecionados diferentes perfis de carga, tanto para aquecimento de espaço, como para as águas sanitárias. O desempenho dos coletores solares térmicos foi medido através do método do teste quasi-dinâmico descrito na EN 12975:2006. O sistema combinado foi simulado através do *software* TRNSYS (Transient System Simulation) e monitorizado através da instalação numa casa unifamiliar com uma capacidade de aquecimento necessário de 14,9 kW.

Os dados recolhidos mostram que o desempenho do sistema combinado é promissor, uma vez que o fator de desempenho sazonal no projeto monitorizado é de 82% para aquecimento de espaços e águas quentes sanitárias e a fração solar é de 34%, valores consideravelmente altos. No entanto, a caldeira leva sempre a perdas térmicas de armazenamento, que não se podem dissociar, uma vez que se refere a um sistema combinado. A utilização efetiva da energia solar não pode ser contabilizada, pois o fator de desempenho sazonal está na mesma faixa de valores que a eficiência da caldeira a *pellets*. Os resultados da simulação estão em concordância com os dados obtidos através da monitorização.

O trabalho de pesquisa de Chasapis *et al.* (2008) pretende apresentar resultados operacionais de um sistema híbrido solar térmico – biomassa utilizado para aquecimento de espaços na Grécia. O sistema híbrido foi instalado no Centro de Fontes de Energias Renováveis (CRES- Centre for Renewable Energy Sources) em Pikermi, Grécia, com a intenção de fornecer todos os requisitos de calor a um bloco de escritórios específico com uma área de 60 m². Os principais componentes do sistema híbrido são: um coletor solar térmico de placa plana com área superficial de 13,5 m²; uma caldeira de biomassa com 35 kW de potência, capaz de queimar *pellets*, aglomerados de madeira, aparas de madeira, entre outros e, um tanque com uma capacidade de armazenamento de 500 litros de água, com um permutador de calor interno.

Os sistemas híbridos têm como principal vantagem poderem ser combinados com sistemas de aquecimento convencionais. A combinação do sistema híbrido com um sistema de biomassa constitui uma solução viável para aquecimento de águas sanitárias e espaços. Resumidamente, com este estudo conclui-se que:

- O tipo e a capacidade da caldeira a biomassa são importantes para o funcionamento económico do sistema. O mercado grego tem um défice de mercado em relação a caldeiras de biomassa, por isso a caldeira utilizada no estudo tem baixa eficiência e dimensões superiores às necessárias. Entretanto na Grécia têm sido introduzidas caldeiras com eficiência superior e com amplas gamas de capacidade;
- Deve ter-se especial cuidado no dimensionamento do tanque, nomeadamente nos meses de Verão em que os ganhos solares máximos coexistem com a procura zero;
- Para uma maior eficiência do sistema, a caldeira a biomassa deve ter um termostato eletrónico que permite um ajuste histerese.

Angrisani *et al.* (2013) abordam um novo conceito de sistemas de cogeração impulsionado por energias renováveis. A primeira inovação proposta pelo estudo é a utilização de um fluido no processo de combustão, a segunda proposta consiste em integrar, no mesmo sistema, duas fontes diferentes de energia renovável: a energia solar direta e a biomassa. O sistema descrito neste artigo está dimensionado para satisfazer as necessidades de uma habitação unifamiliar. O calor produzido pela combustão da biomassa é conduzido através de um fluido, sendo a segunda fonte de energia é a radiação solar direta que utiliza o mesmo fluido como recetor. O fluido é integrado no motor Stirling que, posteriormente, converte o calor em eletricidade. Para testar o sistema, foram consideradas três condições diferentes ao nível da radiação solar: radiação completa, 50% da radiação (durante um dia nublado) e ausência de radiação solar (durante a noite). Quando a radiação solar é reduzida, a solução passa por maior queima de biomassa, de forma a obterem-se efeitos de compensação.

Com o novo conceito aplicado a este trabalho, através dos resultados podemos tirar algumas conclusões:

- A utilização do fluido assegura coeficientes de transferência de calor maiores do que os típicos sistemas de recuperador de calor a partir da fase de gás, ajuda na obtenção de um elevado aproveitamento por parte do motor; a utilização do motor adota o combustível de biomassa como fonte de energia e é influenciado pelo tamanho da caldeira, implicando uma cuidada otimização dos parâmetros e permitindo alcançar uma quantidade significativa de energia elétrica produzida, caso contrário, o sistema executa a maioria como uma caldeira.
- Uma outra vantagem deste sistema é a possibilidade de conseguir temperaturas mais elevadas, ajudando a aumentar o desempenho. Para além disso, o sistema foi concebido para uma operação contínua, devido à integração de uma fonte renovável imprevisível (solar) com uma fonte programável (biomassa), havendo uma redução dos custos da energia, relativa a sistemas convencionais.

Os principais inconvenientes são o elevado custo de investimento, ainda estão em teste ou fase de pré-comercialização, logo ainda não são divulgados no mercado. Os dados de custo de investimento não são viáveis, portanto não é permitido fazer um estudo de análise económica, em termos de período de retorno. Na análise económica, os apoios financeiros devem ser tidos em conta como um meio de obter receitas financeiras.

Finalmente, as caldeiras a biomassa são muito flexíveis em relação ao combustível utilizado, permitem o uso de resíduos agrícolas disponíveis gratuitamente, o que torna este modelo mais rentável, uma vez que a tendência geral é o aumento do preço do petróleo e gás natural.

2.4 Sistemas Solares Térmicos e Sistemas a Biomassa

Os sistemas solares térmicos estão divididos em coletores estacionários que permanecem fixos no local e concentrados, coletores que acompanham a trajetória da luz solar. No presente trabalho, interessam os sistemas que possam ser aplicados a edifícios existentes. Deste modo, os coletores concentrados são excluídos, uma vez que a sua aplicação só é eficaz em larga escala. Para aplicações no setor doméstico, utilizam-se os coletores estacionários, que podem ser divididos em três categorias: coletores solares térmicos planos (sem ou com cobertura), coletores de tubos de vácuo e coletores parabólicos compostos (Kalogirou, 2004).

Os coletores planos, como ilustrado na Figura 2.5, são o tipo mais comum e destinam-se à produção de água quente numa faixa de temperatura entre os 30°C e os 80°C e foram desenvolvidos para climas com muito sol e quentes, como Portugal. Os coletores sem cobertura consistem apenas numa placa de absorção sem qualquer cobertura, revestimento ou isolamento térmico, o que torna o sistema menos eficiente, com perdas de calor elevadas, mas com custos baixos associados devido à sua simplicidade (MárioLoureiro@, 2014). Os coletores com cobertura são mais eficientes e as temperaturas de utilização são maiores. Este tipo de coletor é constituído por:

- Caixa metálica isolada termicamente na parte inferior e lateral, para evitar as perdas de calor e para proteger o interior do coletor dos agentes exteriores;
- Vidro ou cobertura transparente, parte superior da caixa, que reduz as perdas de energia por convecção que ocorrem no ar armazenado entre a placa e o vidro e, por radiação, pois deixa passar as ondas provenientes do Sol, mas impede a passagem das ondas emitidas pela placa de absorção, provocando um efeito de estufa;
- Placa de absorção e tubos metálicos incorporados: a radiação solar passa através do vidro e incide na placa de absorção, uma grande parte desta energia é absorvida e, em seguida é transferida para o fluido que circula no interior dos tubos metálicos. A energia está pronta a ser utilizada ou armazenada (Campaniço, 2010; Pereira, 2011; MárioLoureiro@, 2014).

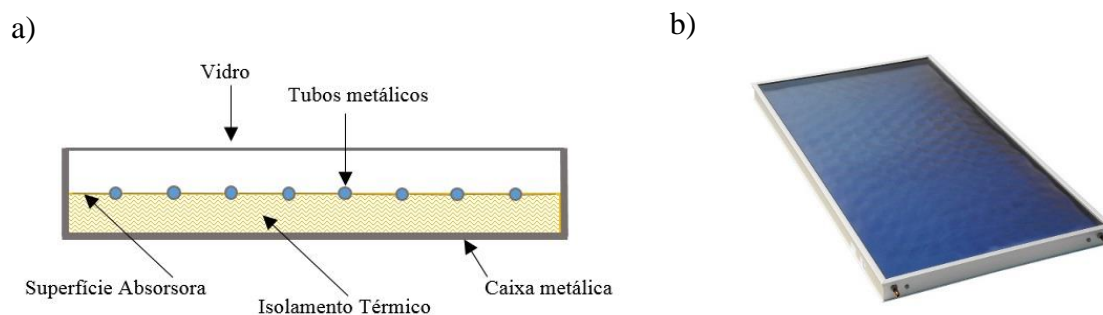


Figura 2.5 – Coletor solar plano: a) Esquema representativo (Adaptado Campaniço, 2010); b) Imagem real (Archiexpo@,2014)

Em climas mais frios e nebulosos, o rendimento dos coletores planos diminui, por isso, desenvolveram-se os coletores de tubos de vácuo, funcionando com temperaturas na faixa dos 50°C a 200°C. Este tipo de coletores, representado na Figura 2.6 consistem em vários tubos de vácuo ligados entre si pelo topo através de uma caixa coletora, contém isolamento e as linhas de alimentação e retorno. A tubagem, com capacidade de absorção, onde circula o fluido térmico está inserida em tubos de vidro sujeitos a vácuo, reduzindo as perdas térmicas por convecção e condução. Deste modo estes coletores conseguem operar a temperaturas superiores aos coletores planos. As perdas térmicas por condução e convecção não atingem o valor zero, uma vez que o vácuo formado em torno da tubagem não é ideal e, para além disso com o passar do tempo o vácuo tem tendência a dissipar-se. As perdas por radiação não dependem do meio onde a tubagem se insere, mas da seleção de um bom revestimento (Pereira, 2011; MárioLoureiro@, 2014; Kalogirou, 2004).

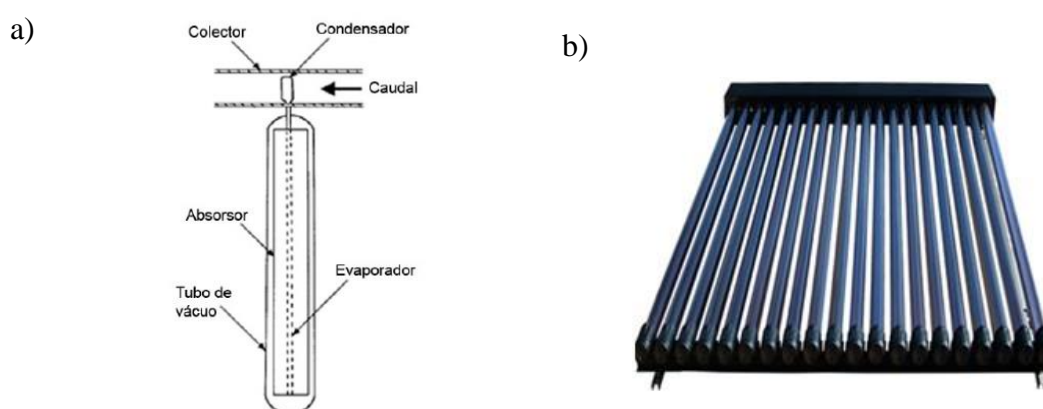


Figura 2.6 – Coletor de tubos de vácuo: a) Esquema representativo (Pereira, 2011); b) Imagem real (Boltherm@, 2014)

Os coletores parabólicos compostos conseguem atingir temperaturas entre os 60°C e os 240°C. As temperaturas de utilização destes coletores são superiores aos restantes coletores planos, este facto deve-se ao sistema duplo de absorção. A grande diferença entre os sistemas está na geometria da superfície de absorção: no coletor parabólico composto a superfície é constituída por uma grelha de alhetas colocadas sobre uma superfície refletora, como ilustrado na Figura 2.7 a). A captação solar ocorre nas duas faces da alheta, na parte superior devido à incidência direta do Sol; na parte inferior devido aos raios refletidos pela superfície refletora. Estes sistemas são conhecidos por coletores parabólicos compostos, pois a superfície refletora tem uma configuração em forma de parábola (MárioLoureiro@, 2014).

A Figura 2.7 b) representa um coletor parabólico composto, estes painéis são muito parecidos com os coletores de tubos de vácuo mas, para além de tubos, os coletores compostos têm uma parábola refletora (Campaniço, 2010).

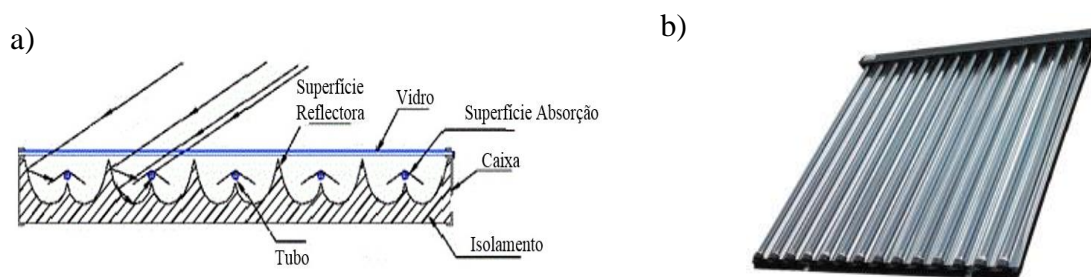


Figura 2.7 – Coletor parabólico composto: a) Esquema representativo (Lusosol@, 2014); b) Imagem real (Calpak@, 2014)

A grande desvantagem dos coletores de tubos de vácuo e dos parabólicos compostos são os custos (Costa, 2012). Estas tecnologias são mais dispendiosas em relação aos coletores planos, pois são coletores mais complexos e com custos de manutenção mais elevados (Campaniço, 2010).

Todos os coletores referidos anteriormente não funcionam isoladamente, sendo necessário incorporá-los num sistema. Conforme ilustrado na Figura 2.8, existem dois tipos de sistemas solares térmicos: sistemas termossifão, que tem o depósito montado na parte superior do painel e o seu funcionamento é mais simples, uma vez que funciona por ação da gravidade. Os sistemas de circulação forçada são mais complexos, visto serem compostos por um conjunto de equipamentos, entre eles o depósito, montado separadamente do coletor, uma bomba que permite a circulação da água, entre outros componentes (Solarwater@, 2014a).

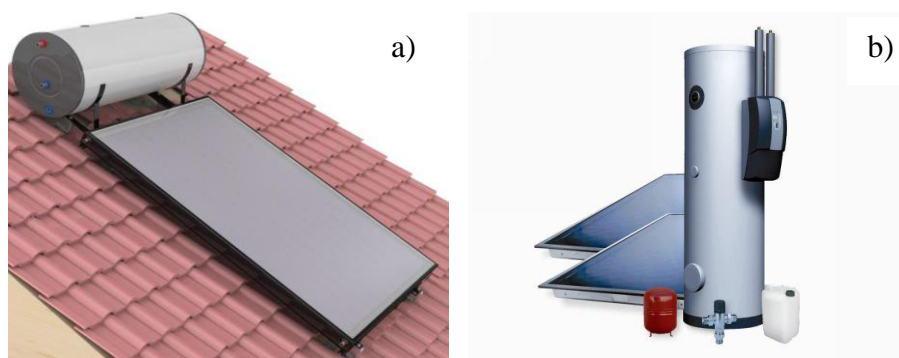


Figura 2.8 – Sistemas solares térmicos: a) sistema termossifão; b) sistema de circulação forçada (PlanoB@, 2014)

A biomassa é a fonte de energia mais antiga nas habitações. As lareiras e os fogões a lenha foram os primeiros equipamentos a biomassa utilizados para a climatização de edifícios. No entanto, o uso de lenha ainda continua a ser recorrente. Em 2010, cerca de 40% dos alojamentos portugueses utilizavam a lenha, o que do ponto de vista ambiental é positivo, pois a combustão de biomassa é uma forma de produzir energia térmica com emissões neutras de CO₂ (INE, 2011). Com o avanço da tecnologia, os equipamentos a biomassa tornam-se mais eficientes, limpos e fiáveis, tendo ganho relevância no mercado. Atualmente, existe um leque alargado de produtos a biomassa que, para além da climatização de espaços, permitem a produção de águas quentes sanitárias (RECET, 2007).

Quando se escolhe um equipamento a biomassa, deve-se ter em conta quatro fatores importantes: a necessidade de utilização, o combustível, os requisitos de instalação e a potência do equipamento. Inicialmente, é importante definir qual a utilização do sistema, se apenas fará a climatização ou produção de AQS, ou se desempenhará uma dupla função (climatização e AQS). A biomassa está dividida em diversos tipos de combustíveis (consultar a Figura 2.9): lenha, *pellets*, biocombustíveis sólidos, a título de exemplo cascas de amêndoas, caroços de azeitona entre outros, é necessário escolher o combustível mais eficiente e económico. Nos requisitos de instalação é importante saber quais as condições do local onde se instala o aparelho. Relativamente à potência do sistema, este parâmetro varia com a área da habitação ou compartimento servido, bem como o número de utilizadores no caso da produção de AQS (LeroyMerlim@, 2014).

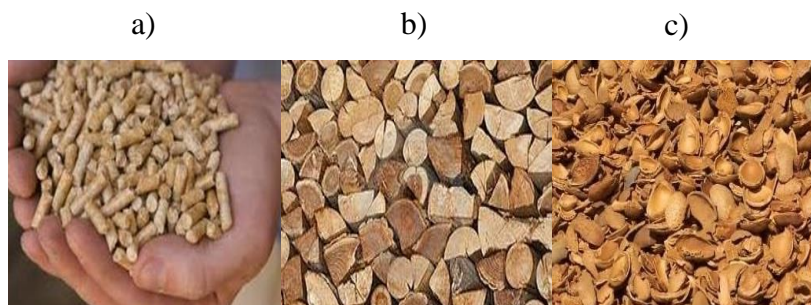


Figura 2.9 – Diferentes tipos de biomassa: a) *pellets*; b) lenha; c) cascas de amêndoa (Energlobo@, 2014; Vulka@, 2014)

Este tipo de equipamentos está dividido em dois grandes grupos: os sistemas de aquecimento a ar e a água (consultar a Figura 2.10 e 2.11, respetivamente). Os sistemas a ar permitem aquecer o ar do local onde estão inseridos e/ou os restantes compartimentos através de condutas de ar, nesta categoria estão incluídas as salamandras a lenha/*pellets* e os recuperadores de calor a lenha/*pellets*. Os equipamentos de aquecimento a água possibilitam a integração com um sistema de aquecimento central para climatização e a produção de águas quentes sanitárias, a esta classe juntam-se as caldeiras a lenha/*pellets* ou multibiocombustíveis (Energlobo@, 2014).

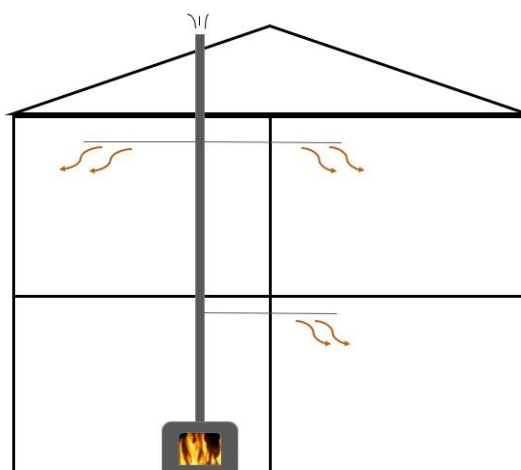


Figura 2.10 – Esquema de um equipamento de aquecimento a ar (Decflex@, 2014)

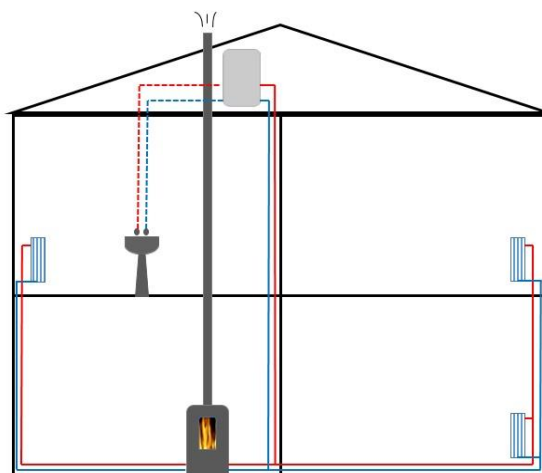


Figura 2.11 – Esquema de um equipamento de aquecimento a água (Casaplus@, 2014)

O princípio de funcionamento dos equipamentos a biomassa baseia-se em quatro fases, demonstradas na Figura 2.12: a alimentação do equipamento, a ignição, a combustão e a descarga de gases.

Na primeira fase, ocorre a alimentação do equipamento com combustível sólido adequado. Esta fase pode ser automática, se o sistema tiver um mecanismo para transportar o combustível do depósito para o queimador ou manual, caso a alimentação do equipamento tenha de ser feita previamente.

Tal como a alimentação, a ignição é um processo que pode ser manual ou automático. Para que a ignição seja automática, o sistema tem um dispositivo incorporado no queimador, que se torna incandescente e, juntamente com ar do ventilador, faz atear e incendiar a biomassa de um modo rápido.

A terceira fase, a combustão, decorre na câmara de combustão. Durante esta fase, o calor produzido pela queima da biomassa é transferido para os permutadores de calor. A partir deste momento, o ar/ água quente são usados no edifício consoante a forma pretendida.

Por fim, os gases que resultam da combustão são libertados para o exterior através de um ventilador de exaustão ou de uma forma natural, dependendo do equipamento em causa (Sopradiante@, 2014).

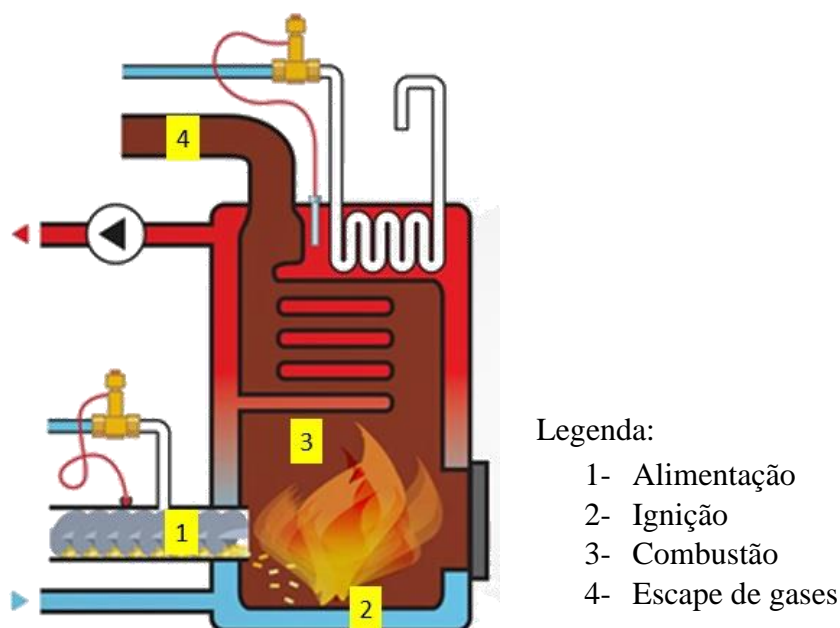


Figura 2.12 – Fases do funcionamento de uma caldeira a *pellets* (Adaptado de Soproradiante@, 2014)

Os sistemas de aquecimento residencial de pequena escala que se podem utilizar são os recuperadores de calor, as salamandras e as caldeiras, como ilustrados nas Figuras 2.13 e 2.14.

Os recuperadores de calor têm as seguintes características:

- Podem operar a ar ou a água;
- Se os sistemas forem a ar ventilados ou a água, permitem o aquecimento de todos os compartimentos do edifício;
- Instalação fácil, uma vez que podem ser aplicados no local de uma lareira existente;
- Combustível disponível é a lenha ou *pellets*;
- Consomem menos combustível que uma lareira aberta;
- Alimentação e ignição não são automáticas, não operando em contínuo;
- Sistema pouco autónomo.



Figura 2.13 – Recuperador de calor (Resul@, 2014)

As salamandras têm as seguintes características:

- Podem operar a ar ou a água;
- Permitem aquecer o compartimento onde estão inseridas, se o equipamento funcionar a ar ou todas as divisões do edifício, se a salamandra opera a água;
- Instalação fácil e, para além disso, são equipamentos discretos para integrar em qualquer divisão da casa;
- Combustíveis disponíveis: lenha, *pellets*;
- Se a salamandra é a *pellets*:
 - Tem a alimentação e ignição automáticas, operando o sistema em contínuo;
 - Dispõe de um controlador que permite programar o sistema à distância;
 - Sistema mais autónomo e cómodo para o proprietário;
- Se a salamandra é a lenha:
 - Não tem a alimentação e ignição automáticas;
 - Não é programada à distância;
 - Sistema menos autónomo, logo menos cómodo para o proprietário (Enat@,2014 e LeroyMerlin@, 2014).

As caldeiras têm as seguintes características:

- As caldeiras funcionam a água;
- São especializadas no aquecimento de todo edifício e, por norma são instaladas num anexo do edifício;
- Combustíveis disponíveis: lenha, *pellets* e biocombustíveis sólidos;
- Alimentação e ignição são automáticas em equipamentos a *pellets* e biocombustíveis sólidos, sendo os sistemas mais autónomos e cómodos;
- Em equipamentos a lenha, a alimentação e ignição são manuais, tornando os equipamentos mais dependentes.

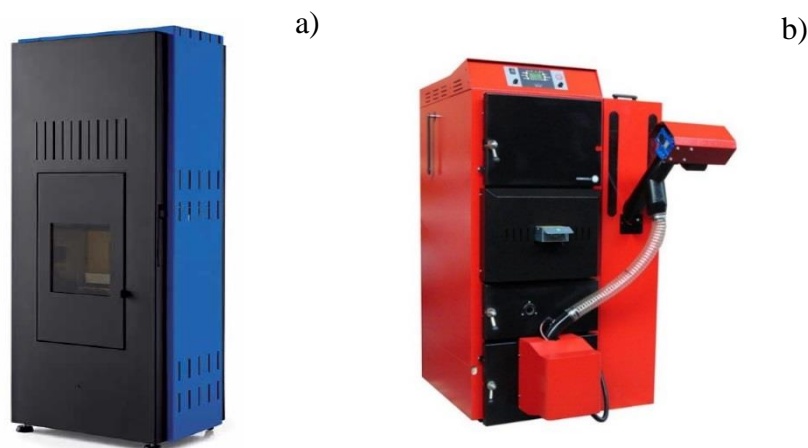


Figura 2.14 – Equipamentos a biomassa: a) Salamandras; b) caldeira a *pellets* e lenha (Solzaima@, 2014a; Larinox@, 2014)

Os controladores que se instalam nos sistema a biomassa permitem regular a frequência de carregamento de combustível, controlar a velocidade, a quantidade de ar emitido para a câmara de combustão e programar os dias e horas que se pretende que o sistema ligue e desligue. Deste modo, nos meses de inverno, o equipamento pode ser programado para que, à hora de chegada dos habitantes ao edifício, o ambiente já se encontre à temperatura pretendida (Soproradiante@, 2014).

Os equipamentos a biomassa que funcionam a água, por norma, têm a capacidade de se complementarem com os coletores solares térmicos, formando um sistema híbrido. Esta complementaridade, permite usufruir do melhor dos dois sistemas. Durante o dia e no Verão, o painel solar funciona bem na produção de AQS, uma vez que durante o Verão não há necessidade de aquecimento central. Durante a noite e no Inverno, os equipamentos a biomassa fazem o aquecimento do edifício, auxiliados pelos painéis nos dias de sol.

3. METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DO CONTRIBUTO DE SISTEMAS

3.1 Introdução

As energias renováveis mais utilizadas no setor doméstico são a biomassa e o solar térmico. Em 2009, a evolução do consumo de energia no setor doméstico por tipo de fonte em Portugal, demonstrada na Figura 3.1, registou que a eletricidade foi a principal fonte de energia consumida, com uma percentagem de 38,1 % do total de energia consumida. Em segundo lugar surgem as lenhas (biomassa e carvão) com 36,3% e na quinta posição o solar térmico com 0,8%, que só a partir de 2003 ganha relevância no mercado (INE, 2010).

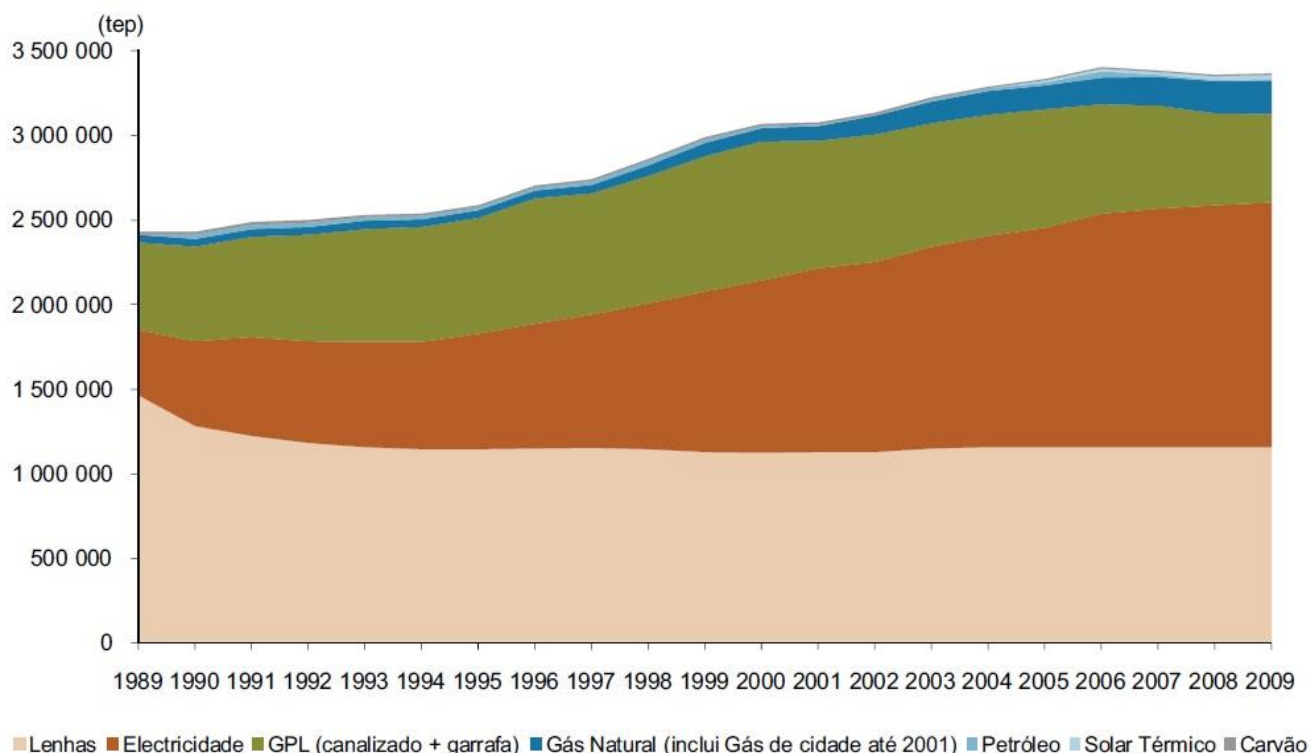


Figura 3.1 – Evolução do consumo de energia no setor doméstico por tipo de fonte em Portugal (INE, 2010)

O solar térmico é das tecnologias renováveis de produção energética mais adequada para os consumidores e para os edifícios. Como se destina à preparação de águas quentes sanitárias é de consumo direto por parte dos utilizadores dos edifícios. A sua penetração deve-se à sua grande simplicidade funcional e facilidade de integração nos edifícios. Além disso, capta um recurso energético renovável de forma eficiente, que contrariamente à biomassa não tem qualquer custo associado e não necessita de ser recolhido e transportado (Monteiro, 2013).

Portugal está numa localização privilegiada para a utilização de solar térmico, pois é um dos países da Europa que reúne maior quantidade de recursos de energia solar, como se pode comprovar pela Figura 3.2 (Cenfim@, 2014). Em 2013, foram instalados 57234 m² de novos coletores solares térmicos, tendo Portugal atingido 1024004 m² (Apisolar@, 2014).

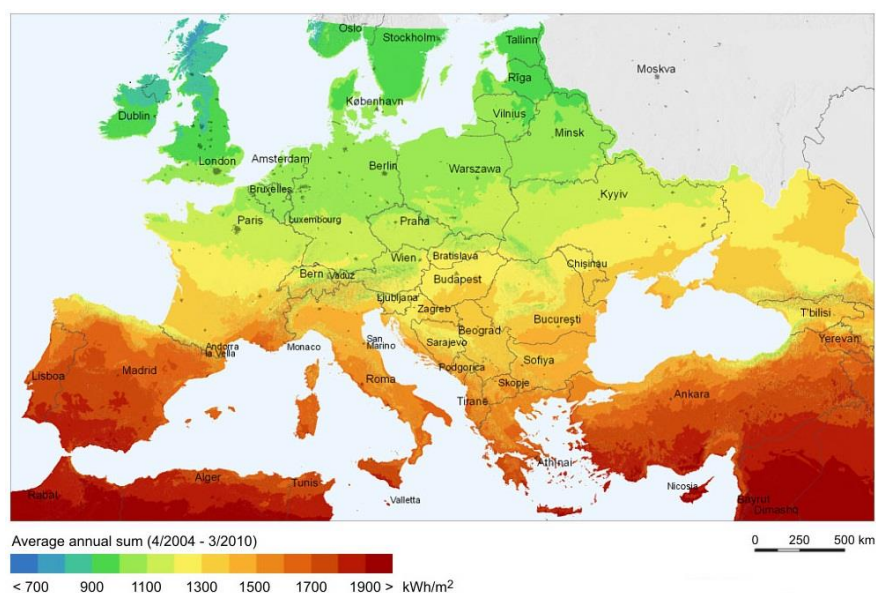


Figura 3.2 - Mapa da radiação global anual horizontal na Europa (Geomodelsolar@, 2014).)

O solar térmico pode ser usado para aquecimento de águas sanitárias, o que se considera ser a opção mais rentável que este sistema oferece. No entanto, pode ser utilizado no aquecimento de espaços, ligando os coletores ao pavimento radiante ou ao sistema de aquecimento central ou para a produção de frio, através de uma máquina de absorção, que consegue produzir frio a partir do calor (RECET, 2007). Este tipo de sistemas também pode ser utilizado para aquecimento de piscinas ao ar livre ou cobertas, reduzindo entre 60 a 80% os custos de aquecimento da piscina comparativamente com os métodos convencionais (caldeiras a gás e gasóleo) (Solarwater@, 2014b).

Na presente dissertação considerou-se que os coletores a instalar iriam apenas produzir AQS. Caso se utilizassem os coletores solares térmicos para aquecimento de espaços, o edifício estaria sujeito a uma obra de intervenção maior, pois necessitaria de sistema de distribuição de água quente e dos respetivos radiadores. O edifício em estudo não tem agregado piscinas, logo não se consideram instalações para esse fim. O tipo de sistema solar térmico a ser aplicado no edifício poderá ser do tipo termossifão ou circulação forçada. A escolha do equipamento depende dos benefícios que este proporciona ao investidor.

Em relação aos equipamentos a biomassa, pretende-se estudar os que podem ser utilizados para climatização: de um único compartimento ou de toda a habitação, para a produção de AQS ou para uma dupla função, que combina a climatização com a produção de AQS, simultaneamente.

Os tipos de equipamentos a biomassa que podem vir a ser selecionados são: salamandras a ar ou água, recuperador de calor a ar ou caldeira. Mais uma vez, a escolha do sistema vai depender dos benefícios trazidos ao investidor.

No presente capítulo, interessa quantificar e contabilizar o contributo energético de sistemas solares térmicos e biomassa, quando aplicados a um edifício unifamiliar existente. Seguindo o REH, a energia produzida pelos sistemas solares térmicos é determinada pelo programa SolTerm, desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG). Em relação aos sistemas cuja contribuição resulta da queima de biomassa sólida, utilizam-se as expressões matemáticas fornecidas pelo regulamento de desempenho energético (REH, 2013).

Para calcular a contribuição energética dos sistemas é necessário definir, inicialmente, o edifício de referência. Na presente dissertação, o edifício padrão selecionado é um “edifício virtual”, cujas características foram definidas segundo dados fornecidos pela Agência para a Energia (ADENE) e pelo INE. Os dados facultados pela ADENE resultam de informações do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), os dados do INE surgem dos inquéritos aos residentes em Portugal. O edifício de referência escolhido para este estudo, pertence à categoria dos edifícios unifamiliar, trata-se de um edifício existente, cujo ano de construção se encontra entre 1961 e 1990.

No Quadro 3.1, estão representadas as principais características do edifício de referência escolhido para este estudo.

Quadro 3.1 – Características do edifício de referência

Características do edifício unifamiliar	
Tipologia	T3
Área útil de pavimento	100 m ²
Pé direito	2,7 m
Envolvente exterior opaca (Sul)	A=23,25 m ² ; U=1,3 W/ m ² .°C
Envolvente exterior opaca (Norte)	A=23,25 m ² ; U=1,3 W/ m ² .°C
Envolvente exterior opaca (Este)	A=23,25 m ² ; U=1,3 W/ m ² .°C
Envolvente exterior opaca (Oeste)	A=23,25 m ² ; U=1,3 W/ m ² .°C
Vãos envidraçados exteriores por fachada	A=3,75 m ² ; U _{wdn} = 4,1 W/ m ² .°C
Cobertura sob o desvão	A _{interior} = 100 m ² ; U _{ascendente} = 2,8 W/ m ² .°C; U _{descendente} = 2,34 W/ m ² .°C
Sistemas	Emissor Elétrico Esquentador antigo

3.2 Aplicação da metodologia a sistemas solares térmicos

Como foi referido, para analisar o desempenho energético de um sistema solar térmico num edifício existente recorreu-se ao *software* SolTerm 5.1.4 (LNEG), especialmente ajustado às condições climáticas de Portugal. Nas simulações são aplicadas informações sobre o próprio sistema, nomeadamente a configuração / dimensionamento do sistema, estratégias de controlo e operação, características técnicas dos componentes e consumo do sistema em base horária média mensal, mas também fatores externos, meteorológicos, como a radiação solar horizontal e temperatura ambiente em base horária, obstruções de horizonte, sombreamentos, albedo das redondezas e turbidez da atmosfera (SolTerm Manual, 2012).

O programa está dividido em três secções: “Clima e local”, “Sistemas térmicos” e “Análise energética”.

Na secção inicial, “Clima e local”, define-se o local onde se fará a instalação do coletor. Para avaliar a diferença na produtividade do mesmo sistema em diferentes regiões do país, recorreu-se ao REH e, identificaram-se três zonas climáticas diferentes (REH, 2013). Os locais escolhidos foram: Alfândega da Fé, pertencente à região Alto Trás-os-Montes, Amares, pertencente ao Cávado e Albufeira, localizada na região do Algarve e, pretendem representar três regiões portuguesas com condições climáticas de aquecimento e arrefecimento distintas, presentes nos Quadros 3.2 e 3.3. Ainda nesta secção, podem ser fornecidos alguns detalhes do

local, nomeadamente, o albedo do solo, a turbidez da atmosfera e as obstruções de horizonte, todos estes elementos influenciam a radiação solar.

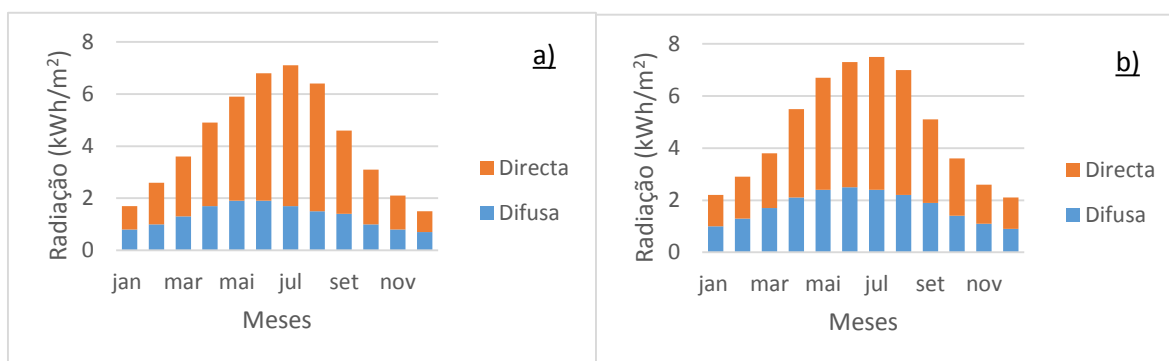
Quadro 3.2 – Dados climáticos da estação de aquecimento

Local	Altura (m)	Duração (meses)	Graus-Dias (°C)	Temperatura exterior média do mês mais frio (°C)	Energia solar (kWh/m ² .mês)
Alfândega da Fé	680	7,3	2015	5,5	125
Amares	171	6,8	1491	9,0	125
Albufeira	145	4,8	987	11,3	155

Quadro 3.3 – Dados climáticos da estação de arrefecimento

Local	Duração (horas)	Temperatura exterior média (°C)	Energia solar acumulada numa superfície vertical (kWh/m ²)		
			90° N	90° S	90° O
Alfândega da Fé	2928	21,7	220	425	480
Amares	2928	20,7	220	425	485
Albufeira	2928	23,1	225	405	515

Através do SolTerm, é possível retirar informações sobre a radiação solar (kWh/m²) para as três localidades selecionadas para o estudo. A Figura 3.3 corresponde à radiação solar diária horizontal das três regiões, podendo observar-se a radiação solar direta e difusa para todos os meses do ano.



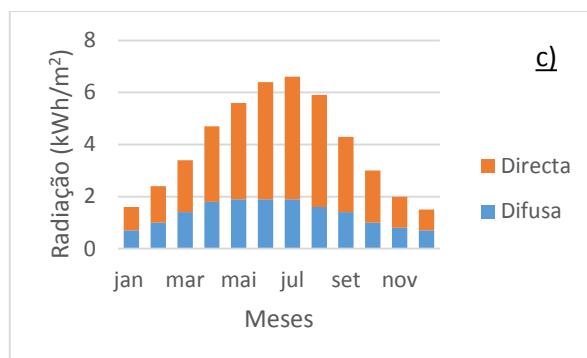


Figura 3.3 – Radiação solar diária horizontal: a) Alfândega da Fé; b) Albufeira; c) Amares

Pela Figura 3.3 pode-se perceber que os meses de Verão são aqueles que têm maior radiação, quer direta, quer difusa, como esperado. Albufeira (Figura 3.3 b)) é o local com valores mais elevados de radiação solar, o local com valores mais baixos é Amares (Figura 3.3 c)). Estes valores comprovam que o clima nas três zonas é distinto e, influencia a contribuição anual dos coletores instalados.

Na segunda secção do *software*, “Sistemas térmicos”, começa-se por definir qual o tipo de sistema a simular, se um sistema de circulação forçada ou um termossifão. Ainda nesta fase, podem-se escolher todas as características associadas ao funcionamento do coletor solar térmico, nomeadamente:

- Orientação, inclinação e características do coletor solar térmico;
- Características do consumo diário de águas quentes;
- Capacidade do depósito;
- Sistema de apoio.

Para Portugal, a orientação considerada ideal para um coletor solar é Sul, uma vez que é a que recebe maior nível de radiação solar (Certiel@, 2014). A melhor inclinação depende da localização geográfica dos coletores (latitude) e varia nos meses de Verão e Inverno. No Inverno, como há menos radiação e a altura solar é menor, o ângulo de inclinação deve ser maior (MárioLoureiro@, 2014). Desvios de orientação até 20° para Este ou Oeste e /ou inclinações de $\pm 15^\circ$, em relação à melhor posição, não prejudicam a captação solar em mais do que 5% (Certiel@, 2014).

A Figura 3.4 mostra os valores medidos na cidade de Lisboa para a radiação solar global anual para qualquer orientação e inclinação.

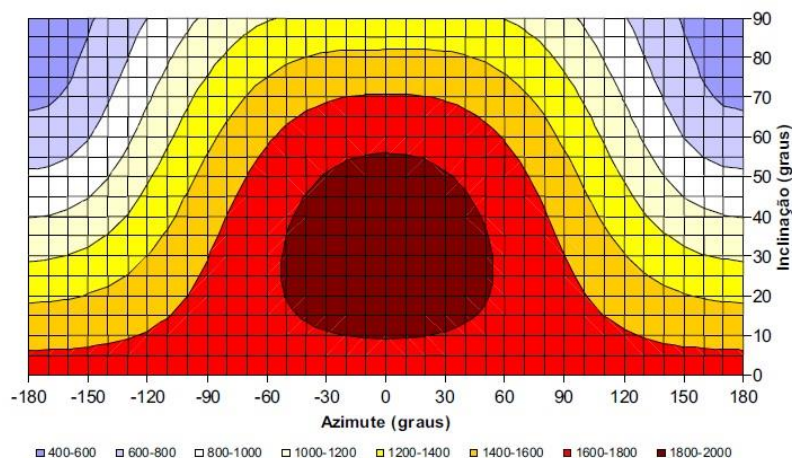


Figura 3.4 - Radiação solar global anual para diferentes orientações e inclinações da superfície recetora (MárioLoureiro@, 2014)

Pela Figura 3.4, é possível comprovar que os valores mencionados anteriormente para a radiação ótima se encontram para o azimute 0°, orientação Sul e para uma inclinação do coletor de 30°. Observando esta figura é possível confirmar que pequenas variações de azimute e de inclinação não afetam significativamente o total de energia solar.

Nesta secção, também são definidas as características do coletor solar térmico. O SolTerm tem associado uma base de dados de coletores presentes no mercado nacional, com as características pré-definidas, sendo possível adicionar novos modelos de coletores através de editor próprio. O consumo diário de águas quentes, também designado por cargas térmicas, é uma informação importante para estudo do desempenho energético do sistema. Neste estudo, o consumo diário de AQS por habitante está fixado nos 40 litros, de acordo com o REH. É possível considerar o consumo acumulado, quando o consumo de água quente de um dia inteiro é feito em apenas uma hora, ou distribuído, quando o consumo de água quente é distribuído pelas horas de maior utilização. Durante o presente trabalho, simularam-se as duas formas de consumo e a diferença de valores é pouco significativa.

A energia solar é incontável e, raras vezes coincide com a variação das necessidades de energia térmica. Deste modo é necessário fazer o armazenamento do calor, proveniente da energia solar, para ser utilizado quando necessário. A escolha da capacidade do depósito de armazenamento deve ser feita de acordo com a quantidade de água quente gasta diariamente. Para o setor doméstico, para uma casa unifamiliar, os depósitos padrão têm capacidade de 200 a 500 l. É importante que a capacidade do depósito se adeque ao consumo diário da habitação. Caso isso não aconteça, a frequência de utilização do sistema de apoio vai aumentar, visto que a temperatura da água num depósito grande será menor do que num depósito ao tamanho ideal

(MárioLoureiro@, 2014). Um volume de armazenamento específico de $50 \text{ l/m}^2 (\pm 10\%)$ oferece uma ótima relação custo/benefício em instalações de AQS, se o consumo for aproximadamente constante ao longo da semana. Em edifícios em que existam dias semanais sem consumo, por exemplo ao fim-de-semana, o volume deve ser aumentado para os 75 l/m^2 (Peuser *et al.*, 2002). Diferenças entre captação e consumo não superiores a 24 horas, caso de AQS em vivendas, hotéis e residências, o volume de acumulação será de 60 a 90 l/m^2 de coletor (Lebeña e Costa, 2004).

O sistema de apoio é um elemento importante, não no desempenho energético do coletor, mas porque garante a produção de AQS em situações em que os ganhos solares são insuficientes. Estes sistemas podem ser de vários tipos: elétrico, gás natural, propano, butano, gásóleo, entre outros. Os sistemas têm que ser controlados termicamente, isto é, deve fixar-se a temperatura de saída da água, de modo a que o equipamento de apoio só funcione quando a temperatura da água que vem do depósito não é a pretendida (MárioLoureiro@, 2014).

Na terceira secção do *software* é possível efetuar a “Análise Energética” do coletor solar térmico escolhido, conjuntamente com todos os outros elementos simulados. O desempenho térmico do sistema é dado através de diversos parâmetros entre eles estão: a energia fornecida ou contribuição anual do sistema, energia acumulada que o sistema fornece para o consumo AQS e a produtividade, que é a energia de origem solar fornecida para o consumo de AQS por unidade de área dos coletores.

Inicialmente aplicou-se o *software* ao coletor padrão definido nos requisitos de eficiência presentes no REH, cujas características são as seguintes:

- Orientação a Sul e com inclinação de 35° ;
- Parâmetros geométricos, óticos e térmicos:
 - Área de abertura de $0,65 \text{ m}^2$ por ocupante convencional;
 - Rendimento ótico de 73 %;
 - Coeficiente de perdas térmicas $a_1 = 4.12 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $a_2 = 0.014 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$;

Os coletores solares térmicos que se pretendem analisar durante o trabalho devem proporcionar ao edifício uma contribuição de energia renovável igual ou superior à calculada pelo SolTerm para o coletor solar térmico padrão (REH, 2013). Através do SolTerm, determinaram-se os valores da contribuição anual para uma instalação de 4 coletores padrão: em Albufeira o valor é igual a 1861 kWh/ano; em Amares é de 1638 kWh/ano; e, finalmente, em Alfândega da Fé de 1702 kWh/ano.

Durante o presente trabalho procedeu-se ao levantamento dos sistemas solares térmicos mais adequados do mercado para aplicação residencial. Foram simulados no Solterm sete sistemas

distintos, três deles são sistemas de termossifão e os restantes de circulação forçada. No Quadro 3.4 apresentam-se as características dos sistemas solares térmicos (ST) estudados e no Quadro 3.5 mostra-se qual os valores de energia renovável, a energia útil e desperdiçada, em kWh/ano, de cada sistema para as três localizações em estudo.

Quadro 3.4 – Caracterização dos sistemas solares térmicos estudados

Sistema Solar Térmico	Tipo de sistema	Capacidade (litros)	Área de captação (m ²)	Eficiência (%)
ST1	Termossifão	300	3	100
ST2	Termossifão	200	2	100
ST3	Termossifão	300	3,9	100
ST4	Circulação Forçada	200	2,33	100
ST5	Circulação Forçada	200	2,1	100
ST6	Circulação Forçada	300	4,66	100
ST7	Circulação Forçada	200	2,426	100

Quadro 3.5 – Total de energia captada (E_{ren}), energia útil, energia desperdiçada em kWh/ano e fração solar em % dos sistemas solares térmicos para as três localizações

Sistema Solar Térmico	Localização	E_{ren}	$E_{desperdiçada}$	$E_{útil}$	Fração Solar
ST1	Albufeira	2114	8	2106	89
	Amares	1881	6	1875	79
	Alfândega da Fé	1888	5	1883	79
ST2	Albufeira	1723	1	1722	72
	Amares	1452	0	1452	61
	Alfândega da Fé	1491	0	1491	63
ST3	Albufeira	2142	8	2134	90
	Amares	1917	7	1910	81
	Alfândega da Fé	1917	7	1910	81
ST4	Albufeira	1857	2	1855	78
	Amares	1634	0	1634	69
	Alfândega da Fé	1699	0	1699	71
ST5	Albufeira	1836	1	1835	77
	Amares	1611	0	1611	68
	Alfândega da Fé	1678	0	1678	71
ST6	Albufeira	2231	8	2223	94
	Amares	2074	7	2067	87
	Alfândega da Fé	2119	8	2111	89
ST7	Albufeira	1902	3	1899	80
	Amares	1679	0	1679	71
	Alfândega da Fé	1740	0	1740	73

No Quadro 3.5, os valores da contribuição anual do sistema (E_{ren}) que são retirados diretamente do programa SolTerm. A energia desperdiçada é a energia dissipada pelo sistema, quando o valor de energia fornecido ultrapassa o valor das necessidades de AQS. Apenas se considera que há energia desperdiçada, quando a energia proporcionada pelo sistema ultrapassa o valor da energia útil necessária para a preparação de AQS (Q_a) dividido pelos 12 meses do ano. A energia útil do sistema representa a energia que efetivamente é utilizada pelos coletores para a produção de AQS. Neste caso, é calculada pela diferença entre o valor da contribuição anual e o valor da energia desperdiçada. Ainda no Quadro 3.5, é apresentada a fração solar em %, esta fração é calculada através do quociente entre a contribuição anual de cada sistema e as necessidades de AQS que se fixaram nos 2377 kWh/ano, como será explicado na secção 3.3.

Para que o sistema solar térmico cumpra os requisitos de desempenho energético do REH, os sistemas solares térmicos que se podem aplicar ao edifício, de entre os estudados, são ST1, ST3, ST6 e ST7, porque apresentam valores iguais ou superiores ao coletor padrão.

3.3 Aplicação da metodologia a sistemas a biomassa

Para quantificar o contributo energético dado pela queima de biomassa sólida ao edifício, seguem-se as expressões fornecidas pelo regulamento (REH, 2013). O primeiro fator a ser definido é o tipo de função do equipamento, uma vez que o desempenho energético do sistema é calculado de modo diferente consoante a utilização.

Quando o sistema é utilizado apenas para a climatização, a contribuição anual (kWh/ano) é determinada pela seguinte expressão (REH, 2013):

$$E_{ren} = \left(\frac{N_{ic} \times A_p}{\eta_k} \right) \times f_{i,k} \quad (1)$$

Em que:

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia para aquecimento supridas pelo sistema a biomassa;

η_k – Eficiência do sistema a biomassa;

A_p – Área interior útil de pavimento, [m²];

N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, [kWh/(m².ano)].

A parcela das necessidades de energia para aquecimento supridas pelo sistema a biomassa, $f_{i,k}$, deve ser estimada em função da área dos compartimentos servidos pelo sistema a biomassa e da área interior útil de pavimento, conforme a seguinte expressão (REH, 2013):

$$f_{i,k} = \frac{A_s}{A_p} \quad (2)$$

Em que:

A_s – Área dos compartimentos servidos pelo sistema a biomassa, [m²].

Para quantificar a contribuição de um sistema apenas para a produção de AQS é necessário fazer dois cálculos. Inicialmente, calcula-se a energia útil necessária para a preparação de águas quentes sanitárias durante um ano (kWh/ano), dada pela seguinte expressão (REH, 2013):

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times n_d}{3600000} \quad (3)$$

Em que:

ΔT – Aumento de temperatura necessário à preparação de AQS e que, para efeitos do presente cálculo, toma o valor de referência de 35° C;

n_d – Número anual de dias de consumo de AQS de edifícios residenciais que, para efeitos do presente cálculo, se considera de 365 dias.

O consumo médio diário de referência, M_{AQS} , em litros para edifícios de habitação, será calculado de acordo com a seguinte expressão (REH, 2013):

$$M_{AQS} = 40 \times n \times f_{eh} \quad (4)$$

n – Número convencional de ocupantes de cada fração autónoma, definido em função da tipologia da fração sendo que se deve considerar 2 ocupantes no caso da tipologia T0, e n+1 ocupantes nas tipologias do tipo Tn com n>0;

f_{eh} – Factor de eficiência hídrica, aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica, de acordo com um sistema de certificação de eficiência hídrica da responsabilidade de uma entidade independente reconhecida pelo setor das

instalações prediais. Para chuveiros ou sistemas de duche com rótulo A ou superior, $f_{eh} = 0,9$, sendo que nos restantes casos, $f_{eh} = 1$.

Seguindo as expressões (3) e (4) do REH, assumindo que o consumo médio diário é de 40 litros por habitante, e considerando que o edifício tem 4 habitantes e $f_{eh} = 1$, o valor da energia útil necessária para a preparação de águas quentes sanitárias (Q_a) é igual 2377 kWh/ano.

No segundo cálculo, surge a contribuição do sistema determinada pela seguinte expressão (REH, 2013):

$$E_{ren} = \frac{Q_a}{\eta_k} \times f_{a,k} \quad (5)$$

Em que:

$f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia para AQS supridas pelo sistema a biomassa;

Q_a – Necessidades de energia útil para a preparação de AQS [kWh/ano].

No caso de sistemas com dupla função, AQS e climatização, a contribuição do sistema a biomassa, é função da localização da instalação do equipamento, conforme a seguinte expressão (REH, 2013):

$$E_{ren} = \left(\frac{N_{ic} \times A_p}{\eta_k} \right) \times f_{i,k} + \frac{Q_a}{\eta_k} \times f_{a,k} \times f_{r,a} \quad (6)$$

Em que:

$f_{r,a}$ – Toma o valor de 1, excepto quando o sistema for instalado num espaço interior útil do edifício ou fracção e condiciona o ambiente do mesmo, tomando, nesse casos, o valor de $M/12$, em que M é a duração da estação de aquecimento em meses.

Quando o equipamento é utilizado para a climatização de um único compartimento, não acarreta dificuldades acrescidas de instalação. Porém, quando a climatização é em toda a casa e/ou há produção de águas quentes, a escolha do equipamento tem de ser mais criteriosa. Para edifícios existentes, os equipamentos a água são mais adequados, uma vez que a sua instalação pode ser feita na superfície exterior da parede através de tubos metálicos. A instalação de equipamentos a ar, se a habitação não tiver condutas de ar, será mais complicada, pois as condutas devem ser

integradas no interior da parede, levando o edifício a uma reabilitação maior e, do ponto de vista estético não seria a melhor opção.

Durante a pesquisa de equipamentos a biomassa (B) disponíveis no mercado, selecionaram-se os sistemas indicados no Quadro 3.6.

Quadro 3.6 – Caracterização dos sistemas a biomassa estudados

Sistemas a biomassa	Tipo de equipamento	Tipo de combustível	Eficiência (%)
B1	Salamandra a ar	<i>Pellets</i>	89
B2	Salamandra a ar	Lenha	75
B3	Salamandra a ar	Lenha	80
B4	Salamandra a ar	Lenha	77,5
B5	Salamandra a ar	Lenha	71
B6	Salamandra a ar	Lenha	74
B7	Recuperador de calor a ar	Lenha	71,5
B8	Salamandra a água	<i>Pellets</i>	92
B9	Salamandra a água	<i>Pellets</i>	92,5
B10	Salamandra a água	Lenha	82
B11	Caldeira	<i>Pellets</i>	93

Dos sistemas representados no Quadro 3.6, os sete primeiros sistemas (B1 até B7) são equipamentos a ar, assumindo-se que se destinam ao aquecimento de um único compartimento do edifício. Os restantes (B8 até B11) permitem fazer o aquecimento de toda a habitação. Os sistemas B10 e B11 permitem ainda a produção de AQS.

O Quadro 3.7 revela os valores de energia proporcionados pelos sistemas de climatização. Nos sistemas B1 a B9, os cálculos do E_{ren} ou energia final são feitos pela expressão (1). Os valores de N_{ic} variam consoante a região, para Albufeira o valor é de 135,22 kWh/(m².ano), Amares 215,57 kWh/(m².ano) e Alfândega da Fé 305,46 kWh/(m².ano), a A_p mantém-se constante e toma o valor de 100 m². O valor de $f_{i,k}$ varia em função do equipamento: se este aquecer toda a casa o $f_{i,k}$ é igual a 1; se apenas climatizar um compartimento, o $f_{i,k}=0,25$, pois um compartimento, no caso de estudo a sala, é considerado 25% da casa, ou seja, 25 m². O cálculo da energia útil ($E_{útil}$) resulta da multiplicação da energia final pela eficiência.

Quadro 3.7 – Contribuição anual e energia útil, em kWh/ano, dos sistemas a biomassa que fazem climatização

Sistema	Localização	E_{ren}	$E_{útil}$
B1	Albufeira	3798	3381
	Amares	6055	5389
	Alfândega da Fé	8580	7637
B2	Albufeira	4507	3381
	Amares	7186	5389
	Alfândega da Fé	10182	7637
B3	Albufeira	4226	3381
	Amares	6736	5389
	Alfândega da Fé	9546	7637
B4	Albufeira	4362	3381
	Amares	6954	5389
	Alfândega da Fé	9854	7637
B5	Albufeira	4761	3381
	Amares	7590	5389
	Alfândega da Fé	10756	7637
B6	Albufeira	4568	3381
	Amares	7283	5389
	Alfândega da Fé	10320	7637
B7	Albufeira	4728	3381
	Amares	7537	5389
	Alfândega da Fé	10680	7637
B8	Albufeira	14698	13522
	Amares	23431	21557
	Alfândega da Fé	33202	30546
B9	Albufeira	14618	13522
	Amares	23305	21557
	Alfândega da Fé	33023	30546

O Quadro 3.8 mostra os valores da energia dos sistemas B10 e B11, que desempenham uma dupla função (AQS e aquecimento de espaços), assim sendo para calcular a energia final ou contribuição anual, E_{ren} , utiliza-se a equação (6). Estes tipos de equipamentos serão instalados num compartimento da habitação, influenciando o ambiente da mesma, logo o $f_{r,a} = M/12$, onde M toma diferentes valores consoante a localização: Albufeira – 4,8 meses, Amares – 6,8 meses e Alfândega da Fé – 7,3 meses. Os valores da energia útil total resultam da multiplicação da energia final (E_{ren}) pela eficiência do sistema. A energia útil para a produção de AQS resulta da multiplicação do Q_a por $f_{r,a}$, segundo o REH. Por fim, a energia útil destinada ao aquecimento que se obtém através da diferença entre a energia útil total e a energia útil de AQS.

Quadro 3.8 – Contribuição anual e energia útil, em kWh/ano, dos sistemas a biomassa que desempenham uma dupla função

Sistema	Localização	E_{ren}	$E_{útil}$		
			Total	AQS	Aquecimento
B10	Albufeira	17650	14473	951	13522
	Amares	27912	22888	1331	21557
	Alfândega da Fé	39020	31996	1450	30546
B11	Albufeira	17096	15899	951	14948
	Amares	25735	23934	1331	22603
	Alfândega da Fé	35401	32923	1450	31473

4. METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DE RENTABILIDADE ECONÓMICA

4.1 Introdução

No capítulo anterior foi apresentado o edifício de referência e o contributo dos sistemas de energia renovável selecionados. Para aplicação da metodologia de rentabilidade é agora necessário enunciar a metodologia de cálculo das necessidades nominais de energia primária e dos custos globais, que incluem os custos de investimento inicial, custos de exploração, custos de manutenção e custos de substituição.

Tal como referido anteriormente, em 2010 surge a reformulação da Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), a qual foi complementada pelo Regulamento Delegado nº 244/2012, relativamente ao quadro metodológico de otimização de rentabilidade.

A aplicação do quadro metodológico comparativo tem como objetivo definir os níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético, numa perspetiva macroeconómica e financeira. Os cálculos dos níveis ótimos são feitos para as duas perspetivas e cabe ao EM decidir qual define como padrão de referência nacional.

De seguida, são apresentados os dados utilizados na aplicação da metodologia de rentabilidade económica, em especial, a identificação das medidas de melhoria de eficiência energética.

4.2 Metodologia de determinação das necessidades energéticas e custos globais

Os cálculos das necessidades energéticas são realizados utilizando o método sazonal. Os cálculos seguem a metodologia nacional, presente no REH, e encontram-se em conformidade com as normas europeias (ISO 13789:2007; ISO 13790:2006). Deste modo, as necessidades nominais de energia primária de um edifício de habitação, $\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2.\text{ano})$, resultam da seguinte expressão (REH, 2013):

$$\begin{aligned}
N_{tc} = & \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \times N_{ic}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \times \delta \times N_{vc}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} \\
& + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \times \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \times F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \\
& \times F_{pu,p}
\end{aligned} \quad (7)$$

N_{ic} – Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema k [kWh/(m².ano)];

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k ;

N_{vc} – Necessidades de energia útil para arrefecimento, supridas pelo sistema k [kWh/(m².ano)];

$f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k ;

Q_a – Necessidades de energia útil para a preparação de AQS, supridas pelo sistema k [kWh/ano];

$f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para a produção de AQS supridas pelo sistema k ;

η_k – Eficiência do sistema k , que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de energia renováveis, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de queima;

j – Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável;

p – Fontes de origem renováveis;

$E_{ren,p}$ – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p , [kWh/ano] incluindo apenas energia consumida;

$W_{vm,j}$ – Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, [kWh/ano];

A_p – Área interior útil de pavimento [m²];

δ – Igual a 1, exceto para uso de arrefecimento (N_{vc}) que pode tomar o valor 0 sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que equivale às condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado;

$F_{pu,j}, F_{pu,p}$ – Fator de conversão de energia útil para energia primária, [kWh_{EP}/kWh].

A energia primária corresponde à energia que ainda não foi sujeita a qualquer processo de conversão ou de transformação. Os Estados-Membros devem calcular as necessidades de energia primária por recurso aos fatores de conversão de energia primária estabelecidos a nível nacional (Comissão Europeia, 2012).

Da expressão matemática (7), enunciada anteriormente, as parcelas referentes às necessidades de energia primária de arrefecimento e ventilação mecânica são consideradas zero, uma vez que no edifício não existem equipamentos de arrefecimento e não existe ventilação mecânica.

Atualmente, a metodologia utilizada para o cálculo do desempenho energético de edifícios está presente no REH e, entrou em vigor em Dezembro de 2013. O cálculo enunciado no REH pode ser feito através de uma ferramenta disponibilizada pelo Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção (ITeCons). Esta ferramenta consiste numa folha de cálculo em formato Microsoft Excel® (IteCons, 2014). Nesta folha de cálculo começa-se por identificar a localização do edifício de modo a utilizar os dados climáticos do local. Nos dados de entrada do *software* inserem-se os parâmetros relativos ao edifício como: os tipos de sistemas de aquecimento/arrefecimento, as características da envolvente exterior, interior e envidraçados, as tipologias e características das pontes térmicas lineares existentes, entre outras. Este programa permite a comparação entre os valores obtidos e os valores de referência apresentados na legislação nacional.

Em relação aos custos globais, o cálculo pode ser analisado segundo duas perspetivas: a financeira e a macroeconómica.

A análise financeira descreve a perspetiva do consumidor, isto é, representa o preço que o cliente terá de pagar pelo investimento que realiza, incluindo o valor dos impostos e dos encargos, nomeadamente o IVA.

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \times R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad (8)$$

Em que:

τ – Período de cálculo;

$C_g(\tau)$ – Custo global (relativo ao ano inicial τ_0) no período de cálculo;

C_I – Custos de investimento inicial para a medida ou conjunto de medidas j ;

$C_{a,i}(j)$ – Custo anual no ano i para a medida ou conjunto de medidas j ;

$V_{f,\tau}(j)$ – Valor residual da medida ou conjunto de medidas j no final do período de cálculo (em relação ao ano inicial τ_0);

$R_d(i)$ – Factor de desconto para o ano i , com base na taxa de desconto r , e que se calcula do seguinte modo:

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1 + \frac{r}{100}} \right)^p \quad (9)$$

Sendo p o número de anos a partir do período inicial e r a taxa de desconto real.

A análise macroeconómica é uma análise mais ampla, que representa a perspetiva política. Quando se faz o cálculo macroeconómico dos custos globais é necessário incluir os custos associados à emissão de carbono, no entanto não são aplicados os valores dos impostos e encargos.

$$C_g(\tau) = C_l + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \times R_d(i) + C_{c,i}(j)) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad (10)$$

$C_{c,i}(j)$ – Custo do carbono para a medida ou conjunto de medidas j durante o ano i

Ainda na determinação do custo global é importante considerar o valor residual das medidas. Este valor é aplicado a todos os componentes no fim do período de cálculo (30 anos) e, representa o valor descontado no cálculo do custo global.

4.3 Dados para a aplicação da metodologia de determinação da rentabilidade económica

4.3.1 Definição do edifício de referência

O edifício de referência descrito na secção 3.1 tem as características definidas no quadro 3.1.

Esse edifício de referência possui um esquentador a gás natural como sistema de apoio para a produção de AQS, que tem 18 anos, assume-se que a sua eficiência é de 60%. Este tipo de equipamentos tem um ciclo de vida de 20 anos, deste modo é previsível que ao fim do 2º ano do período de cálculo, o esquentador seja substituído por outro mais recente.

Em relação aos restantes sistemas, nomeadamente sistemas de aquecimento/arrefecimento ou fontes de energia renováveis para produção de energia, não há qualquer instalação. A ventilação da habitação é feita de um modo natural, as janelas não têm classificação relativamente à classe de permeabilidade ao ar e as caixas de estores têm permeabilidade alta.

4.3.2 Identificação de medidas de eficiência energética

As medidas aplicadas ao edifício padrão pretendem melhorar a eficiência do mesmo. De seguida são descritas as medidas escolhidas para este estudo nas diferentes áreas de intervenção.

- Envolvente

A envolvente do edifício é constituída pela envolvente opaca (cobertura, paredes e pavimento) e pela envolvente envidraçada (janelas).

A envolvente envidraçada não sofre alterações, ou seja, as janelas não constituíram no presente estudo uma medida de melhoria.

Relativamente à envolvente opaca, o edifício de referência em estudo não tem qualquer tipo de isolamento na envolvente. A opção para melhorar o isolamento térmico da habitação é a aplicação de um material isolante nas paredes, cobertura e/ou pavimento.

Existem vários tipos de materiais para o isolamento térmico da envolvente mas, através de estudos de avaliação da rentabilidade económica realizado para vários tipos e espessuras de isolamento, demonstra-se que, em Portugal, o poliestireno expandido moldado (EPS) obtém excelentes desempenhos ao nível de redução de custos globais (Ribeiro, 2013; Tadeu, 2013 e Gonçalves, 2013). Deste modo, o tipo de material escolhido para o isolamento do edifício padrão em estudo foi EPS e, caso seja aplicado o isolamento térmico terá 100 mm de espessura para a cobertura, e 80 mm para as paredes e pavimento. Os custos iniciais do isolamento térmico aplicado na envolvente estão apresentados no seguinte, Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Custo inicial do reforço térmico da envolvente

Envolvente	Custo inicial (€)
Cobertura (EPS 100 mm)	1010
Parede (EPS 100 mm)	939
Pavimento (EPS 80 mm)	1728

- Sistemas convencionais

Para aumentar a eficiência energética da habitação podem-se alterar alguns dos equipamentos já existentes ou aplicar equipamentos novos. Uma medida a ser implementada é a substituição do esquentador a gás antigo por um mais moderno e com uma eficiência maior. O novo esquentador também funciona a gás natural, mas tem uma eficiência de 78%, o tempo de vida do aparelho é de 20 anos.

No edifício padrão não existia nenhum sistema de aquecimento para satisfazer as necessidades de aquecimento, por isso surge a aplicação de um novo equipamento, o emissor elétrico. Este aparelho faz o aquecimento de espaços, quando está ligado à corrente elétrica, é de fácil instalação, ocupa pouco espaço e têm uma eficiência de, aproximadamente, 100%.

- Fontes de energia renováveis

Finalmente, a última área de intervenção de medidas de melhoria de eficiência energética, as energias renováveis, que são o foco desta dissertação. Durante este trabalho, foi feito um levantamento de mercado sobre os equipamentos e os respetivos custos iniciais, o custo inicial de um sistema resulta da soma do custo do equipamento com o custo de mão-de-obra. Os custos de equipamento foram obtidos em lojas especializadas, catálogos de empresas, entre outros. Os custos de mão-de-obra, devido à falta de informação, foram consultados no gerador de preços do CYPE (CYPE@, 2014).

De modo a minimizar a quantidade de combinações simuladas, apenas são simulados os melhores equipamentos. Para escolher o melhor sistema não se deve considerar apenas o custo, pois a energia útil (kWh/ano) também deve ser tida em consideração. Logo para eleger os sistemas mais rentáveis, calcula-se os custos de produção de energia, que resultam do quociente do custo global pela energia útil (€/kWh) para cada equipamento e, faz-se uma comparação de rentabilidade de soluções. Esta análise segue o que está descrito na EN 15459 e, é utilizada para a comparação entre qualquer tipo de sistema (sistemas convencionais e fontes de energia renováveis).

No caso dos sistemas solares térmicos em estudo, a comparação de sistemas é feita através do custo inicial por energia útil (€/kWh) pois, são sistemas com tecnologia semelhante, ciclos de renovação iguais (20 anos) e o maior custo destes sistemas é o inicial. Nesta análise só entram os sistemas ST1, ST3, ST6 e ST7, sistemas que igualam ou superam a contribuição do coletor padrão, referido na secção 3.2.

O custo de produção de energia de solares térmicos obtém-se através do quociente entre o custo inicial e a energia útil dos equipamentos, representados no Quadros 4.2. Os custos de produção de energia foram calculados para Albufeira, mas a ordenação dos valores seria semelhante para as outras regiões.

Quadro 4.2 – Custo inicial, energia útil e custo de produção de energia dos sistemas solares térmicos

Sistemas Solares Térmicos	Custo inicial (€)	$E_{\text{útil}}$ Albufeira (kWh/ano)	Custo de produção de energia (€/kWh –Albufeira)
ST1	2233	2106	1,06
ST3	1802	2134	0,84
ST6	3573	2223	1,61
ST7	2698	1899	1,42

Do ponto de vista do proprietário do edifício, interessa, numa abordagem inicial, escolher o sistema que apresenta menor valor de custo de produção de energia. Pelo Quadro 4.2, é possível verificar que o melhor sistema é ST3.

Os sistemas a biomassa, em estudo, podem utilizar a lenha ou *pellets* como combustível mas, uma vez que o custo de produção de energia (€/kWh) para ambos é similar, os valores considerados, para efeito de cálculo, são os dos *pellets*. Relativamente ao poder calorífico (kWh/kg), os valores são ligeiramente distintos, os *pellets* têm aproximadamente 5 kWh/kg e a lenha cerca de 4 kWh/kg (PRESTENERGIA@, 2014; Solius@, 2014).

Quando se trata de seleccionar o melhor sistema a biomassa, o processo torna-se mais complexo, pois o custo de produção de energia deve ter em conta o custo global do equipamento ao longo dos 30 anos, consultar o Quadro 4.3. O custo global, para além do custo inicial, tem agregado o custo de exploração, ou seja, de consumo de combustível.

Quadro 4.3 – Custo global e custo de produção de energia dos sistemas a biomassa

Sistemas a biomassa	Custo inicial (€)	Custo de exploração (€)	Custo global (€)	$E_{\text{útil}}$ Albufeira (kWh/ano)	Custo de produção de energia (€/kWh –Albufeira)
B1	4371	4637	9008	3381	0,089
B2	1588	4198	5786	3381	0,057
B3	2004	4122	6126	3381	0,060
B4	2414	4380	6794	3381	0,067
B5	2151	4606	6757	3381	0,067
B6	2698	4649	7347	3381	0,072
B7	1521	4351	5872	3381	0,058
B8	5554	13823	19377	13522	0,048
B9	6579	14131	20710	13522	0,051
B10	4725	15895	20620	14473	0,047
B11	11765	18001	29766	15899	0,062

O custo global, representado no Quadro 4.3, é calculado através da expressão (11) e (12):

$$C_{\text{global}}(B) = C_{\text{exploração}}(B) + C_{\text{inicial}}(B) \quad (11)$$

Em que:

$$C_{\text{exploração}}(B) = C_{\text{energia}}(B) + C_{\text{manutenção}}(B) + C_{\text{substituição}}(B) - V_{\text{residual}}(B) \quad (12)$$

Sendo:

$C_{\text{energia}}(B)$ – o custo de energia resulta da multiplicação do preço de energia para *pellets*/lenha pela energia final utilizada pelo equipamento. O preço de energia para os *pellets*/lenha para o ano de 2014 está fixado, aproximadamente, nos 0,05 €/kWh (IVA incluído), este valor foi conseguido nas empresas da especialidade. Como a Comissão Europeia não apresenta evolução de preços de energia para os *pellets*, neste trabalho considerou-se a evolução do preço dos *pellets*/lenha igual à evolução de preços da eletricidade (Eurostat@, 2014). A energia final utilizada pelo sistema a biomassa resulta do quociente da $E_{\text{útil}}$ (consultar o Quadro 3.7, secção 3.3) pela eficiência do equipamento (consultar o Quadro 3.6, secção 3.3);

$C_{\text{manutenção}}(B)$ – custo de manutenção que representa 1% do custo inicial;

$C_{\text{substituição}}(B)$ – custo de substituição, só se aplica quando o equipamento termina o seu tempo de vida e, é igual ao custo inicial;

$V_{residual (B)}$ – valor residual é o valor descontado no cálculo do custo exploração e, representa 50% do custo de substituição.

Ainda no Quadro 4.3, estão representados os custos de produção de energia que surgem da razão entre os custos globais, durante 30 anos, e a energia útil do equipamento durante esse mesmo período. Deste modo, podemos verificar que o melhor sistema a biomassa será o B10, pois apresenta o menor valor em €/kWh.

Assim sendo, às medidas de melhoria do edifício padrão, já consideradas, poderá juntar-se a instalação um sistema solar térmico (ST3), do tipo termossifão com capacidade de 300 litros, área de captação de 3,9 m² e com uma eficiência de 100%, para a produção de AQS.

Em alternativa, pode-se optar por instalar um sistema a biomassa, uma salamandra a água (B10), com consumo de lenha e uma eficiência de 82%, que para além da climatização do edifício, também produz AQS. Mas ao considerar que este equipamento está instalado no interior da habitação, só funcionará nos meses da estação de aquecimento.

Uma outra medida de melhoria de eficiência energética é combinar os dois sistemas, o solar térmico com a biomassa. Assume-se que a salamandra desempenha uma dupla função e é auxiliada pelo coletor para a produção de AQS.

Assim, da energia útil necessária para a preparação de AQS (2377 kWh/ano), 2134 kWh/ano são garantidos pelo solar térmico e os restantes, 243 kWh/ano do sistema a biomassa.

4.3.3 Cálculo das necessidades de energia primária

No cálculo das necessidades energéticas aplica-se o método sazonal. Este método permite a diferenciação entre as necessidades de energia primária consoante as condições climáticas da região onde o edifício está inserido.

A obtenção da energia primária depende do tipo de fonte de energia selecionada, fazendo variar os fatores de conversão. Em Portugal, os fatores de conversão poderão ser periodicamente atualizados ou complementados por despacho do diretor-geral de Energia e Geologia (REH, 2014).

Durante o presente trabalho, os fatores de conversão utilizados foram 1 kWh_{EP}/kWh para a biomassa, pois é uma energia térmica de origem fóssil, 2,5 kWh_{EP}/kWh para a eletricidade,

independente da origem (renovável ou não renovável) e $1 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh}$ para o gás natural, pois enquadra-se na categoria dos combustíveis gasosos não renováveis.

4.3.4 Cálculo do custo global

O cálculo do custo global, para cada pacote de medidas, foi realizado para um período de 30 anos e, determinado com base numa folha de cálculo de rentabilidade desenvolvida por (Tadeu, 2013) baseada no Regulamento nº 244 (Comissão Europeia, 2012). Estes custos calculam-se com base na expressão (8) ou (10), consoante a perspetiva económica e englobam os custos de investimento, custos anuais, valor residual e, na perspetiva macroeconómica, custos de carbono.

Os custos de investimento iniciais surgem da pesquisa de mercado, como já foi referido na secção 4.3.2. Os custos anuais/exploração abrangem os custos de manutenção, que se consideraram 1% dos custos iniciais e os custos de energia. Os custos de carbono resultam da multiplicação do somatório das emissões anuais de GEE, em toneladas equivalente de CO_2 por ano, pelo preço previstos das emissões, em euros por tonelada equivalente de CO_2 . As emissões anuais produzidas pelo edifício resultam da utilização da eletricidade e do gás natural que apresentam, respetivamente, os fatores de emissão $0,369 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$ e $0,202 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$, a utilização de energias renováveis corresponde a fatores nulos (Comissão Europeia, 2010b).

Em relação ao valor residual, os materiais aplicados na envolvente opaca têm um tempo de vida de aproximadamente 50 anos e os envidraçados 40 anos, logo não requerem substituição no período em análise (30 anos), uma vez que o período de cálculo deste trabalho são 30 anos. O valor residual é igual a 40% do custo inicial, para a envolvente opaca e, 25% do custo inicial para os envidraçados.

Já os sistemas convencionais e as fontes de energia renováveis são substituídos após o seu tempo de vida útil, 20 anos. No caso, o valor residual corresponde a 50% do custo de substituição, visto que só passaram 10 dos 20 anos que o equipamento pode durar. A Figura 4.1 mostra o cálculo do valor residual de um componente do edifício com um tempo de vida inferior ao período de cálculo.

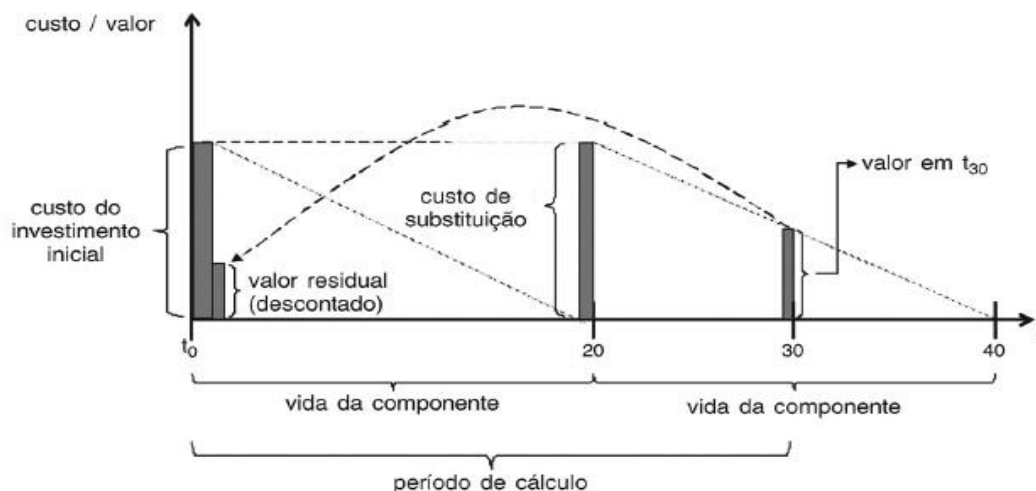


Figura 4.1 - Cálculo do valor residual de uma fonte de energia renovável do edifício (Comissão Europeia, 2012)

4.3.5 Análise de sensibilidade

Na análise de sensibilidade são estudados parâmetros que influenciam os custos globais, podendo alterar o ótimo de rentabilidade (BPIE, 2013b).

Neste estudo, analisaram-se as taxas de desconto apenas sobre a perspetiva financeira, como já foi mencionado esta é perspetiva do consumidor quando faz um investimento no seu edifício, logo para o presente trabalho interessa analisar com mais detalhe esse ponto de vista. As taxas de desconto consideradas são 6 e 12%.

Em relação à evolução dos preços de energia, no presente trabalho, foram feitas duas análises para efeitos de comparação. Numa delas considera-se o pior cenário, onde os preços da energia evoluem a uma taxa constante de aumento de 2,5% ao ano, para as várias fontes de energia simuladas (biomassa, eletricidade e gás natural). Para a segunda análise, seguem-se os dados recomendados pela metodologia, os dados do Eurostat (Eurostat@, 2014; Comissão Europeia, 2013), em que a evolução do preço da energia é mais otimista. A Figura 4.2 demonstra a evolução do preço para uma das fontes de energia simuladas (eletricidade) ao longo dos anos, através das duas análises referidas.

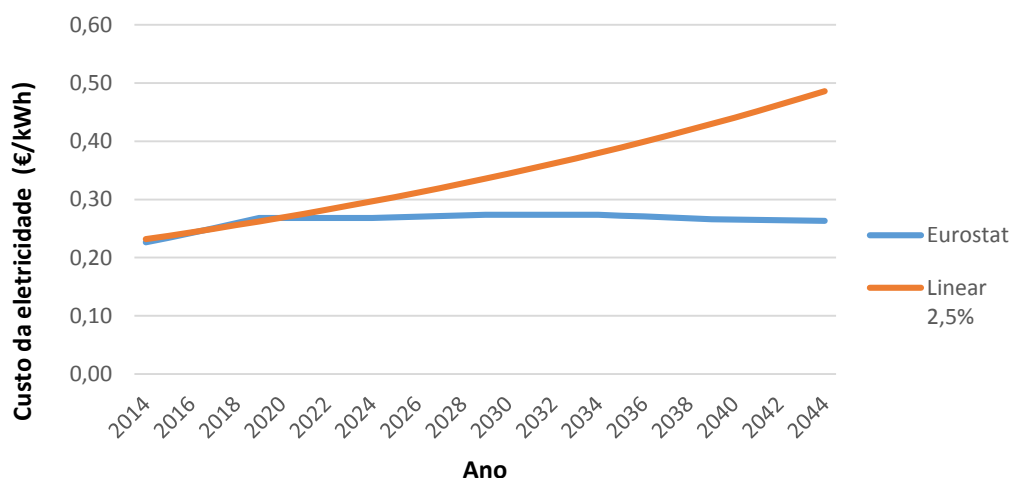


Figura 4.2 – Evolução dos custos da eletricidade (€/kWh)

Para além dos parâmetros, cuja análise é imposta pela metodologia, analisou-se a variação da estimativa das necessidades energéticas do edifício tendo em conta que os valores das necessidades, obtidas pelo método sazonal, são muito excessivos comparados com as faturas reais de consumo consideram-se, nesta análise, que as necessidades sejam apenas 20% do valor calculado. Estes 20% são adequados à diferença de dados de consumo apresentados pelo SCE e pelo INE e, aproximam-se mais dos valores apresentados nas faturas de consumo.

4.3.6 Determinação dos níveis ótimos de rentabilidade

Após a seleção dos dados que se pretendem simular e, depois de calculadas todas as necessidades energéticas e custos globais, associadas às medidas de melhoria implementadas no edifício de referência, são apresentados no capítulo seguinte os resultados do estudo e procede-se à respetiva análise.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Assumindo as medidas de eficiência energética descritas na secção 4.3.2, fizeram-se as simulações através da folha de cálculo de rentabilidade desenvolvida por (Tadeu, 2013), baseada no Regulamento nº 244 (Comissão Europeia, 2012).

Das simulações resultam 96 pacotes de medidas que serão divididas em custos globais inferiores e custos globais superiores. Os custos globais dos pacotes são divididos em valores inferiores (-30%) e superiores (+30%) para evitar erros relacionados com a oscilação de mercado relativamente aos custos de manutenção, substituição entre outros e, para que todos os custos de equipamento de mercado sejam abrangidos. Após esta divisão surgem 40 pacotes para os custos inferiores e para os superiores. Aos 40 pacotes são somados 16 pacotes de medidas que terão os mesmos valores de custo global que para o limite superior, quer no inferior.

Deste modo, após se filtrarem os pacotes, o número total de pacotes a serem analisados são 56. Os 56 pacotes resultam da soma de: 16 pacotes, sem qualquer tipo de fonte de energia renovável, Quadro 5.1, 16 pacotes com a instalação de solar térmico para produção de AQS (consultar o Quadro 5.2), 16 com a instalação de um equipamento a biomassa, que faz o aquecimento de compartimentos a água (consultar o Quadro 5.3) e, 8 pacotes, que combinam o sistema solar térmico com a biomassa, em simultâneo, representados no Quadro 5.4.

Quadro 5.1 – Pacotes de medidas de eficiência energética base, sem FER

PACOTES																
Especificações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Cobertura																
Sem isolamento ($U=2,8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)								x		x	x	x	x	x	x	x
EPS 100 mm ($U=0,319 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)	x	x	x	x	x	x	x		x							
Parede																
Sem isolamento ($U=1,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)				x		x	x		x			x		x	x	x
EPS 80 mm ($U=0,334 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)	x	x	x		x			x		x	x		x			
Pavimento																
Sem isolamento ($U=1,65 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)			x		x		x		x		x		x		x	x
EPS 80 mm ($U=0,354 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)	x	x		x		x		x		x		x		x		
Envidraçados																
Janela metálica sem corte térmico ($U=4,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sistemas																
Emissor elétrico	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Esquentador antigo ($\eta=60\%$)		x			x	x			x	x			x	x		x
Esquentador novo ($\eta=78\%$)	x		x	x			x	x			x	x			x	
FER	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nos Quadros 5.2 e 5.3 são representados apenas os sistemas, pois as medidas para a cobertura, paredes, pavimento e envidraçados mantém-se iguais aos do Quadro 5.1. Ou seja, por exemplo, o pacote 1 é inicialmente estudado com os sistemas indicados no Quadro 5.1 e, posteriormente, alterado para os sistemas do Quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Pacotes de medidas de eficiência energética com sistema solar térmico

PACOTES																
Especificações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Sistemas																
Emissor elétrico	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Esquentador antigo ($\eta=60\%$)		x			x	x			x	x			x	x		x
Esquentador novo ($\eta=78\%$)	x		x	x			x	x			x	x			x	
FER (Solar Térmico)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Quadro 5.3 – Pacotes de medidas de eficiência energética com sistema a biomassa

PACOTES																
Especificações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Sistemas																
Emissor elétrico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esquentador antigo ($\eta=60\%$)		x			x	x			x	x			x	x		x
Esquentador novo ($\eta=78\%$)	x		x	x			x	x			x	x			x	
FER (Biomassa)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Quadro 5.4 – Pacotes de medidas de eficiência energética com sistema solar térmico e biomassa

PACOTES								
Especificações	A	B	C	D	E	F	G	H
Cobertura								
Sem isolamento ($U=2,8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)		x		x		x		x
EPS 100 mm ($U=0,319 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)	x		x		x		x	
Parede								
Sem isolamento ($U=1,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)	x	x			x	x		
EPS 80 mm ($U=0,334 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)			x	x			x	x
Pavimento								
Sem isolamento ($U=1,65 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)	x	x	x	x				
EPS 80 mm ($U=0,354 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)					x	x	x	x
Envidraçados								
Janela metálica sem corte térmico ($U=4,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)	x	x	x	x	x	x	x	x
Sistemas								
Emissor elétrico	-	-	-	-	-	-	-	-
Esquentador antigo ($\eta=60\%$)	-	-	-	-	-	-	-	-
Esquentador novo ($\eta=78\%$)	-	-	-	-	-	-	-	-
FER (Solar térmico e Biomassa)	x	x	x	x	x	x	x	x

Os dados do edifício unifamiliar foram simulados para três localizações distintas, como já foi mencionado anteriormente. No entanto, durante a análise de resultados são utilizados os dados para Amares, pois é o local que tomamos como referência condições climáticas médias.

Durante a análise de resultados é apresentado o período de retorno simples (PRS) e o período de retorno atualizado (PRA) para os melhores conjuntos de medidas. O PRS é o número de anos

necessário para recuperar o investimento inicial, o PRA é o número de anos necessário para recuperar o investimento inicial tendo em conta os valores atualizados de acordo a taxa de desconto.

A Figura 5.1 demonstra os período de retorno para os pacotes sem e com FER.

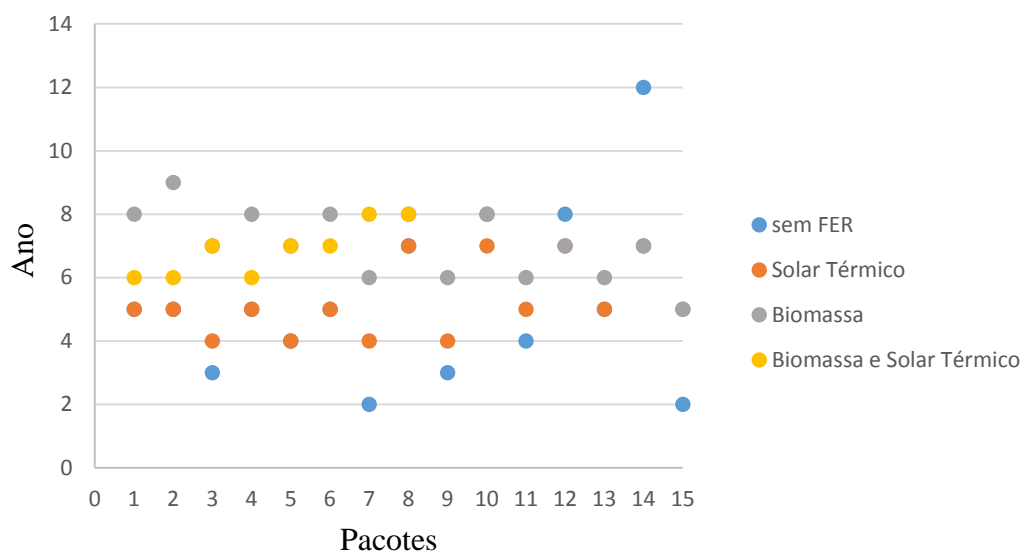


Figura 5.1 – PRS dos pacotes sem e com FER

Pela Figura 5.1, é possível perceber que os pacotes com menor PRS são os que não consideram a instalação de energias renováveis. Em seguida, surgem os pacotes com instalação de sistema solar térmico que são os mais competitivos em termos de recuperação do investimento inicial.

Numa primeira análise são estudados os diferentes pacotes de medidas de eficiência energética e, o efeito que a instalação de FER provoca nos edifícios. Assume-se inicialmente que as necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) são 20%, como referido na secção 4.3.5, a taxa de desconto para a perspetiva financeira é 6%, e para a macroeconómica 3% e a evolução do preço das energias segue os dados do Eurostat.

Na Figura 5.2 está representada a curva de custo ótimo dos pacotes base ou seja, os pacotes de medidas de eficiência que não têm FER, que estão apresentados no Quadro 5.1. Pela Figura é possível saber quais os custos globais por pacote segundo as duas perspetivas, financeira e macroeconómica. Os custos, segundo as duas perspetivas, encontram-se na mesma linha vertical, pois as necessidades de energia primária são as mesmas para ambas as perspetivas.

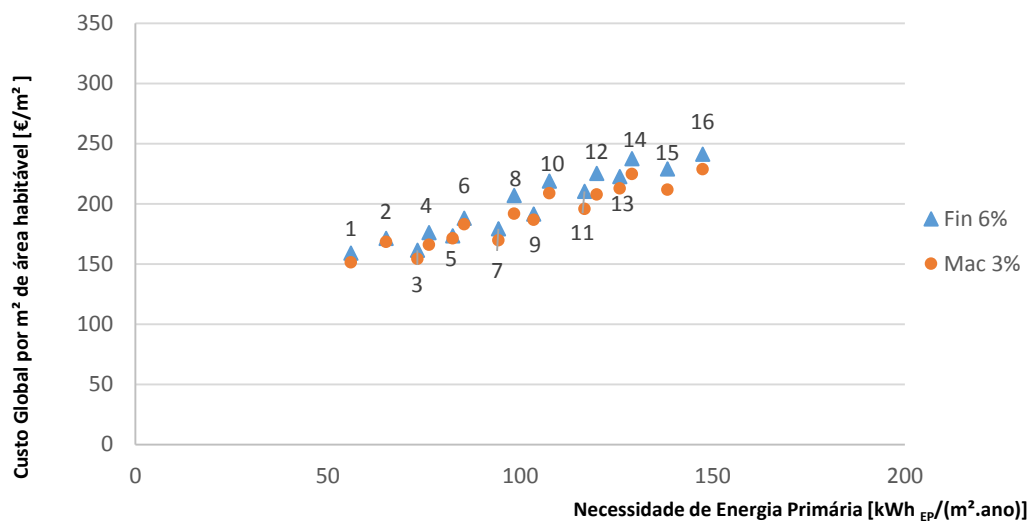


Figura 5.2 – Curva custo ótimo para os pacotes sem FER

Pela Figura 5.2, percebe-se que o melhor conjunto de medidas é o número 1, pois apresenta o menor valor para as necessidades de energia primária e menor valor de custo global. Este pacote tem um PRS de 5 anos e PRA de 6 anos.

A Figura 5.3 apresenta a curva de custo ótimo para pacotes com FER, a) pacotes com sistema solar térmico e biomassa, simultaneamente (consultar o Quadro 5.4), b) pacotes com sistema a biomassa (consultar o Quadro 5.3) e c) pacotes com instalação de sistema solar térmico (consultar o Quadro 5.2).

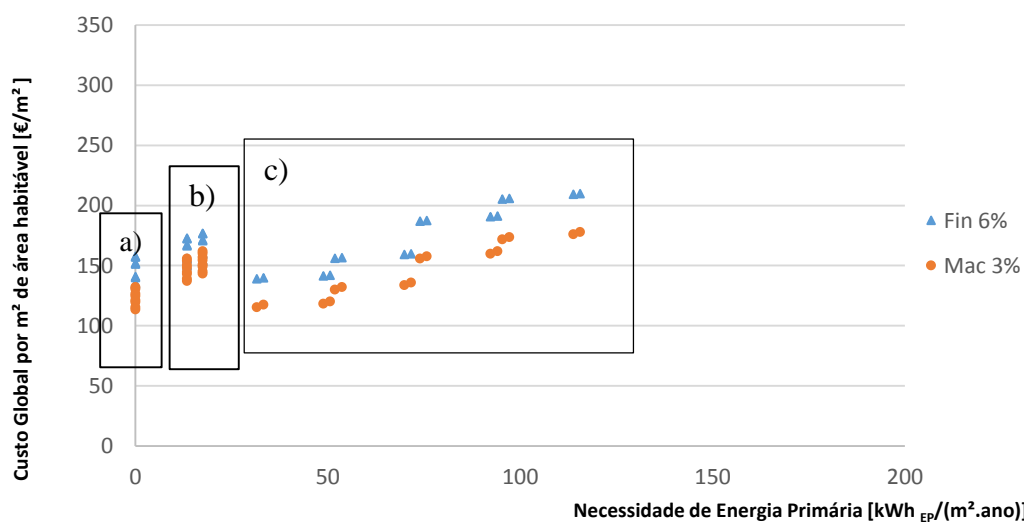


Figura 5.3 – Curva custo ótimo para os pacotes com FER: a) solar térmico e biomassa, simultaneamente; b) biomassa; c) solar térmico

Comparando as Figuras 5.2 e 5.3, é possível verificar que a instalação de FER no edifício faz diminuir as necessidades de energia primária, pelo menos, para a maioria dos conjuntos de medidas.

Relativamente à Figura 5.3, a parcela a) mostra os conjuntos de medidas que combinam um sistema solar térmico com um sistema a biomassa. Esta combinação é sustentável, facto comprovado pelas necessidades de energia primária nulas. Estes sistemas híbridos têm a capacidade de se complementar, durante o Verão e nos dias de sol no Inverno, o coletor solar produz AQS, caso haja uma quebra de água quente, durante os dias frios e chuvosos, o equipamento a biomassa produz AQS necessárias, sem ter de recorrer a um sistema de apoio, esquentador. Para além das AQS, o equipamento a biomassa faz o aquecimento dos compartimentos da habitação no período de aquecimento, evitando a utilização do emissor elétrico. A melhor solução encontrada na Figura 5.3 é o pacote 1, descrito no Quadro 5.4. O PRS é de 6 anos, já o PRA é igual a 8 anos.

Na parcela b), a diminuição das necessidades energéticas deve-se à substituição do emissor elétrico por um equipamento a biomassa e, conseqüentemente à diminuição do consumo de eletricidade. Estes pacotes estão organizados em dois valores diferentes de energia primária. O valor mais baixo, $13 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$, referem-se aos pacotes com esquentadores novos, mais eficientes; os valores mais altos, $17 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$, aos pacotes com esquentadores mais antigos. O melhor pacote de entre os apresentados é o número 7, cujas especificações se encontram no Quadro 5.3, o PRS é de 6 anos, o PRA é igual a 8 anos.

Na parcela c), os pacotes de medidas consideram a instalação de um sistema solar térmico, que implica uma diminuição das necessidades de energia primária, pois a colocação do sistema solar térmico, que produz AQS, evita a utilização permanente do esquentador a gás natural. O melhor conjunto de medidas é o A, descrito no Quadro 5.2. O PRS é de 5 anos, o PRA é igual a 7 anos.

A análise seguinte centra-se na verificação da influência dos custos globais superiores e inferiores na escolha do melhor pacote de medidas. As Figuras 5.4 e 5.5 representam os pacotes de medidas que incluem a instalação de FER, sobre a perspetiva financeira, perspetiva que interessa ao consumidor, a única coisa que diferencia estas Figuras são os custos globais. Na Figura 5.4 estão descritos os pacotes com os custos inferiores e, na Figura 5.5 os custos superiores.

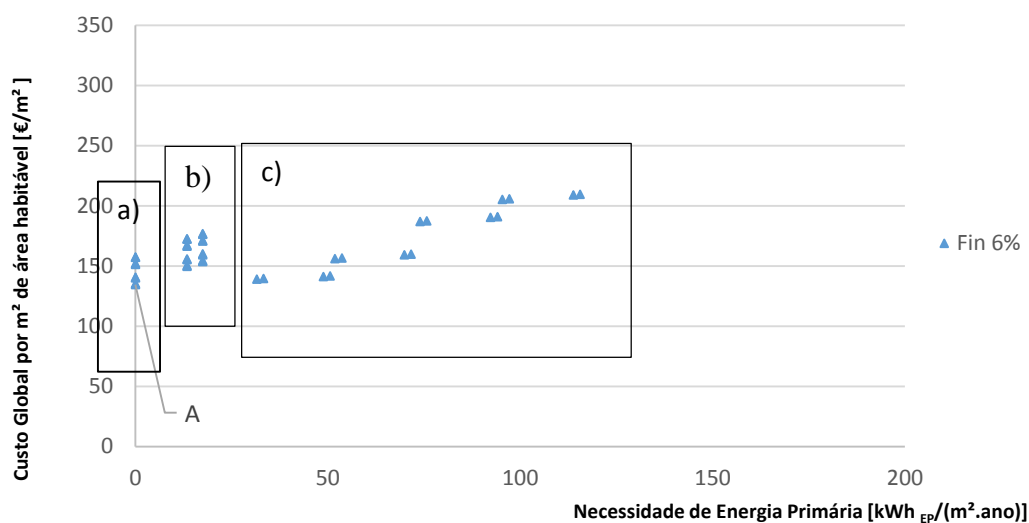


Figura 5.4 – Curva do custo ótimo para pacotes de medidas com FER, custos globais inferiores: a) solar térmico e biomassa, simultaneamente; b) biomassa; c) solar térmico

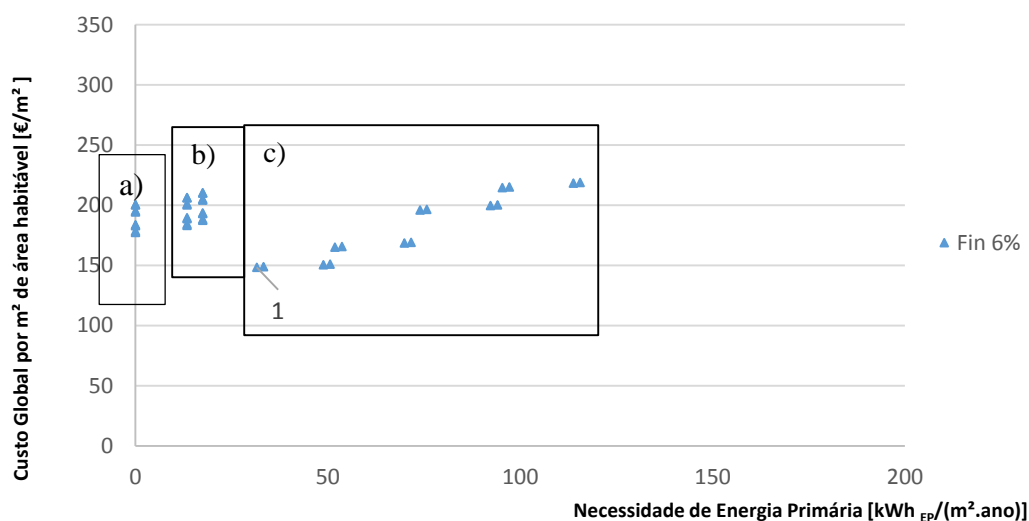


Figura 5.5 – Curva do custo ótimo para pacotes de medidas com FER, custos globais superiores: a) solar térmico e biomassa, simultaneamente; b) biomassa; c) solar térmico

Através das Figuras 5.4 e 5.5, é possível perceber que os custos globais dos pacotes de medidas sofrem um deslocamento para cima. Os pacotes em que a subida de custo global é mais notória são os que consideram a instalação de biomassa ou pacotes com a instalação conjunta (solar térmico e biomassa). Esta análise é importante, pois o ponto ótimo da curva muda se os custos

forem inferiores ou superiores. No conjunto de medidas representadas na Figura 5.4, custos globais inferiores, o melhor pacote é o número A, representado no Quadro 5.4, instalação de sistema solar térmico e biomassa. Este pacote tem PRS de 6 anos e PRA de 8 anos.

Na Figura 5.5, o ponto ótimo já não é o mesmo, para os custos superiores, os pacotes com dois sistemas de FER e com biomassa tornam-se mais dispendiosos. Logo o pacote ótimo é o número 1 do Quadro 5.2, que considera apenas a aplicação de sistema solar térmico, o PRS é de 6 anos e PRA de 8 anos.

A localização dos edifícios influencia as necessidades energéticas de uma habitação. Na Figura 5.6 estão representados os conjuntos de medidas com FER para as localizações Albufeira e Alfândega da Fé. Nesta análise utilizam-se as regiões opostas para que a comparação entre os pacotes de medidas seja visível.

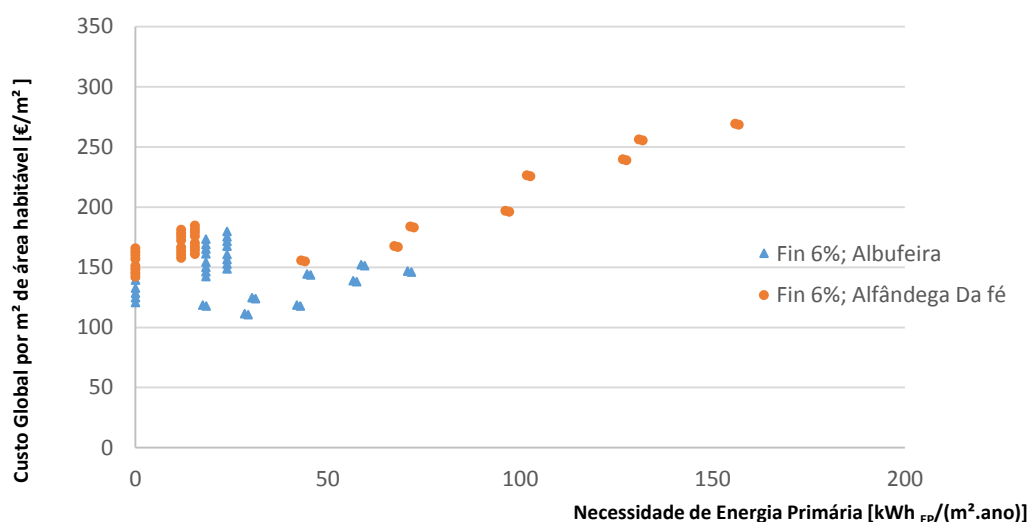


Figura 5.6 – Curva de custo ótimo para pacotes de medidas com FER, para Albufeira e Alfândega da Fé

Na Figura 5.6 nota-se que os conjuntos de medidas de Albufeira têm necessidades energéticas e custos globais menores em relação aos pacotes de medidas de Alfândega da Fé. Esta diferença é justificada pelas condições climáticas mais rigorosas de Alfândega da Fé, como as temperaturas exteriores inferiores, maiores altitudes, entre outros. O melhor conjunto de medidas para um edifício situado em Albufeira é o número 5 (consultar o Quadro 5.2), o PRS é de 5 anos e o PRA de 6 anos. Para Alfândega da Fé, o melhor pacote de medidas é o número A do Quadro 5.4, o PRS para este pacote é de 5 anos e o PRA de 6 anos.

Os últimos resultados apresentados são relativos à análise de sensibilidade dos parâmetros propostos na secção 4.2.5, todos os dados mostrados em seguida utilizam a localidade de Amares.

O primeiro parâmetro a ser analisado é a taxa de desconto sob a perspetiva financeira. As Figuras 5.7 e 5.8 representam as curvas de custo ótimo para as taxas de desconto financeiras, 6% e 12%, respetivamente, a evolução do preço da energia segue os dados do Eurostat.

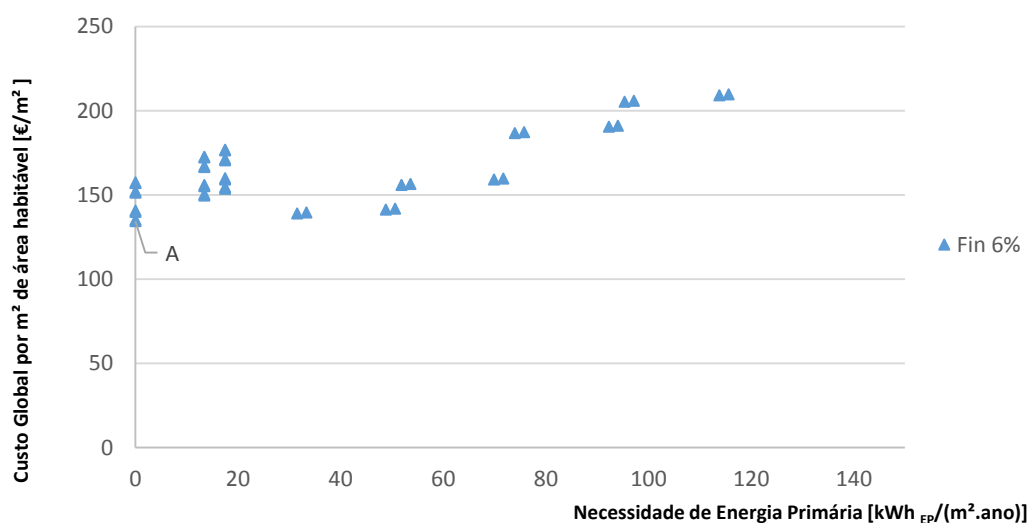


Figura 5.7 – Curva de custo ótimo para pacotes de medidas com FER, com taxa de desconto 6%

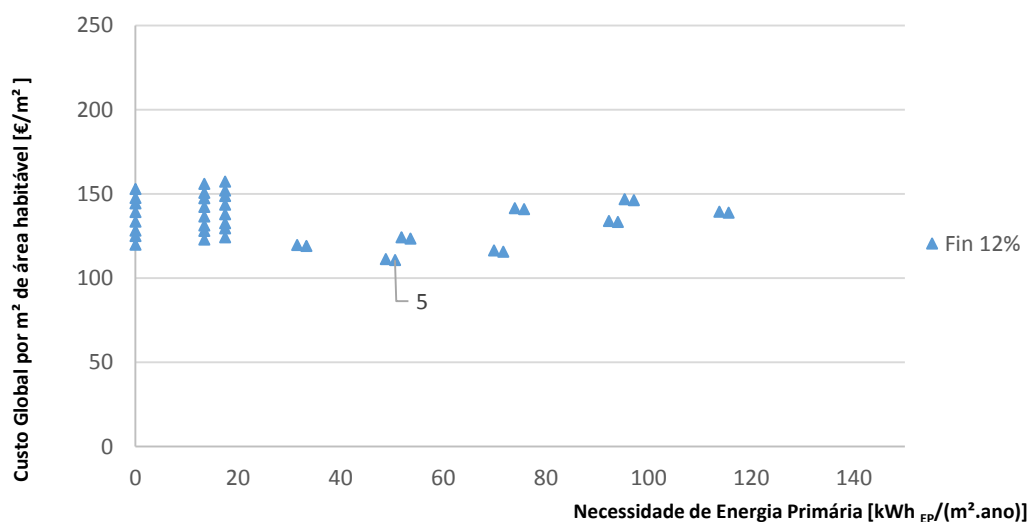


Figura 5.8 – Curva de custo ótimo para pacotes de medidas com FER, com taxa de desconto 12%

Através das Figuras anteriores (consultar as Figura 5.7 e 5.8), é possível perceber a influência da taxa de desconto nos custos globais dos pacotes de medidas, quanto maior for a taxa de desconto menor são os custos globais dos pacotes afetados. Esta relação pode ser comprovada pelas expressões (8) e (9) da secção 4.1. Pela expressão (9), é possível perceber que se a taxa de desconto (r) aumentar, o fator de desconto (R_d) diminui, de seguida, o fator de desconto é utilizado na expressão (8) e faz com que o valor do custo global (C_g) diminua. O melhor conjunto de medidas da Figura 5.7, com uma taxa de desconto igual a 6%, é o pacote A (consultar o Quadro 5.4), que considera a instalação de um sistema solar térmico e biomassa. Para a Figura 5.8, com uma taxa de desconto de 12%, o melhor pacote é o número 5, descrito no Quadro 5.2 e, considera apenas a instalação de um solar térmico.

Em seguida, analisa-se a evolução dos preços de energia segundo dois pontos de vista. Um dos procedimentos é mencionado no quadro metodológico de otimização da rentabilidade, utiliza dados do Eurostat, Figura 5.9. O aumento linear de 2,5%/ano, Figura 5.10, é admitido para que a comparação seja possível.

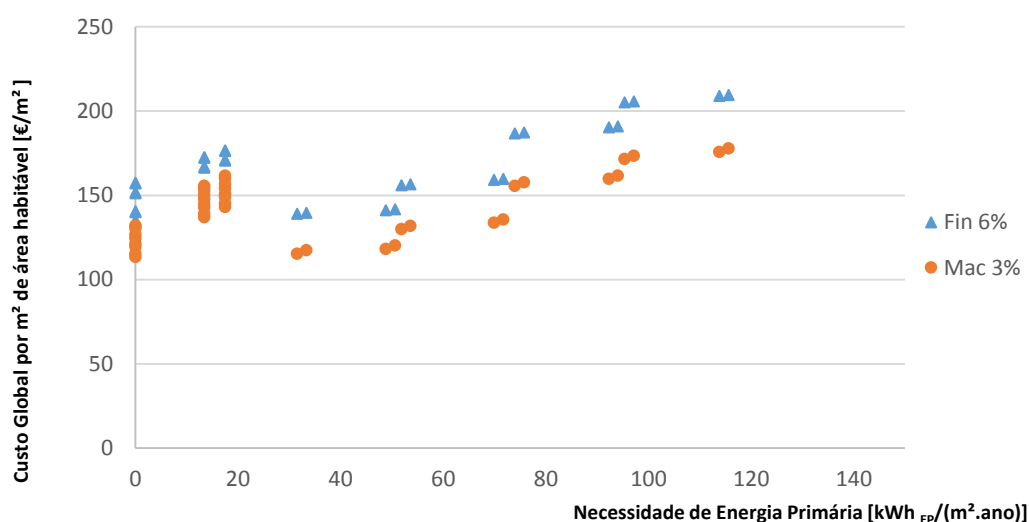


Figura 5.9 – Curva de custo ótimo para pacotes de medidas com FER, Eurostat

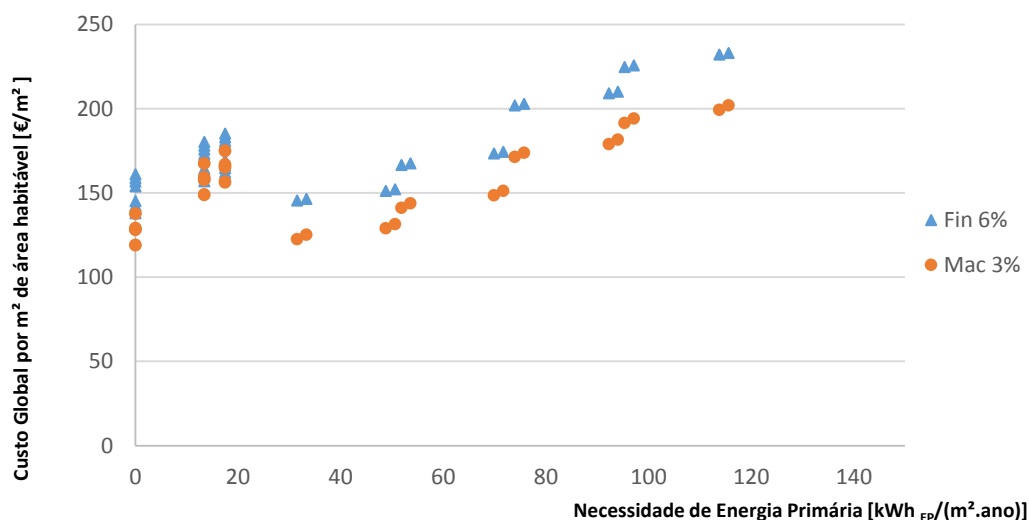
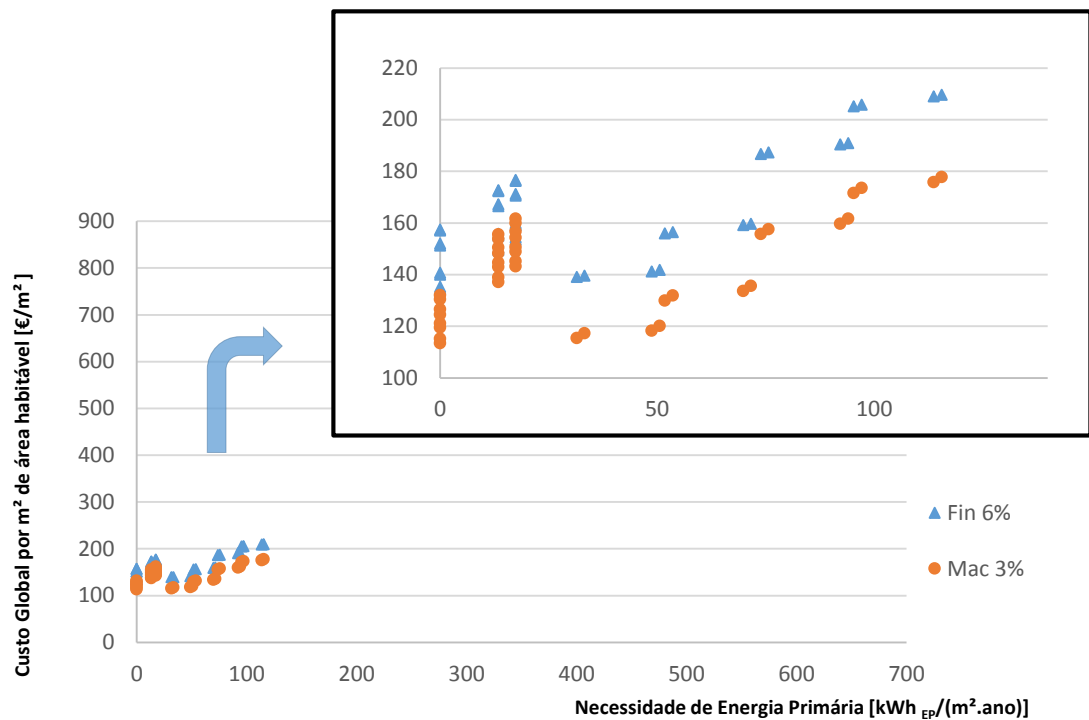


Figura 5.10 – Curva de custo ótimo para pacotes de medidas com FER, aumento linear de 2,5%/ano

Pelas Figuras 5.9 e 5.10, é possível perceber que os valores das necessidades de energia primária se mantêm iguais, a única diferença está nos valores dos custos globais, que no caso do aumento linear de 2,5%/ano, cenário mais pessimista, os custos globais sobem.

As necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) são um dos parâmetros que a análise de sensibilidade deve ter presente, uma vez que este parâmetro pode condicionar o cálculo de otimização de rentabilidade. As necessidades nominais de energia útil para aquecimento afetam diretamente as necessidades de energia primária, pois quanto maior for o consumo de energia útil do edifício maior são as necessidades de energia primária. As Figuras 5.11 e 5.12 representam as curvas de custo ótimo para pacotes de medidas com FER, com 20% e 100% das N_{ic} , respetivamente.



necessidades de energia primária estendem-se até aos 550 kWh_{EP}/(m².ano), na Figura 5.11, que considera 20% das N_{iC} , os valores não ultrapassam os 115 kWh_{EP}/(m².ano). O ponto ótimo da curva representada na Figura 5.11 é o pacote número A do Quadro 5.4, na Figura 5.12 a melhor opção é o pacote G do Quadro 5.4. Os dois melhores pacotes de medidas diferem no isolamento utilizado nas paredes e pavimento, no caso das N_{iC} serem consideradas a 100%, o isolamento é aplicado em toda a envolvente.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na presente dissertação estudou-se a aplicação de sistemas solares térmicos e/ou sistemas a biomassa num edifício unifamiliar, considerando a rentabilidade económica durante um período de 30 anos. O edifício unifamiliar padrão utilizado representa o parque edificado em Portugal mas, com o objetivo de melhorar o desempenho energético da habitação, para além das medidas de eficiência relativas às FER, foram criados pacotes que incluem outras medidas de melhoria de eficiência, tais como o isolamento térmico da envolvente e substituição dos sistemas convencionais.

Para calcular os níveis ótimos de rentabilidade para o edifício em estudo, utilizou-se a metodologia proposta pela Comissão Europeia, presente no Regulamento Delegado n°244/2012 (Comissão Europeia, 2012). Através da aplicação da metodologia e, da análise de resultados realizada no capítulo 5, concluiu-se que:

- A escolha dos pacotes/conjunto de medidas de eficiência energética influencia as necessidades de energia primária e os custos globais pois, quando se inserem nos pacotes sistemas híbridos, as necessidades de energia primária diminuem para zero;
- As perspetivas financeiras e macroeconómicas apresentam a mesma solução ótima, que apenas difere nos valores dos custos globais, sendo a primeira perspetiva aquela que tem maiores valores, pois inclui o valor do IVA que, em Portugal, é 23%;
- Alguns dos dados de entrada, como os custos de manutenção e mão-de-obra, são dados cruciais para o desenvolvimento do trabalho, mas de difícil obtenção e com grande variabilidade em função da fonte, o que pode causar alguma interferência nos resultados;
- Nos pacotes que não consideram FER, 50 a 80 % dos custos globais são utilizados para pagar a energia consumida pelo edifício; se os pacotes considerarem a instalação de sistemas híbridos, os custos de energia representam apenas 8 a 30 % dos custos globais;
- As taxas de desconto influenciam os custos globais dos pacotes. Os países com uma situação económica favorável têm taxas de desconto menores;
- A evolução dos preços de energia é um dos parâmetros importantes para a viabilidade do investimento. Se a evolução do preço de energia seguir os dados recomendados pelo Eurostat, os valores do custo da energia mantêm-se mais ou menos constantes, o que pode levar a um desincentivo no investimento em medidas de melhoria. Se a evolução

do preço de energia aumentar 2.5%/ano, os custos de energia irão aumentar e torna-se rentável apostar em medidas de eficiência, nomeadamente, em FER;

- As necessidades de energia primária variam em função das N_{ic} : quando as N_{ic} são consideradas a 100%, os valores das necessidades de energia primária são elevados e os custos globais dos pacotes vão refletir a maior influencia dos custos de exploração;
- A análise dos custos de investimento dos equipamentos inferiores e superiores é importante, pois os pacotes ótimos irão diferir e, para além disso, inclui-se assim a possível variabilidade dos preços de mercado evitando surpresas nos resultados;

Nesta dissertação foram escolhidas três localizações (Alfândega da Fé, Amares e Albufeira) para o edifício de referência. Estas regiões diferem nas condições climáticas logo, os requisitos de aquecimento também são diferentes. Alfândega da Fé é a zona climática com maiores requisitos de aquecimento por isso, beneficia da aplicação de pacotes com instalação de equipamentos a biomassa e solar térmico. Em Albufeira, as necessidades de energia para aquecimento são inferiores e a energia solar por mês destinada a aquecimento é maior, logo os pontos ótimos da zona são os pacotes com sistema solar térmico.

Assim, de acordo com os resultados analisados, conclui-se que os pacotes com FER são uma mais valia para os edifícios, uma vez que baixam as necessidades de energia primária. Para além disso, a utilização de FER mostrou-se uma boa opção pois, reduz os custos globais, quer na perspetiva macroeconómica quer na financeira, em comparação com os pacotes de medidas sem FER. Em relação aos períodos de retorno simples e atualizado, estes parâmetros variam consoante o tipo de investimento. De entre todas as opções, os pacotes com instalação de sistema solar térmico são os que apresentam menores períodos de retorno, logo deverão ser os pacotes mais solicitados pelos investidores.

Com a atual situação económica da Europa e do Mundo, a rentabilidade económica torna-se um tema discutido. No seguimento desta dissertação, surgem outros trabalhos que poderão ser alvo de estudo, nomeadamente:

- Estudo de diferentes tipologias, diferentes épocas de construção e diferentes edifícios de referência;
- Estudo aprofundado sobre as taxas de desconto, a evolução dos custos de energia e os fatores de conversão em energia primária a aplicar em Portugal;
- Rentabilidade económica da transformação de um edifício convencional num edifício nZEB, que deverá recorrer a fontes de energia renovável para fazer face às necessidades de aquecimento e preparação de águas quentes sanitárias.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angrisani, G., Bizon, K., Chirone, R., Continillo, G., Fusco, G., Lombardi, S., Marra, F., Miccio, F., Roselli, C., Sasso, M., Solimene, R., Tariello, F. e Urciuolo, M. (2013). “Development of a new concept solar-biomass cogeneration system”, *Energy Conversion and Management*, Issue 75, pp. 552-560.
- Apisolar@ (2014). http://www.apisolar.pt/images/stories/noticias/Podemos_chegar_aos_120.000m2.pdf. (Acedido em Julho 2014)
- Archiexpo@ (2014). <http://www.archiexpo.es/prod/wagner-co/colectores-solares-termicos-planos-62355-160646.html>. (Acedido em Julho 2014).
- Boermans, T. e Grözinger, J. (2011). “Economic effects of investing in EE in buildings – the BEAM² Model”.
- Boermans, T., Bettgenhäuser, K., Hermelink, A., Schimschar, S. e other Ecofys international staff. (2011). “Cost optimal building performance requirements”, European Council for an Energy Efficient Economy.
- Boltherm@ (2014). http://www.boltherm.pt/PT_colectores.asp. (Acedido em Julho 2014)
- Buildings Performance Institute Europe (BPIE), (2010). “Assessing cost-optimal levels Within the new Energy Performance of Buildings Directive”, Brussels.
- Buildings Performance Institute Europe (BPIE), (2011). “Europe's Buildings Under Microscope”, Belgium.
- Buildings Performance Institute Europe (BPIE), (2013a). “A Guide to Developing Strategies for Building Energy Renovation”, Belgium.
- Buildings Performance Institute Europe (BPIE), (2013b). “Implementing the cost-optimal methodology in EU countries”, Belgium.
- Calpak@ (2014). <http://www.calpak.gr/default.php?pname=Vacuum>. (Acedido em Julho 2014)
- Campaniço, H. (2010). “Sistemas Solares Térmicos Centralizados: Aplicação em Habitação Social”. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Carvalho, R. (2010). “Eficiência de fogões a biomassa e impactos na qualidade do ar interior”. Dissertação de Mestrado em Sistemas Energéticos Sustentáveis, Universidade de Aveiro, Aveiro.

- Casaplus@ (2014) .
http://www.casaplus.pt/client/documentos/portuguese/area_reservada/biomassa/Catalogo%20Biomassa.pdf . (Acedido em Julho 2014)
- Cenfim@ (2014). http://www.cenfim.pt/artigos/2009/energia_solar.pdf . (Acedido em Julho 2014)
- Certiel@ (2014). http://www.certiel.pt/c/document_library/get_file?uuid=e29b83e1-719b-4b35-9c40-c7f3e03169e1&groupId=10100 . (Acedido em Julho 2014)
- Chasapis, D., Drosou, V., Papamechael, I., Aidonis, A., Blanchard, R. (2008) “Monitoring and operational results of a hybrid solar-biomass heating system”, *Renewable Energy*, Vol. 33, pp. 1759-1767.
- Comissão Europeia (2010a). “DIRECTIVA 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação)”, *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*.
- Comissão Europeia (2010b) “How to develop a Sustainable Energy Action Plan (SEAP) - Guidebook.”, 2010.
- Comissão Europeia (2013) “EU energy, transport and ghg emissions trends to 2050”, 2013
- Comissão Europeia. (2012). “Orientações que acompanham o Regulamento Delegado (UE) nº244/2012 da Comissão, de 16 de janeiro de 2012, que complementa a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios estabelecendo o quadro para uma metodologia comparativa para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e das componentes de edifícios”, *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*.
- Comissão Europeia@ (2014). http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm. “The EU climate and energy package” (Acedido em Março de 2014).
- Costa, G. (2012). “A contribuição dos sistemas solares térmicos e fotovoltaicos para o balanço energético dos edifícios residenciais unifamiliares”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- CYPE@ (2014). <http://www.geradordeprecos.info/> . (Acedido em Junho 2014). “Gerador de preços para a construção civil”, S. A. CYPE Ingenieros, *Software* para Engenharia e Construção.
- Decflex@ (2014) . <http://www.decflex.com/engine.php?cat=522> . (Acedido em Julho 2014)
- Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de Agosto – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação” (REH), *Diário da República*, 2013.
- Elsarrag, E. e Alhorr, Y. (2013). “Green building practices: Optimisation of CCHP and biomass heating for maximum CO2 reduction in a mixed-use development”, *International Journal of Sustainable Built Environment*, Vol. 2, pp.99-108.
- EN 15459. “Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings”, European Committee of Standardization, 2007.

- Enat@ (2014). <http://pt.enat.pt/pt/produtos/biomassa/caldeiras-a-pellets>. (Acedido em Julho 2014).
- Energlobo@ (2014). <http://www.energlobo.pt/biomassa.html>. (Acedido em Julho 2014)
- European Renewable Energy Council (EREC), 2004. "RENEWABLE ENERGY in Europe", Brussels.
- Eurostat@ (2014).
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Electricity_and_natural_gas_price_statistics#Electricity_prices_for_household_consumers (Acedido em Julho 2014)
"Eurostat – Half-yearly electricity and gas prices".
- Geomodelsolar@ (2014). <http://geomodelsolar.eu/>. (Acedido em Julho 2014)
- Gonçalves, M. (2013) "Avaliação da rentabilidade económica de medidas de reabilitação energética em edifícios multifamiliares anteriores a 1960", ", Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.
- Hamdy, M., Hasan, A. e Siren, K. (2012). "A multi-stage optimization method for cost-optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the EPBD-recast 2010", *Energy and Buildings*, Vol.56, pp. 189-203.
- Hartl, M., Aigenbauer, S., Helminger, F., Simetzberger, A. e Malenkovic, I. (2012). "Experimental and numerical investigations on a combined biomass-solar thermal system", *Energy Procedia*, Issue 30, pp. 623-632.
heat transfer coefficients - Calculation method.
- Instituto Nacional de Estatística (INE), (2010). "Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico", *Direção Geral de Energia e Geologia*.
- ISO 13789:2007 – Thermal performance of buildings - Transmission and ventilation
- ISO 13790:2006 – Energy performance of buildings - Calculation of energy use for
- IST@ (2008). http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/Solar_Term.pdf. Instituto Superior Técnico, Lisboa (Acedido em Julho 2014)
- IteCons, "Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios", Documento de cálculo, Versão 3.6, 2014.
- Kalogirou, S. (2004). "Solar thermal collectors and applications", *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 30, pp.231-295.
- Kurnitski, J. (2011). "How to calculate cost optimal nZEB energy performance?". REHVA-Journal.
- Kurnitski, J., Saari, A., Kalamees, T., Vuolle, M., Niemela, J. e Tark, T. (2011). "Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation", *Energy and Buildings*, Vol. 43, pp. 3279-3288.

- Larinox@ (2014). <http://www.larinox.com/catalogo.php?Lang=pt&id=440&Cat=19&Pesquisa=&Menor=0>. (Acedido em Julho 2014)
- Lebeña, E. e Costa J. (2004). “Instaladores de Colectores Solares Térmicos – Conversão Térmica da Energia Solar”. SPES, Lisboa.
- LeroyMerlin@ (2013). https://az274650.vo.msecnd.net/cmsroot/lmp/media/media-content/seccoes/01_materiais%20de%20constru%C3%A7%C3%A3o/pdf/como-escolher-o-seu-aquecimento-didatico.pdf?ext=.pdf. (Acedido em Julho de 2014). “Como escolher o seu aquecimento a lenha”
- LeroyMerlin@ (2014). https://az274650.vo.msecnd.net/cmsroot/lmp/media/media-content/seccoes/03_electr-canal-conforto/pdf/aquecimento_central_escolher_a_caldeira_didatico.pdf?ext=.pdf. (Acedido em Julho 2014)
- LNEG, “SolTerm 5”, Versão 5.1.4.
- Lusosol@ (2014). <http://www.lusosol.com/colectores.htm>. (Acedido em Julho 2014)
- MárioLoureiro@ (2014). <http://www.marioloureiro.net/tecnica/energSolar/guia-tecnico-manual-solartermico.pdf>. “Energia Solar Térmico – manual sobre tecnologias, projeto e instalação” (Acedido em Julho 2014)
- Milan, C., Bojesen, C. e Nielsen, M. (2012). “A cost optimization model for 100% renewable residential energy supply systems”, *Energy*, Vol. 48, pp.118-127.
- Monteiro, C. (2013). “Energia solar, a energia dos consumidores”. Edifícios e Energia, Edição de Setembro/Outubro de 2013
- NEPAD@ (2014). <http://www.nepad.org/system/files/Neha%20Energie.pdf>. The New Partnership for Africa's Development (Acedido em Março 2014).
- Nixon, S., Lack, T., Hunt, D., Lallana, C. e Boschet, A. (2000). “Recursos hídricos na europa: uma utilização sustentável?”. Relatório de avaliação ambiental, Agência Europeia do Ambiente (AEA), Copenhaga.
- PaineisSolares@ (2009). <http://www.paineissolares.gov.pt/faq-mst2009.html#2d> (Acedido de Junho 2014). Integrado no “Programa de Incentivo à Utilização de Energias Renováveis”
- Panão, M., Rebelo, M. e Camelo, S. (2013). “How low should be the energy required by a nearly Zero-Energy Building? The load/generation energy balance of Mediterranean housing”, *Energy and Buildings*, Vol. 61, pp. 161-171.
- Pereira, A. (2011). “A contribuição de um sistema solar térmico no desempenho energético do edifício solar XXI”. Dissertação de Mestrado em Energia e Bioenergia, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Peuser, F.; Remmers, Karl-Heinz; Schnauss, M. (2002). “Solar Thermal Systems”. Solarpraxis, James & James, Berlin.
- PlanoB@ (2014a). http://www.planob.pt/abrir/solar_termico/termossifao.html. (Acedido em Julho 2014)

-
- PlanoB@ (2014b). http://www.planob.pt/abrir/solar_termico/circulacao_forcada.html.
(Acedido em Julho 2014)
- PRESTENERGIA@ (2014).
[http://www.prestenergia.com/ficheiros/conteudos/files/pellets\(1\).pdf](http://www.prestenergia.com/ficheiros/conteudos/files/pellets(1).pdf) . Prestenergia,
Portugal (Acedido em Março de 2014).
- Queiró, P. (2012). “Sistema solar térmico ativo para melhoria do conforto habitacional”.
Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa,
Lisboa.
- RECET. (2007). “Guia de boas práticas de medidas de utilização racional de energia e energias
renováveis”. Associação dos Centros Tecnológicos de Portugal, Vila Nova de Famalicão
- Resul@ (2014). <http://www.resul.pt/files/13813280060.pdf> . “Catálogo a Biomassa” (Acedido
em Julho 2014)
- Ribeiro, J. (2013). “Exigências de desempenho energético segundo critérios de rentabilidade
económica: caso de edifícios unifamiliares existentes anteriores a 1960”, Dissertação de
Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologias da
Universidade de Coimbra.
- Solarwater@ (2014a). [http://www.solarwaters.pt/sistemas-solares-para-aquecimento-de-
aguas-sanitarias#a1](http://www.solarwaters.pt/sistemas-solares-para-aquecimento-de-aguas-sanitarias#a1) . (Acedido em Julho 2014)
- Solarwater@ (2014b). [http://www.solarwaters.pt/sistemas-solares-para-aquecimento-
piscinas#a1](http://www.solarwaters.pt/sistemas-solares-para-aquecimento-piscinas#a1) . (Acedido em Julho 2014)
- Solius@ (2014). <http://www.solius.pt/calculadora/> (Acedido em Julho 2014)
- SolTerm Manual - Versão 5.1.4 (2012). Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Lisboa,
Portugal.
- Solzaima@ (2014a). http://www.solzaima.pt/pdfs/Solzaima_Pellets.pdf . “Catálogo de
equipamentos a *pellets* ” (Acedido em Julho 2014).
- Solzaima@ (2014b). http://www.solzaima.pt/pdfs/Solzaima_PT.pdf . “Catálogo de
equipamentos a *pellets* e lenha ” (Acedido em Julho 2014).
- Soproradiante@ (2014). <http://www.soproradiante.pt/funcionamento-geral.aspx>. (Acedido em
Julho 2014)
space heating and cooling.
- Tadeu, S. (2013).”A Rentabilidade do Uso de Energias Renováveis na Reabilitação de Edifícios
Residenciais Unifamiliares”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e
Tecnologias da Universidade de Coimbra.
- Vulka@ (2014). http://www.vulka.es/empresa/frutos-secos-alarcon_1426521.html . (Acedido
em Julho 2014)