

**Universidade Nova de Lisboa**

**Faculdade de Ciências e Tecnologia**

**Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial**

# **Sistema integrado de energias renováveis numa moradia unifamiliar**

**Gonçalo Manuel Barros Magalhães da Rocha Peixoto**

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, área de energia

Orientador

Professor Doutor João José Lopes de Carvalho

Monte da Caparica, Fevereiro de 2010



## **Agradecimentos**

No decorrer desta tese foram muitas as pessoas que tiveram um papel determinante, contribuindo para o sucesso da mesma e sem as quais este trabalho seria certamente algo muito mais penoso.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Professor Doutor João José Lopes de Carvalho por ter proposto este tema e pelo seu constante interesse e disponibilidade para me orientar nesta dissertação, esclarecendo-me todas as dúvidas que foram surgindo no decorrer destes meses.

Dando um apoio diferente mas igualmente importante, gostaria de agradecer à minha família (pais, irmão e avó) que sempre me ajudaram, dando conselhos úteis, e facilitando a vida para que me pudesse dedicar a 100 % a esta dissertação.

Não poderei finalizar sem antes expressar o agradecimento aos colegas e amigos de curso e a todas as pessoas com quem trabalhei e convivi durante a realização deste mestrado.

Muito obrigado a todos.



## Resumo

A energia solar térmica e o recurso à biomassa têm-se tornado crescentemente alternativas aos combustíveis fósseis devido ao aumento da eficiência dos sistemas utilizados no seu aproveitamento. A sua utilização permite diminuir a dependência energética dos combustíveis fósseis e consequentemente reduzir os impactos negativos resultantes da sua transformação. Estes argumentos são especialmente sólidos no contexto nacional dado que Portugal se encontra numa situação privilegiada relativamente à possibilidade de aproveitamento de energia solar devido ao elevado índice de radiação solar.

A presente dissertação tem os seguintes objectivos: 1) Quantificação das necessidades energéticas de uma moradia unifamiliar 2) Dimensionamento de um sistema de aquecimento de águas quentes sanitárias e aquecimento central por piso radiante hidráulico tendo como fontes a energia solar térmica e biomassa 3) Estudo de viabilidade financeira do investimento no respectivo sistema.

Através dos cálculos efectuados conclui-se que o sistema de aquecimento por piso radiante hidráulico é o sistema que proporciona maiores níveis de conforto obtendo-se ainda uma poupança na ordem dos 20% comparativamente aos sistemas convencionais. Considerando a totalidade do sistema implementado e, tendo em conta as suas limitações, conclui-se ainda que não só o seu dimensionamento foi correcto mas também que representa um investimento interessante se considerada a independência energética que proporciona ao seu proprietário.

Em conclusão este projecto vai provar que em Portugal, e países com condições semelhantes, as energias renováveis constituem uma solução viável e rentável (a médio prazo) para o aquecimento de águas sanitárias e aquecimento central de uma habitação.



## **Abstract**

Solar thermal energy and the use of biomass are becoming more and more an alternative to fossil fuels due to the increase of the efficiency of the respective devices used in the energetic conversion. Its usage provides a way to decrease the energetic dependence on fossil fuels e consequently diminish the negative effects of burning the latest. This reasoning becomes even more solid when considering the national context, given that Portugal has a privileged condition concerning its high solar radiation index.

The present paper has the following aims: 1) Quantify the energetic needs of a single-family dwelling house 2) Sizing a heating system for hot sanitary waters and central heating using hydraulic radiant floor whose energy sources are solar thermal and biomass 3) Assess the financial viability of investing in the referred system.

Based on the performed calculations one can verify that the heating system by hydraulic radiant floor provides the highest comfort standards and in addition savings around 20% when compared to conventional systems. Considering the system as a whole, and taking into account its limitations, one concludes that it can be an interesting investment when considering the energetic independence provided to its owner.

This project will state that in Portugal, and countries in similar conditions, renewable energies constitute a viable and profitable solution (at intermediate term) for sanitary waters heating and central heating in a single-family house.



# Índice de Matérias

Agradecimentos.....	3
Resumo .....	5
Abstract.....	7
Índice de Matérias.....	9
Índice de Figuras.....	11
Índice de Tabelas .....	13
Simbologia e Abreviaturas .....	15
1 Introdução.....	17
1.1 Motivação.....	17
1.2 Objectivo.....	17
2 Fundamentos Teóricos.....	19
2.1 Fontes de Energia .....	19
2.1.1 Energia solar .....	19
2.1.1.1 Situação nacional.....	19
2.1.1.2 Argumentos que justificam a utilização deste tipo de energia com especial incidência em Portugal .....	21
2.1.1.3 Radiação solar e poder emissivo .....	23
2.1.2 Biomassa .....	25
2.1.2.1 Definição e ciclo do carbono.....	25
2.1.2.2 Importância geral e enquadrada.....	26
2.1.2.3 Poder calorífico .....	26
2.1.3 Energia eléctrica – Energia de apoio .....	28
2.1.3.1 Justificação da utilização deste tipo de energia .....	28
2.2 Perdas de energia .....	29
2.3 Solução integrada de aquecimento central – Piso radiante hidráulico.....	30
2.3.1 Princípio de funcionamento .....	30
2.3.2 Constituição geral.....	31
2.3.3 Piso radiante hidráulico Vs Sistemas convencionais de aquecimento ...	31
2.3.4 Vantagens e desvantagens .....	33
3 R.C.C.T.E. ....	37
3.1 Introdução .....	37
3.2 Caso de estudo.....	37
3.2.1 Dados gerais da habitação.....	38
3.2.1.1 Localização geográfica .....	38
3.2.1.2 Áreas e plantas .....	38
3.2.2 Soluções construtivas .....	39
3.2.2.1 Paredes exteriores.....	39
3.2.2.2 Paredes interiores .....	40
3.2.2.3 Pilares .....	41
3.2.3 Cálculos e conceitos .....	43
3.2.3.1 Perdas associadas à envolvente exterior.....	43
3.2.3.2 Perdas associadas à envolvente interior .....	46
3.2.3.3 Ganhos úteis através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento .....	47
3.2.3.4 Ganhos úteis através dos vãos envidraçados na estação de arrefecimento .....	52
3.2.3.5 Inércia térmica.....	54
3.2.3.6 AQS.....	57

4	Dimensionamento do sistema.....	59
4.1	Princípio de funcionamento.....	59
4.2	Caracterização e selecção de componentes .....	61
4.2.1	Colectores solares e componentes do circuito solar.....	61
4.2.1.1	Constituição e princípio de funcionamento.....	61
4.2.1.2	Características e selecção.....	62
4.2.1.3	Sombreamento .....	65
4.2.1.4	Orientação e inclinação dos painéis.....	66
4.2.1.5	Bomba circuladora do circuito primário .....	67
4.2.1.6	Tubagens e respectivo isolamento.....	68
4.2.1.7	Características .....	68
4.2.2	Depósitos de inércia/ permutadores.....	69
4.2.2.1	Princípio de funcionamento .....	69
4.2.2.2	Estratificação.....	70
4.2.2.3	Permutadores de serpentina.....	70
4.2.2.4	Características .....	71
4.2.3	Controlador.....	75
4.2.3.1	Princípio de funcionamento .....	75
4.2.3.2	Características .....	75
4.2.4	Recuperador de calor.....	77
4.2.4.1	Princípio de funcionamento .....	77
4.2.4.2	Bomba circuladora do circuito da biomassa.....	78
4.2.4.3	Tubagens e respectivo isolamento.....	79
4.2.4.4	Características .....	79
4.2.5	Piso radiante hidráulico .....	80
4.2.5.1	Distribuição dos circuitos.....	80
4.2.5.2	Colectores de distribuição.....	83
4.2.5.3	Tubagem evalPEX.....	84
4.2.5.4	Bomba circuladora do circuito de aquecimento.....	85
4.2.5.5	Características .....	85
4.2.6	Resistências eléctricas .....	86
4.2.6.1	Princípio de funcionamento .....	86
4.2.6.2	Características .....	86
4.2.7	Acessórios.....	87
5	Estudo da eficiência energética .....	89
6	Análise económica .....	93
7	Limitações e melhorias.....	99
8	Conclusões / Notas finais.....	105
	Referências Bibliográficas.....	107

## ANEXOS

- Anexo I – Plantas da habitação
- Anexo II – RCCTE
- Anexo III – Layout das tubagens dos circuitos de aquecimento
- Anexo IV – Relatórios Solterm 5.0 (Análise Energética)
- Anexo V – Relatórios Solterm 5.0 (Análise Económica)
- Anexo VI – Catálogos dos Componentes do sistema
- Anexo VII – Simulação de crédito pessoal para a compra de equipamento

## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Radiação global anual em Portugal (Energia Solar Térmica – Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação projecto GREENPRO, Janeiro 2004) .....	20
Figura 2.2 – Insolação global anual em Portugal (Energia Solar Térmica – Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação projecto GREENPRO, Janeiro 2004) .....	20
Figura 2.3 – Irradiação Solar Incidente (Estudo realizado para a Comunidade Europeia) .....	21
Figura 2.4 – Espectro da radiação (Y. A. Cengel, <i>Heat Transfer: A Practical Approach</i> , 2 <sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill, 2003).....	23
Figura 2.5 – Descrição do ciclo de carbono zero (Wikipédia, A Enciclopédia Livre)...	25
Figura 2.6 – Constituição do piso radiante hidráulico (Manual Giacomini – Como projectar e realizar instalações de climatização por pavimento radiante para aquecimento e arrefecimento).....	31
Figura 2.7 – Perfil de temperaturas para diferentes tipos de aquecimento (Aplicações de Aquecimento Radiante e Climatização – Manual Técnico, Uponor) .....	32
Figura 2.8 – Perfil de temperaturas: Piso Radiante Vs Radiadores (Catálogo de aquecimento por piso radiante, Cirelius, Março de 2008.....	32
Figura 3.1 – Mapa com a localização da moradia (Google Maps) .....	38
Figura 3.2 – Constituição das paredes exteriores (o autor) .....	39
Figura 3.3 – Constituição das paredes interiores (o autor).....	40
Figura 3.4 – Fotografia que ilustra o revestimento dos pilares (cedido pelo professor doutor João José Lopes de Carvalho).....	42
Figura 3.5 – Esquema simplificado da solução encontrada para estudar o sótão (o autor) .....	45
Figura 3.6 – Radiação incidente, reflectida e transmitida (ww.aream.pt).....	48
Figura 3.7 – Fotografia aérea da moradia (Google Eath).....	49
Figura 4.1 – Esquema simplificado sobre o funcionamento do sistema (o autor) .....	59
Figura 4.2 - Constituição de um colector solar (Energia Solar Térmica – manual sobre tecnologias, projecto e instalação, projecto GREENPRO, Janeiro 2004).....	61
Figura 4.3 – Placa absorvedora do colector solar Solargus CSPS – 17 T (o autor) .....	62
Figura 4.4 – Potência fornecida em função da temperatura (Relatório de Ensaio do Colector solar térmico Solargus CSPS-17T) .....	63
Figura 4.5 – Curva de Rendimento Instantâneo (baseado no Relatório de Ensaio do Colector solar térmico Solargus CSPS-17T) .....	63
Figura 4.6 – Sombreamento angular dos painéis solares (Software Solterm 5.0) .....	65
Figura 4.7 – Optimização da orientação de acordo com a fracção solar (Software Solterm 5.0).....	66
Figura 4.8 – Bomba circuladora inserida no grupo de circulação (Catálogo da Caleffi – componentes para a instalações hidro-sanitárias).....	67
Figura 4.9 – Isolamento das tubagens (Catálogo da Armacell – Tubolit).....	68
Figura 4.10 – Constituição de um depósito de inércia (Energia Solar Térmica – manual sobre tecnologias, projecto e instalação, projecto GREENPRO, Janeiro 2004).....	69
Figura 4.11 – Serpentina permutadora (o autor) .....	71
Figura 4.12 – Serpentina permutadora revestida (o autor) .....	71
Figura 4.13 - Circuitos em contracorrente (brochura trocadores de calor) .....	72
Figura 4.14 – Controlador (Manual Resol Delta Sol E) .....	75
Figura 4.15 – Esquema simplificado das ligações ao controlador (o autor).....	76

Figura 4.16 – Esquema simplificado do aproveitamento da extracção dos fumos quentes (o autor).....	77
Figura 4.17 – Fotografia do recuperador de calor (cedido pelo professor doutor João José Lopes de Carvalho).....	78
Figura 4.18 - Bomba circuladora Wilo smart do circuito do recuperador (Catalogue Heating, Air-Conditioning, Cooling - Glandless Circulators and Accessories, Package Heat Exchanger Assembly) .....	79
Figura 4.19 - Circuitos em serpentina vs circuitos em dupla serpentina vs circuitos em espiral (Catalogo Uponor – Manual técnico de aplicações de aquecimento radiante e climatização) .....	81
Figura 4.20 – Fotografia da distribuição dos circuitos em espiral (cedido pelo professor doutor João José Lopes de Carvalho).....	81
Figura 4.21 – Esquema simplificado com a distribuição dos circuitos em espiral nos 2 andares da habitação (o autor) .....	82
Figura 4.22 – Colectores de distribuição (Catálogo da Caleffi – componentes para instalações de aquecimento por piso radiante).....	83
Figura 4.23 – Gráficos comparativos da difusão entre as tubagens evalPex e as tubagens comuns (Catálogo Uponor – Manual técnico de aplicações de aquecimento radiante e climatização) .....	84
Figura 4.24 - Resistência eléctrica de imersão (Catálogo da marca IES Soler) .....	86
Figura 6.1 - Resultado da análise económica – versus uma aplicação financeira segura (Solterm 5.0).....	96
Figura 6.2 - Resultado da análise económica – versus empréstimo bancário (Solterm 5.0).....	96
Figura 7.1 - Resultado da análise económica – versus uma aplicação financeira segura (Solterm 5.0).....	100
Figura 7.2 – Resultado da análise económica – versus empréstimo bancário (Solterm 5.0).....	101
7.3 - Resultado da análise económica – versus uma aplicação financeira segura (Solterm 5.0).....	102
Figura 7.4 – Resultado da análise económica – versus empréstimo bancário (Solterm 5.0).....	103

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Poder calorífico inferior das espécies mais comuns de madeiras, Brochura AALBORG INDUSTRIES.....	27
Tabela 2.2 – Preço da energia em tarifa bi-horária.....	28
Tabela 3.1 – Áreas de cada divisão da fracção autónoma (o autor).....	39
Tabela 3.2 – Determinação do coeficiente global de transmissão de calor das paredes exteriores (o autor).....	40
Tabela 3.3 – Determinação do coeficiente global de transmissão de calor das paredes interiores com tijolo de 7 cm (o autor) .....	41
Tabela 3.4 – Determinação do coeficiente global de transmissão de calor das paredes interiores com tijolo de 11 cm (o autor) .....	41
Tabela 3.5 – Determinação do coeficiente global de transmissão de calor dos pilares que provocam pontes térmicas planas (o autor) .....	42
Tabela 3.6 – Determinação do produto do coeficiente global de transmissão de calor pela área dos elementos que constituem as paredes exteriores (o autor) .....	44
Tabela 3.7 – Determinação do coeficiente global de transmissão de calor da estrutura simplificada do sótão (o autor) .....	45
Tabela 3.8 – Tabela resumo dos factores de obstrução na estação de aquecimento (o autor).....	50
Tabela 3.9 – Ganhos solares brutos (baseado nas folhas de cálculo do RCCTE).....	52
Tabela 3.10 – Determinação do coeficiente global de transmissão de calor dos vidros (o autor).....	53
Tabela 3.11 – Tabela resumo dos factores de obstrução na estação de arrefecimento (o autor).....	54
Tabela 3.12 – Classes de inércia térmica (baseado nas folhas de cálculo do RCCTE)..	55
Tabela 3.13 – Cálculo da inércia térmica (o autor) .....	56
Tabela 4.1 – Excerto da tabela do ensaio do colector (Relatório de Ensaio do Colector solar térmico Solargus CSPS-17T) .....	64
Tabela 4.2 - Tabela resumo do comprimento dos circuitos do radiante (o autor) .....	82
Tabela 4.3 – Tabela resumo dos vasos de expansão que constituem o sistema (o autor) .....	87
Tabela 4.4 – Tabela resumo das válvulas misturadoras que constituem o sistema (o autor).....	88
Tabela 4.5 – Tabela resumo das válvulas desviadoras que integram o sistema (o autor) .....	88
Tabela 4.6 – Tabela resumo das válvulas de segurança que constituem o sistema (o autor).....	88
Tabela 5.1 – Tabela que resume as simulações efectuadas pelo Solterm (o autor) .....	90
Tabela 6.1 – Tabela que resume o custo total dos componentes do sistema (o autor)...	93



## **Simbologia e Abreviaturas**

- R.C.C.T.E. – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios;
- A.Q.S. – Aquecimento de águas Quentes Sanitárias;
- E4 – Eficiência Energética e Energias Endógenas;
- T.E.P. – Toneladas de Equivalente Petrolífero
- P.C.I. – Poder Calorífico Inferior
- D.L. – Decreto-lei
- P.T.P. – Ponte Térmica Plana
- P.T.L. – Ponte Térmica Linear
- C.S.P.S. – Colector Solar Plano Selectivo
- I.C.N. – Instituto da Conservação da Natureza
- U.R.E. – Utilização Racional de Energia
- V.A.L. – Valor Actualizado Líquido
- C.O.P. – Coefficient Of Performance



# **1 Introdução**

## **1.1 Motivação**

As energias denominadas “limpas”, renováveis e alternativas como a energia solar e o recurso à biomassa têm vindo a marcar cada vez mais presença nos últimos anos devido ao aumento galopante dos preços dos combustíveis fósseis, à crescente consciencialização por parte dos governos e a pressões exercidas por associações ambientalistas.

Na sequência desta ideologia e com a plena convicção que as energias renováveis são a solução não só para a sustentabilidade ambiental mas também para muitos problemas sociais e económicos associados ao consumo de combustíveis fósseis, pretende-se provar que Portugal apresenta condições favoráveis para a sua utilização e que o subaproveitamento deste tipo de energias deve terminar. A sua utilização permite uma melhoria do nível de vida, em especial nos países sem reservas petrolíferas (como Portugal), diminuindo, desta forma, a sua dependência energética e reduzindo os impactos negativos resultantes da queima dos combustíveis fósseis na sua utilização e transformação.

## **1.2 Objectivo**

A dissertação em causa tem por base etapas distintas que se complementam e resultam num objectivo final que consiste no estudo de uma moradia unifamiliar com um sistema térmico integrado tendo em vista otimizar a eficiência energética global. O referido sistema privilegia o uso de energias renováveis (solar e biomassa) para o aquecimento de AQS e do ambiente.

As soluções construtivas utilizadas nesta moradia revelam uma clara preocupação com a orientação geográfica das fachadas, a disposição interior das divisões e o respectivo isolamento. Este último difere nas diversas fachadas como se pode observar nas plantas no Anexo I. A própria constituição das paredes foi outro ponto determinante na construção visto que se pretende uma boa inércia térmica (fundamental para conservar a energia) sem comprometer a qualidade de ar interior e impedir a formação de humidades.

A primeira etapa desta dissertação, logo após a pesquisa bibliográfica, consistiu na caracterização da envolvente exterior e interior da moradia. Sendo o projecto desta habitação anterior a 3 de Julho de 2006, data da entrada em vigor do actual regulamento R.C.C.T.E. (Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios), não existe obrigatoriedade legal para o cumprir. No entanto, visto que foi construída com base nos mesmos fundamentos, foram utilizadas as suas folhas de cálculo. Através do preenchimento destas foi possível caracterizar todo o edifício e calcular as suas necessidades energéticas.

Após a conclusão do cálculo das necessidades energéticas, iniciou-se o estudo de um sistema de produção de energia térmica que recorre prioritariamente a painéis solares térmicos e a um recuperador de calor a água (biomassa). O referido sistema permitirá o aquecimento de águas quentes sanitárias e o aquecimento central através de piso radiante hidráulico, sendo flexível de modo a permitir extrair o máximo rendimento nas mais diversas condições. Para o referido sistema, sendo a energia solar previsivelmente insuficiente e sabendo que a biomassa requer a presença humana para funcionar, optou-se por introduzir, numa primeira fase, resistências eléctricas (em funcionamento bi-horário) como fonte de energia de apoio. Esta escolha baseou-se no facto da energia eléctrica tender a ser produzida de uma forma cada vez mais renovável e estes equipamentos envolverem um investimento inicial praticamente desprezável. Outro aspecto inovador deste sistema é o fornecimento de água pré-aquecida para as máquinas de lavar e para a confecção de alimentos, facto que não é contemplado na maior parte das instalações convencionais.

A escolha de aquecimento central por piso radiante hidráulico é outro aspecto importante que se pretende focar neste projecto visto que, como posteriormente vai ser justificado, apresenta a melhor solução a nível de conforto e com uma redução de 20% dos custos fixos face a um sistema de aquecimento convencional.

A utilização do software “Solterm 5.0” como base de recolha de dados, simulação do sistema, elaboração de estudos económicos e balanços energéticos foi crucial para testar o desempenho e viabilidade deste projecto. A optimização da eficácia energética e a sua relação directa com o custo/investimento são os parâmetros a ter em consideração visto que reduzem o período de amortização.

No fundo, este projecto vai provar que, em países como Portugal, as energias renováveis representam uma solução viável e rentável (a médio prazo) para o aquecimento de águas sanitárias e aquecimento central de uma habitação.

## **2 Fundamentos Teóricos**

### **2.1 Fontes de Energia**

#### **2.1.1 Energia solar**

##### **2.1.1.1 Situação nacional**

A maior fonte de energia disponível no Planeta Terra é o sol e é de tal forma intensa que a sua energia fornecida durante um quarto de hora é superior à energia utilizada, a nível mundial, durante um ano. Os astrofísicos consideram que o sol tem aproximadamente 5 mil milhões de anos e tem uma expectativa de existência de 10 mil milhões. Perante tal facto, o sol pode ser considerado como fonte de energia ilimitada e viável tendo em conta a perspectiva da existência humana neste planeta.

Recentes programas, como o Programa Água Quente Solar, na sequência do Programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas), pretendem implementar o uso da Energia Solar em Portugal. Este programa propõe um acréscimo na dinâmica do actual mercado, pretendendo atingir um valor de 150000 m<sup>2</sup> de colectores solares instalados por ano, que poderá conduzir a cerca de 1 milhão de m<sup>2</sup> de colectores instalados até ao final de 2010 [1].

No entanto, a simples introdução de sistemas de aquecimento solar não significa um bom aproveitamento energético. As instalações necessitam de ser correctamente dimensionadas, instaladas e mantidas. Caso um destes aspectos não seja devidamente tido em consideração, o desempenho do sistema poderá ser muito inferior ao inicialmente previsto, estendendo o tempo de amortização. Torna-se assim fundamental estabelecer uma relação entre os fundamentos teóricos e a informação prática necessários ao correcto dimensionamento e instalação de sistemas solares térmicos.

A situação energética nacional traduz-se por um subaproveitamento das energias endógenas. Uma de extrema importância é a energia solar dado que o valor anual médio da radiação solar global varia entre 140 e 180 kcal/cm<sup>2</sup> como se pode observar na figura 2.1:

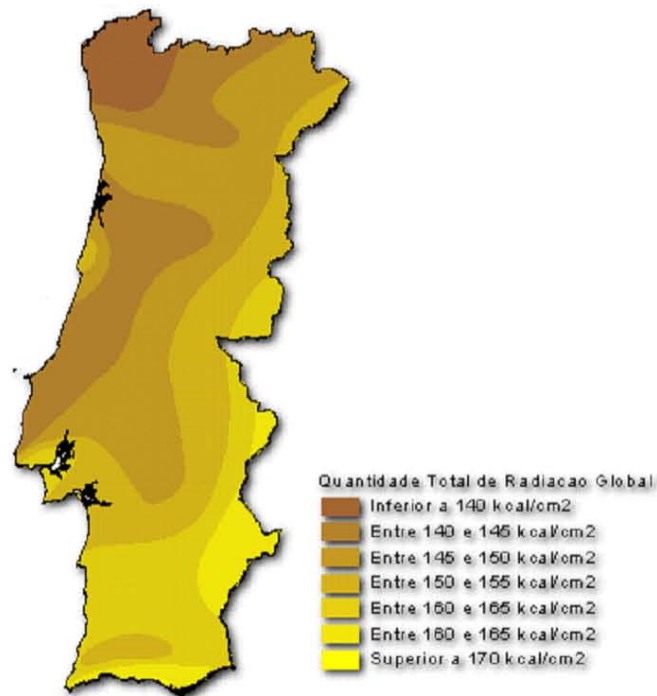


Figura 2.1 - Radiação global anual em Portugal (Energia Solar Térmica – Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação projecto GREENPRO, Janeiro 2004)

Outro elemento frequentemente utilizado para o dimensionamento de sistemas solares é o número de horas de sol ou factor de insolação. Em Portugal varia entre as 1800 e as 3100 horas de sol por ano. Isto significa que num dia, dependendo do local geográfico, há entre 5 e 8,5 horas de sol por dia. Na figura 2.2 é possível observar esta variação:

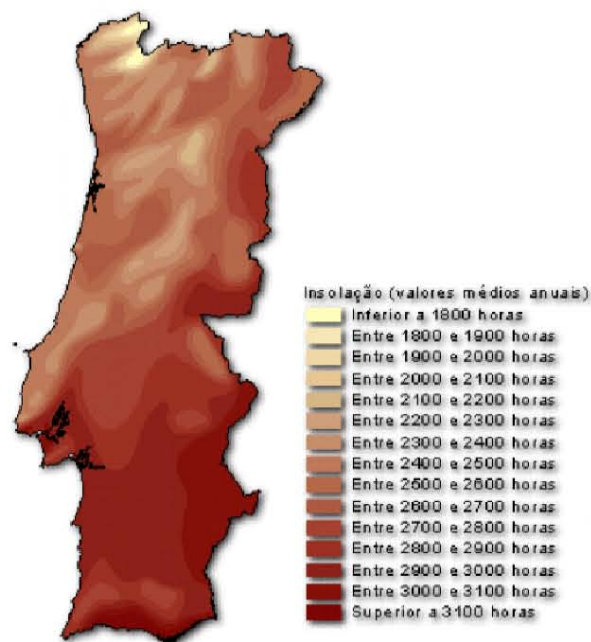


Figura 2.2 – Insolação global anual em Portugal (Energia Solar Térmica – Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação projecto GREENPRO, Janeiro 2004)

### 2.1.1.2 Argumentos que justificam a utilização deste tipo de energia com especial incidência em Portugal

- Portugal, devido à sua latitude, é um dos países da Europa com maior índice de radiação solar como é possível observar na figura 2.3:

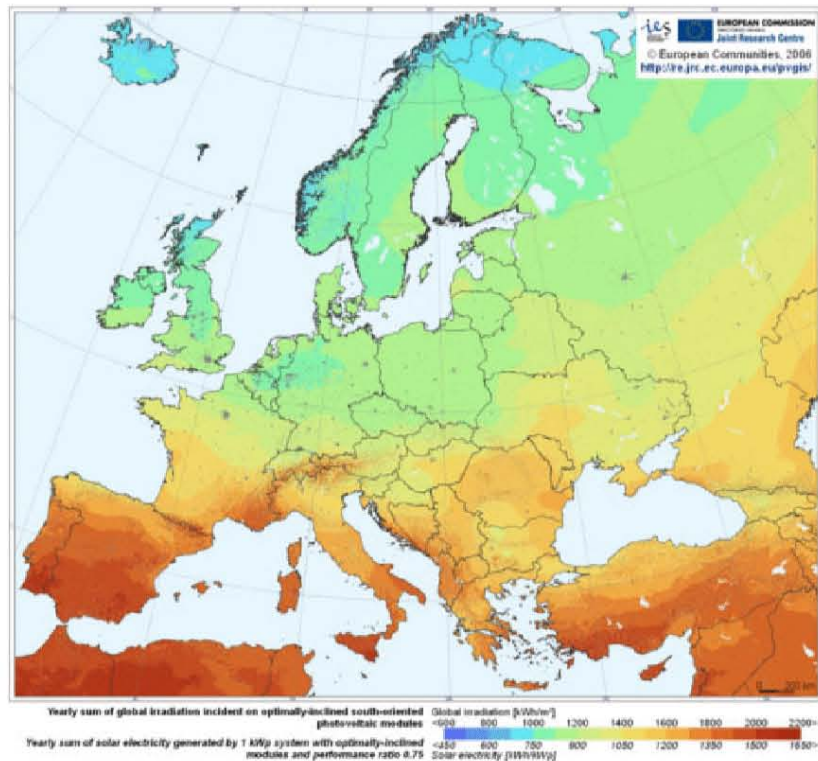


Figura 2.3 – Irradiação Solar Incidente (Estudo realizado para a Comunidade Europeia)

- A energia solar é uma fonte “inesgotável”, limpa, renovável e amiga do ambiente – contribui para a sustentabilidade;
- É gratuita após amortizar o investimento – Baixos custos de manutenção;
- Diminui a dependência económica dos combustíveis fósseis;
- Anula praticamente as emissões de CO<sub>2</sub> comparando com os convencionais sistemas de AQS;
- Não necessita de redes de transporte porque é gerada no local;

- Cada metro quadrado de superfície de colectores solares que se instala contribui para a protecção ambiental;
- Os proprietários destes sistemas tornam-se menos dependentes de decisões políticas, bem como do aumento dos preços de energia [1];
- Os sistemas solares beneficiam de algumas vantagens em taxas e financiamento do governo [1];
- Sistemas solares térmicos para abastecimento de água quente são tecnicamente desenvolvidos e tem um tempo de vida superior a 20 anos, se devidamente mantidos [1];
- Os sistemas solares requerem pouca manutenção e a energia produzida está constantemente disponível, desde que devidamente armazenada [1];
- A tecnologia solar cria emprego no projecto, produção, instalação e manutenção dos respectivos sistemas [1];
- Com o actual ritmo de crescimento do consumo de energia convencional, todos os modelos previsionais estimam agravamento das condições ambientais.
- A utilização da energia solar térmica é efectuada em meio urbano, o mais penalizado no que concerne à poluição resultante das emissões gasosas dos combustíveis fósseis.
- A tecnologia existente já está suficientemente madura e as soluções para a sua integração no processo energético revelam-se cada vez mais eficientes.

### 2.1.1.3 Radiação solar e poder emissivo

Radiação solar é a designação dada à energia radiante emitida pelo Sol, em particular àquela que é transmitida sob a forma de radiação electromagnética. Parte desta energia é emitida como luz visível ( $0,38\mu\text{m}$  a  $0,7\mu\text{m}$ ) na parte de frequência mais alta do espectro electromagnético como se pode observar na figura 2.4:

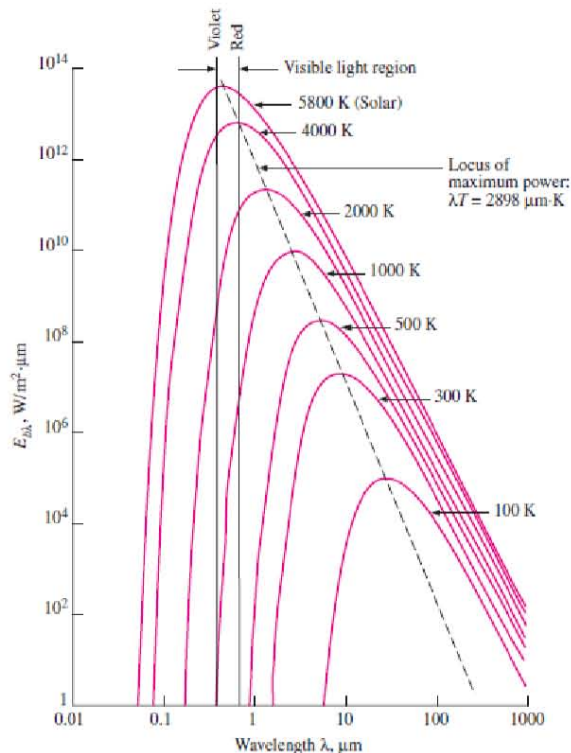


Figura 2.4 – Espectro da radiação (Y. A. Cengel, *Heat Transfer: A Practical Approach*, 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill, 2003)

Em termos de comprimentos de onda, a radiação solar ocupa a faixa espectral de  $0,1\mu\text{m}$  a  $3\mu\text{m}$ , tendo uma máxima densidade espectral em torno dos  $0,550\mu\text{m}$ , comprimento de onda, como se pode observar no gráfico acima, que corresponde sensivelmente à luz verde-amarelada. As radiações electromagnéticas que são convertidas em energia térmica estão compreendidas entre  $0,1$  e  $100\mu\text{m}$  de comprimento de onda. A radiação solar que atinge o topo da atmosfera terrestre provém da região da fotosfera solar com uma temperatura superficial da ordem de  $5800\text{K}$ .

A densidade média do fluxo energético da radiação solar é de  $1367\text{ W/m}^2$ , quando medida num plano perpendicular à direcção da propagação dos raios solares, valor bastante atractivo se eficientemente captado. Este valor é o máximo. O valor real

recebido à superfície do planeta depende, para além dos factores astronómicos, da latitude e da época do ano (em função da posição da Terra ao longo da elíptica), do estado de transparência da atmosfera sobre o lugar, em particular da nebulosidade.

Algumas propriedades da superfície absorvedora como o material, a rugosidade e a cor também influenciam na absorção. Os colectores solares térmicos, nomeadamente os que possuem pintura selectiva, têm propriedades particulares que melhoram a absorção. O revestimento faz a interface entre o sol e a placa absorvedora de cobre que transfere o calor para o fluido térmico e este, por sua vez, deposita-o num depósito de inércia. No exterior alguns colectores possuem um vidro que os protege das intempéries e que possui alta transmissividade, alterando o comprimento de onda da radiação captada. Esta alteração provoca a formação de efeito de estufa no espaço de ar entre este e a placa, aumentando a temperatura do colector solar e diminuindo as perdas por convecção (adaptado [2]).

## 2.1.2 Biomassa

### 2.1.2.1 Definição e ciclo do carbono

A palavra biomassa define-se a si própria: massa biológica. Todos os materiais orgânicos não fósseis que contenham carbono no seu interior são considerados biomassa: vegetação terrestre e marinha, árvores, resíduos florestais e agrícolas, resíduos urbanos (exclusivamente os biodegradáveis – lixo doméstico) e alguns industriais, esgotos sólidos, dejectos animais (estrupe). A biomassa é a matéria-prima viável para a produção combinada de electricidade e calor visto que constitui uma importante reserva de energia (química).

As plantas e as árvores, na realização da fotossíntese, absorvem o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da atmosfera, água dos solos, luz e através da clorofila (que possuem) libertam oxigénio e hidratos de carbono como demonstra a seguinte equação:



Durante todo o seu crescimento armazenam carbono sob a forma de hidratos. A queima de biomassa devolve à atmosfera o CO<sub>2</sub> retido que, conjugado com a reposição da flora, ou seja, com a replantação de novas arvores e plantas, mantém o ciclo do carbono atmosférico em equilíbrio. Este ciclo de carbono “zero” ou neutro pode ser repetido indefinidamente, desde que a biomassa seja regenerada nos próximos ciclos e colhida para utilização. A gestão sustentável das fontes de biomassa é de extrema importância para garantir que o ciclo do carbono não seja interrompido (adaptado [3]). Este ciclo está ilustrado na figura 2.5:

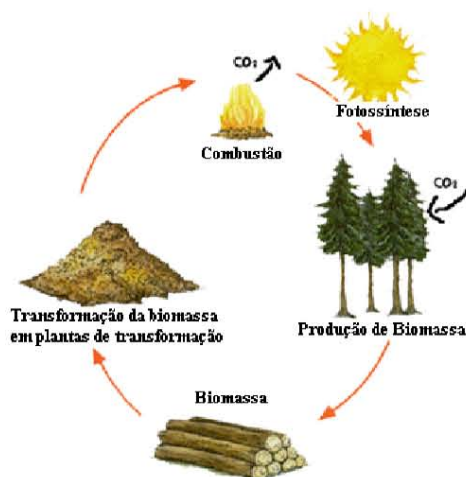


Figura 2.5 – Descrição do ciclo de carbono zero (Wikipédia, A Enciclopédia Livre)

Com base na equação acima referida e, através de estudos realizados, sabe-se que por cada mole de carbono fixado, aproximadamente 112 Kcal são absorvidas [3].

### 2.1.2.2 Importância geral e enquadrada

Voltando ao aquecimento que é o tema em destaque, já existe o fabrico industrial de *pelets*, (é um combustível normalizado, universal, que é constituído por pequenos concentrados de madeira, contendo valores restritos de humidade, resíduos, resina e água.), altamente energéticos que podem ser usados a nível residencial para aquecimento central e de água sanitárias, como apoio ao solar, por exemplo. Esta solução é já comercializada em países como a Alemanha, Suíça e Áustria mas em Portugal ainda se trata de uma tecnologia pouco divulgada, sendo mais utilizada a técnica ancestral da queima de lenha. Estamos a falar de um recurso abundante no nosso país, que se devidamente utilizado, geraria empregos, resolveria parte do problema dos resíduos urbanos, valorizando-os, e diminuiria a nossa dependência de combustíveis fósseis (adaptado [3]). Através da simples limpeza das florestas seria possível aproveitar os seus resíduos e diminuir a cíclico drama dos incêndios florestais que, só por si, representam uma perda de recursos e de energia, libertando-se enormes quantidades de dióxido de carbono.

Com base nesta ideologia de desenvolvimento e correcta exploração dos recursos endógenos nacionais, a biomassa tem um papel de destaque neste projecto juntamente com a energia solar. Ambas vão ser utilizadas para o aquecimento central através de piso radiante e para o aquecimento das águas quentes sanitárias, numa tentativa de corresponder às necessidades de cada momento.

### 2.1.2.3 Poder calorífico

O poder calorífico define-se como a quantidade de calor emitida pela combustão completa de um combustível. No caso da madeira que contém carbono, água e hidrogénio, a combustão é acompanhada por evaporação de água. Isto implica que ao calor gerado pela combustão é subtraído o calor da vaporização da água.

O poder calorífico exprime-se em calorias (ou quilo calorias) por unidade de peso do combustível. A caloria (cal) é a quantidade de calor necessário para aumentar

de um grau centígrado a temperatura de um grama de água. Assim, o poder calorífico da madeira é estimado em 3.500 cal/grama de madeira ou 3500 kcal/kg de madeira.

O poder calorífico da madeira é ainda expresso por comparação, em "Toneladas Equivalentes de Petróleo", (TEP), e estimado em 0,359 TEP/ t para as coníferas e em 0,331 para as folhosas, em função do grau de humidade [4].

A tabela 2.1 que se encontra abaixo resume o poder calorífico inferior de várias espécies de madeiras:

Tabela 2.1 - Poder calorífico inferior das espécies mais comuns de madeiras, Brochura AALBORG INDUSTRIES

COMBUSTIVEL	PCI	COMBUSTIVEL	PCI
Alcool de cana	5.500 kcal/l	Coque de lenha	7.600 kcal/kg
Aparas vinilo	6.300 kcal/kg	Coque metalúrgico	7.200 kcal/kg
Bagaco de cana (20% ÁGUA)	3.200 kcal/kg	Fibras de palmeira (48% de água)	2.000 kcal/kg
Bagaco de cana (50% ÁGUA)	1.800 kcal/kg	Fibras de palmito	3.800 kcal/kg
Bambú (10% água)	3.700 kcal/kg	Filme polietileno	5.600 kcal/kg
Borra de café	1.570 kcal/kg	Gás de água	4.000 kcal/Nm <sup>3</sup>
Carvão de babaú	7.000 kcal/kg	Gás de água carburetado	6.000 kcal/Nm <sup>3</sup>
Carvão mineral - Cambuí/PR	6.200 kcal/kg	Gás de alto forno	700 kcal/Nm <sup>3</sup>
Carvão mineral - Charqueadas/ RS	3.100 kcal/kg	Gás de biodigestor (biogás)	5.000 kcal/Nm <sup>3</sup>
Carvão mineral - Mina do leão/ RS	4.200 kcal/kg	Gás de coqueira	4.300 kcal/Nm <sup>3</sup>
Carvão mineral - Tubarão/ SC	4.500 kcal/kg	Gás de gasogénio	1.260 kcal/Nm <sup>3</sup>
Carvão vegetal	7.500 kcal/kg	Gás de nafta	4.220 kcal/Nm <sup>3</sup>
Casca de árvore	2.200 kcal/kg	Gás GLP (50%)	11.025 kcal/kg
Casca de algodão	3.000 kcal/kg	Gás natural	9.065 kcal/Nm <sup>3</sup>
Casca de amêndoa dende	4.800 kcal/kg	Lascas de madeira	3.300 kcal/kg
Casca de arroz (12% água)	3.300 kcal/kg	Lenha (40% água)	2.400 kcal/kg
Casca de babaçu	4.000 kcal/kg	Lenha (seca) (12% água)	3.680 kcal/kg
Casca de cacau (8% água)	3.900 kcal/kg	Madeira de caixotes	3.800 kcal/kg
Casca de café	3.800 kcal/kg	Madeira muito seca	4.800 kcal/kg
Casca de cajú	4.700 kcal/kg	Madeira pinho (seca ao ar)	3.500 kcal/kg
Casca de côco	4.000 kcal/kg	Madeira verde	2.500 kcal/kg
Casca de eucalipto	3.750 kcal/kg	Óleo combustível 1A	9.750 kcal/kg
Casca de tanino úmido (68% água)	800 kcal/kg	Óleo combustível 1B	9.940 kcal/kg
Casca de soja	3.300 kcal/kg	Óleo combustível 2A	9.550 kcal/kg
Cavaco (eucalipto)	4.300 kcal/kg	Óleo combustível 2B	9.920 kcal/kg
Cavacos de pinho	2.500 kcal/kg	Óleo combustível 3A	9.500 kcal/kg
Coque de gás	5.400 kcal/kg	Óleo combustível 3B	9.870 kcal/kg

COMBUSTIVEL	PCI
Óleo de algodão	8.050 kcal/l
Óleo de amendoim	8.000 kcal/l
Óleo de babaçu	7.770 kcal/l
Óleo de soja	8.125 kcal/l
Óleo diesel	8.620 kcal/l
Palha de amendoim (12% água)	3.100 kcal/kg
Palha de trigo (20% ÁGUA)	3.200 kcal/kg
Papel	4.200 kcal/kg
Piche alcatrão	8.600 kcal/kg
Pó de linho	4.000 kcal/kg
Pó de madeira fino (seco)	4.000 kcal/kg
Pó de madeira grosso (seco)	4.200 kcal/kg
Pó de tabaco	2.300 kcal/kg
Querosene	8.300 kcal/l
Recortes de couro (14% ÁGUA)	4.400 kcal/kg
Resíduos de juta	3.800 kcal/kg
Restos de borracha	4.000 kcal/kg
Sementes de girassol (9,5% água)	4.300 kcal/kg
Serragem de pinho (40% água)	2.000 kcal/kg
Serragem seca (20% água)	3.500 kcal/kg
Serragem + Cepilho (seco)	4.600 kcal/kg
Sisal (11% água)	3.400 kcal/kg
Sobra de serraria (pinho)	4.160 kcal/kg
Tecido nailon	7.300 kcal/kg
Trapos de pano	4.200 kcal/kg
Turfa (seca ao ar) (25 à 6% água)	3000 - 5000 kcal/kg

## 2.1.3 Energia eléctrica – Energia de apoio

### 2.1.3.1 Justificação da utilização deste tipo de energia

Uma vez que a energia fornecida pelos colectores solares é previsivelmente insuficiente nas condições climatéricas mais adversas e o recurso à biomassa é um processo completamente manual (necessita da intervenção humana) vai-se recorrer à energia eléctrica como energia de apoio. Esta será utilizada exclusivamente em regime bi-horário cujo custo é de aproximadamente 54% em relação ao regime normal como se pode comprovar observando a tabela 2.2. Esta redução é um incentivo ao aproveitamento nocturno das potências instaladas nas centrais eléctricas que durante este período têm um aproveitamento muito inferior ao verificado durante o dia.

Vão ser instaladas duas resistências eléctricas (uma em cada depósito de inércia) cujo funcionamento será programável através de um programador electrónico semanal. Por ser debitada em ambos os acumuladores vai servir para aquecer as águas quentes sanitárias e a água que é responsável pelo aquecimento da habitação.

Com o crescente recurso a fontes limpas e renováveis na geração de energia eléctrica, a sua utilização acaba por ter um impacto ambiental mais reduzido do que outras fontes de energia.

Tabela 2.2 – Preço da energia em tarifa bi-horária

<b>- Preços da energia - EUR/kWh</b>			
	<b>Horas de ponta</b>	<b>Horas de cheias</b>	<b>Horas de vazio</b>
<b>Tarifa simples</b>	0,1285	0,1285	0,1285
<b>Tarifa bi-horária</b>	0,1382	0,1382	0,0742

## 2.2 Perdas de energia

Por oposição à energia fornecida à habitação pelas fontes de calor existem as perdas de energia. Para melhorar o balanço energético da habitação é necessário ter em consideração os mecanismos físicos que determinam a transferência de energia (térmica) da mesma para o exterior. Um dos conceitos chave neste contexto é a inércia térmica. A inércia térmica é uma grandeza que descreve a capacidade que um determinado volume de uma substância tem para armazenar energia interna quando é submetida a uma dada mudança de temperatura, sem mudar de fase (adaptado [5]).

A inércia térmica de um material é definida como a raiz quadrada do produto da condutividade térmica do material ( $k$ ), da sua densidade ( $\rho$ ) e calor específico ( $c$ ):

$$I = \sqrt{k\rho c}$$

Unidades SI de inércia térmica são em  $J / (m^3K)$ . [5]

A inércia térmica de um edifício é um bom indicador de controlo das variações de temperatura diurna e sazonal. É tipicamente dependente das propriedades físicas dos materiais que fazem a fronteira entre o interior e o exterior do mesmo. A temperatura de um material com baixa inércia térmica muda significativamente durante o dia, enquanto a temperatura de um material com alta inércia térmica não muda drasticamente.

Deste modo o estudo desta grandeza é fundamental para se conseguir projectar e monitorizar um sistema de produção de energia para aquecimento central. Isto justifica-se com o facto de numa habitação com elevada inércia térmica, o calor permanece no seu interior de uma forma mais prolongada apesar do aquecimento inicial ser bastante lento.

## **2.3 Solução integrada de aquecimento central – Piso radiante hidráulico**

### **2.3.1 Princípio de funcionamento**

O princípio básico de funcionamento de um sistema de aquecimento através de piso radiante hidráulico consiste na impulsão de água a uma temperatura moderada (limitada pela Norma UNE-EN 1264) proveniente de um depósito de inércia, através de circuitos de tubos de polietileno reticulado. Estes tubos estão envolvidos numa camada de argamassa aditivada que permite o preenchimento de todos os orifícios. Esta camada, situada sob o pavimento, absorve a energia térmica dissipada pelos tubos, armazenando-a e dissipando-a lentamente para o pavimento. Este, por sua vez, emite energia, sobre a forma de calor através de radiação e de convecção natural. O grande benefício deste tipo de sistema consiste no preenchimento de uma elevada área de permuta (aproximadamente a área de cada divisão) por um material de elevada inércia térmica (argamassa).

O conjunto formado pelos tubos e pela argamassa encontra-se isolado inferiormente por *floormate* que minimiza as perdas de calor para a laje e, também, em todo o seu perímetro por uma faixa isolante que minimiza a transferência indesejada de calor para o exterior ou para outras divisões.

Os circuitos equilibram-se hidraulicamente e o caudal é regulado e impulsionado em função das necessidades térmicas de cada divisão do edifício. A regulação dos sistemas de aquecimento por chão radiante permite enviar água a temperatura desejada e controlar de forma independente a temperatura ambiente de cada compartimento (adaptado [6]).

### 2.3.2 Constituição geral

Na figura 2.6 está ilustrada a constituição típica, em corte, de um sistema de aquecimento por piso radiante hidráulico:

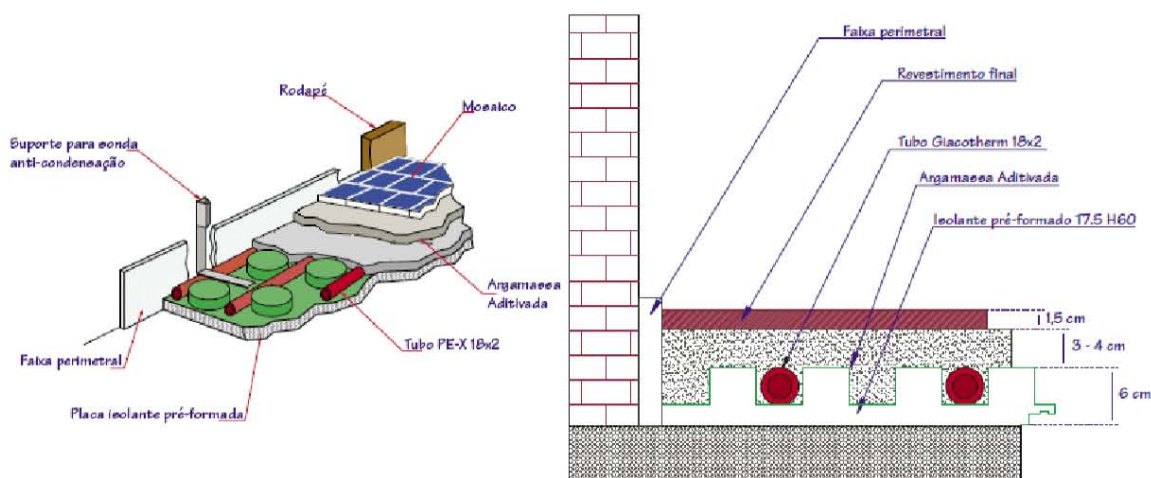


Figura 2.6 – Constituição do piso radiante hidráulico (Manual Giacomini – Como projectar e realizar instalações de climatização por pavimento radiante para aquecimento e arrefecimento)

Alguns pormenores variam de fabricante para fabricante mas têm em comum o conceito geral de funcionamento: tubagens, argamassa aditivada ou fluidificada (evita a formação de chochos), placa isolante (reduz a propagação de energia térmica para o piso inferior ou para o solo) e faixa perimetral (evita que o calor se propague lateralmente para outras divisões). Outro componente que também pode ser introduzido é uma rede electrossoldada mas esta só é aplicada no caso de grandes cargas serem aplicadas sobre o chão (exemplo: armazéns).

### 2.3.3 Piso radiante hidráulico Vs Sistemas convencionais de aquecimento

Comparativamente com todos os sistemas de aquecimento existentes e, através de estudos efectuados nessa área, o chão radiante é o que melhor se ajusta ao perfil de temperaturas do corpo humano. O perfil óptimo de temperaturas defende que a temperatura do ar deve ser superior na parte inferior do corpo e deve haver uma descida gradual até à altura da cabeça – “Pés quentes cabeça fria”. Para o utilizador, isto traduz-

se numa situação de conforto sem que haja grandes assimetrias térmicas ao contrário do que acontece com a utilização de convectores [6]. Na figura 2.7 está ilustrado um esquema de distribuição vertical de temperaturas para diferentes sistemas de aquecimento:

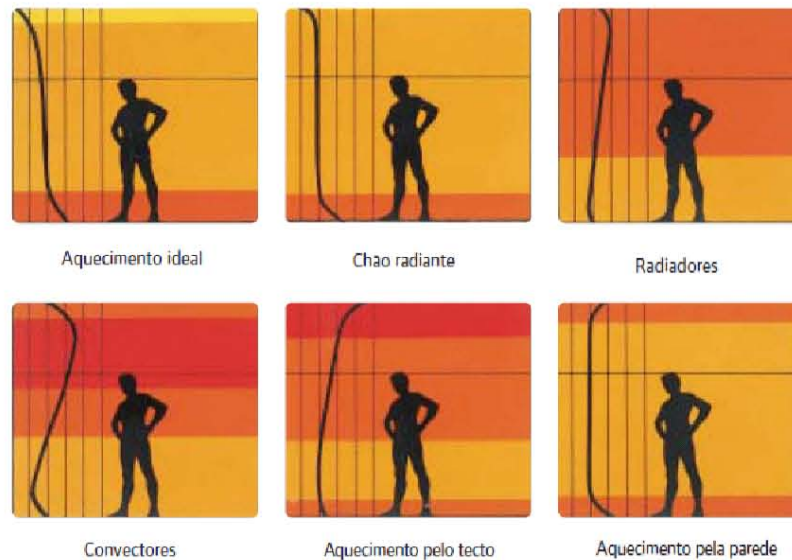


Figura 2.7 – Perfil de temperaturas para diferentes tipos de aquecimento (Aplicações de Aquecimento Radiante e Climatização – Manual Técnico, Uponor)

De seguida (figura 2.8) está apresentada a diferença pormenorizada, com temperaturas, entre o sistema convencional por radiadores e através de piso radiante:

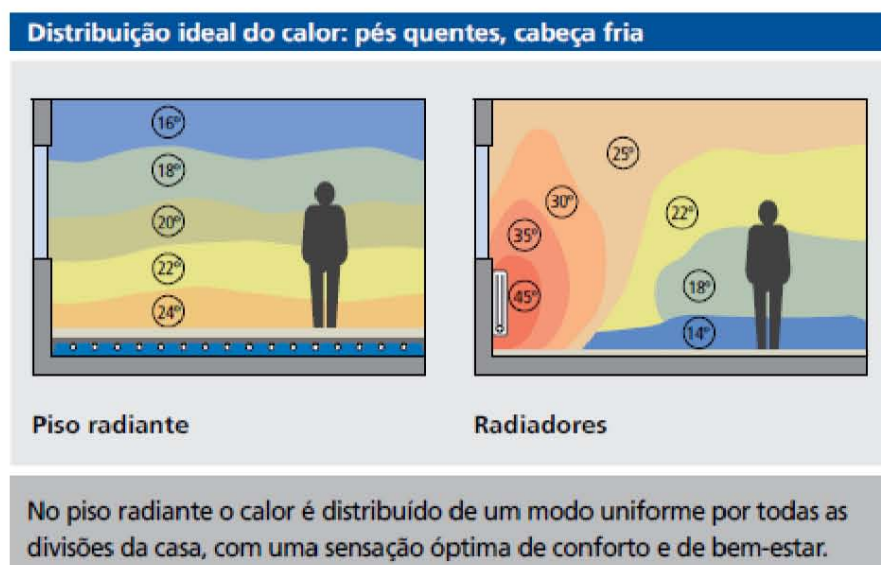


Figura 2.8 – Perfil de temperaturas: Piso Radiante Vs Radiadores (Catálogo de aquecimento por piso radiante, Cirelius, Março de 2008)

### 2.3.4 Vantagens e desvantagens

As vantagens são as seguintes:

#### **Emissão térmica uniforme.**

O emissor térmico é todo o pavimento da área a aquecer. Isto resulta numa emissão térmica praticamente uniforme em toda a superfície. Este fenómeno contrapõe-se ao de "zonas quentes" e "zonas frias", obtidos com outros sistemas de aquecimento onde existe um número limitado de emissores de calor [6]. A equação seguinte prova que com uma elevada área de permuta se conseguem grandes potências térmicas sem necessidade de grandes variações de temperatura:

- Lei de Newton (Convecção):  $q = h \cdot A \cdot \Delta T$  [7]

#### **Aquecimento sem movimentação de ar.**

A velocidade de deslocação das camadas de ar quente para as zonas frias é proporcional à diferença de temperaturas do ar entre ambas as zonas, quente e fria. Como a temperatura da superfície emissora (pavimento) de um sistema de aquecimento por piso radiante é baixa (inferior a 30°C), essa diferença de temperaturas do ar é muito reduzida, o que faz com que a deslocação do ar seja imperceptível. Este facto evita o movimento de pó e resulta num ambiente envolvente mais higiénico e saudável [6].

#### **Poupança energética.**

Para se obter a mesma sensação térmica, a temperatura ambiente é inferior para um local aquecido por piso radiante do que aquecido por outro sistema (radiadores, convectores de ar, etc.). A explicação disto deve-se aos perfis térmicos expostos nas figuras 20 e 21. Sendo a temperatura ambiente interior menor, também serão menores as perdas energéticas (perdas isolamentos, por ventilação e por infiltração) já que estas são proporcionais à diferença de temperaturas entre o exterior e o interior. Outro factor importante de poupança energética, e constituído pela diminuição de perdas de calor nas zonas das caldeiras e nas conduções até aos colectores, devido a temperatura da água de

impulsão e retorno serem menores em comparação com outros sistemas de aquecimento. Estima-se que para o mesmo nível de conforto se pode ter uma poupança na ordem dos 20% [8].

### **Compatível com a maioria das fontes de energia.**

Este sistema de aquecimento é compatível com quase todas as fontes energéticas (electricidade, combustíveis derivados do petróleo, energia solar, gás natural, biomassa, etc.) [6]. A moderada temperatura de impulsão da água que o sistema necessita, faz com que a energia solar seja uma fonte renovável de eleição.

### **Aquecimento invisível.**

É um sistema de aquecimento que oferece uma total liberdade de decoração interior uma vez que os emissores de calor não são visíveis. Pode-se mesmo dizer que é um "aquecimento invisível". O espaço habitável é superior porque não existem elementos aquecedores à vista (por exemplo radiadores), elementos estes que exigem espaço livre em seu redor para que a convecção se processe [6].

### **Opção mais segura.**

O risco de pancadas ou queimaduras deixa de existir, ocorrências típicas no contacto directo com os radiadores.

### **Compatível com qualquer tipo de pavimentos.**

O aquecimento por chão radiante instala-se em qualquer tipo de pavimento desde que não seja um bom isolante como é o caso da madeira maciça [6].

### **Processo lento de arrefecimento/ aquecimento**

Numa habitação permanente, a lentidão no arrefecimento ou aquecimento (associada à grande inércia térmica do próprio sistema) é uma grande vantagem, pois permite um maior atraso e atenuação na resposta térmica a uma eventual onda de frio ou

calor, respectivamente, que pode durar alguns dias. Por outro lado permite aquecer gradualmente a casa desde a entrada do Outono até ao Inverno permitindo uma maior estabilidade térmica do espaço e arrefece-la, da mesma forma, no período oposto do ano.

As desvantagens são descritas de seguida:

### **Investimento inicial elevado**

O investimento inicial é bastante elevado face a outros sistemas de aquecimento.

### **Difícil implementação quando não é pensado na construção do edifício**

Quando não é pensado de raiz na construção de uma habitação, a implementação de piso radiante torna-se mais dispendioso e complexo visto que é necessário levantar o chão todo e o pé direito interior da habitação fica diminuído.

### **Processo lento de aquecimento**

No caso de ausência prolongada e para sistemas não autónomos e independentes, os proprietários de uma habitação com aquecimento por piso radiante, terão que aguardar bastante tempo até esta voltar a atingir as condições de conforto. Isto justifica-se pelo facto do aquecimento inicial ser bastante lento uma vez que o sistema funciona a baixas temperaturas e necessita de aquecer toda a área situada por baixo do chão que possuiu uma grande inércia térmica. Este factor deixa de ser uma desvantagem para passar a ser uma vantagem se o sistema for parcialmente autónomo e independente visto que mantém um consumo residual em caso de ausência de habitantes.



## **3 R.C.C.T.E.**

### **3.1 Introdução**

O Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), indica as regras a observar no projecto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados de modo que:

"As exigências de conforto térmico, seja ele de aquecimento ou de arrefecimento, e de ventilação para garantia de qualidade do ar no interior dos edifícios, bem como as necessidades de água quente sanitária, possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia;

"Sejam minimizadas as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas, com potencial impacto negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior [8]."

Tal como anteriormente foi referido, o projecto desta habitação é anterior à entrada em vigor do actual RCCTE mas com se identifica com a sua filosofia e, como forma de valorizar o projecto, foram utilizadas as suas folhas de cálculo numa tentativa de cumprir todos os parâmetros exigidos.

### **3.2 Caso de estudo**

Com base nas plantas, projecto de estrutura e todos os elementos que dizem respeito à construção da moradia procedeu-se ao preenchimento das Tabelas integradas no R.C.C.T.E.

### 3.2.1 Dados gerais da habitação

#### 3.2.1.1 Localização geográfica

A moradia em estudo situa-se no concelho de Almada. Através da consulta do RCCTE, é possível extrair alguns valores estatísticos sobre esta região (Anexo II) que serão determinantes para cálculos futuros. Observando o mapa abaixo representado, identificado como figura 3.1, é possível identificar a localização exacta da habitação.

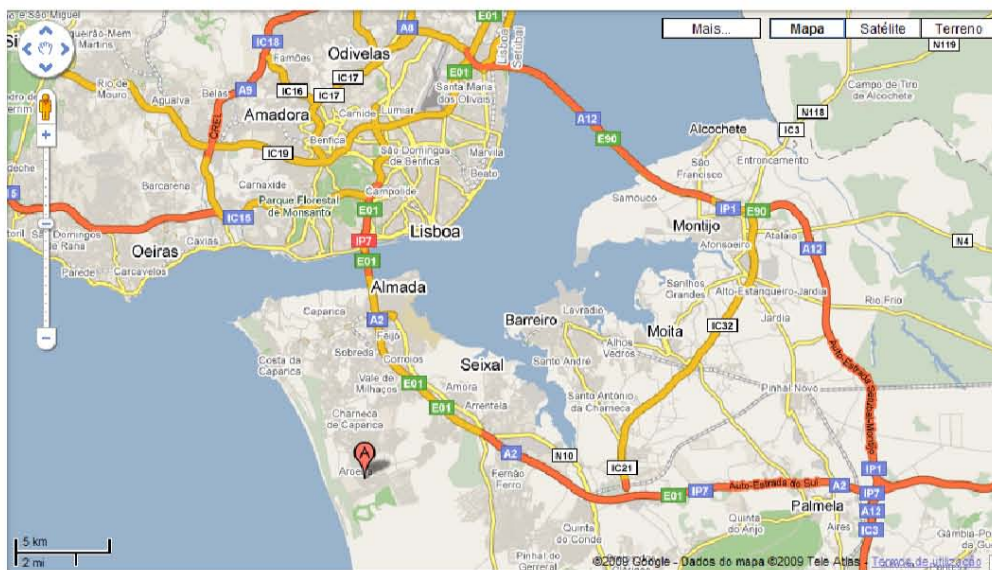


Figura 3.1 – Mapa com a localização da moradia (Google Maps)

#### 3.2.1.2 Áreas e plantas

Este edifício devido à sua tipologia e função enquadra-se no RCCTE visto que:

- É um edifício destinado à habitação;
- Tem uma área útil inferior a 1000 m<sup>2</sup>;
- Possui sistemas de climatização com potências inferiores a 25 kW.

De seguida estão identificados, na tabela 3.1, as divisões da fracção autónoma e as respectivas áreas por piso:

Tabela 3.1 – Áreas de cada divisão da fracção autónoma (o autor)

	R/ Chão						
	Hall	Sala	Cozinha	Escritório	WC 1	Despensa	Σ
Áreas (m2)	9,41	31,05	15,62	11,44	2,41	2,53	72,46
	1º Andar						
	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	WC 2	WC 3	Hall	Σ
Áreas (m2)	15,6	15,6	15,62	4,18	8,54	10,03	69,57

Sendo o somatório da área útil:

$$A_{util} = 72,46 + 69,57$$

$$A_{util} \approx 142m^2$$

### 3.2.2 Soluções construtivas

Houve uma clara preocupação na construção da habitação. Várias soluções construtivas foram utilizadas com vista a melhorar o seu desempenho a nível energético como se passa a descrever:

#### 3.2.2.1 Paredes exteriores

Uma das soluções adoptadas foi a utilização diferenciada de espessuras de isolamento (wallmate) consoante a sua disposição geográfica e a importância relativa da divisão interior.

Na figura 3.2 está ilustrada a constituição das paredes exterior:

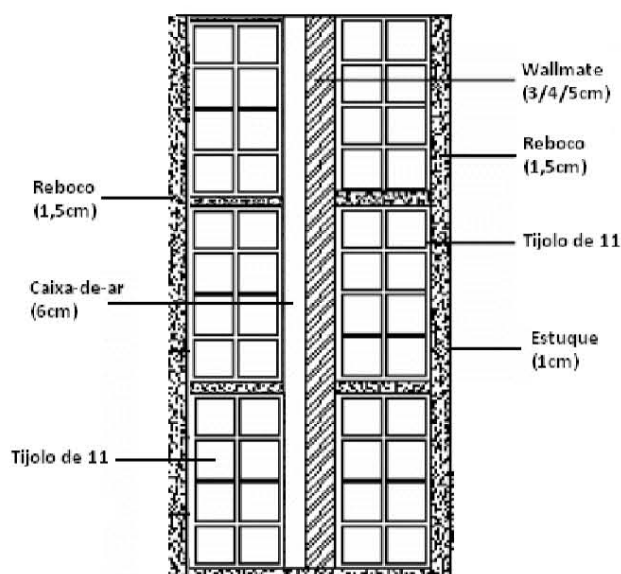


Figura 3.2 – Constituição das paredes exteriores (o autor)

Os coeficientes globais de transmissão de calor (U) foram calculados recorrendo à expressão:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}}$$

Sendo:

- $R_{si} = 0,13$  [(m<sup>2</sup>°C)/ W]
- $R_{se} = 0,04$  [(m<sup>2</sup>°C)/ W]

Tabela 3.2 – Determinação do coeficiente global de transmissão de calor das paredes exteriores (o autor)

Constituição das Paredes Exteriores							
	Reboco (3cm)	Tijolo 11	Caixa-de-ar	Wallmate (5cm)	Tijolo 11	Estuque (1cm)	Total
<b>Espessura (m)</b>	0,03	0,11	0,06	0,05	0,11	0,01	0,37
<b>λ (Wm/°C)</b>	1,3			0,037		0,4	
<b>R [(m<sup>2</sup>°C)/ W]</b>	0,023076923	0,27	0,18	1,351351351	0,27	0,025	2,289
<b>U [W/ (m<sup>2</sup>°C)]</b>							<b>0,437</b>

### 3.2.2.2 Paredes interiores

Para as paredes interiores foram utilizadas duas soluções. Uma com tijolo de 11 e outra com tijolo de 7 como demonstra a figura 3.3, abaixo:

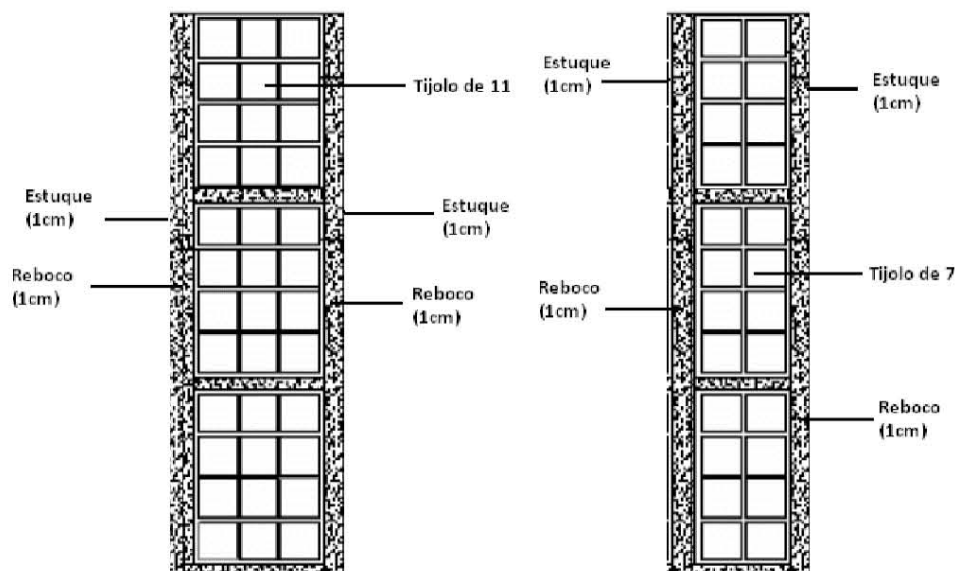


Figura 3.3 – Constituição das paredes interiores (o autor)

As paredes com tijolo de 11 contribuem para uma maior inércia térmica da habitação e para a colocação de tubagens sem as fragilizar enquanto que as paredes com tijolo de 7 permitem obter um maior aproveitamento do espaço interior devido à sua menor espessura.

Os coeficientes globais de transmissão de calor (U) foram calculados recorrendo à expressão:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}}$$

Sendo:

- $R_{si} = 0,13 \text{ [(m}^2\text{°C)/ W]}$

Tabela 3.3 – Determinação do coeficiente global de transmissão de calor das paredes interiores com tijolo de 7 cm (o autor)

Constituição das Paredes Interiores com tijolo de 7 cm						
	hi	Estuque (2cm)	Tijolo de 7	Reboco (2cm)	hi	TOTAL
Espessura (m)		0,02	0,07	0,02		0,11
$\lambda$ (Wm/°C)		0,4		1,3		
R [(m <sup>2</sup> °C)/W]	0,13	0,05	0,15	0,015384615	0,13	0,47538
U [W/(m <sup>2</sup> °C)]						<b>2,104</b>

Tabela 3.4 – Determinação do coeficiente global de transmissão de calor das paredes interiores com tijolo de 11 cm (o autor)

Constituição das Paredes Interiores com tijolo de 11 cm						
	hi	Estuque (2cm)	Tijolo de 11	Reboco (2cm)	hi	TOTAL
Espessura (m)		0,02	0,11	0,02		0,15
$\lambda$ (Wm/°C)		0,4		1,3		
R [(m <sup>2</sup> °C)/W]	0,13	0,05	0,27	0,015384615	0,13	0,59538
U [W/(m <sup>2</sup> °C)]						<b>1,680</b>

### 3.2.2.3 Pilares

Com vista à diminuição de perdas, os pilares da fracção autónoma (betão armado) foram forrados com cerâmica furada (de 3 cm de espessura), havendo, mesmo assim, uma heterogeneidade entre estes e a zona corrente da envolvente exterior. Este facto dá origem à formação de pontes térmicas planas (PTP) – os pilares de canto são considerados para efeito de PTL. Este facto pode ser observado na figura 3.4:



Figura 3.4 – Fotografia que ilustra o revestimento dos pilares (cedido pelo professor doutor João José Lopes de Carvalho)

Os coeficientes globais de transmissão de calor (U) foram calculados recorrendo à expressão:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}}$$

Sendo:

- $R_{si} = 0,13 \text{ [(m}^2\text{C)/ W]}$
- $R_{se} = 0,04 \text{ [(m}^2\text{C)/ W]}$

Tabela 3.5 – Determinação do coeficiente global de transmissão de calor dos pilares que provocam pontes térmicas planas (o autor)

	Pilares (PTP)				
	Reboco (3cm)	Forras Cerâmicas	Pilar-Betão	Estuque (1cm)	Total
<b>Espessura (m)</b>	0,03	0,03	0,3	0,01	0,37
<b>λ (Wm/°C)</b>	1,3	0,41	2	0,4	
<b>R [(m<sup>2</sup>C)/W]</b>	0,023	0,073	0,15	0,025	0,441
<b>U [W/(m<sup>2</sup>C)]</b>					<b>2,266</b>

Segundo o Anexo IX do D.L. n° 80/2006 e citando: “Nenhuma zona de qualquer elemento opaco da envolvente, incluindo zonas de ponte térmica plana, nomeadamente pilares, vigas, caixas de estore pode ter um valor de U, calculado de forma unidimensional na direcção normal à envolvente, superior ao dobro do dos elementos homólogos (verticais e horizontais) em zona corrente, respeitando sempre, no entanto, os valores máximos indicados no quadro IX.1”

Como se pode verificar, esta condição não é respeitada uma vez que o valor de U dos pilares é superior ao dobro do maior valor de U da zona corrente (wallmate de 3cm):

$$\begin{aligned}2 \times U_{\text{zona corrente (wallmate 3cm)}} &\geq U_{\text{pilares}} \\2 \times 0,572 &\leq 2,266 \\1,144 &\leq 2,266\end{aligned}$$

Apesar do requisito não ser cumprido, não se pode negar mérito da solução construtiva adoptada.

### 3.2.3 Cálculos e conceitos

Todas as tabelas pertencentes à folha de cálculo do RCCTE constituem o Anexo II. Neste capítulo vão constar exclusivamente notas importantes, conceitos e alguns cálculos que estão por detrás dos valores que figuram nas tabelas em anexo de forma a tornar o corpo de texto desta dissertação um pouco mais “leve”.

#### 3.2.3.1 Perdas associadas à envolvente exterior

Segundo o D.L. nº 80/2006, existem dois tipos de envolventes: a envolvente exterior e a envolvente interior. A envolvente exterior é definida como o conjunto dos elementos do edifício ou da fracção autónoma que estabelecem a fronteira entre o espaço interior e o ambiente exterior. Os elementos que se incluem nesta definição são:

- Paredes exteriores e pontes térmicas planas

Tabela 3.6 – Determinação do produto do coeficiente global de transmissão de calor pela área dos elementos que constituem as paredes exteriores (o autor)

<b>Paredes Exteriores (incluindo pontes térmicas planas)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
Paredes com isolamento 5cm	61,61	0,437	26,92
Paredes com isolamento 4cm	73,06	0,495	36,17
Paredes com isolamento 3 cm	17,46	0,572	9,99
PTP - Pilares(5)- P1	3,98	1,255	4,99
	<b>152,13</b>	<b>TOTAL</b>	<b>78,06</b>

Sendo U calculado da seguinte forma:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}}$$

Sendo:

- Rsi = 0,13 [(m<sup>2</sup>C)/ W]
- Rse = 0,04 [(m<sup>2</sup>C)/ W]

- Coberturas Exteriores

Na alínea c) do Anexo II do RCCTE, D.L. n° 80/2006, define-se área da cobertura como sendo uma área, medida pelo interior, dos elementos opacos da envolvente horizontais ou com um inclinação inferior a 60° que separam superiormente o espaço útil do exterior ou de espaços não úteis adjacentes.

Visto que a solução construtiva da cobertura da habitação em causa não está prevista no D.L. n° 80/2006 foi necessário encontrar uma forma de a estudar. A opção encontrada foi considerar o sótão como uma “grande caixa-de-ar” e estudá-lo da seguinte forma, como demonstra a figura 3.5:

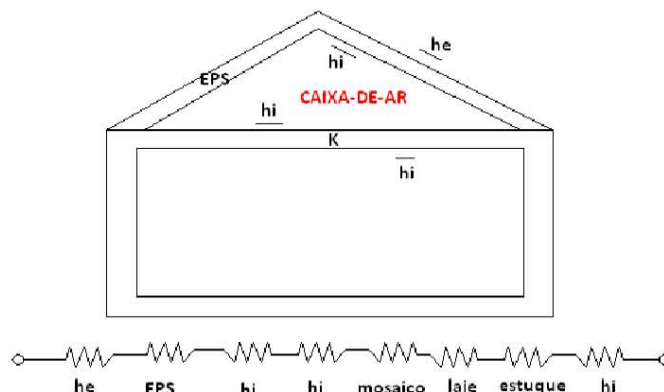


Figura 3.5 – Esquema simplificado da solução encontrada para estudar o sótão (o autor)

Tabela 3.7 – Determinação do coeficiente global de transmissão de calor da estrutura simplificada do sótão (o autor)

Estrutura simplificada do sótão (tipo caixa de ar)									
	hi	Estuque (2cm)	Laje	Mosaico	hi	hi	EPS	he	Total
Espessura (m)		0,02	0,2	0,01			0,12		0,23
$\lambda$ (Wm/°C)		0,4	1,65	1,3			0,04		
R [(m2°C)/W]	0,13	0,05	0,121	0,0077	0,13	0,13	3	0,04	3,61
U [W/(m2°C)]									<b>0,277</b>

**NOTA:** O EPS é o material que constitui as abobadilhas. Estas, neste caso particular, têm uma espessura de 12cm.

As perdas referentes à cobertura estão descritas e calculadas no ponto II.III do Anexo II.

- Pontes Térmicas Lineares

À ligação de dois elementos construtivos exteriores distintos dá-se o nome de ponte térmica linear e corresponde a uma heterogeneidade da envolvente que permite a passagem de fluxo térmico. Denomina-se linear visto que é uma perda por unidade de comprimento. Estas são calculadas multiplicando o valor do coeficiente de transmissão térmica linear ( $\psi$ ) pelo respectivo comprimento/ perímetro como indica a seguinte fórmula:

$$L_{pt} = \sum \psi_j \cdot B_j \quad [W/^\circ C]$$

Em que:

1.  $L_{pt}$  - Perdas de calor por diferença de temperatura [W/°C]

2.  $\psi$  - Coeficiente de transmissão térmica linear [W/m°C]
3. B – perímetro do pavimento ou desenvolvimento da parede medido pelo interior [m]  
(Baseado em [10])

O cálculo integral das perdas pelas pontes térmicas lineares está no ponto II.V do Anexo II.

### 3.2.3.2 Perdas associadas à envolvente interior

Segundo a alínea t) do Anexo II do D.L. n° 80/2006, a envolvente interior é “a fronteira que separa a fracção autónoma de ambientes normalmente não climatizados (espaços anexos «não úteis»), tais como garagens ou armazéns, bem como de outras fracções autónomas adjacentes em edifícios vizinhos.”

- Paredes em contacto com espaços não úteis ou edifícios adjacentes

O único espaço que se enquadra neste tópico é a ligação da fracção autónoma com a garagem. Para encontrar as perdas associadas a esta ligação foi necessário calcular primeiro  $A_i$  e  $A_u$ :

- $A_i$  – área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil:

$$A_i = 2 \times 2,65 = 5,3m^2$$

- $A_u$  – área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior:

$$A_u = (3,8 + 3,2 + 3,36) \times 2,65 = 27,454m^2$$

Este cálculo é necessário para, através da divisão seguinte, se encontrar o valor de  $\tau$  da tabela IV.1 do D.L. n° 80/2006 como está indicado no ponto III.I do Anexo II:

$$A_i / A_u = 0,193 < 1$$

O cálculo detalhado está, como já foi referido, no ponto III.I do Anexo II

### 3.2.3.3 Ganhos úteis através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento

O estudo dos ganhos solares é bastante importante e minucioso. Este estudo tem que ser realizado em separado para a estação de aquecimento (Inverno) e para a estação de arrefecimento (Verão). Começa-se pela estação de aquecimento:

O primeiro passo é calcular a área efectiva de cada vão envidraçado que é dado pela seguinte fórmula:

$$A_g = A \times F_s \times F_g \times F_w \times g^\perp$$

Em que:

$A_g$  - Área efectiva do vão envidraçado.

$A$  - Área total do vão envidraçado (área da janela incluindo o caixilho).

$F_s$  - Factor de obstrução.

$F_g$  - Fracção envidraçada (traduz a redução da transmissão de energia solar associada à caixilharia).

$F_w$  - Factor de correcção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência.

$g^\perp$  - Factor solar do vidro que tem em conta eventuais dispositivos de protecção solar

- Factor solar do vidro –  $g^\perp$

Segundo o D.L. nº 80/2006, o factor solar do vão envidraçado é um valor que representa a relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado em relação à radiação incidente na direcção normal ao vidro como demonstra a figura 3.6. Este valor pode ser fornecido pelo fabricante ou através do quadro V.4 do Anexo V do D.L. nº 80/2006 sendo considerado o valor máximo  $g^\perp = 0,63$  para vidro duplo incolor (considerando uma cortina interior muito transparente de cor clara)

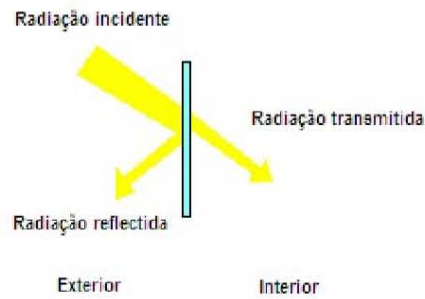


Figura 3.6 – Radiação incidente, reflectida e transmitida (ww.aream.pt)

- Fracção Envidraçada –  $F_g$

Segundo o D.L. n° 80/2006, a fracção envidraçada traduz a redução da transmissão da energia solar associada à existência da caixilharia, sendo dada pela relação entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado. No quadro IV.5 do Anexo IV do presente regulamento encontra-se o valor típico para este caso específico – janela em alumínio em que o caixilho tem quadrícula:

$$F_g = 0,60$$

- Factor de correcção da selectividade angular –  $F_w$

Este factor, segundo o D.L. n° 80/2006, traduz a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar directa. Este valor é, para os vidros correntes (duplos ou simples):

$$F_w = 0,9$$

- Factor de Obstrução –  $F_s$

De acordo com o D.L. n° 80/2006, o factor de obstrução varia entre 0 e 1 e representa a redução na radiação solar que incide no vão envidraçado devido ao sombreamento permanente causado por diferentes obstáculos.

Este factor pode ser obtido através da seguinte expressão:

$$F_s = F_h \cdot F_0 \cdot F_f$$

Em que:

$F_h$  - Factor de sombreamento do horizonte por obstruções longínquas

$F_0$  - Factor de sombreamento por elementos horizontais (palas, varandas)

$F_f$  - Factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes (palas verticais)

Como se pode observar na fotografia aérea abaixo (figura 3.7), existem alguns obstáculos tanto naturais (pinhal) como elementos construtivos que irão contribuir para a redução da radiação incidente nos vãos envidraçados:

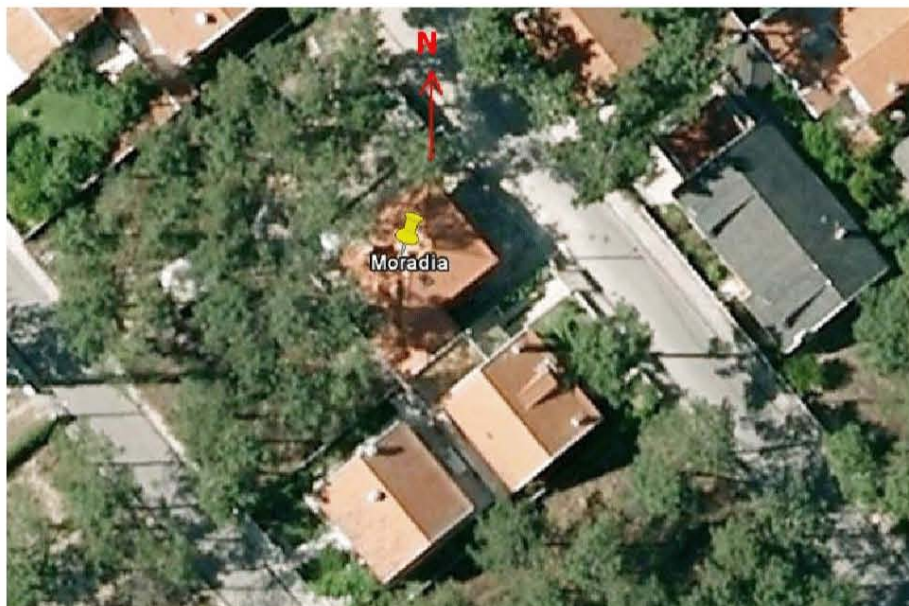


Figura 3.7 – Fotografia aérea da moradia (Google Eath)

- Factor de sombreamento do horizonte por obstruções longínquas –  $F_h$

Através de medições de distâncias foi possível calcular os respectivos ângulos de sombreamento do horizonte relativos às obstruções longínquas. Como o regulamento é um pouco vago em relação ao sombreamento por elementos naturais (pinheiros neste caso) e de modo a majorar este factor, o pinhal foi considerado uma obstrução 100% opaca.

Com base na tabela IV.5 do Anexo IV do presente regulamento foi possível calcular o factor  $F_h$  para os diversos vãos envidraçados. Os resultados estão resumidos na tabela um pouco abaixo.

- Factor de sombreamento por elementos horizontais e verticais –  $F_0$  e  $F_f$

Segundo o D.L. n.º 80/2006, o sombreamento por elementos horizontais sobrepostos aos vãos envidraçados ou por elementos verticais (palas, varandas, outros elementos do mesmo edifício) depende do comprimento da obstrução (ângulo da obstrução), da latitude, da exposição e do clima local. Estes valores estão presentes nas tabelas IV.6 e IV.7 do Anexo IV do presente regulamento. Caso não existam palas, o produto dos dois factores deve ser considerado 0,9.

De seguida está uma tabela resumo com o resultado detalhado de todos estes factores ( $F_h$ ,  $F_0$  e  $F_f$ ):

Tabela 3.8 – Tabela resumo dos factores de obstrução na estação de aquecimento (o autor)

Orientação do vão envidraçado	Factor de Obstrução $F_s$			
	$F_h$	$F_0$	$F_f$	$F_s$
NE - R/Chão	1,00	0,90		0,90
NE - 1º Andar	1,00	0,90		0,90
SW - R/Chão s/ pala	0,48	1,00	1,00	0,48
SW - R/Chão c/ pala	0,48	0,675	0,751	0,24
SW - 1º Andar s/ pala	0,48	1,000	1,000	0,48
SW - 1º Andar c/ pala	0,48	0,666	0,676	0,22
NW - R/Chão	0,80	1,000	1,000	0,80
NW - 1º Andar	0,80	1,000	1,000	0,80
SE - R/Chão	0,608	1,000	0,833	0,51
SE - 1º Andar	0,906	1,000	1,000	0,91

De acordo com o presente regulamento existe uma condição que deve ser respeitada:

$$X \times F_s \geq 0,27$$

Em que:

$X$  - Factor de Orientação do vão envidraçado.

#### 4. X (factor de Orientação do vão envidraçado)

Este valor é retirado do quadro IV.4 do Anexo III do D.L. nº 80/2006. Varia consoante a orientação do vão envidraçado. Estes valores estão descritos no ponto VII.I do Anexo II.

Verificou-se, através da observação da tabela existente no ponto VII.I do Anexo II que alguns envidraçados não cumprem este requisito. Se este estudo estivesse sido efectuado na fase de projecto, estes deveriam ser alvo de alterações.

Este estudo culmina com a contabilização dos ganhos solar nesta estação (aquecimento) que é dado pela seguinte expressão:

$$g_{\text{verao}}^{\perp} = g^{\perp} \times 0,3 + g^{\perp n} \times 0,7$$

$$g_{\text{verao}}^{\perp} = 0,78 \times 0,3 + 0,09 \times 0,7 Q_S = G_{\text{Sul}} \sum \left[ X_j \sum_n A_{snj} \right] \cdot M$$

$$g_{\text{verao}}^{\perp} = 0,297$$

Em que:

$G$  – Valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul

$X_j$  – Factor de orientação para as diferentes orientações

$A_{snj}$  – Área efectiva colectora da radiação solar da superfície  $n$

$j$  – índice que corresponde a cada uma das orientações

$n$  – índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação  $j$

$M$  – duração da estação de aquecimento em meses

A partir daqui é possível calcular os ganhos solares brutos nesta estação:

Tabela 3.9 – Ganhos solares brutos (baseado nas folhas de cálculo do RCCTE)

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m2)		<b>2,709746</b>
		x
Radiação incidente num envidraçado a Sul (G <sub>sul</sub> ) na zona	l1 / V1	(kWh/m2.mês) <b>108</b>
		x
Duração da estação de aquecimento (meses)		<b>5,3</b>
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)		<b>1551,058</b>

### 3.2.3.4 Ganhos úteis através dos vãos envidraçados na estação de arrefecimento

Este cálculo tem que ser efectuado separadamente devido, principalmente, à diferença angular que o sol atinge nesta estação. É de salientar que, no Verão, os ganhos solares não são bem vindos visto que aumentam a temperatura interior da habitação sendo, deste modo, necessário mais dispêndio de energia para arrefecer o espaço até este atingir as condições de conforto.

- Factor solar do vidro –  $g^{\perp}$

De modo a evitar que entre demasiado calor para o interior da fracção autónoma, o presente regulamento estabelece que, para o Verão, este factor deve ser contabilizado com uma protecção solar 70% activada. Posto isto calcula-se:

$$g_{\text{verao}}^{\perp} = g^{\perp} \times 0,3 + g^{\perp''} \times 0,7$$

$$g_{\text{verao}}^{\perp} = 0,78 \times 0,3 + 0,09 \times 0,7$$

$$g_{\text{verao}}^{\perp} = 0,297$$

Sendo que:

$g^{\perp}$  - é retirado da tabela IV.4.1 do Anexo IV do presente regulamento de acordo com a tipologia do vidro em questão que é:

Tabela 3.10 – Determinação do coeficiente global de transmissão de calor dos vidros (o autor)

	Constituição do Vidro					TOTAL
	he	vidro duplo	Caixa de ar	vidro simples	hi	
Espessura (m)		0,006	0,016	0,004		0,026
$\lambda$ (Wm/°C)		1		1		
R [(m <sup>2</sup> C)/W]	0,04	0,006	0,17	0,004	0,13	0,35
U [W/(m <sup>2</sup> C)]						<b>2,857</b>

$g^{1^{\circ}}$  é retirado do quadro V.4 do Anexo V do presente regulamento de acordo com a tipologia e cor da protecção → Réguas metálicas de cor verde escuro

- Fracção Envidraçada – F<sub>g</sub>

Este factor mantém-se constante para ambas as estações do ano:

$$F_g = 0,60$$

- Factor de correcção da selectividade angular – F<sub>w</sub>

Este factor, para a estação de arrefecimento, varia de acordo com a orientação da fachada na qual está inserido. Estes valores estão presentes no quadro V.5 do Anexo V do D.L. n° 80/2006.

- Factor de Obstrução – F<sub>s</sub>

Este factor calcula-se pelo mesmo método para a estação de arrefecimento como se calcularam para a estação de aquecimento simplesmente as tabelas a consultar são distintas devido, como já foi referido, à altura solar e às suas conseqüentes implicações com excepção para o  $F_h$  que se considera igual a 1. Os factores  $F_0$  e  $F_f$  são retirados dos quadros V.1 e V.2 (respectivamente) do Anexo V do D.L. n° 80/2006.

Os valores resumidos encontram-se na tabela 3.11.

Tabela 3.11 – Tabela resumo dos factores de obstrução na estação de arrefecimento (o autor)

Orientação do vão envidraçado	Factor de Obstrução Fs			
	Fh	Fo	Ff	Fs
NE - R/Chão	1,00	1,00	1,00	1,00
NE - 1º Andar	1,00	1,00	1,00	1,00
SW - R/Chão s/ pala	1,00	1,00	1,00	1,00
SW - R/Chão c/ pala	1,00	0,608	0,732	0,44
SW - 1º Andar s/ pala	1,00	1,000	1,000	1,00
SW - 1º Andar c/ pala	1,00	0,600	0,922	0,55
NW - R/Chão	1,00	1,000	1,000	1,00
NW - 1º Andar	1,00	1,000	1,000	1,00
SE - R/Chão	1,00	1,000	0,819	0,82
SE - 1º Andar	1,00	1,000	1,000	1,00

Por fim, e consultando o quadro III.9 do presente regulamento, que especifica a intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento, consoante a orientação do vão envidraçado é possível contabilizar os ganhos solares pelos vãos envidraçados nesta mesma estação sendo eles:

Total dos Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (kWh/m<sup>2</sup>)=1125,48

### 3.2.3.5 Inércia térmica

Segundo o D.L. nº 80/2006, a inércia térmica (It) de uma fracção autónoma determina a sua capacidade de armazenamento de calor e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos de construção. A massa superficial útil de cada elemento de construção interveniente na inércia térmica é função da sua localização no edifício e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento e das características das soluções de isolamento térmico e de revestimento superficial.

O estudo da inércia térmica de um edifício permite quantificar a sua capacidade de contrariar as variações de temperatura no seu interior devido à sua capacidade de acumular calor nos seus elementos de construção, tanto de inverno, ao determinar a

capacidade de utilização dos ganhos solares, como de verão ao influenciar a capacidade do edifício absorver os picos de temperatura relacionados com ondas de calor, por exemplo.

Para efeitos do regulamento foram definidas 3 classes de inércia térmica:

Tabela 3.12 – Classes de inércia térmica (baseado nas folhas de cálculo do RCCTE)

<b>Classe de Inércia</b>	<b>Massa Superficial útil por m2 da área útil de pavimento, It (kg/m2)</b>
<b>Fraca</b>	<b>It &lt; 150</b>
<b>Média</b>	<b>150 &lt; It &lt; 400</b>
<b>Forte</b>	<b>It &gt; 400</b>

A inércia térmica tem influência no cálculo de:

- Nic (Necessidades nominais de aquecimento): quanto maior for a inércia térmica de um edifício ou fracção autónoma, maiores são os ganhos úteis e, consequentemente, menor é o valor de Nic;
- Nvc (Necessidades nominais de arrefecimento): quanto maior for a inércia térmica de um edifício ou fracção autónoma, menores são as cargas térmicas (solares e internas) logo menor será o valor de Nvc;
- Factores solares mínimos dos vãos envidraçados (um dos requisitos mínimos de qualidade térmica para a envolvente dos edifícios ou fracções autónomas): quanto maior for a inércia térmica, maiores são os factores mínimos admissíveis.

Segundo o RCCTE, presente no D.L. nº 80/2006, existem três tipos de elementos:

- EL1 – elemento da envolvente exterior, elemento de construção em contacto com outra fracção autónoma ou com espaços não-úteis.
- EL2 – elementos em contacto com o solo.
- EL3 – elementos interiores da fracção autónoma em estudo (paredes e pavimentos interiores)

A inércia térmica – a massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento ( $I_t$ ) – é então calculada pela seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \cdot Si \cdot r}{A_p}$$

Em que:

$M_{si}$  – Massa superficial útil do elemento  $i$

$Si$  – Área de superfície interior do elemento  $i$

$A_p$  – Área útil de pavimento

$r$  – Factor de correcção em função da resistência térmica do revestimento

Tendo como base o ITE 50 e aplicando a expressão acima descrita obtiveram-se os seguintes resultados (tabela 3.13):

Tabela 3.13 – Cálculo da inércia térmica (o autor)

Elementos de construção	Mi (kg/m <sup>2</sup> )	Imposição Regulamentar	Msi (kg/m <sup>2</sup> )	Si (m <sup>2</sup> )	Factor de Correção (r)	Msi x Si (kg)
Coberturas interiores (R/Chão)	460	300	300	89	1	26700
Coberturas interiores (1º Andar)	460	300	300	89	1	26700
Pavimentos exteriores (e não úteis)	0	150	0	0		0
Paredes Exteriores (e não úteis)	180	150	150	152	1	22819
Paredes enterradas	0	150	0	0		0
Pavimentos enterrados	0	150	0	0		0
Pavimentos interiores (R/Chão)	146	300	146	89	1	13045
Pavimentos interiores (1º Andar)	153	300	153	85	1	12977
Paredes interiores (tijolo 7)	180	300	180	19	1	3434
Paredes interiores (tijolo 11)	210	300	210	79	1	16528
<b>TOTAL</b>						<b>122204</b>

$$I_t = \frac{122203,78}{142,03}$$

$$I_t = 860,41 > 400$$

**Inércia Térmica → Forte**

### 3.2.3.6 AQS

Um sistema bem dimensionado implica que se tenha em conta o aquecimento de águas quentes sanitárias e que este seja suficiente para satisfazer os perfis reais de consumo. De forma a sistematizar o cálculo das necessidades com este fim (“energia dispendida com sistemas convencionais em kW/h.ano”), o RCCTE, presente no D.L. n.º 80/2006, calcula este valor com base na tipologia da habitação, na taxa de ocupação e considerando 40 litros por ocupante por dia e que a água tem que sofrer um aumento de 45°C em relação à temperatura da água da rede. Este perfil é um critério que permite comparar habitações semelhantes em tipologia e, desta forma, atribuir-lhes uma classificação energética.

Para o caso em estudo, o perfil real e o perfil nominal diferem bastante. A moradia, apesar de ser um T3, é habitada, de uma quase forma permanente, exclusivamente por duas pessoas em vez de quatro como o regulamento pressupõe. Por outro lado o aumento de temperatura a considerar pelo R.C.C.T.E. (45°C) é excessivo tendo conta o perfil de consumos sendo considerado, portanto, um aumento de 30°C.

O acumular destas diferenças tem como consequência um grande desfasamento entre a energia necessária para assegurar o perfil real e o perfil nominal de consumo: 1018,84 e 3056,51 kW/h.ano, respectivamente.



## 4 Dimensionamento do sistema

### 4.1 Princípio de funcionamento

A figura 4.1 resume o sistema em estudo:

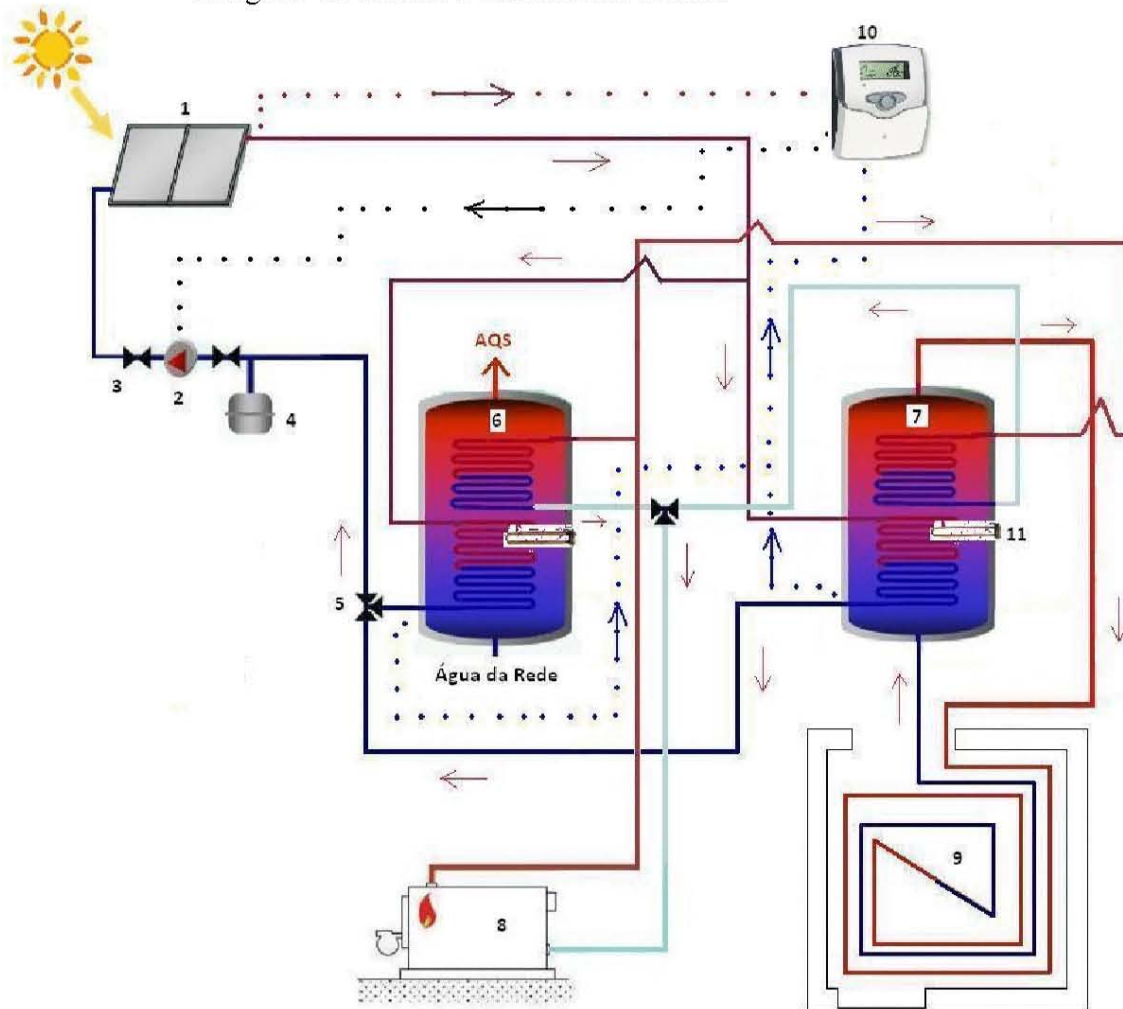


Figura 4.1 – Esquema simplificado sobre o funcionamento do sistema (o autor)

Legenda:

1. Colectores solares
2. Bomba de Calor
3. Válvula Anti-retorno
4. Vaso de Expansão
5. Válvula desviadora
6. Depósito de 300 litros para AQS
7. Depósito de 400 litros destinado ao aquecimento central
8. Recuperador de calor
9. Aquecimento Central – Piso radiante
10. Controlador
11. Resistência Eléctrica

Este sistema conta com três fontes independentes de energia: energia solar, biomassa e energia eléctrica. Esta é armazenada na água sob a forma de calor através de permutadores inseridos no interior de dois depósitos de inércia (salvo a energia eléctrica que é dissipada directamente por efeito de Joule) – um funciona apenas para AQS e o outro para o aquecimento central da habitação através do piso radiante hidráulico.

A mistura de água e glicol aquecida pelos colectores dirige-se para a serpentina inferior de um dos depósitos acumuladores, conforme a prioridade definida pelo controlador, e regressa novamente aos painéis solares, completando o circuito solar primário. O depósito de AQS (ponto 6 da legenda da figura 4.1) serve exclusivamente para abastecer as águas quentes sanitárias e as máquinas de lavar (loiça e roupa). O outro depósito tem como função guardar água quente, funcionando como depósito de inércia para o aquecimento central através de piso radiante hidráulico.

Como foi referido, as fontes são todas independentes e podem alimentar os dois depósitos. A biomassa não é excepção e permite aquecer a água dos dois circuitos. Independentemente de ser aquecida pelos painéis solar ou pela biomassa, o fluido térmico vai ceder calor à água existente nos depósitos através dos permutadores neles integrados. Existe uma resistência em cada depósito que funciona em regime bi-horário e permitem aquecer a água quando a componente solar não é suficiente e a biomassa não está presente.

No circuito de retorno estão inseridas todas as válvulas desviadoras que, através de ordens emitidas pelo controlador, desviam o fluxo de acordo com as necessidades de cada reservatório, o circulador que permite a movimentação do fluido e as válvulas anti-retorno que impedem que o fluido circule em sentido contrário. Estes componentes estão inseridos no circuito de retorno uma vez que este funciona a temperaturas inferiores ao circuito de ida, aumentando, desta forma, o seu tempo de vida. A dilatação do fluido é absorvida pelo vaso de expansão que também está situado no circuito de retorno.

Os depósitos de inércia são cilíndricos e estão colocados na posição vertical para permitir a estratificação térmica da água, ficando a mais quente na parte superior do acumulador por ser mais leve (a massa volúmica  $\rho$  diminui com a temperatura). Devido a este facto, a água da rede (fria) entra pela parte inferior e a saída está colocada na zona superior onde a temperatura é superior. Na figura pode-se observar que o depósito é de dupla serpentina, ou seja, tem dois permutadores de calor. A serpentina inferior faz a permutação do calor proveniente dos colectores solares enquanto a superior aquece a

água do acumulador por intermédio do calor proveniente da queima de biomassa num recuperador de calor. Esta distribuição é explicada pela gama média de temperaturas de funcionamento dos dois circuitos (mais baixa no solar) de forma a não prejudicar a estratificação térmica no interior de cada depósito.

O controlador é o “cérebro” de todo o sistema, sendo programável de acordo com as necessidades e prioridades pretendidas de forma a garantir um bom desempenho de todo o sistema.

## 4.2 Caracterização e selecção de componentes

Após a explicação sobre o funcionamento geral do sistema é necessário caracterizar cada componente que o constitui.

### 4.2.1 Colectores solares e componentes do circuito solar

#### 4.2.1.1 Constituição e princípio de funcionamento

Os colectores solares instalados permitem converter a radiação solar em calor e transferi-lo para o resto do sistema. O calor é gerado pela absorção dos raios solares através de uma placa metálica que se comporta como um corpo negro – a placa absorvora (figura 4.3). Está é a componente mais importante do colector. Na placa absorvora está incorporado um sistema de tubos que serve para transferir o calor gerado, para o fluido de transferência térmica, que por sua vez flui para o tanque de armazenamento de água quente. A constituição geral de um colector solar plano está descrita de seguida (figura 4.2):

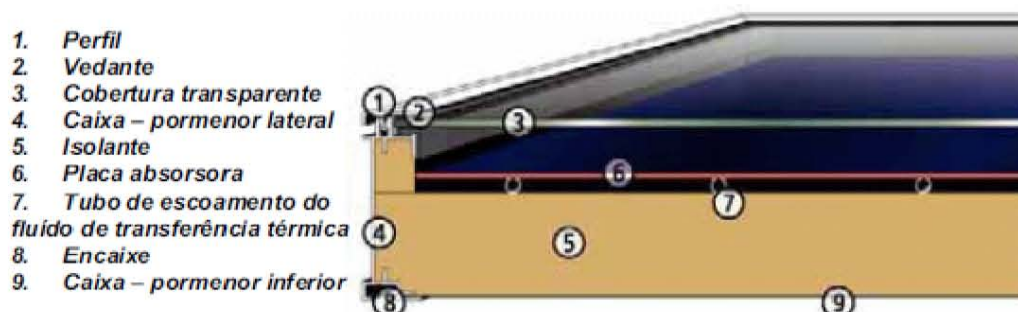


Figura 4.2 - Constituição de um colector solar (Energia Solar Térmica – manual sobre tecnologias, projecto e instalação, projecto GREENPRO, Janeiro 2004)

O absorber (figura 4.3) está otimizado para ter a maior capacidade de absorção e a menor emissividade térmica. Esta otimização é possível através do tratamento da chapa metálica, com um revestimento de pintura preto selectivo. Um revestimento selectivo é formado por uma estrutura com diferentes camadas que melhora a conversão de radiação solar, minimizando as perdas e aumentando a absorção. Devido a estas vantagens, os colectores solares seleccionados possuem pintura selectiva (baseado em [1]).



Figura 4.3 – Placa absorvera do colector solar Solargus CSPS – 17 T (o autor)

#### 4.2.1.2 Características e selecção

A escolha do colector solar recaiu num equipamento da marca Solargus CSPS – 17T. Trata-se de um colector plano, com cobertura de vidro, pintura selectiva (preto) e 17 tubos verticais. Isto porque a relação qualidade preço era bastante atractiva para um colector solar plano selectivo.

As especificações do colector, resultantes de um ensaio realizado pelo INETI, (Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação) estão descritas por completo no Anexo V-A. Deste ensaio obteve-se, entre outras características, a curva característica da potência fornecida pelo colector em função da temperatura (figura 4.4):

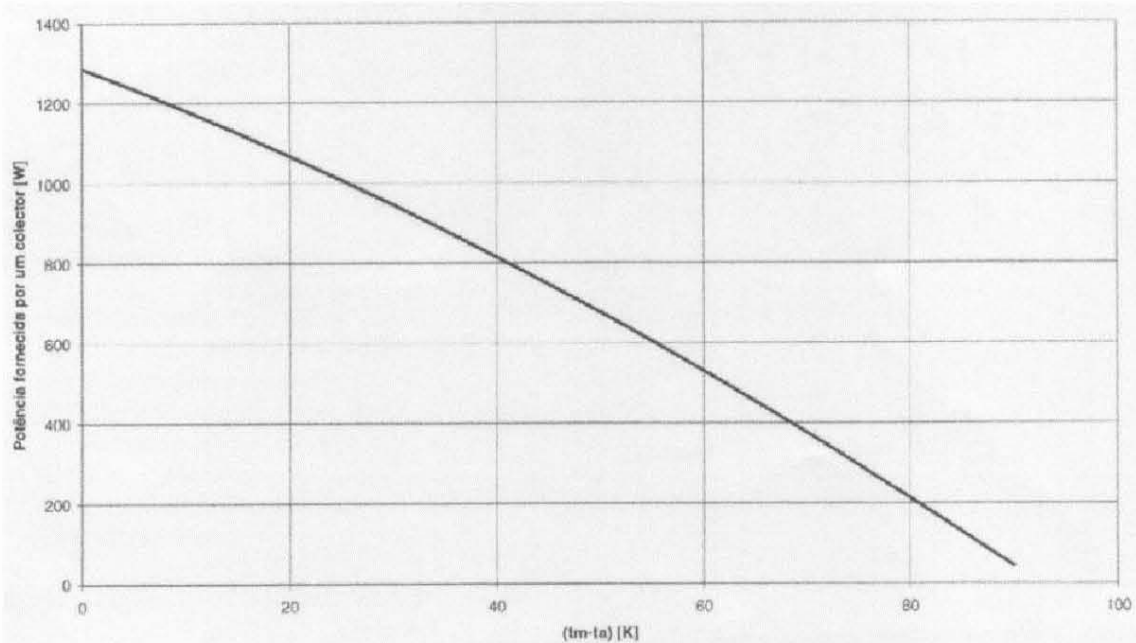


Figura 4.4 – Potência fornecida em função da temperatura (Relatório de Ensaio do Colector solar térmico Solargus CSPS-17T)

A partir deste gráfico é possível concluir que os painéis solares fornecem uma potência mais elevada quando a diferença entre a temperatura média do coletor (entre a entrada e a saída) e a temperatura ambiente é maior (eixo das abcissas).

A partir do quadro III.1 Anexo V-A constrói-se a curva característica de rendimento instantâneo em função da temperatura (figura 4.5):

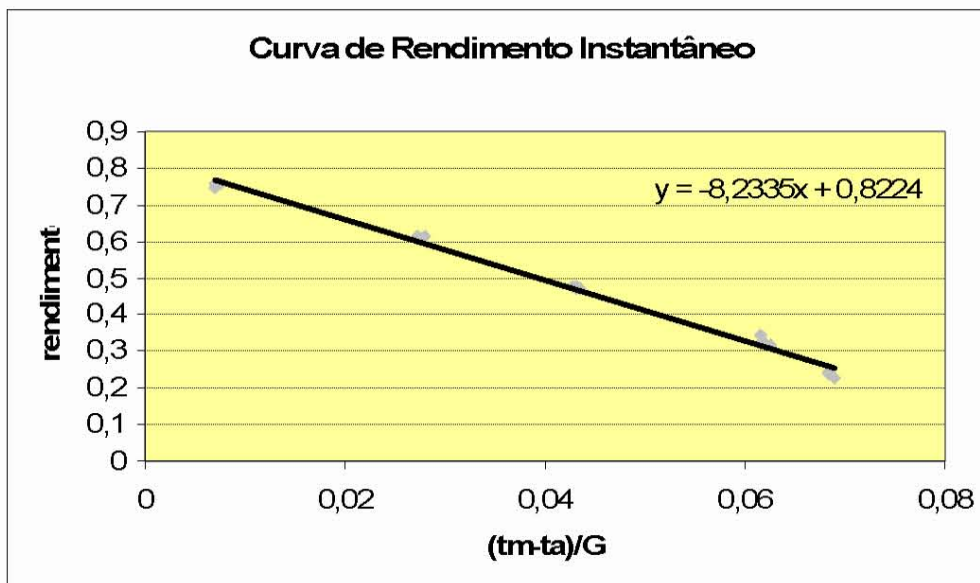


Figura 4.5 – Curva de Rendimento Instantâneo (baseado no Relatório de Ensaio do Colector solar térmico Solargus CSPS-17T)

Observando o gráfico acima conclui-se que os painéis solares têm um rendimento instantâneo mais elevado quando a diferença entre a temperatura média do colector (entre a entrada e a saída) e a temperatura ambiente é maior (eixo das abcissas).

Outro dado importante que é possível extrair do diagrama acima é a temperatura de estagnação, interceptando a curva do rendimento com o eixo das abcissas ( $\eta=0$ ). Isto acontece quando, por exemplo, a bomba de recirculação falha ou se a água aquecida não é utilizada (período de férias), e na sequência de irradiação solar elevada não é retirado mais calor do colector. Nesta situação a placa absorvedora do colector aquece até que as perdas de calor, através da convecção, radiação e condução, atingem o valor de output térmico do colector. Quanto maior o isolamento, mais elevada a temperatura de estagnação.

Para este colector específico a temperatura de estagnação é estimada da seguinte forma:

A partir da equação característica do rendimento em função da temperatura:

$$y = -8,2335 \cdot x + 0,8224$$

Quando  $y=0$  ( $\eta=0$ ):

$$x \approx 0,0998846$$

Isto significa que:

$$\frac{(t_m - t_a)}{G} = 0,0998846$$

Segundo a seguinte linha do quadro III.1 do Anexo V-A:

Tabela 4.1 – Excerto da tabela do ensaio do colector (Relatório de Ensaio do Colector solar térmico Solargus CSPA-17T)

19/07/2006	1000.0	27.1	30.2	38.0	134.2	0.0070	0.749
------------	--------	------	------	------	-------	--------	-------

$$\frac{(t_m - 27,1)}{1000} = 0,0998846$$

Conclui-se que:

$$t_m = t_{estagnação} \approx 127^{\circ}C$$

#### 4.2.1.3 Sombreamento

O estudo do sombreamento sobre os painéis é um ponto fundamental. Um sistema pode ser bem dimensionado mas se esta análise for desprezada e os ângulos de captação for muito reduzido pode comprometer o rendimento de todo o conjunto e, numa situação mais extrema, não justificar o investimento efectuado. Os obstáculos podem ser do tipo naturais ou artificiais.

Tendo a consciência da importância deste estudo, mediram-se as distâncias aos obstáculos e calcularam-se os ângulos de obstrução. As fachadas NW e SW estão rodeadas por um pinhal protegido pelo ICN (Instituto da Conservação da Natureza – o terreno onde a moradia foi construída está localizado na arriba fóssil da Costa da Caparica) e, portanto, não se podem cortar. O sombreamento provocado por estas árvores foi equiparado a obstáculos 100% opacos, facto que não se verifica na prática mas que é difícil de contabilizar.

Felizmente o sombreamento não é muito significativo como se pode observar na figura 4.6 que foi obtida com o auxílio do software “Solterm 5.0”:

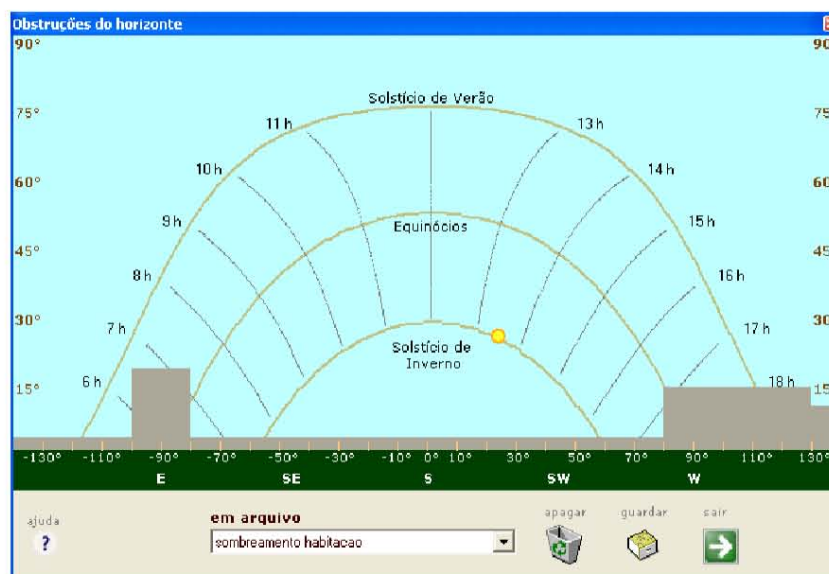


Figura 4.6 – Sombreamento angular dos painéis solares (Software Solterm 5.0)

#### 4.2.1.4 Orientação e inclinação dos painéis

Os parâmetros angulares (orientação e inclinação) dos colectores são factores de extrema importância, visto que uma instalação incorrecta poderá comprometer o bom funcionamento e o tempo de amortização de todo o sistema solar. Outro factor que tem extrema importância nesta temática dos ângulos é o sombreamento. Este estudo é determinante visto que se não for levado em linha de conta pode comprometer o rendimento do sistema.

Para diferentes ângulos de incidência do sol ao longo do ano, a uma determinada latitude, existe um valor máximo de radiação produzida que poderá ser obtido se a superfície receptora estiver inclinada a um determinado ângulo. O ângulo de inclinação óptimo, para os meses de Inverno (menor radiação) é maior que no Verão por causa da menor altura solar. Dado que as maiores necessidades (aquecimento) são nos meses de Inverno, sabe-se, à partida que os painéis devem estar numa posição mais vertical que os 45° mas é necessário realizar vários cálculos que permitam concluir qual a inclinação que proporciona maior rendimento, otimizando a instalação. De modo a evitar um conjunto de cálculos minuciosos recorreu-se ao software Solterm 5.0 que, depois de configurado o sistema, simula as condições reais. Comprovou-se esta teoria e os resultados estão presentes na figura 4.7.

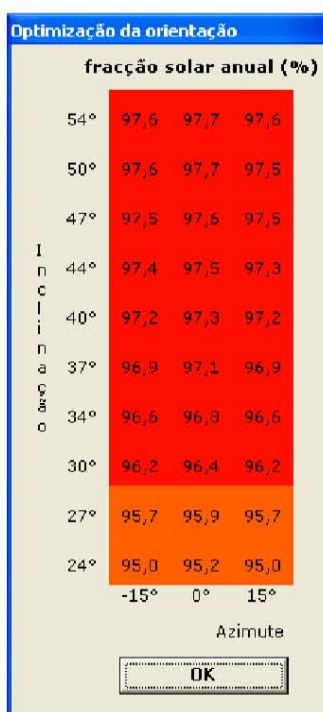


Figura 4.7 – Optimização da orientação de acordo com a fracção solar (Software Solterm 5.0)

Conclui-se que o ângulo de inclinação óptimo é 54° orientado ao sul geográfico, ou seja, azimute 0°.

#### 4.2.1.5 Bomba circuladora do circuito primário

A bomba circuladora permite o movimento do fluido térmico desde os colectores até às serpentinas dos depósitos de inércia. A bomba escolhida é da marca Grundfos Solar 15-60 e está inserida no grupo de circulação 255056 da marca Caleffi. Esta escolha tem sempre por base o número de colectores que constitui o sistema. Este componente está dimensionado para instalações até 4 painéis solares.

Uma propriedade importante desta bomba é ter velocidade variável, permitindo, desta forma, aumentar o caudal quando a temperatura no colector assim o exige de forma a maximizar o rendimento da instalação, transportando toda a energia possível no fluido até aos acumuladores. Na figura 4.8 é possível observar este equipamento integrado no grupo de circulação:



Figura 4.8 – Bomba circuladora inserida no grupo de circulação (Catálogo da Caleffi – componentes para a instalações hidro-sanitárias)

#### 4.2.1.6 Tubagens e respectivo isolamento

As tubagens que constituem o circuito primário são compostas por convencionais tubos em cobre de diâmetro 18 mm. Estas estão envolvidas por um isolante térmico Armacell Tubolit DG de 20 mm de espessura e baixa condutividade térmica (inferior a 0,038 W/(mK)) reduzindo, desta forma, as perdas de calor de uma forma muito significativa. A figura 4.9 comprova a envolvência perfeita entre a tubagem e o isolante:

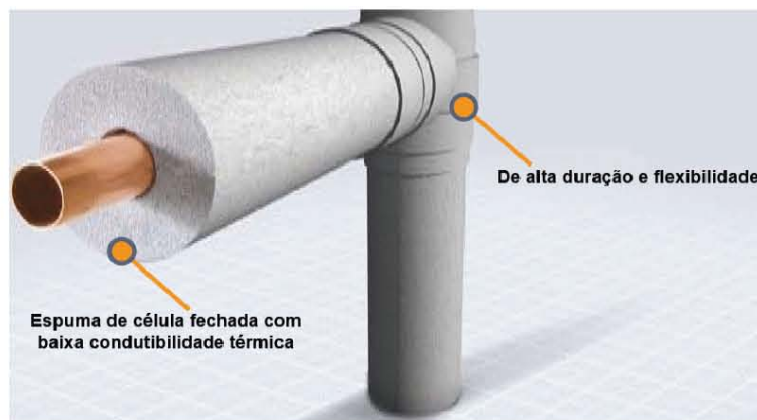


Figura 4.9 – Isolamento das tubagens (Catálogo da Armacell – Tubolit)

#### 4.2.1.7 Características

As características pormenorizadas dos vários componentes do circuito primário encontram-se nos excertos dos catálogos das respectivas marcas que estão em anexo (Anexo VI).

## 4.2.2 Depósitos de inércia/ permutadores

### 4.2.2.1 Princípio de funcionamento

O sistema, tal como já foi referido é constituído por dois depósitos de inércia. A marca escolhida para estes equipamentos foi a Wikora – um de 300 litros (WBO 302 DUO) destinado às AQS e outro de 400 litros (WBO 403 DUO) destinado ao aquecimento central através de piso radiante hidráulico. Estes depósitos são considerados aparelhos de aquecimento indirecto visto que não são eles que geram o calor, simplesmente o guardam na água até esta ser utilizada. É, também, no seu interior que se procede a permuta de calor entre os circuitos (primários) que transportam o calor da (s) fonte (s) e a água que se encontra no seu interior armazenada. Esta permuta é feita através de serpentinas inseridas no seu interior. Como estes dispositivos funcionam com temperaturas superiores à temperatura ambiente e, para reduzir ao máximo as perdas, possuem um isolamento específico composto por espuma rígida de poliuretano.

A constituição de cada um destes acumuladores é igual e pode ver observada, com mais detalhe, na figura 4.10:

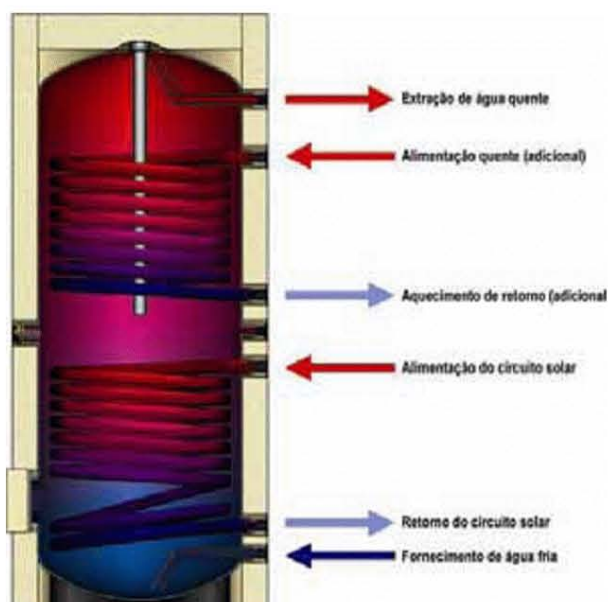


Figura 4.10 – Constituição de um depósito de inércia (Energia Solar Térmica – manual sobre tecnologias, projecto e instalação, projecto GREENPRO, Janeiro 2004)

Na parte inferior do acumulador localiza-se o fornecimento de água (fria) da rede e na parte mais superior é feita a tomada de água quente que é enviada para os pontos de distribuição. Cada vez que é utilizada água quente entra água da rede

mantendo sempre, desta forma, o depósito cheio e sob pressão. Existem, tal como acima referido, duas entradas e duas saídas que correspondem às serpentinas inseridas no seu interior.

#### 4.2.2.2 Estratificação

Com a extracção de água quente para utilização e com entrada de água fria no tanque, têm de se criar condições para que estas não se misturem. Se tal acontecesse comprometer-se-ia o desempenho do sistema. Deve-se, portanto, manter uma boa estratificação térmica que possa ser conservada. Para criar essas condições, os tanques têm de ter uma estrutura vertical, sendo a razão altura-diâmetro recomendada de pelo menos 2,5:1. Esta separação é possível visto que existe uma variação de densidade proporcional à temperatura permitindo que a água mais quente (e mais leve) suba e a água mais fria (e mais pesada) permaneça no fundo (baseado em [1]).

A serpentina inferior está sempre associada ao circuito solar (quando existe) visto que este funciona a temperaturas mais baixas que uma caldeira ou, neste caso, que um recuperador a biomassa, permitindo, desta forma, que a estratificação não seja prejudicada. A existência de uma zona mais fria assegura a eficiência do sistema solar, mesmo em condições de baixa radiação solar, visto que basta que a temperatura dos colectores seja um pouco superior à da água presente no fundo do reservatório para que este circuito comece a injectar calor para o seu interior.

#### 4.2.2.3 Permutadores de serpentina

Idealmente, as ligações dos permutadores de calor para o circuito de aquecimento solar e adicional devem ser instaladas com tubagem em cotovelo para que as perdas de calor, através das ligações, sejam reduzidas. O posicionamento do permutador de calor adicional, na área superior do tanque de armazenamento, garante um aquecimento rápido do volume em espera (requisito diário), sem retirar ao circuito solar a possibilidade de ser capaz de armazenar energia (por menor que seja) na área fria do tanque. O permutador do circuito solar deve-se encontrar o mais baixo possível, para que dentro do tanque de armazenamento se possa aquecer a água desde a base do mesmo (baseado em [1]).

As serpentinas são construídas em materiais bons condutores, cobre por exemplo (figura 4.11), para facilitar as trocas de calor e são revestidas num material anticorrosivo (figura 4.12) de modo a prolongar o seu tempo de vida e evitar contaminar a água contida no depósito.



Figura 4.11 – Serpentina permutadora (o autor)



Figura 4.12 – Serpentina permutadora revestida (o autor)

#### 4.2.2.4 Características

Um valor importante a reter é o rendimento das serpentinas. Como não se tem acesso à Norma DIN 4708, este valor teve que ser estimado. A forma encontrada para o fazer foi estabelecer uma analogia com um permutador de calor em contra corrente e calcular a sua efectividade média. Os cálculos abaixo indicados permitem quantificar esta grandeza (baseado em [11]):

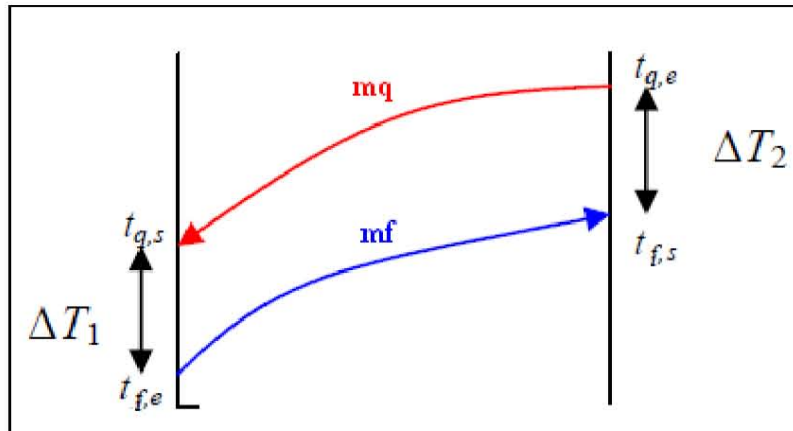


Figura 4.13 - Circuitos em contracorrente (brochura trocadores de calor)

### CASO 1

Sendo que:

- $t_{q,e} = 90^{\circ}C$
- $t_{q,s} = ?$
- $t_{f,e} = 10^{\circ}C$
- $t_{f,s} = 45^{\circ}C$
- $\dot{m}_q = 2,5 m^3 / h$
- $\dot{m}_f = 1220 l / h = 1,22 m^3 / h$

Com base na equação:

$$q = \dot{m} C_p \Delta T$$

Sabe-se que o calor que um fluido recebe é igual ao calor que o outro fluido cede, ou seja:

$$\dot{m}_q C_{p_q} \Delta T_q = \dot{m}_f C_{p_f} \Delta T_f$$

$$\dot{m}_q C_{p_q} (T_{q,e} - T_{q,s}) = \dot{m}_f C_{p_f} (T_{f,s} - T_{f,e})$$

Assumindo que:

$$Cp_f \approx Cp_q$$

E substituindo os valores obtém-se:

$$T_{q,s} = 72,9^\circ C$$

Neste momento é possível calcular o valor da efectividade através da seguinte fórmula:

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{\max}} \text{ e } q_{\max} = \lambda_{\min} = (\dot{m}Cp)_{\min} = \dot{m}_f Cp_f$$

Logo:

$$\varepsilon = \frac{m_f Cp_f (T_{f,s} - T_{f,e})}{m_f Cp_f (T_{q,e} - T_{f,e})}$$

$$\varepsilon = \frac{(T_{f,s} - T_{f,e})}{(T_{q,e} - T_{f,e})}$$

$$\varepsilon = \frac{45 - 10}{90 - 10}$$

$$\varepsilon \approx 0,4375$$

## CASO 2

Sendo que:

- $t_{q,e} = 90^\circ C$
- $t_{q,s} = ?$
- $t_{f,e} = 10^\circ C$
- $t_{f,s} = 60^\circ C$
- $\dot{m}_q = 2,5 m^3 / h$
- $\dot{m}_f = 725 l / h = 0,725 m^3 / h$

Com base na equação:

$$q = \dot{m} Cp \Delta T$$

Sabe-se que o calor que um fluido recebe é igual ao calor que o outro fluido cede, ou seja:

$$\dot{m}_q C p_q \Delta T_q = \dot{m}_f C p_f \Delta T_f$$

$$\dot{m}_q C p_q (T_{q,e} - T_{q,s}) = \dot{m}_f C p_f (T_{f,s} - T_{f,e})$$

Assumindo que:

$$C p_f \approx C p_q$$

E substituindo os valores obtém-se:

$$T_{q,s} = 75,5^\circ C$$

Neste momento é possível calcular o valor da efectividade através da seguinte fórmula:

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{\max}} \text{ e } q_{\max} = \lambda_{\min} = (\dot{m} C p)_{\min} = \dot{m}_f C p_f$$

Logo:

$$\varepsilon = \frac{\dot{m}_f C p_f (T_{f,s} - T_{f,e})}{\dot{m}_f C p_f (T_{q,e} - T_{f,e})}$$

$$\varepsilon = \frac{(T_{f,s} - T_{f,e})}{(T_{q,e} - T_{f,e})}$$

$$\varepsilon = \frac{60 - 10}{90 - 10}$$

$$\varepsilon \approx 0,625$$

Como seria de prever as efectividades têm valores diferentes. Para se obter um único valor para esta grandeza estima-se a média das duas ocorrências:

$$\varepsilon_1 = 0,4375 \rightarrow \bar{\varepsilon} \approx 0,53$$

$$\varepsilon_2 = 0,625$$

As características pormenorizadas encontram-se no excerto do catálogo da marca que está em anexo (Anexo VI).

## 4.2.3 Controlador

### 4.2.3.1 Princípio de funcionamento

O controlador é considerado o “cérebro” de todo o processo visto que é através da sua configuração que é possível controlar e monitorizar o desempenho do sistema. O equipamento escolhido foi o Resol DeltaSol E. Este controlador tem 7 sistemas básicos e 30 esquemas da instalação pré-programados e, para extrair toda a sua potencialidade, possui 7 saídas de relés e 13 entradas de sondas além de estar à venda no mercado a um preço bastante competitivo.



Figura 4.14 – Controlador (Manual Resol Delta Sol E)

### 4.2.3.2 Características

A figura 4.15 que se segue é um esquema simplificado que ilustra as várias ligações do controlador:

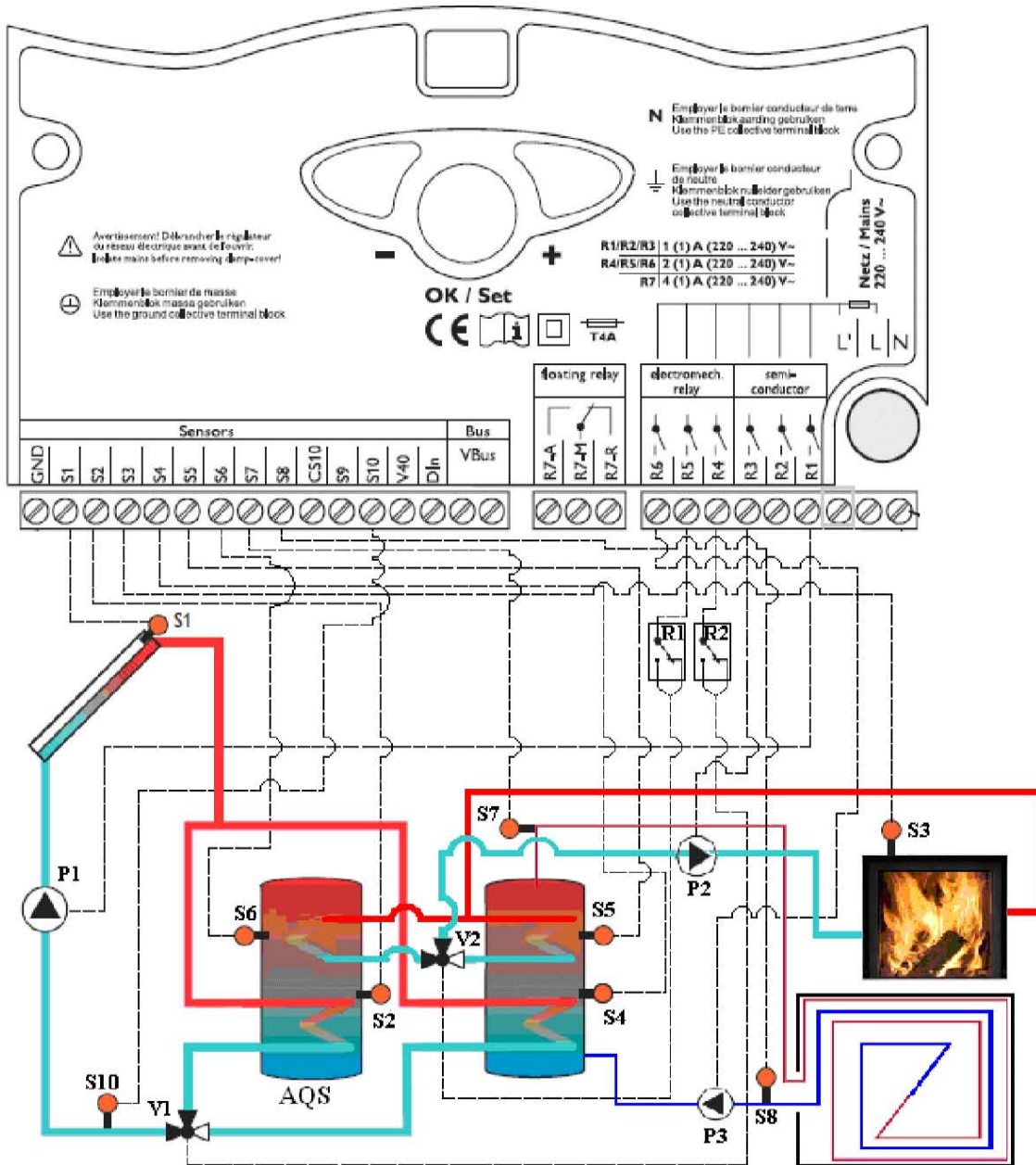


Figura 4.15 – Esquema simplificado das ligações ao controlador (o autor)

Legenda:

- P1, P2 e P3 são os circuladores;
- V1 e V2 são as válvulas de três vias ou válvulas desviadoras;
- S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8 e S10 são sensores/sondas de temperatura;
- R1 e R2 são relés auxiliares que tiveram que se integrar para permitir, consoante parâmetros estabelecidos, movimentar as válvulas desviadoras para a posição de AQS ou para a posição de aquecimento central.

As características pormenorizadas encontram-se no catálogo da marca que está em anexo.

## 4.2.4 Recuperador de calor

### 4.2.4.1 Princípio de funcionamento

A segunda fonte de energia renovável é o recuperador de calor a biomassa. Este componente, através da queima do referido combustível, permite aquecer, por condução, a caixa de água que o envolve e aquecer o ambiente envolvente por convecção. A água aquecida que funciona em circuito fechado é enviada para um dos dois depósitos de inércias que constituem o sistema (AQS ou aquecimento central). Dentro destes e, através das serpentinas existentes no seu interior, a água aquecida deposita o calor nela contido na água armazenada nestes depósitos e regressa de novo ao recuperador e assim sucessivamente.

O recuperador escolhido foi o RAF 4 da marca Solargus e produz 25kW de potência máxima. A introdução de lenha neste recuperador é um processo manual visto que os recuperadores a biomassa com sistemas automáticos de queima de pelets apresentam um custo muito superior. O custo das próprias pelets ainda é bastante mais elevado que a convencional lenha e, a opção por um sistema desta geração, iria encarecer de forma acentuada o investimento inicial e a manutenção de todo o sistema.

Houve uma clara preocupação com a localização do recuperador. Este está situado próximo do centro geométrico da casa. De modo a maximizar o calor proveniente da queima de biomassa, instalaram-se grelhas nas divisões atravessadas pela chaminé, que, por convecção, emitem ar aquecido pelos fumos e pelo próprio tubo de extracção que também está a temperaturas relativamente elevadas. Abaixo está representado um esquema simplificado (figura 4.16) que ilustra esta solução adoptada:

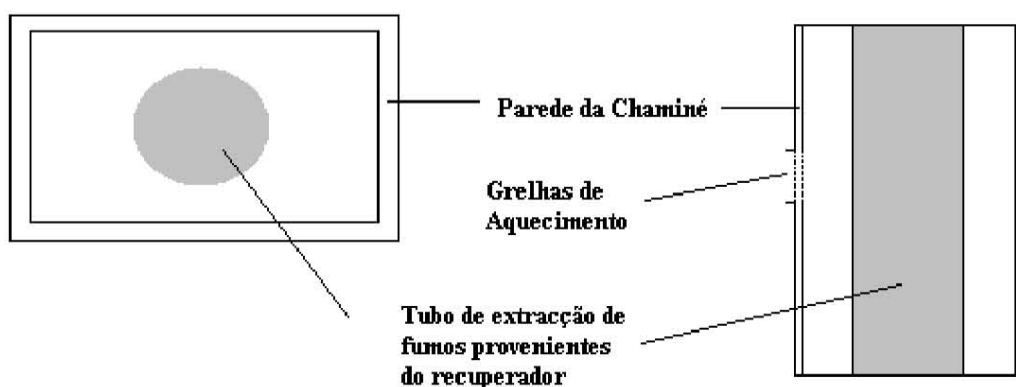


Figura 4.16 – Esquema simplificado do aproveitamento da extracção dos fumos quentes (o autor)

O recuperador de calor, ainda sem as ligações montadas pode ser observado na fotografia 4.17, abaixo colocada:



Figura 4.17 – Fotografia do recuperador de calor (cedido pelo professor doutor João José Lopes de Carvalho)

#### 4.2.4.2 Bomba circuladora do circuito da biomassa

A bomba circuladora permite o movimento do fluido térmico desde do recuperador de calor até às serpentinas superiores dos depósitos de inércia. A bomba escolhida é da marca Wilo da série Wilo smart 25-30-4. Esta escolha tem por base o tipo de utilização desta bomba que é adequada para qualquer tipo de circuitos que funcione com água quente.

Este componente tem 3 velocidades possíveis, permitindo aumentar ou reduzir o caudal de acordo com as necessidades momentâneas, fazendo circular o fluido térmico por um circuito relativamente curto de tubo mas que transporta elevada quantidade de energia proveniente das altas temperaturas resultantes da queima de biomassa no interior do recuperador.

A figura 4.18 ilustra o equipamento em causa:



Figura 4.18 - Bomba circuladora Wilo smart do circuito do recuperador (Catalogue Heating, Air-Conditioning, Cooling - Glandless Circulators and Accessories, Package Heat Exchanger Assembly)

#### 4.2.4.3 Tubagens e respectivo isolamento

As tubagens que constituem o circuito da biomassa são compostas por convencionais tubos em cobre de diâmetro 22 mm ao contrário dos 18mm utilizados no circuito solar. Este aumento de diâmetro é explicado pela necessidade de ter caudais maiores visto que este circuito trabalha a temperaturas também muito mais elevadas.

As tubagens estão igualmente envolvidas por um isolante térmico Armacell Tubolit DG de 20 mm de espessura e baixa condutividade térmica (inferior a 0,038 W/(mK)) reduzindo, desta forma, as perdas de calor de uma forma muito significativa (ver figura 4.9).

#### 4.2.4.4 Características

As características pormenorizadas dos vários componentes que constituem o circuito de aquecimento central encontram-se nos excertos dos catálogos das respectivas marcas que estão em anexo (Anexo VI).

## **4.2.5 Piso radiante hidráulico**

### **4.2.5.1 Distribuição dos circuitos**

O material escolhido para realizar esta parte do projecto foi, essencialmente, da Uponor. Segundo os sistemas tradicionais desta empresa, os circuitos emissores instalam-se com tubos UPONOR wirsbo-evalPEX 16x1,8, 17x2 ou 20x1,9 (medidas em milímetros). O espaçamento recomendado entre tubos e circuitos emissores é de 15, 16, 20 ou 24 cm (habitualmente 20 cm) no caso de se tratar de um sistema que utiliza placa isolante pré-formada (ver figura 2.6). A escolha, após aconselhamento especializado, recaiu nos tubos wirsbo-evalPEX 16x1,8 sendo estes fixos com grampos sob placas de floormate como ilustra a figura 4.20. O espaçamento adoptado foi 20 cm nas divisões que possuem soalho flutuante e 25 cm nas divisões cujo piso é mosaico uma vez que este, devido às suas propriedades, conduz melhor o calor não sendo necessário, portanto, um passo tão reduzido entre tubos.

Existem dois tipos de traçado dos circuitos aconselhados: em dupla serpentina ou espiral. A escolha recaiu na segunda configuração visto que os tubos de ida e de retorno são sempre contíguos permitindo que os tubos mais quentes estejam sempre próximos dos mais frios. Esta distribuição assegura uma melhor homogeneização da emissão térmica. A configuração em espiral é recomendada, segundo o fabricante, para aquecer locais que tenham formas geométricas simples tendo ainda vantagens na instalação uma vez que permite curvaturas menos pronunciadas (menos perdas de carga no circuito). A dupla serpentina é recomendável especialmente para locais cuja planta apresente formas geométricas complexas [6].

Como se pode observar no gráfico seguinte (figura 4.19), o traçado em espiral possibilita uma distribuição mais constante da temperatura evitando a existência de zonas quentes e zonas frias:

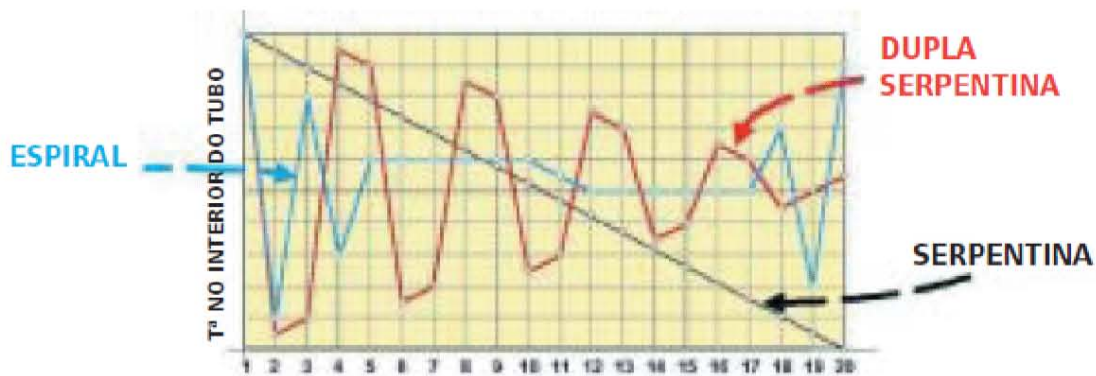


Figura 4.19 - Circuitos em serpentina vs circuitos em dupla serpentina vs circuitos em espiral (Catalogo Uponor – Manual técnico de aplicações de aquecimento radiante e climatização)

Um aspecto a salientar a respeito da constituição deste sistema de aquecimento específico é que possui mais inércia térmica que os sistemas convencionais uma vez que o espaço que geralmente é ocupado pela placa que permite a colocação das tubagens está preenchido por argamassa visto que o método utilizado para as fixar foi através de grampos metálicos revestidos a plástico como se pode observar na fotografia 4.20:



Figura 4.20 – Fotografia da distribuição dos circuitos em espiral (cedido pelo professor doutor João José Lopes de Carvalho)

É recomendável estabelecer circuitos com comprimentos semelhantes de modo a uniformizar os caudais que são distribuídos pelos colectores [6]. De seguida estão ilustrados os esquemas da distribuição dos vários circuitos pela habitação (R/chão e 1º andar) – figura 4.21 (podem ser vistos mais ao pormenor no Anexo III) – e os respectivos comprimentos – tabela 4.2:



Figura 4.21 – Esquema simplificado com a distribuição dos circuitos em espiral nos 2 andares da habitação (o autor)

A tabela seguinte resume a dimensão dos vários circuitos que constituem o sistema de aquecimento central por piso radiante:

Tabela 4.2 - Tabela resumo do comprimento dos circuitos do radiante (o autor)

Piso	Circuito	Comprimento (m)	
R/Chão	C1	60	258
	C2	51	
	C3	74	
	C4	73	
1º Andar	C5	50	238
	C6	44	
	C7	63	
	C8	81	
<b>TOTAL</b>		<b>496</b>	

Devido ao facto de esta moradia ser um T3 e estar habitada, de uma forma permanente, por apenas duas pessoas o aquecimento irá centrar-se nas divisões da casa mais utilizadas mantendo um aquecimento residual nas restantes. Esta configuração pode ser alterada através de ajustes de caudais realizados nas válvulas dos colectores consoante a distribuição de calor pretendida em cada divisão.

Como se pode observar na figura com o layout dos circuitos do 1º andar, o circuito C1 vai directamente a um radiador de parede instalado na casa de banho da suite com o objectivo de secar as toalhas de banho. O facto de ir em primeiro lugar para este dispositivo justifica-se com o facto de no início do circuito a temperatura da água que nele circula ser mais elevada, como é recomendado.

#### 4.2.5.2 Colectores de distribuição

Os colectores de distribuição são responsáveis pela distribuição e o respectivo retorno de água previamente aquecida para cada circuito da casa. No sistema de aquecimento em causa fazem parte 2 pares de colectores, um em cada piso. Estes equipamentos são da marca Caleffi e modelo 663. Estes dispositivos permitem a regulação diferenciada de caudais por circuito (até 7 circuitos por cada par de colectores) consoante o seu comprimento e também consoante a importância do aquecimento das divisões em questão. Na figura 4.22 é possível observar o equipamento que se trata:

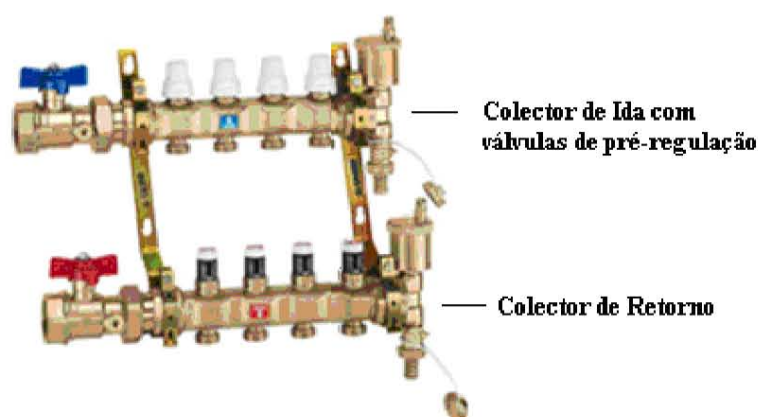


Figura 4.22 – Colectores de distribuição (Catálogo da Caleffi – componentes para instalações de aquecimento por piso radiante)

As características pormenorizadas encontram-se no excerto do catálogo da marca que está em anexo (Anexo VI).

#### 4.2.5.3 Tubagem evalPEX

Nas tubagens plásticas convencionais utilizadas nas aplicações de condução de água quente em circuitos fechados, as moléculas de oxigénio do ar penetram através da parede dos tubos, pois ao aumentar a temperatura, o espaço inter-molecular dos tubos tende a ser maior que a molécula de oxigénio. Este fenómeno origina uma permanente oxigenação da água e a conseqüente oxidação continuada das partes metálicas da instalação, reduzindo a sua durabilidade. Esta redução de vida útil deve-se tanto a perda de materiais metálicos da instalação, como à obstrução das tubagens originada pela deposição de óxidos.

A barreira anti-difusão de oxigénio presente nos tubos UPONOR Wirsbo-evalPEX evita estes problemas uma vez que reduz drasticamente a infiltração extra de oxigénio no caudal da água. Esta situação está ilustrada nos gráficos abaixo indicados (figura 4.23) onde é possível concluir que para a mesma temperatura a difusão nestas tubagens da Uponor é quase 100 vezes inferior:

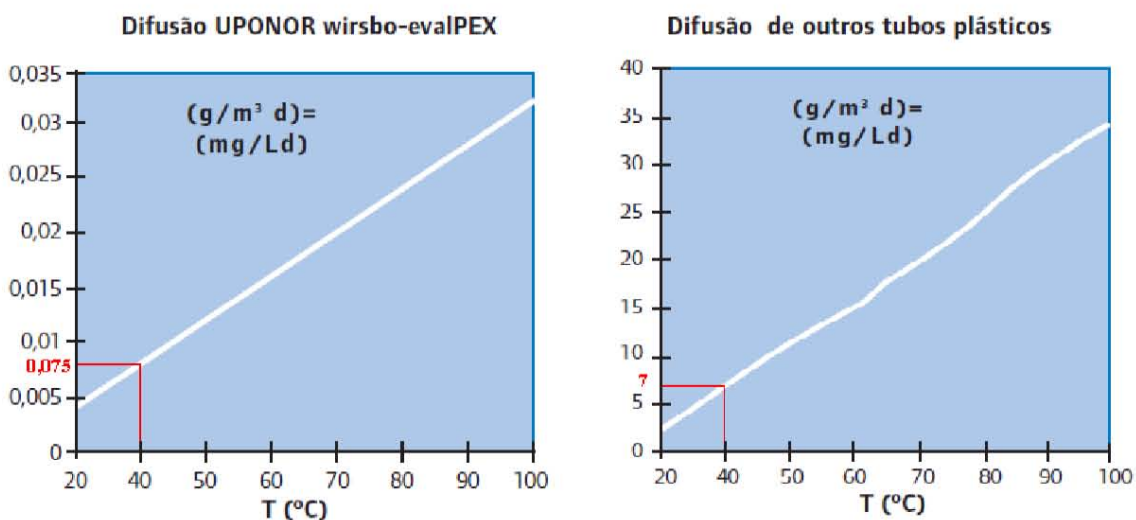


Figura 4.23 – Gráficos comparativos da difusão entre as tubagens evalPex e as tubagens comuns (Catálogo Uponor – Manual técnico de aplicações de aquecimento radiante e climatização)

As tubagens wirsbo-Pex da Uponor reúnem, portanto, as características e propriedades adequadas para a distribuição de água quente em circuitos fechados conferidas pela barreira anti-difusão de oxigénio. Os tubos Uponor Wirsbo-evalPEX são

fabricados de acordo com as normas UNE-EN ISO 15875 e cumprem as exigências da barreira anti-difusão de oxigénio que é estabelecida pela norma EN 1264-4 (baseado em [6]).

#### 4.2.5.4 Bomba circuladora do circuito de aquecimento

A bomba circuladora que pertence ao circuito de aquecimento permite que o fluido térmico circule pelos diversos circuitos constituídos pelas tubagens evalPex, descarregando o calor nas divisões por onde passa e regresse novamente ao depósito respectivo. A bomba escolhida é igual à presente no circuito do recuperador de calor (Wilo da série Wilo smart 25-30-4 – ver figura 4.18). Esta escolha tem por base o tipo de utilização desta bomba que é adequada para qualquer tipo de circuitos que funcione com água quente. Funciona em condições distintas da sua homologa visto que tem que percorrer um grande comprimento de tubagem, a baixa velocidade mas as temperaturas de funcionamento são muito inferiores às temperaturas presentes no circuito do recuperador.

#### 4.2.5.5 Características

As características pormenorizadas dos vários componentes que constituem o circuito de aquecimento central encontram-se nos excertos dos catálogos das respectivas marcas que estão em anexo (Anexo VI).

## 4.2.6 Resistências eléctricas

### 4.2.6.1 Princípio de funcionamento

Como energia de apoio introduziram-se duas resistências eléctricas, uma em cada depósito de inércia (AQS e aquecimento central) de modo a colmatar as insuficiências das outras fontes de calor.

Estas resistências transmitem calor por efeito de Joule e são accionadas por um programador electrónico semanal para funcionar em regime bi-horário. Estes equipamentos são da marca IES Soler, são resistências de imersão em água com termóstato de segurança regulável de 20°C a 80°C e têm as seguintes potências:

- AQS – nominal 2000W (real 1630W)
- Aquecimento central – nominal 3000W (real 2620W)

A diferença entre as potências escolhidas prende-se com o facto do depósito de aquecimento central ter uma capacidade superior ao de AQS.

De seguida está uma fotografia elucidativa do equipamento em causa:



Figura 4.24 - Resistência eléctrica de imersão (Catálogo da marca IES Soler)

### 4.2.6.2 Características

As características pormenorizadas destes equipamentos encontram-se no catálogo da respectiva marca que está em anexo.

## 4.2.7 Acessórios

Anteriormente foram descritos os equipamentos principais que constituem o sistema. Neste capítulo vão ser brevemente mencionados alguns dos acessórios que são igualmente indispensáveis para garantir o seu bom funcionamento.

- Vasos de Expansão

Os vasos de expansão têm como função absorver as dilatações ou oscilações de volume originadas pelo aquecimento do fluido circulante de modo a proteger toda a instalação. Existem 4 vasos de expansão neste sistema e a sua selecção foi efectuada tendo como base as suas características nominais de funcionamento (volume de líquido e gama de temperatura). Estes equipamentos estão brevemente resumidos na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Tabela resumo dos vasos de expansão que constituem o sistema (o autor)

Vasos de expansão	Marca/Modelo	Capacidade Litros	Pressão de actuação da membrana bar
Depósito de AQS	Roca/Vasoflex	18	4
Circuito Solar	Caleffi	12	2,5
Circuito recuperador	Roca/Vasoflex	12	0,5
Circuito e dep.piso radiante	Roca/Vasoflex	25	0,5

- Válvulas Misturadoras

Estes equipamentos permitem a mistura de água aquecida com água fria de modo a controlar as temperaturas de saída. Na situação de AQS permite uma economia de água quente uma vez que para se obter uma determinada temperatura, por exemplo na toma de um duche (ronda os 36°C que é a temperatura exterior média do corpo humano), parte é água quente proveniente do respectivo depósito (por exemplo a 60°C) que se mistura, logo à saída do depósito, com a água da rede, consumindo-se, deste modo, menos quantidade de água quente.

Na situação do piso radiante hidráulico, esta válvula tem, igualmente, um papel de elevada importância visto que permite regular a temperatura máxima de entrada, evitando, desta forma, que se exceda a temperatura máxima prevista pela Norma UNE-EN 1264. Quando ultrapassado este limite, a elevada temperatura pode provocar problemas de saúde aos seus utilizadores, nomeadamente relacionados com a circulação

sanguínea nos membros inferiores. Na tabela 4.4 estão descritos de uma forma breve estes dois equipamentos:

Tabela 4.4 – Tabela resumo das válvulas misturadoras que constituem o sistema (o autor)

Misturadoras	Marca	Gama de temperaturas °C
Saída Depósito AQS	Roca	42 - 60
Alimentação do piso radiante	Caleffi	30 - 65

- Válvulas Desviadoras

Estes equipamentos têm uma elevada importância neste sistema. São monitorizados pelo controlador e permitem otimizar a energia, descarregando-a no depósito de maior interesse. As duas válvulas são iguais e estão descritas na tabela 4.5:

Tabela 4.5 – Tabela resumo das válvulas desviadoras que integram o sistema (o autor)

Válvulas desviadoras	Marca/Ref.	Diâmetro entradas
Circuito Solar	Caleffi/644352	3/4"
Circuito recuperador	Caleffi/644352	3/4"

- Válvulas de Segurança

As válvulas de segurança permitem proteger o sistema contra eventuais anomalias, mais concretamente, excessos de pressão. Deste modo, previnem-se danos nos equipamentos. O critério de selecção foi a pressão de actuação e esta é diferente consoante o circuito em questão. Na tabela 4.6 estão mencionadas as 4 válvulas de segurança, o circuito a que pertencem e a respectiva pressão de actuação.

Tabela 4.6 – Tabela resumo das válvulas de segurança que constituem o sistema (o autor)

Válvulas de segurança	Marca/Modelo	Pressão de actuação (bar)
Depósito de AQS	Roca	7
Circuito Solar	Roca	6
Circuito recuperador	Roca	3
Circuito e dep.piso radiante	Roca	3

## 5 Estudo da eficiência energética

A procura da eficiência energética pode ser definida como a actividade que tem em vista a optimização ou utilização racional de energia. Isto consiste em utilizar menos energia para fornecer a mesma quantidade de valor energético.

A eficiência energética pressupõe a implementação de estratégias e medidas para combater o desperdício de energia desde o processo de transformação até à fase de consumo. Devido à temática concreta deste projecto vai-se focar esta última.

A análise global da distribuição dos consumos energéticos do sector doméstico em termos de energia final revela, em média:

- 50% são consumos resultantes da confecção de alimentos e aquecimento de águas quentes sanitárias;
- 25% em iluminação e electrodomésticos;
- 25% em aquecimento e arrefecimento.

Estes números evidenciam o peso significativo dos consumos no aquecimento das AQS, assim como os consumos com base em energia eléctrica, traduzindo a necessidade de actuar nestas duas vertentes com medidas de URE (utilização racional de energia). O vector da climatização representa “apenas” 25%, mas com uma taxa crescente, devido a maior exigência no conforto térmico. O aquecimento e arrefecimento representam uma terceira vertente de intervenção, a qual deverá ser acautelada através do RCCTE (baseado em [12], [13], [14], [15] e [16]).

Estes dados são a razão de ser deste projecto. Abrangendo o aquecimento de águas quentes sanitárias e o aquecimento da habitação, o projecto em causa contempla uma “fatia” que ronda os 75% do consumo total.

Este projecto visa provar que, através de isolamentos térmicos adequados, sistemas de aquecimento mais harmoniosos e recorrendo a fontes renováveis de energia se pode obter o mesmo conforto (ou até incrementá-lo) poupando bastante energia e reduzindo em grande quantidade as emissões de dióxido de carbono.

A utilização das energias renováveis como fonte de energia para consumo das necessidades energéticas, quer de climatização, quer de aquecimento de águas quentes sanitárias é uma das formas mais eficientes de reduzir o consumo de energias de combustíveis fósseis. No presente caso, a energia eléctrica é utilizada como fonte de

apoio mas funciona apenas em regime bi-horário, beneficiando-se, assim, de um desconto de aproximadamente 46% (ver tabela 2.2) face ao regime diurno/normal.

A eficiência energética e as energias renováveis são os "dois pilares" da política energética sustentável.

Para justificar as escolhas realizadas com base nesta filosofia, apresenta-se, de seguida, uma tabela (tabela 5.1) que resume os resultados provenientes dos vários relatórios resultantes das simulações efectuadas no software Solterm 5.0 que estão em anexo:

Tabela 5.1 – Tabela que resume as simulações efectuadas pelo Solterm (o autor)

Estado	Número Colectores	Orientação (°)	Azimute	Instalação Completa- Perfil Real de Consumo						
				Fracção Solar (%)	Rendimento (%)	Produtividade (kWh/m <sup>2</sup> colector)	Desperdiçado (kWh)	Fornecido (kWh)	Carga (kWh)	Apoio (kWh)
Inicial	3	54	Sul	24,9	29	518	0	2504	10068	7564
Optimização Orientação	3	54	Sul	24,9	29	519	0	2508	10068	7559
Hipótese de Optimização 1	4	54	Sul	30	26	469	0	3021	10068	7047
Hipótese de Optimização 2	6	54	Sul	38,7	23	403	1	3897	10068	6170

Analisando a tabela acima podemos concluir que:

- **Optimização da orientação dos painéis solares:**

Esta hipótese otimiza a orientação dos colectores mantendo todos os outros parâmetros constantes. Analisando os resultados obtidos nesta simulação conclui-se que a orientação escolhida foi a correcta.

- **Hipótese de optimização 1:**

Depois de provado que a orientação considerada era a mais correcta, esta hipótese considera a redução do fornecimento de energia de apoio mantendo o volume armazenado. Analisando os resultados obtidos nesta simulação conclui-se que, em relação à situação inicial, aumentando o número de colectores em uma unidade (mais 1,6m<sup>2</sup> de área) se consegue:

- Aumentar a fracção solar em aproximadamente 5%
- Aumentar a energia fornecida em 517 kWh,
- Reduzir a energia de apoio em 517kWh.

- **Hipótese de otimização 2:**

Esta hipótese otimiza a fracção solar e posteriormente reduz o desperdício de energia solar, mantendo sempre a área de volume armazenado. Após a realização da simulação é possível e conseqüente análise dos resultados obtidos conclui-se que:

- O número de colectores aumenta para o dobro (6);
- Há um acréscimo de 13,8% de fracção solar;
- O rendimento baixa 3%;
- A produtividade baixa 115 kWh/m<sup>2</sup> de colector;
- A energia fornecida aumenta 1393 kWh;
- A energia de apoio decresce 1393 kWh
- É desperdiçado apenas 1kWh

Estes desfasamentos são em relação à situação inicial.

Segundo as informações fornecidas pelo manual do software Solterm 5.0 um sistema bem dimensionado deve possuir tipicamente os seguintes índices:

- Fracção solar entre os 40 e os 90%
- Rendimento do sistema entre os 20 e os 60%
- Produtividade acima dos 250 kWh/m<sup>2</sup>

Tendo como base esta informação conclui-se que a fracção solar em qualquer simulação nunca atinge os valores compreendidos no intervalo ideal.

Analisando os valores resultantes das simulações conclui-se que ambas as hipóteses possuem, no geral, melhores indicadores que a situação actual. A hipótese de otimização 1 que considera apenas a ampliação do campo de colectores em uma unidade apresenta uma melhoria geral bastante significativa apesar da melhor solução do ponto de vista da eficiência energética para esta instalação ser a hipótese 2. Esta escolha é fundamentada com o aumento bastante significativo da fracção solar e da energia fornecida e a conseqüente diminuição de dependência de energias de apoio. Não existe praticamente desperdício energético. A parte menos boa desta configuração é a diminuição do rendimento (quase imperceptível) e da produtividade por metro de colector.

Esta análise não pode ser feita exclusivamente no campo energético. É fundamental quantificar o aumento de investimento necessário e avaliar a viabilidade

física (espaço disponível) para a por em prática. Este estudo será realizado no capítulo 8 onde, através da análise de alguns indicadores económico-financeiros, estas hipóteses serão reavaliadas.

## 6 Análise económica

A análise económica é de extrema importância visto que só através deste é possível verificar se o projecto é ou não viável e justifica o investimento. A tabela 6.1 resume o valor dos vários equipamentos que constituem o sistema:

Tabela 6.1 – Tabela que resume o custo total dos componentes do sistema (o autor)

Equipamento/Componente	Custo aproximado (€)
3 Painéis solares	1500
2 Depósitos de inércia	1600
Recuperador de Calor	1000
Controlador	500
Grupo solar Caleffi 255	400
Bombas circuladoras do circuito do piso radiante e do circuito da biomassa	300
Tubagem piso radiante + colectores de distribuição	1600
Tubagens metálicas isoladas e acessórios para o circuito solar e biomassa	1000
<b>TOTAL</b>	<b>7900</b>

Este valor total de aproximadamente 7900€ é somente o custo do equipamento. Com transporte e mão-de-obra especializada este valor aumenta para sensivelmente o dobro, ou seja, 15800€.

Com o software Solterm 5.0 foi possível avaliar a viabilidade deste projecto mediante o fornecimento de alguns dados técnico-económicos e dados relativos a um cenário económico-financeiro. O programa permite averiguar o interesse face a um investimento alternativo, no caso de haver capital disponível para pôr o projecto em prática e permite, igualmente, apurar a razoabilidade de obter um empréstimo bancário para comprar e implementar o sistema. Ambos os cenários foram simulados.

Para efeitos de viabilidade o software só considera e bem o custo dos sistema solar visto que a parte de aquecimento e a fonte alternativa poderiam fazer parte de um vulgar sistema convencional (através da queima de combustíveis fósseis). Com base na tabela 6.1 é possível estimar o custo da parte solar (aproximadamente 4200€) do sistema que com a respectiva montagem e transporte vai rondar os 8400€.

Tal como foi referido acima para realizar esta análise é necessário preencher alguns campos:

### Os dados técnico-económicos

1. Sabendo a área de colectores ( $4,8m^2$ ) é possível calcular a componente variável do preço do sistema solar (em função área de painéis solares):

$$4,8m^2 - 1500€$$

$$1m^2 - x$$

$$x \approx 313$$

- Componente variável  $\approx 313 \text{ €/m}^2$
  - Componente fixa  $\approx 8400 - 1500 = 6900€$
2. Existem incentivos do Estado na compra de alguns componentes do sistema através da devolução do IVA:
    - i. 700€ - Da parte de colectores solares
    - ii. 350€ - Do depósito de inércia

Realizando o mesmo raciocínio realizado no ponto1 vai-se estimar a parte variável destes mesmos incentivos:

$$4,8m^2 - 700€$$

$$1m^2 - x$$

$$x \approx 145$$

- Componente variável  $\approx 145 \text{ €/m}^2$
  - Componente fixa  $\approx 350€$
3. Considera-se 20 anos de vida útil do sistema solar considerando que funciona de acordo com as condições para o qual foi projectado e tem a manutenção devida.
  4. A manutenção do sistema é um ponto fundamental para que o sistema tenha um tempo de vida útil prolongado e que se obtenha o máximo rendimento, evitando avarias graves e o desgaste indevido de determinados componentes. Os acordos

de manutenção variam de fabricante para fabricante. Após alguma pesquisa considerou-se que o custo da manutenção ronda os 120€ por ano o que a nível percentual representa 1,4% do custo do sistema por ano.

5. A renovação de componentes também é algo muito subjectivo. Foi considerado que este custo ronda o 1% do custo do sistema.
6. O preço da energia substituída pode ter vários valores visto que a energia utilizada para estes sistemas tanto pode ser gasóleo de aquecimento, gás natural, energia eléctrica e, em sistemas mais antigos, o propano. Considerou-se que o combustível mais comum tendo em consideração a utilização em causa é o gasóleo de aquecimento.

### **Cenário Económico-financeiro**

Estes valores, tal como o manual do software refere, são muito subjectivos e tratam-se de, passo a citar “expectativas pessoais sobre a inflação, preço da energia convencional e dos níveis de juros bancários e/ou mercado de capitais a longo prazo.”

De forma a tornar estes valores um pouco mais credíveis foi-se consultar um gestor de conta de um conhecido banco e os valores considerados foram os seguintes (simulação de crédito completa no Anexo VII):

- Cenário sobre 20 anos (valores ao ano):
  - Inflação = 2,5 %
  - Deriva do preço de energia substituída acima da inflação = 2 %
  - Rendimento de aplicação segura alternativa = 3 %

Em caso de contracção de um empréstimo bancário para a compra e implementação do sistema fez-se uma simulação “fictícia” se quantificar alguns indicadores e os resultados foram os seguintes:

- TAEG = 2,21 % ao ano
- Pagável em 48 meses (4 anos)

**NOTA:** Esta taxa de juro é bastante reduzida visto que é uma taxa bonificada tendo em conta que é para aplicação de capital em energias renováveis.

Os resultados da simulação foram os seguintes:

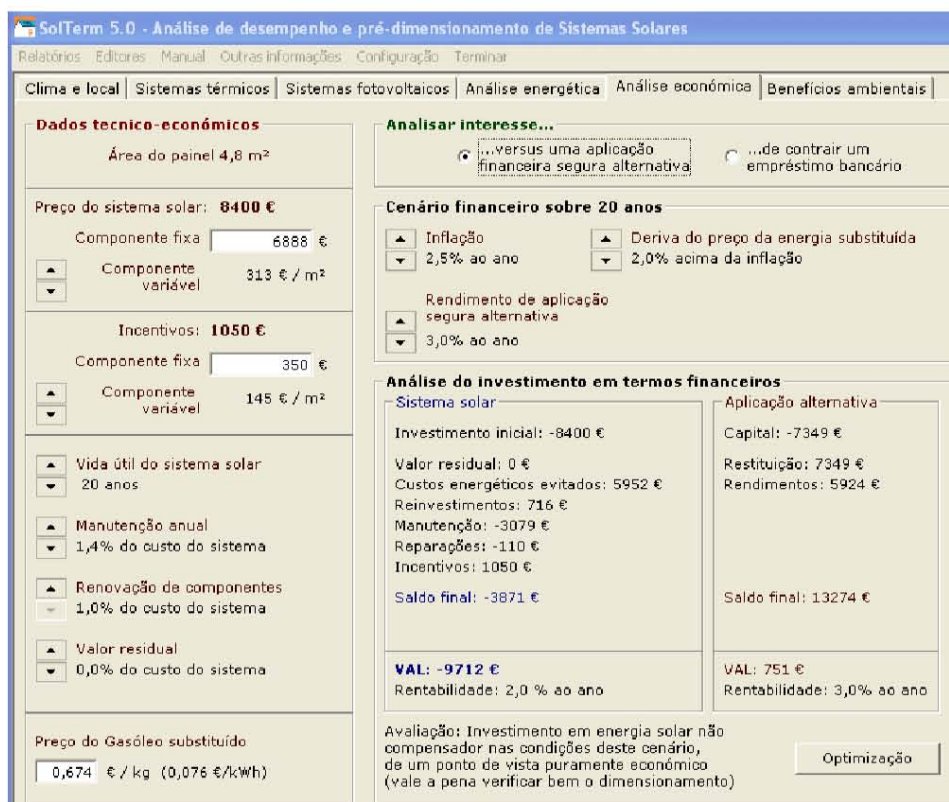


Figura 6.1 - Resultado da análise económica – versus uma aplicação financeira segura (Solterm 5.0)

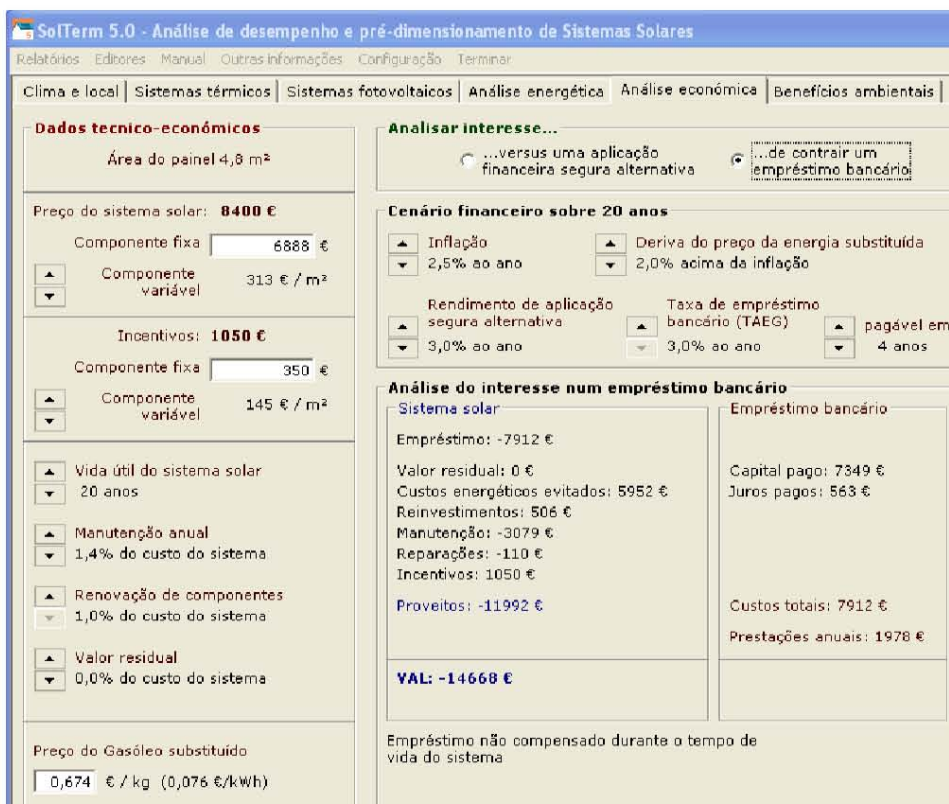


Figura 6.2 - Resultado da análise económica – versus empréstimo bancário (Solterm 5.0)

Segundo esta simulação (figura 6.1), o investimento em energia solar não compensa (VAL negativo) quando comparado com uma aplicação segura alternativa mas é necessário destacar alguns pontos importantes que refutam esta teoria:

1. O software é limitado visto que considera a energia de apoio do sistema solar como a energia substituída o que é completamente falso. A energia substituída é o gasóleo enquanto que a energia de apoio é, para este caso, a biomassa e a energia eléctrica em regime bi-horário. Esta diferença tem um peso enorme do ponto de vista económico visto que a energia eléctrica no referido regime tem um custo de 0,07€/kWh e a biomassa (vulgar lenha) tem um custo de 0,044€/kWh em vez de 0,076€/kWh. Considerando que se utiliza, como energia de apoio, 50% biomassa e 50% energia eléctrica, ao fim de um ano, esta diferença é de aproximadamente 144€. Ao fim de 20 anos que é o tempo de vida útil do sistema esta diferença passa para os 2874€. Para fins de amortização este valor tem um peso muito elevado senão vejamos:
  - Valor final do investimento no sistema solar a preços correntes: -3832 € (valor dado na simulação). A soma deste valor com a diferença não contabilizada (2874€) passa para: -958€, ou seja, mais de 3 vezes menos.
2. Para o cenário de pedido de empréstimo (figura 6.2), a TAEG em vigor, resultante da simulação efectuada foi de 2,21% mas o programa Solterm tem como valor mínimo 3%, o que representa uma diferença de 736€ que, na realidade, não seriam pagos
3. É necessário frisar a importância do ganho em independência energética face a combustíveis fósseis obtido através da implementação do referido sistema. Este ganho não está verdadeiramente contabilizado no cálculo do VAL dado que, ao utilizar valores médios conservadores num período tão extenso, possíveis flutuações significativas poderão ser negligenciadas. A estimativa para a valorização dos combustíveis fósseis é um valor meramente indicativo que poderá ser largamente superado pela ocorrência de períodos de crise petrolífera, um fenómeno múltiplas vezes sucedido num passado recente.
4. Na opinião do próprio este tipo aquisição não pode ser visto exclusivamente como um bom negócio mas como uma necessidade para que a vida do ser humano no planeta Terra se torne cada vez mais sustentável



## 7 Limitações e melhorias

Este sistema como qualquer outro possui limitações de diversas origens. Estas vão ser descritas de seguida:

- Relativamente ao circuito de biomassa é fundamental referir que este necessita de acção humana para operar, sendo a alimentação do recuperador de calor exclusivamente manual.
- Todo o dimensionamento do sistema teve em consideração alguma contenção orçamental dado que o proprietário optou por não contrair qualquer empréstimo para o efeito.

Determinadas características do sistema, não sendo necessariamente limitativas podem ser melhoradas:

- A referida limitação imposta pelas características do recuperador de calor seleccionado pode ser contornada pela substituição do mesmo por um recuperador automático alimentado por *pelets*. Esta solução não foi adoptada devido ao elevado custo actual do equipamento e do combustível. A sua integração no sistema seria apenas equacionada num cenário de eventual vulgarização e conseqüente redução de custos.
- A instalação de uma bomba de calor. Esta alteração teria dois efeitos benéficos distintos:
  - Aumentará a dissipação de energia na forma de calor para a mesma quantidade de energia consumida. Este aumento é justificado pelo facto das bombas possuírem um valor de COP superior a 1.
  - Tornará todo o sistema mais versátil devido à capacidade de, ao inverter o ciclo de aquecimento, permitir o arrefecimento da habitação.

Mais uma vez o elevado custo deste equipamento ditou o adiamento visto que o custo unitário de uma bomba de calor é aproximadamente 40 vezes superior ao de uma resistência eléctrica.

- O aumento do número de colectores solares para o dobro seria uma medida interessante a tomar visto que:
  - Apresenta um valor de VAL menos negativo que a actual configuração (-8817€ e -9712€, respectivamente) como se pode observar na figura 7.1:

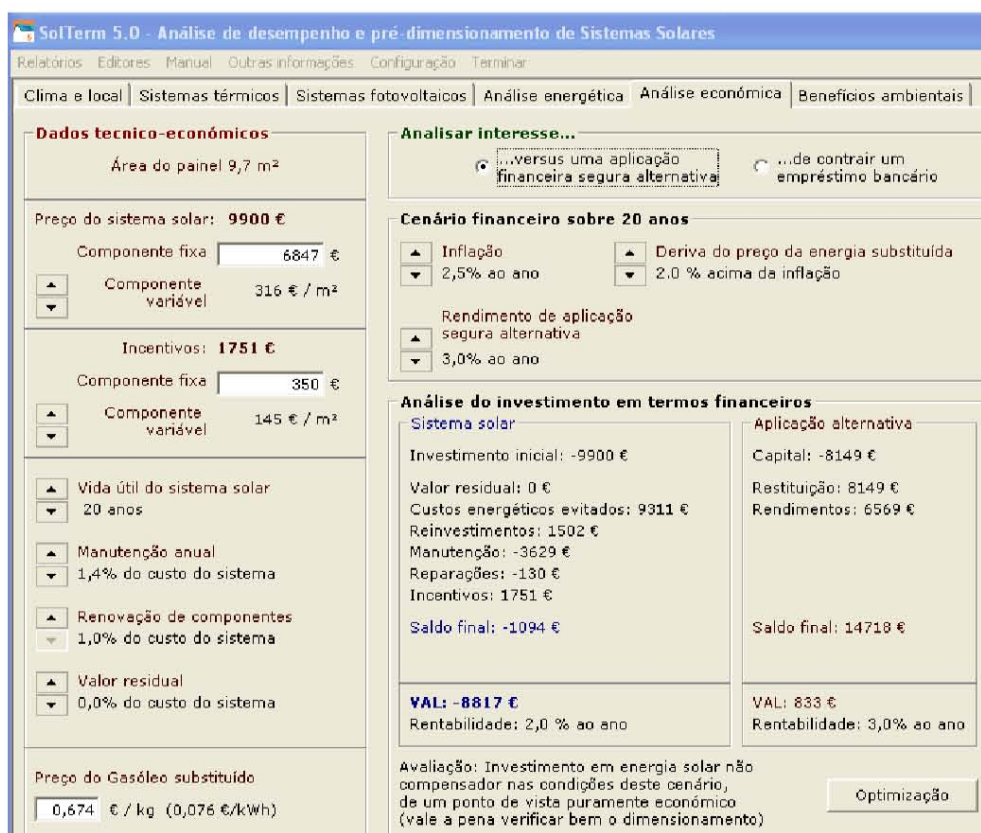


Figura 7.1 - Resultado da análise económica – versus uma aplicação financeira segura (Solterm 5.0)

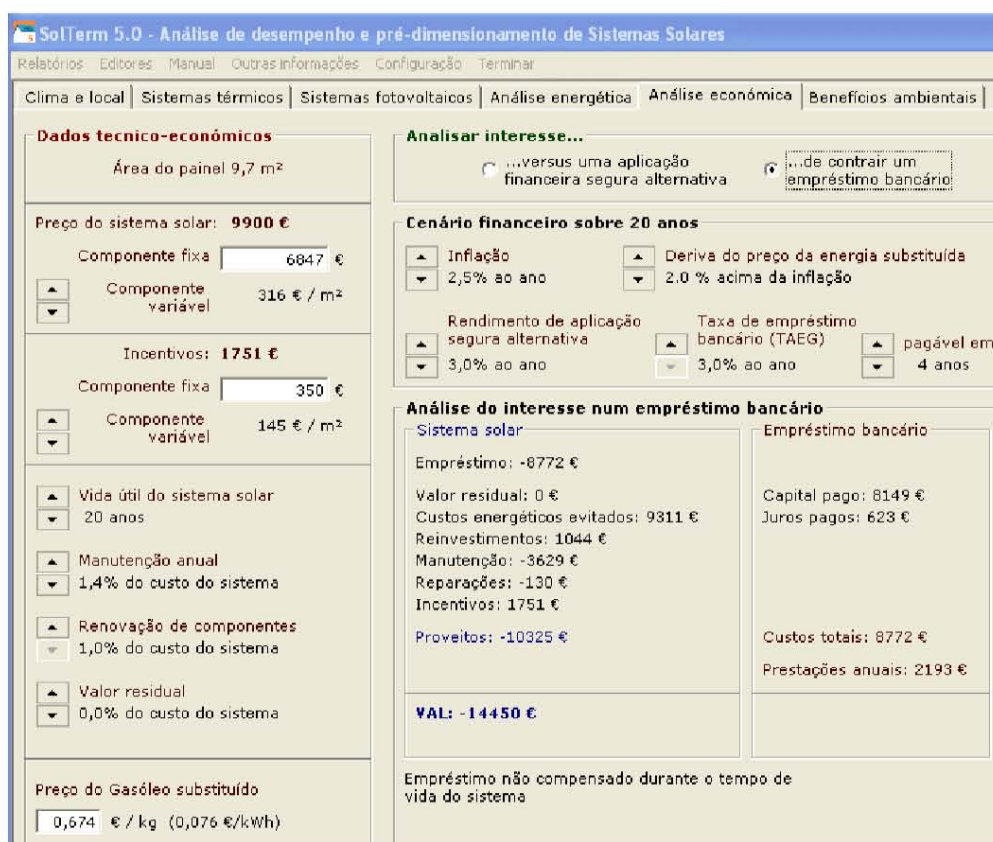


Figura 7.2 – Resultado da análise económica – versus empréstimo bancário (Solterm 5.0)

- Repetindo o raciocínio realizado para a configuração adoptada obtém-se:

Uma diferença de custo com a energia de apoio entre um sistema convencional e o considerado de aproximadamente 117€ ao fim de um ano (partindo dos mesmos pressupostos anteriormente considerados). Este valor é menor que o obtido na configuração anterior devido à maior independência energética. Ao fim de 20 anos esta diferença totaliza 2345€.

- Considerando adicionalmente o Valor final do investimento no sistema solar a preços correntes (-1094 €, valor dado na simulação) obtém-se um valor final de +1251€, ou seja, o índice torna-se claramente positivo.

Tendo em conta que o campo de colectores está colocado no telhado que apresenta um espaço algo limitado, a ampliação deste para o dobro é fisicamente impossível de realizar.

Analisa-se, de seguida, a viabilidade económica de introduzir mais um painel solar (hipótese de optimização 1). Os resultados da simulação foram os seguintes:

- O aumento do campo de colectores solares em uma unidade seria uma medida interessante a tomar visto que:
  - Apresenta um valor de VAL menos negativo que a actual configuração (-9347€ e -9712€, respectivamente) como se pode observar na figura 7.3:

The screenshot shows the 'Análise económica' (Economic Analysis) window in Solterm 5.0. The interface is divided into several sections:

- Dados técnico-económicos:**
  - Área do painel: 6,4 m<sup>2</sup>
  - Preço do sistema solar: 8900 €
  - Componente fixa: 6884 €
  - Componente variável: 313 €/m<sup>2</sup>
  - Incentivos: 1284 €
  - Componente fixa: 350 €
  - Componente variável: 145 €/m<sup>2</sup>
  - Vida útil do sistema solar: 20 anos
  - Manutenção anual: 1,4% do custo do sistema
  - Renovação de componentes: 1,0% do custo do sistema
  - Valor residual: 0,0% do custo do sistema
  - Preço do Gasóleo substituído: 0,674 €/kg (0,076 €/kWh)
- Analisar interesse...:**
  - Radio buttons:  versus uma aplicação financeira segura alternativa;  de contrair um empréstimo bancário
- Cenário financeiro sobre 20 anos:**
  - Inflação: 2,5% ao ano
  - Deriva do preço da energia substituída: 2,0% acima da inflação
  - Rendimento de aplicação segura alternativa: 3,0% ao ano
- Análise do investimento em termos financeiros:**

Sistema solar	Aplicação alternativa
Investimento inicial: -8900 €	Capital: -7616 €
Valor residual: 0 €	Restituição: 7616 €
Custos energéticos evitados: 7157 €	Rendimentos: 6139 €
Reinvestimentos: 1002 €	
Manutenção: -3262 €	
Reparações: -117 €	
Incentivos: 1284 €	
Saldo final: -2836 €	Saldo final: 13755 €
<b>VAL: -9347 €</b>	VAL: 778 €
Rentabilidade: 2,0% ao ano	Rentabilidade: 3,0% ao ano
- Avaliação:** Investimento em energia solar não compensador nas condições deste cenário, de um ponto de vista puramente económico (vale a pena verificar bem o dimensionamento).
- Optimização:** Button

7.3 - Resultado da análise económica – versus uma aplicação financeira segura (Solterm 5.0)

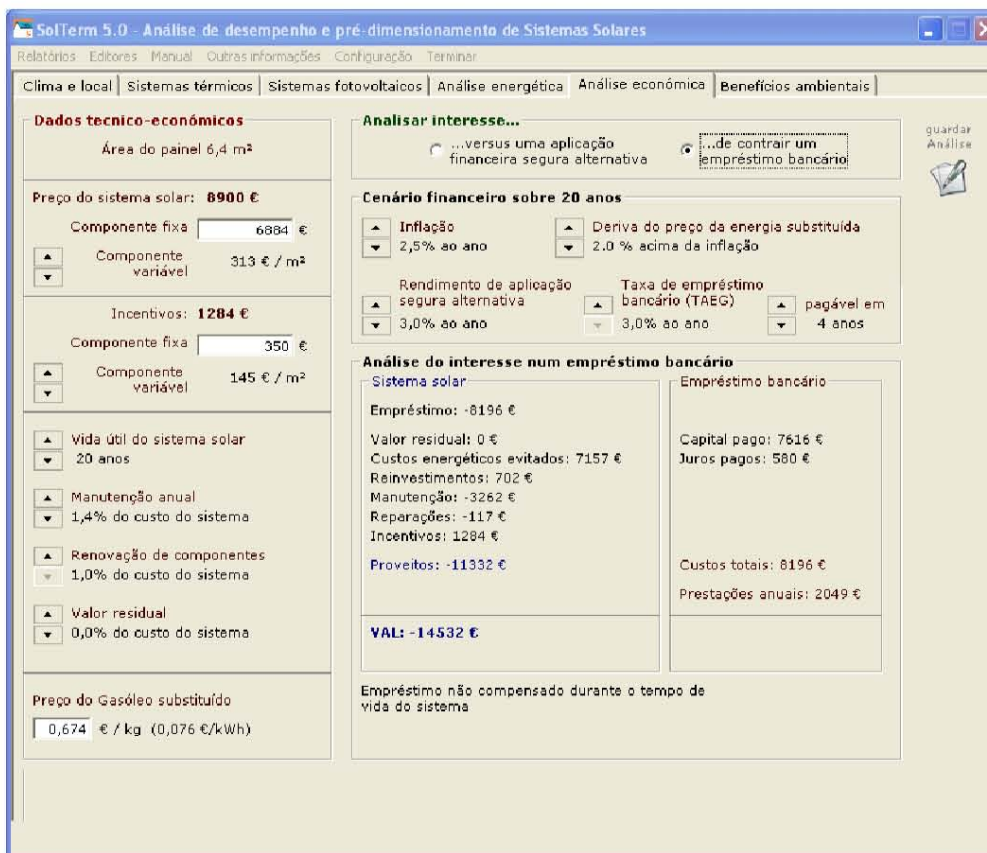


Figura 7.4 – Resultado da análise económica – versus empréstimo bancário (Solterm 5.0)

- Repetindo, novamente, o raciocínio realizado para as configurações anteriores obtém-se:

Uma diferença de custo com a energia de apoio entre um sistema convencional e o considerado de aproximadamente 134€ ao fim de um ano (partindo dos mesmos pressupostos anteriormente considerados). Este valor, nesta configuração é um pouco inferior ao obtido na configuração inicial e superior à configuração anterior. Ao fim de 20 anos esta diferença totaliza 2680€.

- Considerando adicionalmente o Valor final do investimento no sistema solar a preços correntes (-2836 €, valor dado na simulação) obtém-se um valor final de apenas -156€, ou seja, o índice torna-se praticamente nulo dado que o cenário é a 20 anos.

Apesar de, a nível energético, não ser a melhor solução a adoptar, a aquisição de mais um colector solar apresenta melhores índices económico-financeiros que a actual configuração e, dada a escassez de espaço, é a solução a adoptar.



## 8 Conclusões / Notas finais

Com o estudo necessário para a realização desta tese foi possível analisar duas áreas de enorme importância em termos energéticos:

- Sistemas que contemplam energias renováveis (solar e biomassa)
- Caracterizar e estimar as necessidades energéticas da habitação onde o sistema está instalado tendo como referência o RCCTE em vigor.

Não tendo a obrigatoriedade de cumprir o actual regulamento que contém as características de comportamento térmico dos edifícios, a habitação, dado que foi construída com base nos seus fundamentos, cumpre a maioria dos requisitos impostos como se verifica:

- $N_{vc} < N_v$
- $N_{ac} < N_a$
- $N_{tc} < N_t$

As únicas excepções ao cumprimento do presente regulamento são as seguintes:

- O valor do coeficiente global de transmissão de calor (U) dos pilares que provocam pontes térmicas planas é superior ao dobro do mesmo coeficiente relativo à zona corrente.
- O valor relativo às necessidades nominais de aquecimento ( $N_{iv}$ ) ultrapassa, em 2,5% as necessidades nominais de aquecimento máximas ( $N_i$ )

É de salientar o conhecimento e a sensibilidade que o projectista desta habitação teve, tendo em conta que esta habitação foi construída anteriormente à entrada em vigor do Decreto-lei onde o RCCTE está incluído, cumprindo praticamente todos os requisitos por este impostos, numa época em que poucas pessoas demonstravam preocupação nesta área. Além destes aspectos é importante frisar a vertente económica dado que os custos de construção foram muito superiores aos de uma construção convencional.

Este estudo poderá ser útil, também, para uma futura classificação energética do edifício que, em caso de venda, poderá valorizar o imóvel se este obtiver uma boa classificação.

Relativamente ao sistema implementado e tendo em conta as limitações acima descritas pensa-se ser razoável concluir que, além de bem dimensionado, pode ser considerado um bom investimento.

O sistema de aquecimento por piso radiante hidráulico é, como ficou provado, o sistema que proporciona maiores níveis de conforto conseguindo-se ainda obter alguma poupança energética, comparativamente aos sistemas convencionais.

Existem algumas melhorias passíveis de serem realizadas, como o capítulo anterior menciona, mas é necessário ponderar a sua relação custo/benefício. A ampliação do campo de colectores, em uma unidade, como inicialmente estava previsto, vai proporcionar uma maior independência energética e acelerar a amortização de todo o sistema.

A inserção de uma bomba de calor, também estava inicialmente prevista mas dado o seu custo elevado não integrou a configuração inicial do sistema como já foi mencionado. Neste momento está a ser feita uma pesquisa de mercado e, por exemplo a Thermal V da LG própria para trabalhar com piso radiante hidráulico, proporcionará uma maior dissipação de energia na forma de calor para a mesma quantidade de energia consumida e permitirá o arrefecimento da habitação. O desempenho deste equipamento pode ser observado, em pormenor, na tabela da respectiva marca que está no Anexo VI mas que apresenta, para a gama de temperaturas médias da região de Almada, um COP sempre superior a 2,5.

Por fim é possível concluir que as energias renováveis e alternativas como a energia solar e o recurso à biomassa são cada vez mais uma necessidade e um bom investimento permitindo a obtenção de maior independência energética e contribuindo para um desenvolvimento sustentável.

## Referências Bibliográficas

- [1] – Energia solar térmica, manual sobre tecnologias, projecto e instalação, projecto GREENPRO, Janeiro 2004;
- [2] – Baseado em “radiação solar”, Wikipédia, a enciclopédia livre;
- [3] – Sítio na internet: <http://www.energiasrenovaveis.com> (Portal das Energias Renováveis);
- [4] – Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos, Revista da Madeira, Waldir F. Quirino, Ailton Teixeira do Vale, Ana Paula Abreu de Andrade, Vera Lúcia Silva Abreu, Ana Cristina dos Santos Azevedo, nº 89 Abril 2005;
- [5] – Baseado em “Volumetric heat capacity (VHC)”, Wikipédia, a enciclopédia livre;
- [6] – Aplicação de aquecimento radiante e climatização, Manual Técnico – AQRadiante, Uponor;
- [7] – Apresentação Energia Solar Térmica, módulo: Tecnologias em Energias Renováveis I – Geração Sustentável, Professor J.J. Lopes de Carvalho.
- [8] – Artigo “SIMULATION OF AIR FLOW INSIDE A ROOM INDUCED BY HEATING SYSTEMS AND DETERMINATION OF COMFORT LEVEL USING CFD”, Renato G. Sousa, Manuel F. Madureira e José Carlos B. Lopes, Junho 2006;
- [9] – Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)
- [10] – IMPLICAÇÕES CONSTRUTIVAS DO NOVO RCCTE NA CONCEPÇÃO DE PAREDES DE ALVENARIA – Vasco Peixoto de Freitas Prof. Catedrático – FEUP Laboratório de Física das Construções – LFC
- [11] – Holman, J. P. Heat – Transfer 8th Edition, McGraw-Hill Book Co, USA, 1997
- [12] – Sítio na internet:<http://www.cep-certificacoesenergeticasdeportugal.com/>;
- [13] – Economia de Energia, Utilização Racional de Energia (URE);
- [14] – Eficiência Energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial, DGGE /IP3 – E, Lisboa, Abril 2004;
- [15] – Guia Prático da Eficiência Energética, EDP- Energias de Portugal, validação técnica: ADENE, Junho 2006;
- [16] – Baseado em “eficiência energética”, Wikipédia, a enciclopédia livre;