

Universidade da Madeira

## A ENERGIA SOLAR E A UTILIZAÇÃO RACIONAL DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS DE ACORDO COM OS REGULAMENTOS EM VIGOR

Gonçalo Bazenga Camacho

(Licenciado)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre

Orientador: Prof. Doutor

João Alves e Sousa

**Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região**



REGIÃO AUTÓNOMA DA  
MADEIRA



REPÚBLICA PORTUGUESA



UNIÃO EUROPEIA  
FSE

## **AGRADECIMENTOS**

A dissertação que se apresenta só se realizou devido à colaboração de várias pessoas e entidades, nomeadamente ao CITMA, que aqui aproveito para expressar os meus sinceros agradecimentos pela forma construtiva com que me ajudaram.

Ao Professor Doutor João Alves e Sousa Investigador Principal do Laboratório Regional de Engenharia Civil IP-RAM, pela orientação, atenção, ensinamentos e incentivo em continuar que serviram para alcançar os objectivos da presente dissertação.

À empresa Termomadeira Sistemas de Aquecimento, Lda e em particular ao Eng. Miguel Bettencourt por ter proporcionado condições para um estágio dentro desta área, tendo sido revelador e cheio de conhecimento.

Aos meus pais e irmãos, por todo o estímulo e paciência demonstrados ao longo de todo o meu percurso académico.

À minha namorada Cristina Silva, pelo apoio incondicional, pela compreensão e por sempre acreditar que é possível.

A todos os meus amigos, pelo bem-estar proporcionado e incentivos mesmo nos períodos mais desmotivadores.

## RESUMO

Este projecto toma partido do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), tendo por base uma obrigatoriedade legal imposta a nível nacional e europeu, que funciona como um “benchmark”. Desta forma contribui-se para uma utilização racional da energia, que passa a ser encarada como uma necessidade fundamental para um futuro economicamente sustentável e mais limpo, tendo em conta que os índices de dependência energética terão que diminuir (sustentabilidade), mas com a preocupação e o cuidado de preservar o conforto térmico.

O aquecimento de águas para o consumo doméstico – águas quentes sanitárias (AQS) – é nos dias que correm um bem indispensável e de utilização generalizada para a vida e bem-estar de todos nós. O RCCTE permite avaliar o impacto das necessidades de energia para AQS nas necessidades globais de energia primária, com base em parâmetros (e.g., Esolar) que foram estudados neste trabalho, para demonstrar o real impacte associado à introdução de sistemas solares térmicos.

Neste trabalho a contribuição da energia solar térmica foi estudada recorrendo a um programa de cálculo desenvolvido e validado pelo autor (Matlab) e ao programa Solterm, tendo sido analisados dois casos distintos com aplicações de sistemas solares térmicos, e um estudo económico de forma a garantir a viabilidade da implementação destes sistemas.

**Palavras-chave:** Energia em edifícios, solar térmico, certificação energética, conservação de energia.

## **ABSTRACT**

This paper addresses the RCCTE, the Portuguese Regulation on the Thermal Behaviour of Buildings, based on the legal obligation set at national and European level, to act as a benchmark. This leads to the contribution of a more rational use of energy, which is seen nowadays as a key issue for a cleaner and economically sustainable future, taking into account that the energy dependency indices must decrease (sustainability), but thermal comfort should be preserved.

The use of hot water in the household – Service Hot Water – is a crucial asset with a general use for the well being of all of us. The RCCTE allows for an assessment of the energy requirements for service hot water of primary energy in global terms, based on parameters (e.g., Esolar) that have been studied in this work, to demonstrate the real impact associated with the use of solar thermal systems.

In this work, the study of the contribution from the solar thermal energy studied was carried out using a software (Matlab) constructed and validated during the project and also a commercially available software “Solterm”, with the purpose of analyzing two different cases with solar thermal systems applications, and a economics analysis to ensure the sustainability of these systems.

**Keywords:** Energy in buildings, solar thermal, energy certification, energy saving.

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Objectivos do trabalho	1
1.2	Organização do trabalho	2
<b>2</b>	<b>Necessidade do estudo do solar térmico em edifícios</b>	<b>4</b>
2.1	O Problema da energia em Portugal	4
2.2	Importância da energia solar	6
2.3	Sol	6
2.4	Radiação	7
2.5	Insolação	9
<b>3</b>	<b>A Caracterização energética: Passado, Presente e Futuro</b>	<b>10</b>
3.1	Caracterização energética de Portugal	11
3.2	Dependência energética	12
3.3	Intensidade energética	13
3.4	Alterações climáticas	13
3.5	Políticas energéticas	15
3.5.1	Portugal	15
3.5.2	Europa	19
3.5.3	Internacional	22
<b>4</b>	<b>Energia renovável</b>	<b>23</b>
4.1	Biomassa	23
4.2	Geotérmica	24
4.3	Eólica	25
4.4	Hídrica	26
4.5	Hidrogénio	27
4.6	Oceanos	27
4.7	Solar fotovoltaico	28
4.8	Solar térmico	30
4.9	Energia solar oassiva	30

<b>5 Energia solar térmica .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1 Sistemas solares térmicos para fins de AQS.....</b>	<b>33</b>
5.1.1 Aplicação.....	34
5.1.2 Funcionamento.....	35
<b>5.2 Tipos de colectores solares .....</b>	<b>35</b>
5.2.1 Colector simples .....	36
5.2.2 Colectores solares planos.....	36
5.2.3 Colectores de tubos de vácuo ou evacuados.....	37
5.2.4 Concentrados .....	38
5.2.5 Escolha.....	38
<b>5.3 Rendimento Instantâneo .....</b>	<b>38</b>
<b>5.4 Inclinação, orientação e sombreamento dos colectores solares .....</b>	<b>39</b>
<b>5.5 Dimensionamento de colectores solares .....</b>	<b>42</b>
5.5.1 Ligação entre os colectores solares.....	43
<b>5.6 Tipos de depósitos.....</b>	<b>45</b>
<b>5.7 Tipos de sistemas de aquecimento.....</b>	<b>46</b>
5.7.1 Tipo termossifão .....	46
5.7.2 Tipo circulação forçada .....	47
<b>5.8 Sistema de apoio .....</b>	<b>48</b>
<b>5.9 Aplicações em programas de cálculo.....</b>	<b>48</b>
5.9.1 Programa de cálculo desenvolvido em Matlab e Solterm.....	49
<b>6 Métodos de transmissão de calor e o regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios.....</b>	<b>50</b>
6.1 Transmissão de calor .....	50
6.2 Aspectos principais do regulamento .....	50
6.2.1 A regulamentação em vigor .....	50
6.2.2 Aplicação.....	53
6.2.3 Parâmetros a verificar.....	53
6.2.4 Conteúdo.....	53
6.2.5 Conforto .....	54
6.3 Classificação energética .....	55
<b>7 Programa de cálculo – Simulação em Matlab.....</b>	<b>57</b>
7.1 Equações.....	57
7.2 Validação.....	63

7.3 Apresentação de resultados .....	66
6.3.1 Cálculo da fracção solar através do método f-chart .....	71
7.4 Discussão.....	73
<b>8 Casos de estudo e discussão de resultados .....</b>	<b>74</b>
<b>8.1 Caso de estudo 1 - Vivenda no Santo da Serra.....</b>	<b>74</b>
8.1.1 Caracterização do imóvel .....	74
8.1.2 Perfis de consumo .....	75
8.1.3 Sombreamento .....	78
8.1.4 Orientação.....	80
8.1.5 Inclinação.....	81
8.1.6 Análise e conclusão.....	82
<b>8.2 Caso de Estudo 2 - Bloco apartamentos no Funchal .....</b>	<b>83</b>
8.2.1 Caracterização do edifício e de espaços a tratar.....	83
8.2.2 Solução projectada .....	83
8.2.3 Campo de colectores .....	84
8.2.7 Registo fotográfico .....	86
8.2.8 Classificação energética .....	87
8.2.9 Análise económica.....	89
8.2.10 Análise e conclusão.....	94
<b>9 Notas finais .....</b>	<b>96</b>
9.1 Conclusões .....	96
9.2 Trabalho futuro .....	97
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>103</b>
A Contaminação das AQS .....	103
<b>ANEXO II.....</b>	<b>107</b>
Segurança nas instalações solar térmicas.....	107
<b>ANEXO III.....</b>	<b>109</b>
Legislação sobre segurança .....	109
<b>ANEXO IV .....</b>	<b>110</b>
Fluxo de Trabalho .....	110
<b>ANEXO V .....</b>	<b>111</b>
Manutenção.....	111
<b>ANEXO VI .....</b>	<b>112</b>
Características do sistema instalado no caso de estudo 2 .....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo de Energia por Sector (iea.org, 2009).....	5
Figura 2 - Mapa da Radiação na Europa (Meteostat, 2007).....	6
Figura 3 - Radiação Solar Global e suas componentes (Energia Solar Térmica 2004) .....	7
Figura 4 - Piranómetro fabricado por Kipp & Zonen (Energia Solar Térmica, 2004) .....	8
Figura 5 - Carta de insolação Portugal Continental (APA, 2010).....	9
Figura 6 – Sequência da transformação da energia (EDP, 2009) .....	10
Figura 7 - Evolução do consumo de energia primária em Portugal (DGEG, 2009) .....	11
Figura 8 - Distribuição geográfica da produção em milhares de milhões de barris de petróleo (BP, 2008).....	12
Figura 9 - Ilustração do efeito de estufa (DEEW, 2011) .....	14
Figura 10 - Evolução de colectores solares instalados em Portugal (ESTIF, 2009).....	18
Figura 11 - Evolução de colectores solares instalados na Europa (ESTIF, 2009) .....	19
Figura 12 - Ciclo do carbono (WBCDS) .....	24
Figura 13 - Furnas Açores São Miguel (Associação Bandeira Azul da Europa) .....	25
Figura 14 - Evolução da capacidade de Produção de energia eólica (The Climate Hub, 2010).25	
Figura 15 - Ciclo da Água (wordpress, 2007).....	27
Figura 16 - Distribuição do fluxo médio de energia das ondas no mundo em MW/Km Adaptado de (DGGE, 2004).....	28
Figura 17 - Módulo fotovoltaico em casa rural (CNN, 2010).....	29
Figura 18 - Parque fotovoltaico em Porto Santo construído em 2010 (Gonçalo Camacho, 2010) .....	29
Figura 19 - Instalação solar térmica e fotovoltaica nas Ilhas Selvagens (Arquivo Parque Natural da Madeira, 2010).....	29
Figura 20 - Consumos energéticos no sector doméstico (DGEG, 2009).....	33
Figura 21 - Principais ângulos do colector em relação ao sol (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009).....	36
Figura 22 - Corte de um colector solar térmico plano (Gonçalo Camacho, 2010). .....	37
Figura 23 - Principio de funcionamento de colector de tubos evacuados (Roriz et al, 2010).....	37
Figura 24 - Central termoeléctrica em Nevada (Ecoenergia, 2005) .....	38
Figura 25 - Ângulo de orientação dos painéis relativamente a Sul (Doninelli, 2006).....	40

Figura 26 - Habitação com sistema solar tipo termossifão (Gonçalo Camacho 2010).....	40
Figura 27 - Ilustração da altura solar ao longo do ano (Doninelli, 2006). ....	41
Figura 28 - Ilustração do distanciamento aconselhado entre os painéis (Doninelli, 2006). ....	41
Figura 29 - Sombreamento entre fileiras de colectores solares (Doninelli, 2006).....	42
Figura 30 - Ilustração de uma ligação em série (Água Quente Solar, 2004). ....	43
Figura 31 - Ilustração de uma ligação em paralelo (Água Quente Solar, 2004).....	44
Figura 32 - Ilustração de uma ligação em paralelo-série (Água Quente Solar, 2004).....	44
Figura 33 - Ilustração de uma ligação em paralelo com o retorno invertido (Água Quente Solar, 2004). ....	44
Figura 34 - Esquema de um sistema tipo termossifão sobre cobertura inclinada (Climatização, 2009). ....	46
Figura 35 - Esquema de um sistema tipo forçado sobre cobertura inclinada (Climatização, 2009).....	47
Figura 36 - Processos de transferência de calor (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007). ....	50
Figura 37 - Classes energéticas (ADENE, 2010). ....	56
Figura 38 - Valores da irradiância mensal sobre uma superfície inclinada em MJ/m <sup>2</sup> (Solterm, 2011).....	64
Figura 39 - Soma da irradiância ao longo do ano, segundo o Metodo Liu Jordan, KT Method e Solterm, variando beta (inclinação do colector) em MJ/m <sup>2</sup> .....	65
Figura 40 - Correção de 20% nos meses Janeiro, Fevereiro, Março, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro, nos métodos Liu-Jordan e KT-Method, para uma inclinação do colector de 32°. ....	65
Figura 41 - Irradiância mensal sobre uma superfície inclinada em MJ/m <sup>2</sup> segundo o método Liu-Jordan.....	67
Figura 42 - Irradiância mensal sobre uma superfície inclinada em MJ/m <sup>2</sup> segundo KT method	68
Figura 43 - Valores da irradiância (HT) segundo o método de Liu Jordan, variando o ângulo de orientação (Azimute) para um $\beta=30$ .....	70
Figura 44 - Valores da irradiância (HT) segundo o método de Liu Jordan, variando o ângulo de orientação (Azimute) para um $\beta=60$ .....	70
Figura 45 - Variação da irradiância anual, com $\beta=30$ e $\beta=60$ , combinado com a variação do azimute entre 0° e 45°.....	71
Figura 46 - Comportamento da fracção solar considerando perdas no reservatório, para o caso do Funchal, Madeira (Portugal).....	72
Figura 47 - Fracção solar em função da área de colector disponível.....	73

Figura 48 - A radiação horizontal e inclinada para o concelho Santa Cruz (Solterm, 2011) .....	75
Figura 49 - Influência do tipo de consumo no rendimento (kW/ano) dos colectores (4m <sup>2</sup> ).....	77
Figura 50 - Influência do tipo de consumo no rendimento (%) dos colectores (4m <sup>2</sup> ).....	77
Figura 51 - Influência do tipo de consumo na produtividade (kW/m <sup>2</sup> ) dos colectores (4m <sup>2</sup> ).....	77
Figura 52 - Influência do tipo de consumo na fracção solar (%) dos colectores (4m <sup>2</sup> ).....	77
Figura 53 - Obstruções no horizonte de 20º a altura angular constante (Solterm,2011) .....	78
Figura 54 - Foto do imóvel, rodeado de arvores de grande porte a Este e a Oeste. ....	78
Figura 55 - Obstruções no horizonte de 60º a SW e SE. ....	78
Figura 56 - Influência do factor de obstrução no rendimento (kW/ano) dos colectores (4m <sup>2</sup> )....	79
Figura 57 - Influência do factor de obstrução no rendimento (%) dos colectores (4m <sup>2</sup> ).....	79
Figura 58 - Influência do factor de obstrução na produtividade (kW/m <sup>2</sup> ) dos colectores (4m <sup>2</sup> )...79	
Figura 59 - Influência do factor de obstrução na fracção solar (%) dos colectores (4m <sup>2</sup> ).....	79
Figura 60 - Influência do azimute no rendimento (kWh/ano) dos colectores (4m <sup>2</sup> ).....	80
Figura 61 - Influência do azimute no rendimento (%) dos colectores (4m <sup>2</sup> ).....	80
Figura 62 - Influência do azimute na produtividade (kW/m <sup>2</sup> ) dos colectores (4m <sup>2</sup> ).....	80
Figura 63 - Influência do azimute na fracção solar (%) dos colectores (4m <sup>2</sup> ) .....	80
Figura 64 - Influência da inclinação no rendimento (kWh/ano) dos colectores (4m <sup>2</sup> ) .....	81
Figura 65 - Fotografia do Bloco 1 “Funchal Palace” (Gonçalo Camacho, 2010) .....	83
Figura 66 - Cobertura Funchal Palace (Gonçalo Camacho, 2010).....	86
Figura 67 - Colocação de vigas (Gonçalo Camacho, 2010) .....	86
Figura 68 - Estrutura de suporte em alumínio sobre as vigas (Gonçalo Camacho, 2010) .....	86
Figura 69 - Soldadura em tubo de cobre (Gonçalo Camacho, 2010).....	86
Figura 70 - Colocação dos painéis (Gonçalo Camacho, 2010).....	86
Figura 71 - Formação de uma curva a 90º em tubagem de cobre (Gonçalo Camacho, 2010) ...86	
Figura 72 - Válvula de 3 vias (Gonçalo Camacho, 2010).....	86
Figura 73 - Distribuição na prumada do circuito primário em cobre (Gonçalo Camacho, 2010).86	
Figura 74 - Caudalímetro (Gonçalo Camacho, 2010) .....	86
Figura 75 - Depósito acumulador (Gonçalo Camacho, 2010) .....	87
Figura 76 - Cobertura com os painéis solares (Gonçalo Camacho, 2010).....	87

Figura 77 - Ilustração das poupanças e gastos de energia em euros com e sem a contribuição dos painéis solares.....91

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Área de colectores instalados na Europa (ESTIF, 2009) .....	19
Tabela 2 - Inclinação do painel consoante o período de utilização do ano (Instalações Solares Térmicas, 2007) .....	41
Tabela 3 - Cálculo de espaçamento em metros entre fileiras consoante inclinação (Doninelli, 2006).....	41
Tabela 4 - Diferenças entre termossifão e forçado .....	48
Tabela 5 - Necessidades energéticas .....	56
Tabela 6 - Dados climáticos e de radiação solar para o Funchal, Madeira (PT) .....	58
Tabela 7 - Irradiância mensal sobre uma superfície inclinada em MJ/m <sup>2</sup> (Solterm,2011) .....	64
Tabela 8 - Soma da irradiância ao longo do ano, segundo o Metodo Liu Jordan, KT-Method e Solterm, variando beta (inclinação do colector) em MJ/m <sup>2</sup> .....	64
Tabela 9 - Correção de 20% nos meses Janeiro, Fevereiro, Março, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro, nos métodos Liu-Jordan e KT-Method, para uma inclinação do colector 32° (MJ/m <sup>2</sup> ).....	65
Tabela 10 - Irradiância mensal sobre uma superfície inclinada em MJ/m <sup>2</sup> segundo o método Liu-Jordan.....	67
Tabela 11 - Irradiância mensal sobre uma superfície inclinada em MJ/m <sup>2</sup> segundo KT method.....	68
Tabela 12 - Valores da irradiância (HT) segundo o método de Liu Jordan, variando o ângulo de orientação (Azimute) para um $\beta = 30$ em MJ/m <sup>2</sup> .....	70
Tabela 13 - Valores da irradiância (HT) segundo o método de Liu Jordan, variando o ângulo de orientação (Azimute) para um $\beta = 60$ em MJ/m <sup>2</sup> .....	70
Tabela 14 - Cálculo da fracção solar sem considerar as perdas térmicas do reservatório.....	71
Tabela 15 - Cálculo da fracção solar considerando as perdas térmicas do reservatório .....	72
Tabela 16 - Perfis de consumo.....	76
Tabela 17 - Determinação do Esolar, rendimento, produtividade e fracção solar (solterm, 2011) .....	77
Tabela 18 - Determinação de vários parâmetros para diferentes factores de obstrução (Solterm, 2011).....	79
Tabela 19 - Dados recolhidos do Solterm para diferentes Azimutes.....	80
Tabela 20 - Dados recolhidos do Solterm para diferentes inclinações do colector.....	81
Tabela 21 - Dados .....	87
Tabela 22 - Caso existente .....	88

Tabela 23 - Influência da contribuição solar na classificação energética com o apoio de um termoacumulador eléctrico .....	88
Tabela 24 - Influência da contribuição solar na classificação energética com o apoio de um Esquentador a gás .....	88
Tabela 25 - Valores de referência para o cálculo da análise económica.....	90
Tabela 26 - Análise económica simples.....	91
Tabela 27 - Determinação do Valor Líquido Actual em euros .....	93
Tabela 28 - Determinação do Período de Retorno (PR) .....	94

## NOMENCLATURA

<b>SIGLA</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
AQS	Águas Quentes Sanitárias
CCS	Carbon Capture and Storage
CPC	Colectores Parabólicos Compostos
DCR	Declaração de Conformidade Regulamentar
DGE	Direcção Geral de Energia
DGEG	Direcção Geral de Energia e Geologia
ENE	Estratégia Nacional de Energia
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
ESTIF	European Solar Thermal Industry Federation
ETS	Emissions Trading System
FER	Fontes de Energia Renovável
GEE	Gases Efeito de Estufa
IE	Intensidade Energética
INETI	Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia e Inovação
IR	Índice de Rentabilidade
IVA	Imposto de Valor Acrescentado
LREC	Laboratório Regional de Engenharia Civil
METEO	Instituto de Meteorologia, IP Portugal
MST	Medida Solar Térmico
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
OT	Obrigações do Tesouro
PIB	Produto Interno Bruto
PNAC	Programa Nacional para as Alterações Climáticas
PNAEE	Plano Nacional Acção Eficiência Energética
PNALE	Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão
PR	Período de Retorno
PSS	Plano de Segurança e Saúde
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RCLE-EU	Regime Comunitário de Comércio de Licenças de Emissão
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios
SCE	Sistema de Certificação de Edifícios
SERPYP	Solar Energy Received per Year (Energia solar recebida por ano na nossa atmosfera)
UE	União Europeia
UV	Ultra Violeta
VLA	Valor Líquido Actual

<b>SIMBOLOS</b>	Valor Líquido Actual
a	Azimute solar
A, A <sub>c</sub>	Área de colectores solares
a <sub>1</sub> , a <sub>2</sub>	Coeficiente de perdas térmicas
A <sub>env</sub>	Área de envidraçados
A <sub>p</sub>	Área útil de pavimento
c	Calor específico da água
C <sub>e</sub>	Custo inicial da energia em determinado ano
CFR	Valor da poupança anual "Cash flow"
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
d	Distância entre fileiras de colectores solares
E <sub>ren</sub>	Contribuição de energias renováveis para aquecimento e recuperação de calor de equipamentos ou fluidos residuais
E <sub>solar</sub>	Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS
f	Fracção solar mensal
FF	Factor de Forma
F <sub>pu</sub>	Factor de conversão entre energia útil e primária
<i>f<sub>r</sub></i>	Fracção solar anual
F'U <sub>L</sub>	Coeficiente de perdas
F'η <sub>0</sub> , τ <sub>α</sub>	Rendimento óptico
GD	Graus Dias
h	Altura solar, Comprimento do colector solar
H <sub>d</sub> /H	Fracção de radiação diária difusa
H <sub>h</sub>	Valor médio diário da radiação global no plano horizontal
H <sub>o</sub>	Valor diário da radiação sobre um plano horizontal fora da atmosfera terrestre
H <sub>t</sub>	Irradiação solar diária incidente no plano do colector
I	Intensidade da radiação solar, Investimento inicial
i	Taxa de juro
I <sub>o</sub> , E <sub>o</sub>	Radiação solar fora da atmosfera terrestre, Constante solar
IR	Índice de rentabilidade
I <sub>tc</sub>	Hora de radiação crítica em superfície inclinada
K <sub>h</sub>	Índice de transparência "clearness index"
L	Consumo de energia mensal
m	Massa de água
M <sub>AQS</sub>	Consumo médio diário de referência de AQS
N	Número de dias de cada mês
Na	Valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para produção de AQS
N <sub>ac</sub>	Necessidades nominais anuais de energia para produção de AQS

$n_d$	Número anual de dias de consumo de AQS
$N_i$	Valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento
$N_{ic}$	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento
$N_{iv}$	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento
$N_t$	Valor máximo admissível das necessidades globais de energia primária
$N_{tc}$	Necessidades globais de energia primária
$N_v$	Valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento
$^{\circ}\text{C}$	Graus Célsius
$^{\circ}\text{f}$	Graus Franceses
$P_d$	Pé direito médio
$Q$	Energia diária necessária, Energia útil
$Q_a$	Energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS
$Q_g$	Ganhos térmicos brutos
$Q_{gu}$	Ganhos de calor úteis
$Q_t$	Perdas de calor por condução através da envolvente dos edifícios
$Q_v$	Perdas de calor resultantes da renovação de ar
$R$	Razão de radiação média numa superfície inclinada em relação à radiação num plano horizontal
$R_b$	Razão de radiação diária média numa superfície inclinada em relação à radiação num plano horizontal
$r_{d,n}$	Razão da radiação difusa ao meio-dia
$R_n$	Taxa de radiação ao meio-dia
$r_{t,n}$	Razão da radiação ao meio-dia
$S$	Energia de radiação absorvida por unidade de área
$T_a, T_{amb}$	Temperatura ambiente média mensal
$T_i, T_w$	Temperatura de fornecimento de AQS
$T_m$	Temperatura de fornecimento da água da rede
$T_{ref}$	Temperatura de referência 100°C
$VLA$	Valor Líquido Actual
$X$	Perdas térmicas
$X_c$	Razão de intensidade crítica
$Y$	Ganhos dos colectores por unidade de energia necessária
$z$	Zénite solar

## ALFABETO GREGO

$\alpha$	Taxa de crescimento, Azimute do colector, absorptância
$\beta$	Ângulo de inclinação do colector,
$\delta$	Declinação solar,
$\Delta T$	Acréscimo de temperatura
$\eta$	Rendimento,
$\eta_a$	Eficiência de conversão,
$\lambda$	Latitude,
$\rho$	Reflectância do solo
$\tau$	Transmitância
$\phi$	Utilizabilidade
$\omega_s$	Ângulo do por do sol

# 1 Introdução

Este trabalho tem por objectivo analisar, medir e implementar as melhores soluções de energia solar térmica, visando a redução dos consumos energéticos em edifícios, de acordo com os regulamentos respectivos em vigor. Estes documentos normativos foram implementados em Portugal a partir de 2006, após a Directiva Europeia 91/CE de 2002.

O Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) vem expresso no Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril, e surge na sequência de uma preocupação crescente com o aumento inexorável dos consumos de energia em edifícios que vinham crescendo a um ritmo de 7% ao ano, desde 1990 (RCCTE, 2006).

Face a esse crescimento totalmente insustentável, para um bom desenvolvimento económico/energético, o solar térmico, fomentado pelo RCCTE, ganha aos seus adversários directos, como o gás e o gasóleo, para o aquecimento de águas sanitárias pelo diferencial de preço.

O enorme potencial que Portugal detém sobre este infindável recurso energético põe-nos em condições extremamente favoráveis para estarmos na linha da frente no que diz respeito ao conhecimento e inovação deste tipo de tecnologias.

A aposta nas energias renováveis em Portugal é claramente uma protecção contra a dependência das energias fósseis, criando uma barreira amortecedora sobre a constante variação dos preços desses combustíveis no mercado.

## 1.1 Objectivos do trabalho

O presente trabalho centra-se no estudo e aplicação de sistemas solares térmicos para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) em edifícios, tendo como objectivo primário a consciencialização da utilidade de se recorrer à energia solar para minimizar consumos energéticos e melhorar desempenhos térmicos, com benefícios directos na classificação energética dos edifícios.

O recurso a programas de cálculo comerciais é praticamente imposto para o estabelecimento de parâmetros e valores a seguir como referência na simulação de sistemas solares térmicos, mas funciona como uma caixa negra e o regulamento é omissivo no que se refere aos valores de inclinação e orientação a adoptar.

Nesse sentido, um outro objectivo deste trabalho é a abordagem a um programa de cálculo que de uma forma “transparente” (através de formulas matemáticas, credíveis e aceitáveis pelo meio científico) que permita simular os vários parâmetros de interesse para a optimização das aplicações do solar térmico, tais como os indicados acima, que muitas das vezes são utilizados e alcançados de forma fechada nos programas de cálculo disponíveis.

Os estudos casos desenvolvidos na presente dissertação aplicam-se de forma prática à real utilização e contribuição económica e energética destes sistemas.

## **1.2 Organização do trabalho**

O capítulo introdutório da dissertação realça a motivação e objectivos gerais a alcançar.

O capítulo segundo destina-se a enquadrar o problema da energia em Portugal e suas debilidades energéticas assim como a importância da energia solar e os seus conceitos básicos.

A problemática da energia, desde a sua dependência e intensidade, a nível nacional e internacional, é abordada no capítulo terceiro, bem como as consequências económicas, políticas e climáticas previsíveis no caso de não se alterarem as actuais práticas de consumo energético ao nível global.

O capítulo quarto descreve de forma muito resumida as formas de captação e transformação de energias renováveis (biomassa, geotérmica, eólica, hídrica, hidrogénio, oceanos e solar térmico e fotovoltaico) que podem assegurar um desenvolvimento sustentável

No quinto capítulo é desenvolvido o tema da energia solar térmica, base deste trabalho, sendo explicadas a sua aplicação e funcionamento. Definem-se os tipos de colectores existentes no mercado e as suas vantagens, desvantagens e reais aplicações, assim como o dimensionamento a aplicar de acordo com as características gerais de cada colector. A definição dos sistemas solares térmicos quanto à forma (termossifão ou circulação forçada) é igualmente descrita e explicada neste capítulo.

Dada a necessidade de se recorrer aos regulamentos em vigor, para o dimensionamento e aplicação dos sistemas solares térmicos, o capítulo sexto resume alguns parâmetros essenciais para o cumprimento da legislação.

A parte nuclear deste trabalho encontra-se no capítulo sétimo que é baseado num programa de calculo em MATLAB, com o objectivo de efectuar um estudo paramétrico sobre algumas variáveis descritas nos regulamentos em vigor, em relação às quais não existem directrizes bem definidas. Recorreu-se ao uso de fórmulas matemáticas simples de forma a definirem-se os principais parâmetros de influência sobre os resultados finais, que se validam através de uma comparação com um programa de cálculo licenciado e credível (Solterm).

Os casos de estudo 1 e 2, i.e., vivenda no Santo da Serra e bloco apartamentos no Funchal respectivamente, aparecem no capítulo oitavo em que se abordam uma componente prática da real utilização e contribuição final em termos energéticos e económicos com uma pequena análise através de um método simples e um outro sobre o valor líquido actual, usualmente utilizado para a viabilização de projectos.

Por fim temos as notas finais onde se analisa e conclui os objectivos do trabalho, e se preconiza trabalhos futuros.

## **2 Necessidade do estudo do solar térmico em edifícios**

O Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, 2006) atribui uma enorme importância à energia solar térmica, que praticamente impõe a obrigatoriedade da sua instalação em todos os novos edifícios desde que haja condições para tal, isto é, que seja possível uma orientação dos painéis no sector entre SW e SE, e acentua essa importância no cálculo das necessidades de energia primária que é utilizado para definir a classe energética dos edifícios. Nesta formulação, as necessidades de Águas Quentes Sanitárias (AQS) têm um peso de 100%, enquanto que as necessidades de aquecimento e arrefecimento apenas entram com uma ponderação de 10% cada.

No entanto, em contradição com esse peso atribuído e imposição legislativa, o documento referido é omissivo em relação a dois aspectos fundamentais relacionados com a instalação dos equipamentos do solar térmico, como sejam o posicionamento dos painéis solares (inclinação, orientação e sombreamento) e as condições nominais de utilização horária e mensal de AQS. Para além destes aspectos existe ainda um terceiro factor a ter em conta e que diz respeito à questão estética, que pese embora o grau de subjectividade associado, pode ser auxiliada por dados suplementares no que respeita à influência da inclinação dos painéis solares no rendimento dos mesmos, visto que se procuram muitas vezes inclinações maiores que o necessário e que obrigam à instalação de estruturas de montagem de grande impacto visual e que, porventura, seriam desnecessárias.

### **2.1 O Problema da Energia em Portugal**

A fonte de energia mais utilizada é constituída pelos combustíveis fósseis, essencialmente o petróleo e o gás natural, que continuam a fornecer cerca de 75 por cento da energia necessária às necessidades humanas (Kwon Alternativo, 2011).

À velocidade que o homem explora as suas reservas de combustíveis fósseis, facilmente se consegue perceber de que se trata de uma energia não renovável, tendo em conta que estas fontes advêm de processos muito lentos de decomposição de plantas e animais, com processos de transformação de milhões de anos.

Portugal é um país particularmente dependente do exterior no que concerne à produção de energia, sendo esta dependência em relação aos combustíveis fósseis da

ordem dos 85%. Pretende-se reduzir significativamente esta dependência nos combustíveis até ao ano 2020, em consonância com a política europeia dos 20-20-20.

Segundo Teixeira dos Santos “50 por cento do défice externo português corresponde às necessidades de importação de energia” (Expresso, 2011). De forma a travar esta dependência Portugal prevê um conjunto de acções e medidas a implementar, como é o caso do Portugal Eficiência 2015 (PNAEE, 2008).

Para além desta dependência endémica, Portugal tem outras debilidades como sejam uma alta intensidade energética (em comparação com outros países europeus e ou de grau de desenvolvimento semelhante), isto é, precisa de consumir mais energia do que outros países para obter a mesma unidade de riqueza. Podemos afirmar que, as duas crises do petróleo de 1973 e 1979 (Figura 1), não foram suficientes para uma mudança de paradigma no que respeita aos padrões de utilização de energia no nosso país.

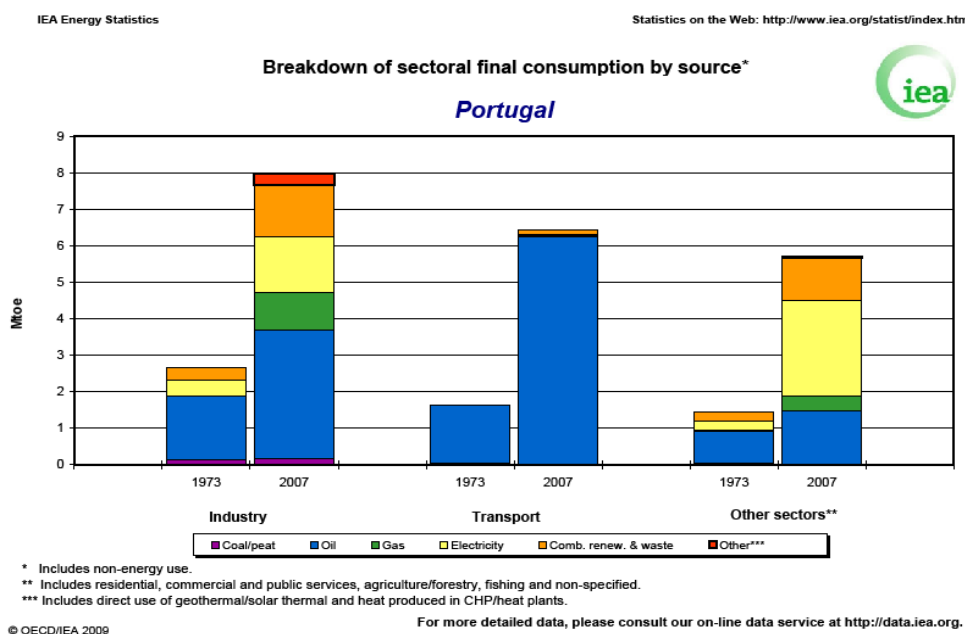


Figura 1 - Consumo de Energia por Sector (iea.org, 2009)

Portugal tem como objectivo reduzir a sua dependência energética para 74% até 2020 (tendo por base valores de 1990), conseguir que 31% da energia final seja de origem endógena, cumprir e assumir todos os acordos no contexto das políticas de combate às alterações climáticas, reduzir o saldo importador energético levando a uma poupança da ordem dos 2000 milhões de euros anuais, e promover o desenvolvimento sustentável com o intuito de cumprir as metas de redução de emissões de CO<sub>2</sub> assumidas por Portugal (renewable, 2011).

## 2.2 Importância da Energia Solar

Das várias fontes de energia renovável disponíveis, aquela que provavelmente tem um futuro mais promissor, será sem dúvida a energia solar, em particular num país com o número anual de horas solares, como aquele com que o nosso país é beneficiado (Figura 2).

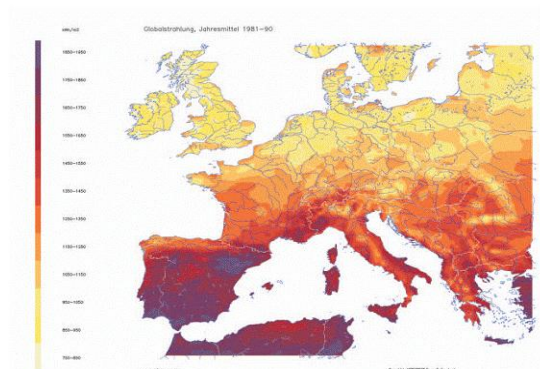


Figura 2 - Mapa da Radiação na Europa (Meteostat, 2007)

Em relação às outras formas de captação de energia renovável, embora tenham uma participação assegurada no *mix* energético, sofrem de algumas desvantagens importantes como sejam o custo unitário no caso do solar fotovoltaico e do eólico, apenas para falar das duas alternativas mais viáveis ao solar térmico, sendo que no caso do eólico existe ainda o problema das variações de intensidade associadas ao seu funcionamento otimizado.

## 2.3 Sol

Para tirar o máximo proveito sobre esta fonte de energia é de particular importância o estudo e o conhecimento profundo sobre esta nossa estrela que nos brinda com vida dia após dia.

O Sol, tem aproximadamente 4500 Milhões de anos e encontra-se a meio do seu ciclo de vida (Fernandes, 2004). Possui uma massa de  $2,2 \times 10^{27}$  ton, 334 000 vezes superior à da Terra, distando-se aproximadamente  $1495 \times 10^{11}$  m +/- 1,7%, distancia esta que se caracteriza por uma unidade astronómica (Duffie & Beckman, 2006).

A parte central deste astro designa-se por núcleo e é onde está concentrada cerca de 40 % da sua massa, e onde é produzida cerca de 90% da sua energia total.

Esta estrela essencialmente constituída por hidrogénio emite uma temperatura à sua superfície da ordem dos 6000°C. Essa temperatura é gerada através de inúmeras reacções termonucleares complexas, que convertem protões em partículas alfa ( $\alpha$ ) à custa de quatro núcleos de hidrogénio (Teoria de Bethe e Von Weizacker) (Peixoto, 1981).

Essas reacções desenvolvem-se a cerca de 60 milhões de graus célsius no núcleo central, sendo essa a razão por que este se encontra em estado de plasma comprimido pelas forças gravitacionais (Peixoto, 1981).

Durante esse processo há uma conversão de massa,  $m$ , em energia,  $E$ , tal como Einstein descreveu,  $E=mc^2$ , que por conseguinte irradia a superfície terrestre (Peixoto, 1981).

Através da distância e da quantidade de radiação emitida pelo Sol que se consideram constantes, consegue-se determinar a energia recebida por unidade de área na superfície perpendicular com a direcção da propagação da radiação solar. Essa energia que atinge o limite superior da nossa atmosfera é em média de 1367 W/m<sup>2</sup> sendo denominada por constante solar ( $E_0$ ) (Duffie & Beckman, 2006).

Por ano a energia solar que atinge a atmosfera do planeta Terra é de aproximadamente 1,5 quadrilhões (1,55 x 10<sup>15</sup>) mega watts hora o que equivale a um “SERPY” (Solar Energy Received per Year). Desta, cerca de 34% é reflectida para o espaço, 17% é absorvida pela nossa atmosfera e apenas 47% é recebida pela superfície da Terra (Peixoto, 1981).

## 2.4 Radiação

A radiação solar emite energia, uma parte dessa energia é absorvida ou reflectida pela atmosfera. A radiação disponível na Terra divide-se em três tipos: directa, difusa e reflectida (Figura 3).

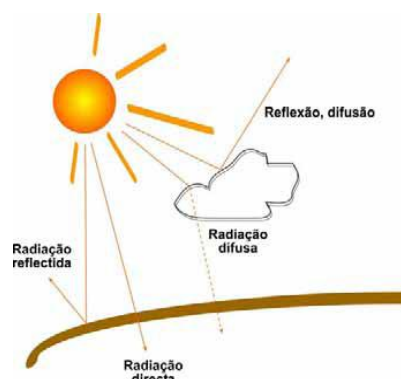


Figura 3 - Radiação Solar Global e suas componentes (Energia Solar Térmica 2004)

A radiação directa provém directamente da nossa fonte de vida o Sol, a difusa resulta de todos os corpos celestes que circundam, dividindo-se na difusão de Rayleigh ou seja, a difusão de moléculas de ar e a difusão de Mie, das partículas de pó e contaminação do ar, por fim a radiação reflectida que é libertada pela reflexão do todo, sendo que a razão entre a quantidade de radiação reflectida e a quantidade de radiação recebida denomina-se por albedo.

A soma destas radiações dá-se por radiação Global (Roriz et al, 2010).

Cole (1980), defende que a radiação assume-se como uma forma de transferência de energia que não requer suporte intermédio nem contacto com o corpo radiante (Cole, 1980).

Com o avanço da tecnologia, hoje em dia, é possível quantificar e mensurar a radiação solar. O piranómetro (Figura 4) mede a radiação directa mais a difusa, podendo até eleger apenas e só a radiação difusa, se este for munido de um arco que cubra o caminho do sol, interceptando a radiação solar directa e mantendo na sombra o órgão sensível do piranómetro. Quando o piranómetro se destina a medir a radiação difusa, este denomina-se por difusómetro.

Os piranómetros como instrumentos de medida que são, têm que ser regularmente calibrados.



Figura 4 - Piranómetro fabricado por Kipp & Zonen (Energia Solar Térmica, 2004)

Em Portugal para obtenção da medida de radiação solar, usualmente opera-se com a caloria por centímetro quadrado ( $cal/cm^2$  ou  $J/cm^2$ ), também muitas das vezes exprimindo-se por langley ( $ly$ ) que dividindo pelo tempo quantifica-nos a Potência ( $ly/min$ ). Um langley equivale a uma caloria por centímetro quadrado ( $cal/cm^2$ ) (Radiação Solar, 1988).

A radiação no espaço regista uma potência avaliada em relação a uma superfície perpendicular de  $1350 W/m^2$ . Na superfície terrestres devido o valor da radiação é da ordem dos  $1000 W/m^2$  devido à atmosfera terrestre que actua como um filtro (Doninelli, 2006).

Na Europa, Portugal é dos Países com maior disponibilidade de radiação solar, como podemos verificar anteriormente na Figura 2.

## 2.5 Insolação

A insolação que Portugal detém ou seja o “número de horas de Sol descoberto”, é sem dúvida um elemento climático de extrema relevância e a ter em conta, no que toca ao planeamento de instalações destinadas ao aproveitamento da energia solar, sendo os seus valores expressos em horas por ano (Peixoto, 1981, p. 125).

A Carta de Insolação de Portugal Continental retratada na Figura 5, foi preparada pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, actualmente denominado por Instituto de Meteorologia, IP Portugal (METEO), com base nos valores médios obtidos no período entre 1931 e 1960 (Peixoto, 1981).

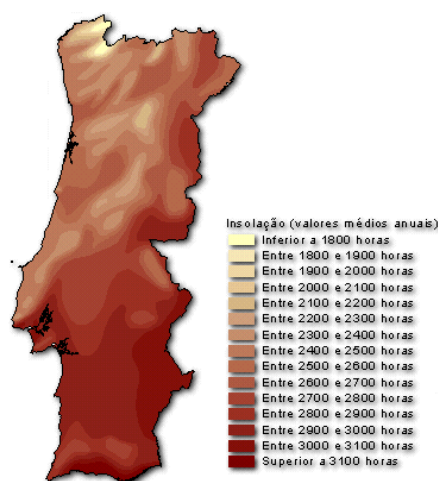


Figura 5 - Carta de insolação Portugal Continental (APA, 2010)

Podemos facilmente observar e concluir através da carta de Insolação, que o valor médio desta cresce, de modo geral, de Norte para Sul e de Oeste para Leste e que decresce com a altitude. (Peixoto, 1981).

A insolação em Portugal varia entre as 1800 horas de Sol por ano e as 3100 horas Sol por ano, sendo por isso Portugal um ex-líbris, a nível Europeu no que toca à potencialidade de exploração desta fonte, no mais variado sector, como por exemplo o turismo (Marques, 1987).

Em Portugal o potencial energético varia entre as 5400MJ/m<sup>2</sup> ano e 6800 MJ/m<sup>2</sup>ano, conforme a localização geográfica e a insolação local (Marques, 1987).

### 3 A Caracterização Energética: Passado, Presente e Futuro

A energia é essencial para a vida, visto ser usada para mover um carro, para tomar um duche, para dar vida às plantas ou até para comer. Desde a pré-história em que o Homem usava fogueiras para se manter quente à noite e cozinhar, que a energia tem sido o centro da nossa subsistência.

A energia evoluiu de tal forma que se tornou o centro de quase todos os recentes conflitos do pós segunda grande guerra, e as oscilações no preço do petróleo, para além das questões do aumento da procura, estão igualmente relacionados com o facto de as principais reservas se localizarem em zonas do planeta particularmente instáveis em termos políticos.

A energia primária, é constituída pelas fontes de energia provenientes directamente da natureza, tal como a lenha, o petróleo e o carvão mineral, entre outros, enquanto a energia útil reflecte a eficiência do processo de transformação da energia primária, e a energia final se refere ao fim deste cadeia no que respeita à produção de energia para as necessidades pretendidas (CEEETA, 2009).

Este processo de transformação define-se como a sequência de transformação da energia explícita na Figura 6.

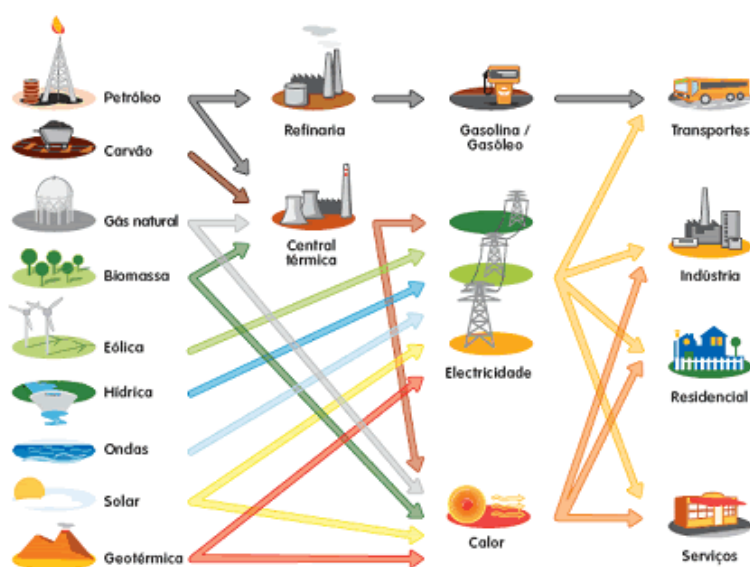


Figura 6 - Sequência de transformação da energia (EDP, 2009)

Actualmente chegámos a uma situação em que o petróleo constitui mais de um terço da energia total consumida e os outros combustíveis fósseis como carvão e o gás natural têm um grande peso.

### 3.1 Caracterização Energética de Portugal

Localizado no extremo mais oriental da Europa, Portugal é um país que quanto aos recursos energéticos próprios tem uma extrema dependência externa, devido à escassez que estes representam.

Em 2008 a dependência energética atingiu um valor de 83,3% da energia primária total consumida em Portugal. A Figura 7 mostra a evolução do consumo de energia primária em Portugal entre o ano 2000 e 2008, onde podemos facilmente concluir a nossa grande dependência externa de petróleo (DGEG, 2009).

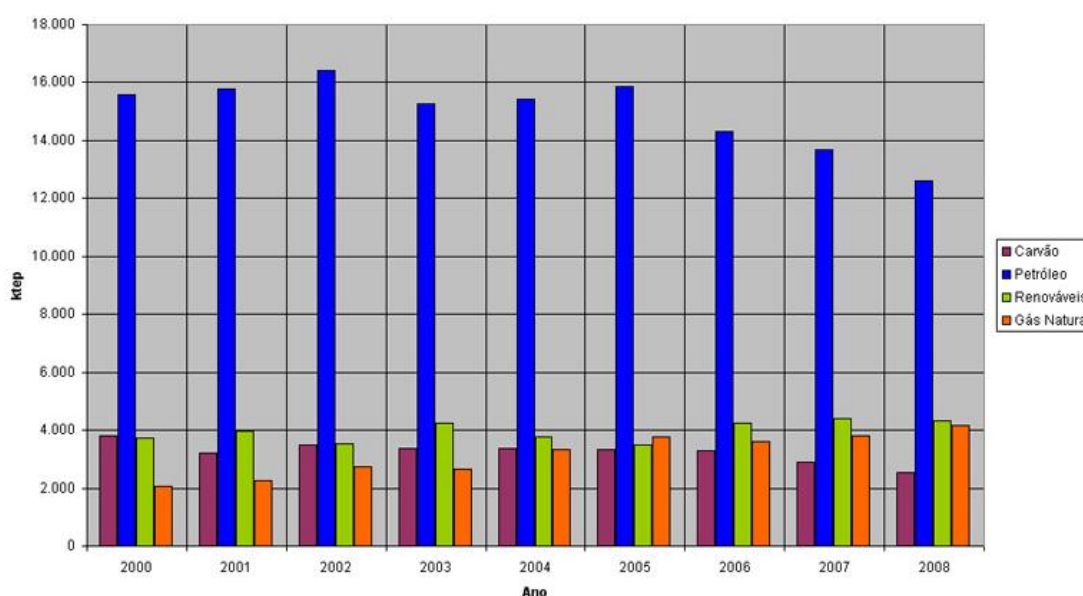


Figura 7 - Evolução do consumo de energia primária em Portugal (DGEG, 2009)

O gás natural e as renováveis como aposta na evolução do *mix* energético, contribuíram nesta última década, para uma redução do consumo do petróleo, diminuindo assim alguma dependência do exterior.

O carvão apesar de ser uma opção barata para Portugal, não é considerado uma solução, prevendo-se uma redução progressiva devido ao impacto que este causa na atmosfera devido às emissões de CO<sub>2</sub> (DGEG, 2009).

Nota-se que de 2005 até 2008 temos uma ligeira tendência de descida sobre o consumo de petróleo, embora esta descida se deva no essencial ao facto da penetração das renováveis e do gás natural terem sido superiores.

## 3.2 Dependência Energética

O Médio Oriente detém mais de metade das reservas conhecidas de petróleo (Figura 8) e esta dependência deverá aumentar nos próximos anos com a escassez do petróleo de outros países exportadores. Prevê-se que para as décadas 20 e 30 deste mesmo século novas tensões políticas deverão surgir como consequência directa da redução dos recursos fósseis disponíveis e como é óbvio da sua concentração maioritária em zonas de potencial conflito ditas instáveis.

Países desenvolvidos, como é o exemplo dos estados membros da União Europeia, que se encontram no seio de um problema de segurança de abastecimento, actualmente consomem mais de 50% da sua energia primária vinda do exterior das suas fronteiras, pelo que a sua dependência tenderá a aumentar em consequência do que foi dito acima, e ainda pelas previsões de que o consumo de petróleo a nível global venha a crescer como tem vindo até agora, grande parte devido às crescentes novas economias como é o caso da China e da Índia.

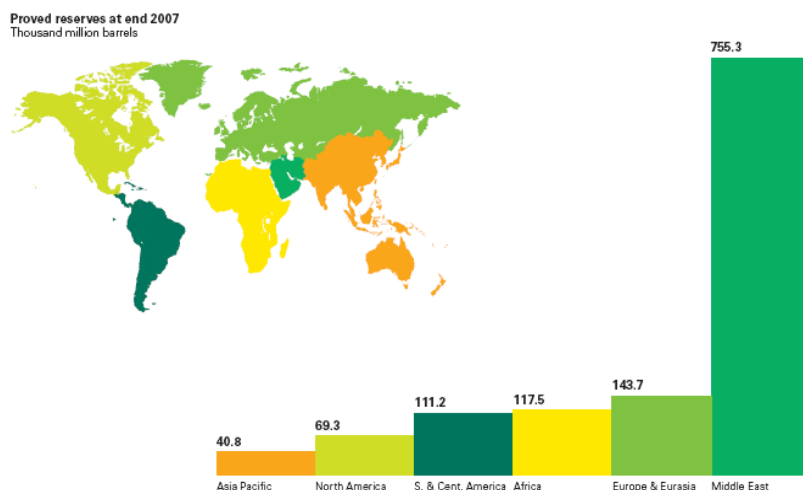


Figura 8 - Distribuição geográfica da produção em milhares de milhões de barris de petróleo (BP, 2008)

No Produto Interno Bruto (PIB) de um dado país, mede a nível económico as transacções efectuadas sobre a riqueza produzida num ano. É por isso um excelente indicador sobre o estado em que o país se encontra, estando até em parte relacionado com a quantidade de energia que o país consome, embora não sendo directamente proporcional, pois um estado com um fraco PIB per capita, dito pobre, consome uma menor parcela da energia mundial, do que um país do mundo desenvolvido, mas entre estados com níveis de desenvolvimento similares os consumos de energia podem ser distintos.

São várias as razões para que a relação entre o PIB e o consumo de energia, não seja proporcional, nomeadamente a forma como duas nações distintas obtêm a sua energia primária pode diferir, e.g., a forma como alcançam a sua riqueza pode implicar uma maior ou menor necessidade de energia relativamente ao tipo de actividades ou até mesmo por razões de eficiência na utilização da energia.

### 3.3 Intensidade Energética

A Intensidade Energética (*IE*) como indicador, quanto mais baixa for, melhor. Esta medida mede a quantidade de energia necessária para produzir riqueza, calculada com base em quilogramas (kg) equivalentes de petróleo ou toneladas equivalentes de petróleo (tep) sendo esta última mais usual.

$$\text{Intensidade Energética (IE)} = \frac{\text{Consumo de Energia Primária (CEP)}}{\text{Produto Interno Bruto (PIB)}} \quad (3.3.1)$$

Desta forma a *IE* transmite o conteúdo energético da produção global de um determinado país.

Dentro dos países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico) da qual Portugal faz parte como membro fundador, Portugal apresenta um valor excessivamente alto de *IE*.

### 3.4 Alterações Climáticas

Desde o período pré-industrial (1850-1900) que a temperatura tem vindo a aumentar, tendo sido registado um aumento médio na ordem dos 0,6°C. Vários cenários prospectivos apontam, até ao final deste mesmo século para um aumento da temperatura média entre os 1,5°C a 6°C (Borges & Ribeiro, 2009).

O consumo das energias provenientes dos combustíveis fósseis tal como tem vindo a ser feito nestas últimas décadas, proporcionam a presença em elevadas quantidades na atmosfera terrestre dos chamados Gases de Efeito de Estufa (GEE), que originam efeitos nefastos por todo o planeta.

Os GEE são essencialmente constituídos por gases como o dióxido de carbono, o vapor de água, o metano, os perfluorcarbonetos, entre outros, que evitam que o calor absorvido pela superfície terrestre se escape para o exterior (espaço), mantendo

assim a temperatura na terra cerca de 30°C superior ao que seria se não os houvesse (a níveis controlados).

As emissões excessivas dos GEE nomeadamente do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) provocam um aumento considerável do efeito de estufa, o que por sua vez leva ao aquecimento global, ou seja no aumento da temperatura média da Terra. Actualmente sabemos que não se trata de uma trivialidade, pois este aumento de temperatura é sentido por todos e com consequências catastróficas a nível mundial caso nada seja feito.

O caso mais relatado sobre este aquecimento global, é o do degelo das grandes calotes polares, destruindo por completo ecossistemas e *habitats* de inúmeras espécies. Associando a este degelo a dilatação das águas oceânicas, está relacionado a subida do nível médio do mar, pondo em causa directamente a vida de milhões de pessoas que vivem em zonas litorais de baixa altitude.

O excesso de água doce nas águas salgadas, provocam um desequilíbrio nas correntes marítimas, e aumenta significativamente a evaporação no ciclo da água, originando catastroficamente o aparecimento de mais e maiores fenómenos naturais tais como tufões e ciclones (Nota Positiva, 2010).

A Figura 9 ilustra a radiação proveniente do Sol, e a forma como o dióxido de carbono e outros gases que originam o efeito de estufa contribuem para o aquecimento global, permitindo que mais quantidade de radiação emitida pelo Sol não se reflecta para o exterior da Terra.

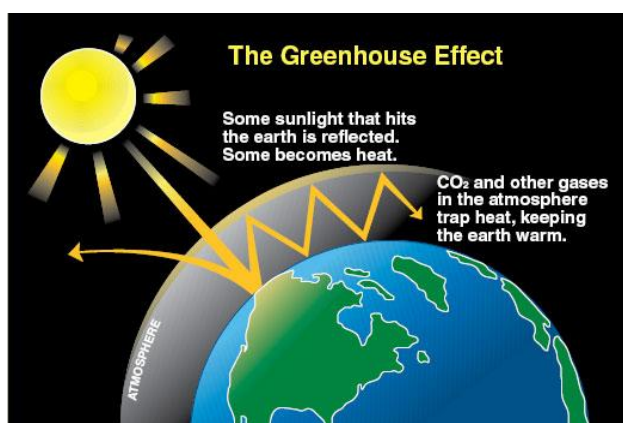


Figura 9 - Ilustração do efeito de estufa (DEEW, 2011)

No nosso planeta os reservatórios naturais de CO<sub>2</sub>, ou seja, os solos, as árvores e os oceanos, não têm capacidade de absorver na totalidade a enorme quantidade de CO<sub>2</sub> que libertamos para a atmosfera. Na viragem deste século, já os nossos reservatórios naturais apenas tinham capacidade para uma absorção de CO<sub>2</sub> de

origem Humana na ordem dos 50%. Sabe-se assim que para se estabilizar a concentração deste gás de efeitos nefastos é necessário agir e reduzir a longo prazo as suas emissões em cerca de 80% do nível actual (Stern, 2007).

Uma redução desta dimensão é puramente utópica, mas é preciso saber que estamos perante um problema cumulativo que a cada dia que passa se torna mais gravoso. No entanto o controlo das emissões dos gases de efeito de estufa será atingido se houver vontade e progressos significativos no domínio da eficiência energética dentro dos sectores da construção civil, indústria e dos transportes (DGE, 1982).

### **3.5 Políticas energéticas**

Segundo o Relatório do Estado do Ambiente de 2008 a União Europeia (UE) definiu como meta garantir que 20% do seu consumo energético em 2020 tenha origem em fontes renováveis, meta esta completada por uma meta mínima de 10% para uso de biocombustíveis nos transportes em 2020.

Em 2007 o governo português estabeleceu novas metas nacionais no domínio das energias renováveis. A produção de electricidade com base em energias renováveis passou de 39% para 45% do consumo em 2010, com uma aposta forte em todas as vertentes (Inovação, 2010).

#### **3.5.1 Portugal**

Portugal Eficiência 2015 como é conhecido o Plano Nacional Acção Eficiência Energética (PNAEE) abrange uma serie de programas e medidas de eficiência energética a ter em conta até 2015.

Este plano enquadra-se com a Directiva nº 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril de 2006, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, estando ainda em articulação com o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), e o Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE) (PNAEE, 2008).

Num nível de responsabilização internacional e de compromissos comunitários, Portugal ao abrigo do Protocolo de Quioto assume que limita o aumento das suas emissões de gases de efeito de estufa (GEE) em 27% no período de 2008-2012 tendo em conta os valores de 1990. Neste contexto o PNAC, quantifica o esforço nacional

das emissões de GEE, através de um vasto conjunto de políticas e medidas sobre todos os sectores de actividade que nele integram (PNAC, 2006).

Portugal através da Estratégia Nacional de Energia (ENE 2020), conseguiu-se impor entre os líderes no desenvolvimento das energias renováveis e na promoção da eficiência energética, garantindo a segurança de abastecimento e a sustentabilidade económica e ambiental do nosso modelo energético.

O ENE 2020 aplica-se em vários eixos definidos, estabelecendo diversas metas dentro de cada área de intervenção, dividindo-se por 5 eixos:

### **Eixo 1**

O ENE 2020 constitui uma agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira do País, dinamizando a economia através da promoção de *clusters* e competências de investigação, produção e manutenção de sistemas.

O desenvolvimento regional promove-se de forma equilibrada por todo o território.

A independência energética e financeira através do aumento da produção renovável e promoção da eficiência energética, tendo como uma das áreas de destaque a construção termicamente eficiente.

Mercados de energia competitivos, protegendo os consumidores mais vulneráveis e reduzindo de forma gradual e progressiva até à eliminação das tarifas reguladoras (ENE, 2010).

### **Eixo 2**

Aposta nas energias renováveis, com planos de acção e promoção nas diversas fontes de energia renovável disponíveis em Portugal, sendo estas a biomassa, os biocombustíveis e o biogás, ondas, geotermia, hidrogénio, hídrica, eólica e solar. Em todas estas áreas, apresentam-se projectos de desenvolvimento com metas explícitas de acordo com a evolução das diferentes tecnologias (ENE, 2010).

### **Eixo 3**

Promoção da eficiência energética, com projectos pilotos tanto na área dos transportes, como na distribuição, dotando os consumidores Portugueses de um serviço por rede inteligente. Esta promoção passa também pela criação de um fundo de eficiência energética com vista a apoiar e promover projectos inovadores.

Contemplando o reforço e introdução de novas medidas às já existentes de forma a acompanhar as metas Europeias de eficiência energética (ENE, 2010).

#### **Eixo 4**

A garantia da segurança de abastecimento sendo um dos pontos fulcrais para a estabilidade económica Nacional, tem como principais orientações o reforço das interligações com as redes Europeias do gás e electricidade, o investimento na modernização das redes de transporte e armazenamento e a diversificação do “mix” energético, apostando nas renováveis, dando continuidade ao gás natural e tendo sempre como opção o uso do carvão (ENE, 2010).

#### **Eixo 5**

Sustentabilidade da estratégia energética passa por uma sustentabilidade económica, minimizando o impacto nas tarifas dos diferenciais de custo decorrentes da opção pelas energias limpas, uma sustentabilidade técnica de modo a tirar uma maior rentabilização das tecnologias e uma sustentabilidade ambiental com especial foco para a redução de forma sustentada das emissões de CO<sub>2</sub> (ENE, 2010).

##### **3.5.1.1 Aposta no Solar Térmico**

De acordo com a resolução do Conselho de Ministros nº 80/2008 criou-se em Portugal o Programa Renováveis na Hora dentro do Plano Nacional Acção Eficiência Energética (PNAEE) com o intuito de promover a substituição do consumo de energia não renovável através de uma maior facilidade de acesso a tecnologias de microgeração criando-se assim legislação que contempla um regime bonificado, e o aquecimento solar com uma obrigatoriedade de instalação.

Em Portugal foram instalados 86820 m<sup>2</sup> de colectores solares em 2008, e em 2009 foram instalados 144603 m<sup>2</sup>, contribuindo para um máximo histórico no que toca à instalação de colectores em Portugal (Figura 10). Estes números foram alcançados devido às medidas de incentivo à instalação de sistemas solares térmicos, com a possibilidade de comparticipação do investimento na aquisição do equipamento, dedução de parte do investimento em sede de IRS e acesso facilitado ao crédito para compra de equipamento (PNAER, 2009).

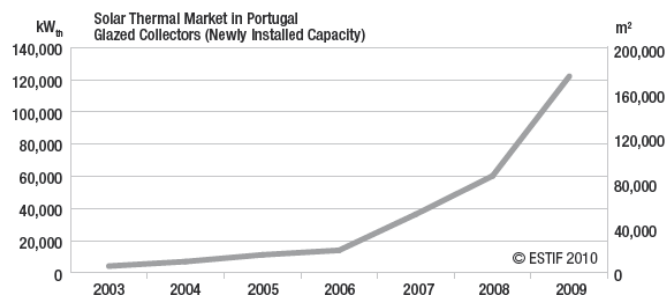


Figura 10 - Evolução de colectores solares instalados em Portugal (ESTIF, 2009)

De forma a evitar a fraca credibilidade junto do consumidor devido à falta de qualidade dos equipamentos e das instalações feitas na década de 80 (Energia Solar Térmica, 2004), os sistemas solares térmicos aprovados na Medida Solar Térmico (MST) que se enquadram na Estratégia Nacional para a Energia 2020, sob a denominação Novas Energias e a marca Re.New.Able, prevêem uma serie de eixos estratégicos nos quais se inclui a eficiência energética, estando todos estes sistemas solares certificados pela Solar Keymark de acordo com as normas europeias. Em Portugal as certificações são feitas pela CERTIF (Associação para a Certificação).

Além das medidas de foro financeiro à instalação dos sistemas solares térmicos é ainda exigido uma garantia de 6 anos, a certificação do instalador e a apresentação de um plano de manutenção (PNAER, 2009). Há que destacar a aposta de Portugal no solar térmico, que aponta para um crescimento médio anual de 12% entre 2010 e 2020 (PNAER, 2009).

De salientar que a promoção destes programas foram um autêntico sucesso tendo em conta a boa adesão do consumidor, e o desenvolvimento económico a nível regional e local, focando essencialmente à criação de novos postos de trabalho (ESTIF, 2009).

Os números divulgados pela ESTIF (European Solar Thermal Industry Federation), num contexto Europeu (Tabela 1), colocam Portugal numa posição razoavelmente boa, situando-se entre os 10 países da Europa com mais colectores instalados em 2009.

No entanto, segundo esta mesma organização o crescimento de Portugal em 2009 atingiu os 103% (ESTIF, 2009).

Tabela 1 - Área de colectores instalados na Europa (ESTIF, 2009)

País	Total Instalado		Novos Instalados		Evolução
	2009 Área Colectores m <sup>2</sup>	2007 Área Colectores m <sup>2</sup>	2008 Área Colectores m <sup>2</sup>	2009 Área Colectores m <sup>2</sup>	2008-2009 Área Colectores (%)
Austria	359687	281000	347703	356544	3%
Bélgica	290847	65000	62200	50700	-18%
Bulgária	127900	2500	25500	25000	-2%
Suíça	768707	66576	112833	146750	30%
Chipre	735200	60000	60000	56000	-7%
República Checa	211220	25000	35000	40000	14%
Alemanha	12709000	940000	2100000	1615000	-23%
Dinamarca	472790	23000	33000	54500	65%
Estónia	2420	350	500	450	-10%
Espanha	1902166	275000	434030	391000	-10%
Finlândia	26973	2500	4100	4000	-2%
França	1959100	330000	388000	335000	-14%
Grécia	4074200	293000	298000	206000	-31%
Hungria	82590	20648	11000	25000	127%
Irlanda	107760	15000	43610	33360	-24%
Itália	2006230	33000	421000	400000	-5%
Lituânia	2200	300	300	200	-33%
Luxemburgo	27200	3000	3600	4700	31%
Letónia	1740	210	210	180	-14%
Malta	40860	5500	6000	5500	-8%
Holanda	407341	19900	25000	44000	76%
Polónia	509860	68147	129632	144184	11%
Portugal	<b>493340</b>	<b>52000</b>	<b>86000</b>	<b>174390</b>	<b>103%</b>
Roménia	114300	6500	8000	20000	150%
Suécia	310517	25456	26913	21310	-21%
Eslovénia	159300	12000	16000	22000	38%
Eslováquia	108750	9030	13500	13500	0%
Reino Unido	475020	54000	81000	89100	10%
<b>EU 27 + Suíça</b>	<b>31724405</b>	<b>2688617</b>	<b>4772631</b>	<b>4278368</b>	

### 3.5.2 Europa

Segundo dados publicados pela ESTIF, (Figura 11) o mercado europeu pelo segundo ano consecutivo conseguiu ultrapassar a meta dos 4 milhões de metros quadrados (m<sup>2</sup>) de colectores solares instalados, no entanto, em 2009 o mercado ressentiu-se e apresentou valores 10% abaixo do ano anterior, 2008 foi excelente em termos de crescimento que rondou os 60%, com os seus 4,75 milhões de m<sup>2</sup> de colectores.

A queda no crescimento a nível europeu referente ao ano 2009, já era esperada devido à quebra dos mercados financeiros e a grande crise no grande sector da construção, e no entanto os valores foram surpreendentemente positivos.

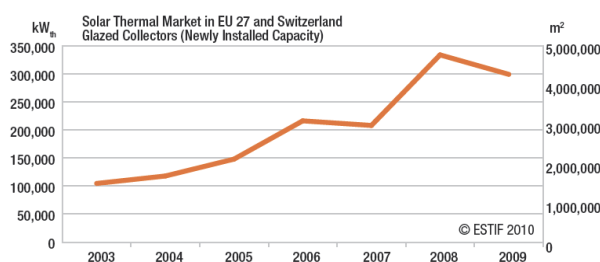


Figura 11 - Evolução de colectores solares instalados na Europa (ESTIF, 2009)

### **3.5.2.1 20-20-20 Ponto de partida para o equilíbrio**

Em Janeiro de 2008 a Comissão Europeia propôs-se a legislar de modo vinculativo as metas 20-20-20. Com o intuito de reduzir na UE as emissões dos GEE em 20% dos níveis de 1990, atingir 20% do consumo de energia primária através de fontes de energia renovável (FER), e reduzir em 20% o consumo de energia primária por via da eficiência energética.

Em 2009 tornou-se lei e o seu cerne compreende-se em quatro peças fundamentais:

**1** – Revisão e fortalecimento do Sistema de Comércio de Emissões (ETS - *Emissions Trading System*), ou regime comunitário de comércio de licenças de emissão (RCLE-EU).

**2** – Esforço na partilha de decisões com metas de limitação que vão desde a redução das emissões em 20% para os estados membros mais ricos, ou um aumento permitido das emissões chegar aos 20% para os países menos poluidores.

**3** – De modo a poder-se alcançar a cota dos 20% de renováveis na UE até 2020 nos sectores não abrangidos pelo RCLE-EU, como por exemplo os edifícios, transportes, agricultura e resíduos, de forma sustentada para todos os estados membros, definiram-se metas nacionais que variam de uma quota de energias renováveis de 10% em Malta e 49% na Suécia, com resultados das emissões a nível comunitário 10% abaixo dos níveis de 2005.

**4** – Um quadro jurídico para promover o desenvolvimento e o desenvolvimento e utilização segura de tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS - carbon capture and storage).

Na condição que outros grandes países emissores de grandes quantidades de GEE para a atmosfera, e de forma a acreditar e tornar credível e possível reduzir estas mesmas emissões e continuar competitivo, a UE ofereceu-se para incrementar a redução dos níveis médios de emissões até 30% no âmbito de um acordo climático global (COM(2010) 265 final, 2010).

### **2.5.2.2 Livro Verde**

De forma a manter o sector energético o mais estável possível, dando especial atenção à subida dos preços do petróleo e à instabilidade política sentida nos países que tradicionalmente abastecem a União Europeia, em concreto a Rússia e a Ucrânia

que despoletaram a crise do gás, colocando vários países da UE com graves problemas de aprovisionamento, é imperativo que se debata e chegue a um consenso de forma a adoptar uma estratégia comum que permita minimizar ao máximo este tipo de desafios (Livro Verde, 2006).

Em resposta a UE no Conselho de Ministros dos Transportes, Telecomunicações e Energia, realizado a 14 de Março de 2006, com o tema central o Livro Verde da Comissão, designado “Estratégia europeia para uma energia sustentável, competitiva e segura”, definiu uma nova política energética europeia de forma a garantir a segurança do abastecimento, competitividade e sustentabilidade ambiental (Livro Verde, 2006).

Esta iniciativa assente nestas três grandes áreas, contém ainda um conjunto de seis grandes domínios de acção (Livro Verde, 2006):

- 1º – Competitividade e realização do mercado interno da energia
- 2º – Garantir a segurança do aprovisionamento e a solidariedade entre Estados-Membros
- 3º – Diversificação e sustentabilidade do cabaz energético
- 4º – Desenvolver uma abordagem integrada para combater as alterações climáticas
- 5º – Adoptar um plano estratégico europeu para as tecnologias energéticas
- 6º – Desenvolver uma política energética externa coerente

### **3.5.2.3 O Plano SET**

O Plano SET foi criado para reforçar e dar coerência aos esforços gerais desenvolvidos por toda a União Europeia, com o grande objectivo de acelerar o barco da inovação das tecnologias de vanguarda com baixo teor de carbono, para assim cumprir as metas propostas de 2020 e 2050 da Política Energética para a Europa (Plano SET, 2007).

Em 2009 foi implementado nos estados membros a directiva europeia para as renováveis, com a designação de Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu do Conselho de 23 de Abril de 2009 que estabelece um modelo a ter em consideração para os planos de acção nacionais.

### **3.5.3 Internacional**

Num plano internacional, quando se fala em alterações climáticas, políticas energéticas, eficiência energética, GEE, tudo isto leva-nos a um acordo, o Protocolo de Quioto que por poucas palavras se resume como meta estabelecida na redução de 5% dos GEE em relação aos níveis de 1990.

Na conferência de Cancun 2010 a Convenção nas Nações Unidas para as Alterações Climáticas foi ratificada por 194 países, reconhecendo que o equilíbrio climático é afectado pela emissão de GEE para a atmosfera, e por consequência o Protocolo de Quioto, datado de 2005 foi também este ratificado por um conjunto mais restrito de países industrializados, comprometendo-se a reduzir e a quantificar as emissões (Carvalho, 2010).

Com o fim de avaliar o impacto económico que as alterações climáticas podem vir a ter no futuro o governo Inglês encomendou o primeiro relatório a ser elaborado por um economista. O relatório Stern, como é conhecido, prevê que com o investimento de apenas 1% do PIB mundial actual se poderá evitar a perda de 20% deste mesmo PIB num prazo de 50 anos (Stern, 2007).

## 4 Energia renovável

Após o grande choque petrolífero de 1973 e devido às conjunturas económicas que se desenvolveram pela existência de elevadas taxas de inflação e de juro, o consumo de energia começou a apresentar comportamentos considerados desajustados para muitos países. Foi pensada e produzida por variados governos, legislação própria no que respeita ao incentivo de recursos renováveis, nomeadamente à construção de pequenos aproveitamentos hídricos e eólicos, os resíduos e a cogeração (Sá, 2008).

Um dos maiores desafios da actualidade é a criação de projectos, eventualmente no domínio da energia, que assegurem um desenvolvimento sustentável. Como tal o uso das energias renováveis é uma alternativa real e fiável às actuais formas de produção eléctrica que são umas das maiores ameaças ao meio ambiente.

Como alternativa às formas convencionais e prejudiciais ao meio ambiente, a energia eléctrica é cada vez mais, produzida com recurso às denominadas “green energy”, tais como a, energia eólica, geotérmica, hídrica, hidrogénio, solar, oceânica e biomassa.

Na actualidade deparamo-nos com diversos tipos de energia renovável que dentro do seu espaço têm as suas potencialidades e limites, cabe-nos a nós com o conhecimento que detemos sobre estas matérias escolher e adaptar a que melhor ou melhores se traduzem para uma rentabilização económica sobre o espaço em que as aplicamos.

### 4.1 Biomassa

A biomassa como fonte de energia, advém do armazenamento de energia solar em compostos orgânicos, ou seja, as plantas capturam a energia proveniente do Sol, transformando-a em energia química que se armazena na estrutura celular (PER, 2009). A biomassa subdivide-se em três grandes categorias sendo estas a biomassa sólida, os biocombustíveis líquidos e os biocombustíveis gasosos.

A biomassa sólida de essência florestal é sem dúvida alguma o tipo de energia renovável mais antigo e mais usado em todo o mundo. Consiste essencialmente na obtenção de energia na queima de resíduos provenientes da madeira e seus fins.

Entre os biocombustíveis gasosos temos o biogás que resulta da degradação biológica da matéria orgânica, como por exemplo de dejectos provenientes da agro-pecuária e decomposição de resíduos nos aterros.

Os biocombustíveis líquidos como o etanol e o biodiesel provêm de matérias vegetais agrícolas, que necessitam de grandes espaços para a sua produção.

A queima da Biomassa é também conhecida como o ciclo do carbono (Figura 12), fazendo com que o dióxido de carbono armazenado na estrutura celular dos organismos, seja simplesmente devolvido à atmosfera. Este ciclo mantém-se equilibrado desde que a regeneração e recolha da biomassa seja controlada por parte de uma gestão sustentável para as florestas.

A biomassa envolve assim uma grande variedade de recursos, que resultam em variadíssimos processos de transformação. As principais fontes passíveis de serem utilizadas para a produção de energia são as seguintes:

- Resíduos da agricultura
- Produtos florestais e resíduos da floresta
- Resíduos urbanos e industriais
- Dejectos animais

Temos que ter em conta que para efeitos práticos e números plausíveis, o uso desta técnica para a produção de energia implica um uso intensivo aos campos agrícolas, podendo facilmente perder-se o controlo desse processo causando assim danos à saúde humana, afectando a vida rural e a oferta de água, trazendo assim consequências mais nocivas para a vida terrestre que o uso dos combustíveis fósseis (DGE, 1982).

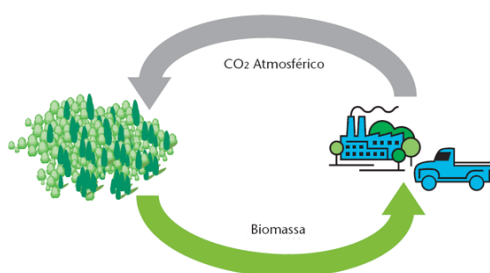


Figura 12 - Ciclo do carbono (WBCDS)

## 4.2 Geotérmica

A energia proveniente do centro do nosso planeta é transmitida ao seu exterior sobretudo por condução. Em Portugal as zonas vulcânicas como a Madeira e os Açores (Figura 13) são vistas como as duas regiões mais favoráveis para a extracção deste tipo de energia através do solo. Em Portugal Continental zonas termais são

vistas também como potenciais pontos de extracção de calor para obtenção de energia eléctrica.

A energia geotérmica tem como foco principal de atracção a sua capacidade constante de produção de energia, sendo as centrais projectadas para funcionarem 24 horas por dia durante todo o ano.



Figura 13 - Furnas Açores São Miguel (Associação Bandeira Azul da Europa)

### 4.3 Eólica

A energia obtida a partir do vento é sem sombra de dúvida aquela que teve no passado (continua a ter) uma grande importância no desenvolvimento da humanidade, tanto na sua aplicação mais básica que durante séculos foi o “motor” para mover as embarcações, e na agricultura, já com avanços tecnológicos significativos o vento foi usado para triturar cereais através de meios mecânicos accionados pela rotação das pás dos moinhos. Actualmente a nossa tecnologia permite-nos ir muito mais além, e através desta força brutal e infundável que é o vento conseguimos extrair electricidade para alimentar cidades e bombear águas para sítios remotos.

A energia eólica tem sido apadrinhada por muitos governos de todo o mundo como uma aposta segura e fiável, para a produção de energia limpa. O seu custo de produção baixou significativamente nos últimos 20 anos. A produção mundial de energia eólica como mostra a Figura 14 tem vindo a crescer de tal forma que entre 1996 e 2004 teve um crescimento anual na ordem dos 25% (Duffie & Beckman, 2006).

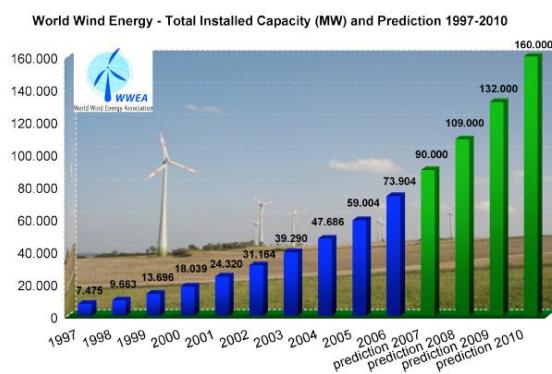


Figura 14 - Evolução da capacidade de Produção de energia eólica (The Climate Hub, 2010)

Apesar de num todo, este tipo de energia renovável ser considerada como um bom caminho para a sustentabilidade energética – ambiental, o uso desta energia apresenta três problemas distintos. Em primeiro lugar, este tipo de recurso está directamente ligado à quantidade de massa de ar existente no local da instalação dos aerogeradores, em segundo lugar a energia não pode ser armazenada (problema geral) e por último a intensidade do vento e suas mudanças repentinas geram problemas de instabilidade na rede, tendo por vezes de ser compensada por outro tipo de fontes.

Este tipo de energia pode ser considerado como umas das formas em que se manifesta a energia resultante da nossa estrela o Sol, visto que os ventos são causados pelo aquecimento não uniforme da atmosfera terrestre. Esta diferenciação no aquecimento da atmosfera é um dos factores, juntamente com a orientação dos raios solares e os movimentos da Terra, que influenciam os ventos (DGE, 1982).

A energia eólica é assim mais uma fonte indirecta da energia solar (Duffie & Beckman, 2006).

#### **4.4 Hídrica**

A energia hídrica representa actualmente cerca de um quinto da energia eléctrica mundial (Ramage, 1997). A energia hídrica não é nada mais que o aproveitamento do ciclo da água (sequência fechada de fenómenos que pelos quais existe e passa água nas mais diferentes fases, visível na Figura 15 para a produção de electricidade.

Este tipo de recurso tem como principal entrave os impactes ambientais que provocam no ecossistema e meio envolvente em que estão inseridos.

Em Portugal a energia hídrica é relevante pois representa uma grande parcela nas fontes de energia renovável (quase metade da produção de energia eléctrica com fonte renovável e 17% do consumo total em energia eléctrica em 2009) e vai ser ainda incrementada estando previstas até 2015 a construção de mais cinco novas barragens, sendo estas, a barragem do Baixo Sabor, de Ribeiradio Ermida, de Foz Tua, de Fridão e do Alvito. A construção destas novas barragens em consonância com o reforço de potência que as barragens já construídas serão alvo, irá permitir que Portugal eleve o aproveitamento hidrológico para 70% das capacidades do país e aumente a capacidade hídrica em 57% no mercado ibérico, permitindo assim ajustar a

produção de energia às necessidades reais, podendo-se controlar a produção da energia consoante os picos de consumo existentes (EDP, 2011).



Figura 15 - Ciclo da Água (wordpress, 2007)

## 4.5 Hidrogénio

Elemento químico mais abundante no Universo, o hidrogénio base de toda a química e seu estudo, contém o mais elevado valor energético mesmo sendo o mais leve. Através de um processo simples de ionização este produz corrente eléctrica, com emissões zero de carbono, apenas libertando vapor de água.

Como tecnologia é vista como de ponta e acarreta custos actualmente exorbitantes, no entanto é perspectivada como uma possível salvação para um futuro económico estável a nível mundial.

## 4.6 Oceanos

Os oceanos, contendo o maior de todos os recursos naturais, são fonte de um potencial energético gigantesco que pode ter diversas origens, determinando por isso diferentes classificações (DGGE, 2004). As mais relevantes, são sem dúvida, a energia das marés, resultante da interligação do campo gravítico do Sol com o campo gravítico da Lua, a energia térmica dos oceanos, resultado directo da radiação emitida pelo Sol, a energia das correntes marítimas, originada pelos gradientes de temperatura e salinidade, e por último a energia das ondas, causada pela acção do vento sobre a superfície dos oceanos.

Visto que os ventos são formados por um aquecimento desigual da superfície terrestre então pode dizer-se que esta última energia é uma concentração da energia solar. Além da influência do vento as ondas sofrem ainda a influência da gravidade e da capilaridade. No entanto, da mesma forma que as ondas são criadas por ventos

diferentes, estas vão possuir configurações diferentes e dependendo das configurações bem como da profundidade dos fundos oceânicos a energia das ondas vai variar. Assim, a energia das ondas é distribuída pelo globo de forma desigual e o aumento da actividade destas é registado entre as latitudes de 30° a 60°, induzido pelos ventos de oeste permanentes que sopram nestas regiões.

Apresenta-se na Figura 16, a distribuição do fluxo médio de energia das ondas no mundo em que se pode observar que com 40 MW/km, Portugal possui um recurso médio alto em termos mundiais e ainda que, no mundo, existe igualmente uma elevadíssima extensão de costa com recursos idênticos ou superiores ao nosso país, o que significa que, a ser desenvolvida com sucesso, a energia das ondas sustenta um grande potencial de aplicação a nível mundial.

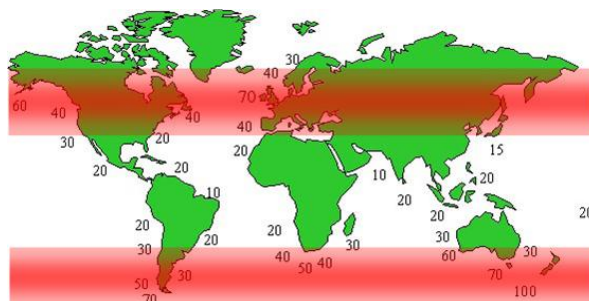


Figura 16 - Distribuição do fluxo médio de energia das ondas no mundo em MW/Km Adaptado de (DGGE, 2004)

Nesta área Portugal, pode-se considerar em vantagem em relação a outros países pois graças à sua localização e às águas profundas perto da costa a quantidade de energia eléctrica gerada seria suficiente para criar mais postos de emprego e inovar a exportação de bens e serviços desta tecnologia.

#### 4.7 Solar fotovoltaico

Um painel fotovoltaico é um conjunto de células fotovoltaicas interligadas e colocadas entre um material transparente e um substrato. Este tipo de tecnologia consiste em converter directamente a energia solar em electricidade, através do efeito fotovoltaico.

De notar que é de importância relevante, face à legislação em vigor, conhecer a viabilidade económica de um sistema fotovoltaico de pequena dimensão (Roriz et al, 2010).

Actualmente, com a tecnologia de que dispomos, esta forma de aproveitamento energético renovável, para a produção de electricidade, encontra-se ainda

condicionada devido, entre outros, aos níveis de rendimento que apresenta, não passando dos 30%.

No entanto, é cada vez mais comum, em zonas remotas e de deficiente distribuição de electricidade para consumo doméstico. O uso dos módulos fotovoltaicos (Figura 17), que veio permitir um aumento na qualidade de vida, a milhares de pessoas.



Figura 17 - Módulo fotovoltaico em casa rural (CNN, 2010)

Em Portugal a aposta nas renováveis deste género, tem tido um potencial tremendo na produção de electricidade. Parques enormes (Figura 18) têm vindo a ser construídos, com finalidade, a reduzir a dependência energética exterior, com base na sustentabilidade económica e ambiental.



Figura 18 - Parque fotovoltaico em Porto Santo construído em 2010 (Gonçalo Camacho, 2010)

É de realçar que a primeira instalação fotovoltaica do país foi construída nas Ilhas Selvagens (Figura 19) da Região Autónoma da Madeira em 1983 tendo por objectivo garantir as condições mínimas de sobrevivência e bem-estar (frigorífico, televisão, telefone, etc.) aos guardas vigilantes que vivem durante largos períodos nestas pequenas ilhas desabitadas.



Figura 19 - Instalação solar térmica e fotovoltaica nas Ilhas Selvagens (Arquivo Parque Natural da Madeira, 2010)

## **4.8 Solar Térmico**

Os painéis solares térmicos, devem ser instalados de forma a aproveitar o máximo de radiação solar incidente.

A orientação para Sul e a inexistência de sombreamento significativo são fulcrais para o bom funcionamento do sistema solar.

O grande objectivo é satisfazer ao máximo (na totalidade se possível) as necessidades de águas quentes sanitárias (AQS). Quando tal não sucede, recorrem-se a sistemas convencionais de apoio.

Actualmente com as leis em vigor, o uso dos painéis solares térmicos torna-se praticamente obrigatório para as novas construções, podendo em alternativa aos colectores solares térmicos recorrer a quaisquer outras formas renováveis de energia que captem, numa base anual, energia equivalente à dos colectores solares (RCCTE, 2006), como é por exemplo a biomassa, no entanto as alternativas existentes são pouco usuais.

Estes regulamentos contribuem para a sustentabilidade energética do país. A integração dos sistemas solares activos nas habitações existentes é genericamente de fácil integração (Roriz et al, 2010).

De forma muito genérica pode-se afirmar que actualmente a energia obtida por conversão dos combustíveis fósseis, dita convencional, é mais barata que a energia convertida por meio de recursos renováveis. A esta regra exceptua-se a energia solar para o aquecimento de AQS, que conduz a poupanças significativas (ao nível da compra de energia).

## **4.9 Energia Solar Passiva**

Até ao aparecimento da energia eléctrica, a energia proveniente do sol era o pilar fundamental para a concepção e dimensionamento arquitectónico das construções.

Pode-se facilmente constatar que algumas construções antigas, sem qualquer tipo de alimentação eléctrica ou aparelho de climatização, possuem níveis de conforto superiores às actuais casas modernas.

Em regiões em que a humidade relativa do ar é significativa, ao longo do ano, é de primeira conveniência o uso e aplicação de medidas que visem o conforto térmico,

tanto para o bem-estar e saúde dos indivíduos que usufruem do espaço, como também para o próprio espaço em questão.

O calor resultante da radiação emitida pelo sol pode e deve ser aproveitada para garantir o conforto térmico dos edifícios sem ter que recorrer a técnicas de climatização (aquecimento e arrefecimento) de grandes gastos energéticos (ar condicionado, resistências eléctricas, caldeiras, etc.).

O aproveitamento da energia solar, por meios passivos é feito através dos princípios da arquitectura bioclimática com resultados significativamente positivos no que respeita à redução das necessidades de energia para fins de climatização, sendo que em grande parte dos casos elimina por completo a necessidade de se recorrer a meios mecânicos para se atingir o conforto.

Os pontos fulcrais do solar térmico passivo são, a orientação, os envidraçados, o sombreamento, a inércia térmica, a iluminação natural, a ventilação natural, o sombreamento externo ao edifício e todo o tipo de soluções complementares com objectivo de melhorar o comportamento térmico.

A **orientação** do edifício em fase de projecto deve ter em conta o Sul (hemisfério Norte), sendo que a maior dimensão deve ficar virada no sentido Este-Oeste, ou pelo menos o mais próximo possível destes quadrantes.

A escolha do tipo de **envidraçados** e a conjugação com a orientação, deverá ser feita no sentido de minimizar os ganhos solares no Verão e otimiza-los no Inverno.

A utilização de **sombreamento** é pensada e calculada de acordo com a altura do ano, isto porque no Verão o sol encontra-se num ponto mais elevado e no Inverno numa posição relativamente mais baixa. O uso de palas é o mais usual.

Uma boa **inércia térmica** advém de uma massa elevada das paredes, chão e tecto de forma a garantir acumulação de calor. A relação entre o tipo de material e a espessura de paredes, interior e exterior e a área de fenestração deve ser estudada e calculada tendo em conta o clima local.

Utilizar a luz do dia (**iluminação natural**) de modo a reduzir a necessidade ao uso de iluminação artificial é um aspecto importante no dimensionamento de janelas e seu posicionamento. O uso de tubos de luz é uma óptima solução para transportar a iluminação natural para zonas interiores do edifício.

A redução de **perdas térmicas** através de caixilharias de corte térmico, vidros duplos, boa vedação de portas, inexistência se possível de aberturas não controladas tipo

chaminés e lareiras, ou seja, ter toda a habitação isolada termicamente, contribui para um gasto inferior de energia.

A **ventilação natural** tem um papel muito importante para o conforto térmico de um edifício. Existem inúmeras técnicas e soluções que podem ser aplicadas, como por exemplo a introdução de janelas de ventilação em pontos estratégicos para que haja uma movimentação prevista da massa de ar.

O **sombreamento exterior** (árvores de folha persistente, prédios etc.), essencialmente na exposição Sul, acarreta sérios problemas para o edifício, isto porque não permite que no Inverno o edifício receba radiação para se aquecer.

São ainda por vezes utilizadas **soluções complementares** (arquitectura bioclimática), que resultam das mais variadas análises e reflexões inerentes à construção.

O uso destes princípios acima descritos e detalhados, ou pelo menos parte deles na análise e concepção das habitações construídas é imposto pelas regulamentações nacionais e europeias sobre a térmica de edifícios de modo a garantir a satisfação das condições de conforto térmico nos edifícios sem necessidades excessivas de energia durante todo o ano.

O bom aproveitamento da energia proveniente do sol é levado a cabo através de técnicas e sistemas podendo estes serem do tipo activo ou passivo, sendo que a conjugação dos dois deve ser sempre tida em conta.

## 5 Energia Solar Térmica

### 5.1 Sistemas Solares Térmicos para fins de AQS

O consumo de águas quentes sanitárias (AQS), no sector doméstico restringe-se essencialmente a duchas e banhos, lavagem de roupa e utilização de cozinha. Frequentemente usam-se para estes fins esquentadores, caldeiras murais a gás ou termoacumuladores eléctricos. Estes consumos são perspectiváveis por cerca de 50% do consumo de energia no sector doméstico (Figura 20).

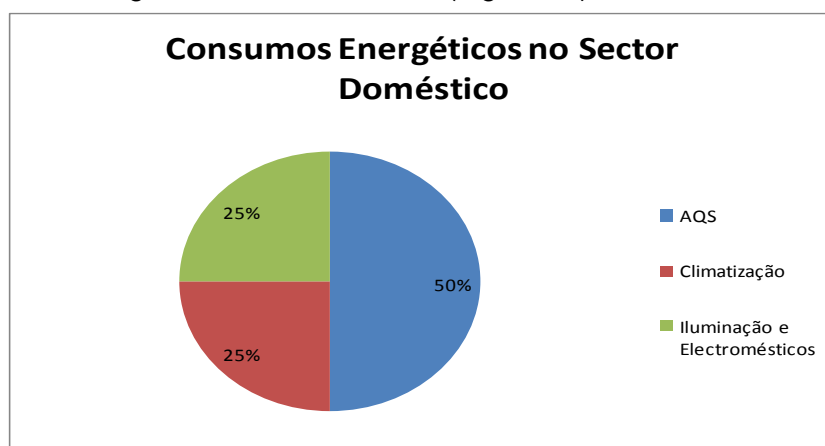


Figura 20 - Consumos energéticos no sector doméstico (DGEG, 2009)

Tal como já foi referido Portugal é dos países com maior exposição solar, sendo por isso preponderante para o balanço energético global (e conseqüente redução nas emissões de CO<sub>2</sub>) que se aproveite em larga escala a energia solar para fins de AQS (Água Quente Solar, 2004).

Para além das inúmeras vantagens que a energia solar térmica tem por ser uma fonte renovável e inesgotável, gratuita, economicamente competitiva dado que o seu período de retorno é satisfatório, contribui para a redução da dependência externa de Portugal. Trata-se de uma tecnologia fiável que gera energia *in situ*, não precisando assim de intermediários e redes de transporte como é o exemplo do gás natural e da electricidade e a redução indirecta de CO<sub>2</sub> é significativa contribuindo assim para uma redução do efeito de estufa.

Sendo que a sua implementação e desenvolvimento é prejudicada por alguma falta de hábito e comodismo, visto que os sistemas convencionais não "falham", o conhecimento ainda não se difundiu o suficiente pela sociedade de forma a ser reconhecido como um produto de plena confiança, o tamanho dos equipamentos implicam algum impacte visual na arquitectura e por vezes não é bem aceite devido a maus exemplos conhecidos e relatados.

A instalação de um sistema solar térmico requer alguma sensibilidade e cuidado, nomeadamente no que se refere à segurança dos trabalhos a si associados (ver Anexos II, III e IV)

A quase obrigatoriedade da instalação de sistemas solares térmicos em edifícios de habitação, veio trazer para Portugal uma fonte de riqueza económica extremamente apetecível, devido ao grande número de horas de sol que anualmente recebemos (Construção Sustentável, 2011).

### **5.1.1 Aplicação**

Com a finalidade de utilização de AQS no sector essencialmente doméstico, em que os períodos de utilização são geralmente contínuos, ou seja, praticamente durante todo o ano, o aproveitamento da energia solar por conversão em energia térmica de baixa temperatura é o mais indicado.

Este tipo de aproveitamento por conversão em energia térmica a baixa temperatura (temperaturas de consumo inferiores a 90°C) aplica-se mais frequentemente ao aquecimento de piscinas, aquecimento ambiente com piso radiante, produção de AQS para uso em moradias unifamiliares, hospitais, hotéis, etc.

De um modo geral este tipo de equipamento de conversão de energia solar, não garante a totalidade do consumo energético, sendo por isso geralmente necessário o uso de um sistema convencional (esquentador a gás, termoacumulador, caldeira mural, etc.) de apoio com o fim de assegurar por completo as necessidades de consumo.

Aqui é onde podemos notar a grande diferença entre estes dois sistemas com o mesmo fim (produção de AQS). Nos equipamentos convencionais supracitados o critério de dimensionamento baseia-se nas condições extremas de utilização, nos sistemas solares o seu dimensionamento extremo seria para certos dias de Inverno devido à baixa radiação solar, no entanto para este tipo de sistemas considera-se para dimensionamento as necessidades energéticas médias anuais e nunca a ponta máxima previsível de consumo energético, de forma a fazer com que o apoio convencional seja o menor possível ao longo do ano (Instalações Solares Térmicas, 2007).

### 5.1.2 Funcionamento

De maneira muito simples e elucidativa, um sistema solar térmico define-se como um equipamento que capta a radiação emitida pelo sol e aquece a água. O sistema solar é assim composto por dois corpos principais, o colector solar que capta a radiação e o depósito que armazena a água quente para posterior consumo.

Um sistema solar térmico é constituído por vários componentes, sendo que os elementos chave são os seguintes (Instalações Solares Térmicas, 2007):

**Colector Solar** – Tem a função de transformar a radiação tanto quanto possível em calor.

**Armazenamento** – Depósito acumulador onde contém a reserva de água para consumo.

**Permutador** – Circuito fechado que efectua a transferência de calor captada pelos colectores para a água que se encontra armazenada no depósito.

**Regulação e controlo** – Conjunto de válvulas, electro-válvulas e bombas de circulação que certificam o correcto funcionamento do sistema

**Apoio energético** – Resistência eléctrica incorporada no depósito de modo a assegurar a água quente no depósito nos períodos de menor insolação.

### 5.2 Tipos de colectores solares

Para aproveitar a energia proveniente do sol, é de máximo interesse que a superfície usada para captar esta radiação tenha a capacidade de absorver o máximo da energia radiante incidente. É importante que no processo de fornecimento de calor para o fluido não haja perda de energia por condução, convecção ou radiação.

Um colector solar por norma possui uma superfície com uma elevada absorvidade (comprimento de onda reduzido na ordem de 0,3 a 3  $\mu\text{m}$ ) com o propósito de maximização da energia radiante incidente, é isolado termicamente, reduzindo assim as perdas por convecção e condução, e para que não perca a radiação o colector é também dotado de uma baixa emissividade para os comprimentos de onda maiores (entre 3 a 30  $\mu\text{m}$ ).

Na Figura 21 esquematiza-se o posicionamento de um colector solar de acordo com os ângulos formados pelo Sol.

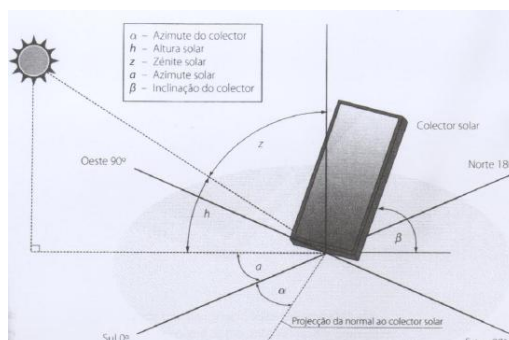


Figura 21 - Principais ângulos do colector em relação ao sol (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009)

Altura Solar  $h$  - trata-se do ângulo que a radiação directa faz com o plano do horizonte.

Zénite solar  $z$  - é o ângulo complementar à altura solar.

Azimute solar  $a$  - este é o ângulo entre a direcção Sul e a projecção dos raios solares.

Azimute do colector  $\alpha$  - normalmente designado por orientação do colector, tomando valores positivos no sentido dos ponteiros do relógio, sendo zero quando estes se encontram orientados para Sul.

Inclinação do colector  $\beta$  - ângulo que o colector forma com o plano horizontal.

Segundo Roriz et al (2010) existem 4 tipos de colectores solares, sendo estes: simples, planos, vácuo e concentrados.

### 5.2.1 Colector simples

Este tipo de colector, não possui protecção, sendo apenas constituídos pelo absorvedor. São os mais económicos e os que mais perdas de calor têm, ou seja, são pouco eficientes. Os colectores simples, são bastante usados para temperaturas baixas (temperatura ambiente), sendo o seu uso mais usual para o aquecimento de piscinas.

### 5.2.2 Colectores solares planos

São os mais comuns, em sistemas de venda ao público. Podem ser de baixa ou alta temperatura, têm a particularidade de possuírem tubos colectores paralelos entre si.

Trata-se de um colector constituído por uma superfície absorvedora, e vários elementos de protecção térmica e mecânica, sendo estes, uma caixa, uma cobertura de vidro e o isolamento térmico, tal como se pode visualizar na figura que se segue:



**Legenda:**

- 1- Caixa
- 2- Junta de estanquidade
- 3- Cobertura transparente
- 4- Isolamento térmico
- 5- Placa absorvedora
- 6- Sistema de tubos

Figura 22 - Corte de um coletor solar térmico plano (Gonçalo Camacho, 2010)

### 5.2.3 Colectores de tubos de vácuo ou evacuados

São painéis planos, em que o efeito de estufa é melhorado porque entre o absorvedor e o vidro, apenas existe o vácuo (é retirado o ar), reduzindo-se assim as perdas por convecção e condução. A temperatura de utilização chega aos 100°C, podendo em estagnação ultrapassar os 200°C.

O fluido térmico circula no interior de cada ampola sendo o seu interior de cor escura para maximizar a absorção de radiação e o exterior em vidro totalmente translúcido à radiação solar e opaco à radiação interior.

Existem dois tipos de tecnologias relevantes, os tubos de vácuo com fluxo directo e os tubos de vácuo com separação de fluidos.

Nos painéis de fluxo directo o fluido térmico circula dentro das ampolas e este percorre todo o circuito hidráulico. Estas ampolas podem ser simples e em forma de “U”, ou de tubos concêntricos contendo fluido frio no tubo interno exterior e fluido quente no tubo interno interior.

Nos tubos de vácuo com separação de fluidos, todas as transferências de calor são feitas através de mudança de fase, evaporação seguida de condensação, visível na Figura 23.

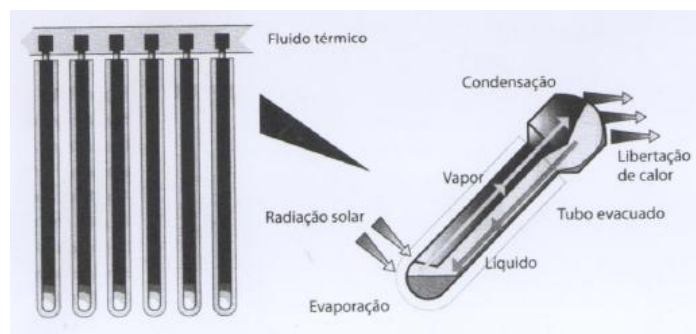


Figura 23 - Princípio de funcionamento de coletor de tubos evacuados (Roriz et al, 2010)

Numa das extremidades da ampola na zona mais quente é fornecido calor que proporciona a mudança de fase de líquido a vapor do fluido. Por difusão o calor transfere-se para a outra extremidade da ampola que se encontra fria, condensando o vapor e libertando assim o calor. Por sua vez o fluido condensado volta a percorrer a ampola para a zona mais quente (outra extremidade).

#### 5.2.4 Concentrados

O princípio nos colectores concentrados é o aumento da radiação incidente, por via de espelhos ou lentes.

Os colectores concentradores parabólicos (Figura. 24), facilmente atingem os 300°C, utilizados em centrais solares, não sendo por isso uma opção para o aquecimento de edifícios e AQS.



Figura 24 - Central termoelétrica em Nevada (Ecoenergia, 2005)

Os colectores parabólicos compostos (CPC), enviam a radiação dos raios solares reflectida pela superfície parabólica cilíndrica, para uma zona tubular onde circula o fluido térmico.

#### 5.2.5 Escolha

No processo de decisão, sobre qual o melhor colector, a questão mais correcta a abordar é qual o que melhor se adapta à situação em questão. Tendo por base uma análise sobre o seu custo, instalação (dimensões, aplicação), finalidade (AQS, piscinas, gerador frigorífico), manutenção (obrigatória de acordo com os regulamentos em vigor, ver Anexo 5) e estética.

### 5.3 Rendimento Instantâneo

Os colectores aceites para uso no cálculo de certificação energética, têm que ser obrigatoriamente certificados. Para tal, são submetidos a testes num banco de ensaio.

A Norma EN 12975 é usada em laboratórios acreditados, para certificar os colectores solares térmicos, definindo a expressão seguinte do rendimento do colector solar térmico ( $\eta$ ).

$$\eta = P_u / ( A \times I_g ) \quad (\text{Eq. 5.3.1})$$

Obtendo-se assim:

$$\eta = F' (\tau\alpha) - (F' U_L) \times [(t_f - t_a) / I_g] \quad (\text{Eq. 5.3.2})$$

$P_u$  – Potência útil recolhida pelo fluido térmico

$A$  – Superfície de colector (área de abertura)

$I_g$  – Radiação global incidente sobre o colector por unidade de área

$t_f$  – Temperatura média do fluido

$t_a$  – Temperatura ambiente

$\alpha$  – Absortância do absorsor

$t$  – Transmitância da cobertura transparente

Para um caudal específico e com  $(\tau\alpha)$  e  $U_L$  constantes, a equação desta curva pode ser considerada e analisada como um recta, para colectores com temperatura de utilização inferiores a 90°C.

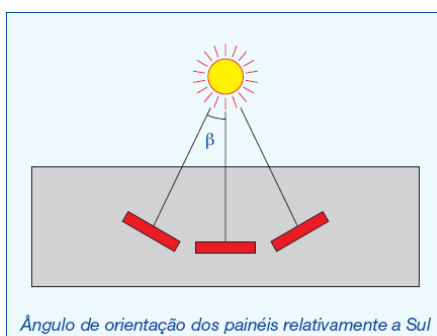
## **5.4 Inclinação, orientação e sombreamento dos colectores solares**

Os sistemas solares independentemente de serem do tipo termossifão ou circulação forçada (explicação detalhada no ponto 5.7 do presente capítulo), devem ser devidamente instalados sobre superfícies que auferam de uma boa insolação de modo a tirar o máximo proveito. A instalação deve ficar sempre que possível num local de fácil acesso para que as manutenções se possam fazer com segurança, e que a sua fixação perdure segura durante o período de vida do sistema.

A insolação por si só não pode ser maximizada, pois esta tal como vimos anteriormente depende da radiação proveniente do sol e do caminho e obstáculos que percorre até atingir o objecto (colector solar), assim para maximizar a insolação recebida é pertinente considerar três amplos aspectos. A orientação dos colectores solares, a inclinação e o cuidado a evitar zonas de sombreamento significativas (Doninelli, 2006).

Segundo o manual de instalações solares térmicas, proposto pelo Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia e Inovação (INETI), para os instaladores solares térmicos credenciados, os colectores solares devem ser montados de forma a aproveitar o máximo partido do sol durante todo o seu período de utilização.

A orientação recomendada é o Sul geográfico, facilmente encontrado através da direcção Este-Oeste, podendo-se afirmar de forma muito resumida que se poderão aceitar desvios (Figura 25) até  $15^\circ$  em relação ao Sul, não havendo indicações claras sobre a importância de desvios em relação à orientação preferencial a Sul, isto é, a relação entre graus de azimute (positivos e negativos) e a radiação capturada pelo painel solar.



Ângulo de orientação dos painéis relativamente a Sul  
Figura 25 - Ângulo de orientação dos painéis relativamente a Sul (Doninelli, 2006)

No entanto é preferível que em caso de existir um desvio, seja para Oeste e não Este, tornando-se menos gravoso, dado o facto de este aproveitar a radiação solar por mais tempo durante as horas em que a temperatura ambiente é mais elevada (parte da tarde).

De notar que o RCCTE obriga a que as instalações dos colectores solares devam ser efectuadas no quadrante Sul, entre Sudeste e Sudoeste (RCCTE, 2006).

Por vezes é necessário recorrer a verdadeiras obras de arte, por parte do instalador de forma a satisfazer as necessidades desejadas, sendo que por vezes se torna agressivo ao bem-estar visual, originando um novo tipo de impacte, cada vez mais comum e negativo (Figura 26).



Figura 26 - Habitação com sistema solar tipo termossifão (Gonçalo Camacho 2010)

## Principais obstáculos na orientação dos colectores:

- Inexistência de telhados voltados para Sul;
- Telhados e espaços voltados para Sul, com excesso de sombreamento;
- Telhados voltados para Sul, de estrutura frágil (segurança);
- Opção do dono de obra;
- É imprescindível que de maneira alguma se gerem circunstâncias à violação das condições de segurança de montagem ou funcionamento dos sistemas.

A inclinação é igualmente recomendada pela Direcção Geral de Energia e Geologia (DGGE) através do manual de instaladores do INETI sendo que esta se relaciona com a altura do Sol sobre a linha do horizonte. A recomendação da inclinação na utilização dos sistemas solares térmicos é descrita na Tabela 2, em função da altura solar ao longo do ano (Figura 27).

Tabela 2 - Inclinação do painel consoante o período de utilização do ano (Instalações Solares Térmicas, 2007)

Utilização	Inclinação (°)
Verão	Latitude do lugar -15°
Inverno	Latitude do lugar +15°
Período anual	Latitude do lugar -5°

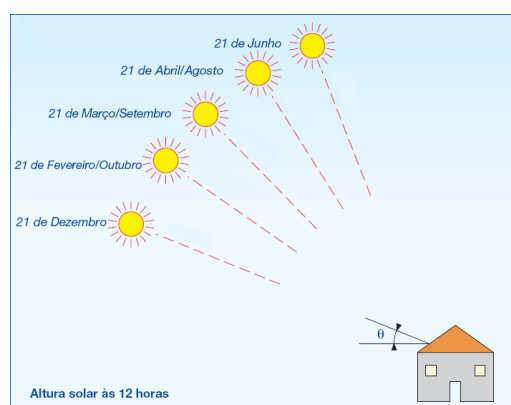


Figura 27 - Ilustração da altura solar ao longo do ano (Doninelli, 2006)

Numa instalação solar de grandes dimensões usualmente colocam-se os colectores em fileiras, uns atrás dos outros. Torna-se assim necessário considerar não só as sombras induzidas pelo ambiente circundante (árvores, prédios, etc.) mas também aquelas que os colectores projectam entre si (Figura 28).

Tabela 3 - Cálculo de espaçamento em metros entre fileiras consoante inclinação (Doninelli, 2006)

$\alpha = 30^\circ$	$d = h \cdot 2,3$
$\alpha = 45^\circ$	$d = h \cdot 2,7$
$\alpha = 60^\circ$	$d = h \cdot 2,8$

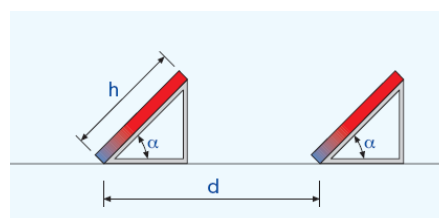


Figura 28 - Ilustração do distanciamento aconselhado entre os painéis (Doninelli, 2006)

Segundo Doninelli (2006) do (gabiente S.T.C da Caleffi Hydronic Solutions) pode-se considerar entre cada fila de colectores as distâncias da Tabela 3 para funcionamentos médios anuais (Figura 29). Pode-se ainda reduzir em 25% por falta de espaço.

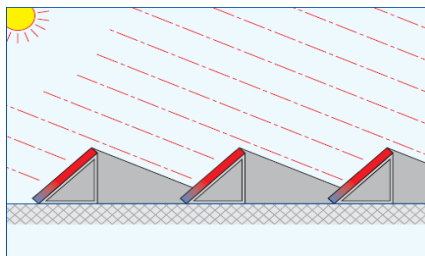


Figura 29 - Sombreamento entre fileiras de colectores solares (Doninelli, 2006)

## 5.5 Dimensionamento de colectores colares

O dimensionamento de colectores solares é efectuado em Portugal de acordo com os regulamentos em vigor, o que implica a utilização de um programa de cálculo licenciado (Solterm), que abordaremos no final deste capítulo e nos capítulos 7 e 8, no entanto aqui se apresenta algumas equações associadas.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (5.5.1)$$

Q – Energia diária necessária

m – Massa de água

c – Calor específico da água

$\Delta T$  - Acréscimo de temperatura (T<sub>água</sub> – T<sub>amb</sub> [°C])

Para a mesma localidade, a energia necessária (Q) é proporcional ao consumo (m). O acréscimo de temperatura ( $\Delta T$ ) varia com a temperatura ambiente.

No Solterm o desempenho representa-se por:

$$\eta = F' \eta_o - F' U_L (\Delta T / I) \quad (5.5.2)$$

I - Intensidade da radiação solar [w/m<sup>2</sup>]

F'  $\eta_o$  - Rendimento óptico

F' U<sub>L</sub> - Coeficientes de perdas [w/m<sup>2</sup>.°C]

$$A = (Q / \eta) / Ht \quad (5.5.3)$$

A - Área de colectores solares

$\eta$  - Eficiência do colector

Ht - Irradiação solar diária incidente no plano do colector

Substituindo,

$$A = (m \cdot c \cdot \Delta T / \eta) / Ht \quad (5.5.4)$$

A área do colector é assim directamente proporcional ao volume de água aquecida para a mesma localidade e no RCCTE o volume de água necessária é correspondente a um valor de 40 litros diários por ocupante a uma temperatura nominal de 60°C (RCCTE, 2006).

### 5.5.1 Ligação entre os colectores solares

Numa instalação solar o modo de ligação dos colectores solares pode variar, podendo ser efectuado uma ligação em serie, paralelo ou um misto dos dois. O desempenho de todo o sistema está directamente relacionado com o tipo de ligação que é efectuado na cobertura.

**Ligações em série**, o caudal de circulação é o mesmo em todos os colectores, porque a entrada do circuito primário de um colector é ligada directamente à saída do colector anterior (Figura 30).



Figura 30 - Ilustração de uma ligação em série (Água Quente Solar, 2004)

Este tipo de ligação é valorizada pelo seu baixo custo, visto que existe poupança na quantidade de tubagem (circuito primário), que normalmente é em cobre ou inox, e na maneira simples de se conseguir as ligações entre colectores. No entanto devido à maneira como os colectores são interligados entre si, as perdas de carga são consideráveis tomando valores menores no seu rendimento.

Na prática observa-se que os últimos colectores de uma instalação solar em serie, por inúmeras vezes estão em estagnação, sendo assim não oferecem qualquer tipo de contribuição para a instalação em si.

**Ligação em paralelo**, ligação em paralelo com alimentação invertida, ligação em paralelo com retorno invertido.

Uma ligação em paralelo (Figura 31) distingue-se, pela forma como é distribuída a tubagem. Ao longo da instalação os caudais são somados, obtendo-se assim um maior rendimento e menores perdas de cargas.

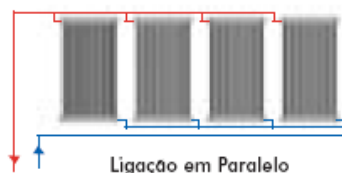


Figura 31 - Ilustração de uma ligação em paralelo (Água Quente Solar, 2004)

Combinações série-paralelo (Figura 32) são mais comuns para instalações de maiores dimensões, com o propósito de a distribuição interna do fluído seja mais uniforme possível.

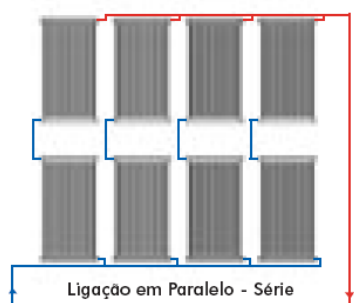


Figura 32 - Ilustração de uma ligação em paralelo-série (Água Quente Solar, 2004)

Na prática numa instalação de média ou grandes dimensões, é usual recorrer-se ao método do retorno invertido (ligação em paralelo), de forma a manter o equilíbrio hidráulico em que a primeira bateria de colectores a ser alimentada é a última a devolver a fluído aquecido por estes (Figura 33).

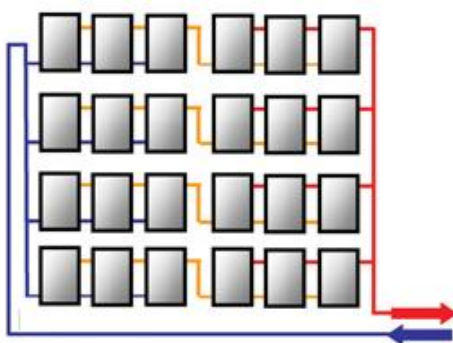


Figura 33 - Ilustração de uma ligação em paralelo com o retorno invertido (Água Quente Solar, 2004)

## 5.6 Tipos de depósitos

Para possibilitar a manter de certa forma continua a utilização de energia solar, torna-se necessário recorrer a um sistema de acumulação. No uso doméstico usa-se depósitos que contêm água no seu interior, podendo conter outras substâncias líquidas, sólidas ou materiais com mudança de estado.

Depósitos tipo camisa apresentam no seu interior uma cuba que contêm água para o uso doméstico e entre essa cuba e o isolamento do depósito possui uma câmara onde circula o líquido proveniente do circuito primário dos colectores. Este tipo de transmissão de calor restringe-se a depósitos de pequenas dimensões.

Depósitos de serpentina, podem ser do tipo simples contendo apenas uma serpentina ou duplo.

Os depósitos de serpentina simples apenas têm a função de acumular calor e os sistemas de serpentina dupla servem para acumular calor como também para aquecer água caso seja conveniente.

Os depósitos de dupla serpentina, brindam o solar por este ter sempre prioridade no sistema, sendo por isso colocada na parte inferior do depósito.

Este tipo de sistema torna a instalação mais simples, cómoda e de fácil utilização, visto que todas as ligações e circuitos são cuidados separadamente.

Depósitos combinados, contêm um contentor duplo, usualmente chamados “tank in tank”, por possuírem um depósito dentro de outro depósito, produzem água quente e aquecimento. O depósito de maior dimensão contêm água para o sistema de aquecimento e o depósito pequeno é usado como AQS.

Depósitos sem permutadores, ou seja as trocas de energia são efectuadas exteriormente ao depósito por permutadores externos, de placas ou tubulares. Torna-se vantajoso quando o objectivo é transferir o calor para vários depósitos, e a sua potência térmica é superior.

As cubas dos depósitos acumuladores, poderão ser de cobre, aço vitrificado, aço inox ou de outros materiais sendo estes 3 tipos os mais usuais. Os vitrificados necessitam de um ânodo de magnésio para evitar a corrosão do depósito.

A grande função do depósito acumulador é manter o maior tempo possível a água quente, sendo que as suas características principais são o isolamento térmico, a resistência mecânica e a durabilidade (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009).

A água distribui-se verticalmente dentro da cuba do depósito, ficando a água mais quente por cima e a mais fria por baixo, devido às diferenças de densidade. O conceito de estratificação da água torna-se essencial perceber para melhor se poder aproveitar e rentabilizar o sistema. Como tal, a extracção de água quente é por regra feita na parte mais alta do depósito e a renovação de água para o interior deste é feita sempre pela parte inferior do depósito. O fluido solar que circula em circuito fechado entre os colectores e o depósito, deve sempre sair do depósito pela mais baixa (fria) de modo a aumentar o rendimento da instalação solar térmica.

A qualidade da água (ver Anexo I) para consumo é também um aspecto importante a ter em conta, tais como alguns conceitos a si associados (pH, dureza, contaminação por bactérias, entre outros).

## 5.7 Tipos de sistemas de aquecimento

Para a transferência de calor captado pelos colectores solares, distingue-se pela forma os sistemas de circulação natural tipo termossifão e os sistemas activos de circulação forçada.

### 5.7.1 Tipo termossifão

Sistema de aquecimento termossifão (Figura 34), a circulação faz-se por convecção natural, a diferença de temperaturas do fluido solar entre a zona dos colectores e o depósito acumulador de água para consumo faz com que este circule devido à diferença de densidade causada por essas variações de temperatura. Quanto maior for a radiação captada pelos colectores maior será o caudal de água obtido pelo sistema. Este processo é contínuo desde que haja radiação disponível e a temperatura do colector for superior à do acumulador.



Figura 34 - Esquema de um sistema tipo termossifão sobre cobertura inclinada (Climatização, 2009)

### 5.7.2 Tipo circulação forçada

Os sistemas de circulação forçada (Figura 35), detêm essa nomenclatura devido à existência de uma bomba circuladora que faz circular o líquido entre o depósito e o colector – sistemas activos. O funcionamento da bomba é feito através de um controlador onde se programa para que quando haja diferenças de temperatura entre o depósito e os colectores o fluido circule.



Figura 35 - Esquema de um sistema tipo forçado sobre cobertura inclinada (Climatização, 2009)

A bomba de circulação deve parar o seu funcionamento quando a temperatura dos colectores for inferior à temperatura no depósito por já se ter atingido a temperatura desejada ou por a radiação ter baixado de mais. O controlador funciona com o auxílio de um termóstato diferencial e sondas de temperatura, uma colocada na parte superior dos colectores e outra na parte inferior do acumulador. O termóstato é directamente ligado à bomba de circulação.

Os sistemas circulação forçada podem ainda ser distinguidos entre os de transferência directa e os de transferência indirecta.

#### **Transferência directa**

Os sistemas de transferência directa, a água que circula nos colectores é a mesma que está contida no acumulador e por sua vez é usada para uso doméstico.

#### **Transferência indirecta**

Existe um permutador de calor que separa fisicamente a água do acumulador (AQS) do fluido que circula no interior dos colectores.

A seguinte tabela mostra algumas diferenças relevantes entre um sistema tipo termossifão e circulação forçada:

Tabela 4 - Diferenças entre termossifão e forçado

TERMOSSIFÃO	FORÇADO
Instalação simples e económica Caudal é regulado pela irradiação	Possibilidade de regulação de caudal Flexibilidade na instalação do circuito primário
Maior impacto arquitectónico Não requer de potência eléctrica	Necessidade de um sistema de controlo o que implica consumos eléctricos Permite a utilização de acumuladores de grandes dimensões.
Não permite a regulação da temperatura do depósito	Custos de instalação superiores
	Maior probabilidade de riscos quanto à fiabilidade

## 5.8 Sistema de apoio

Numa instalação solar térmica é imprescindível a existência de um sistema auxiliar de apoio para a produção de AQS. Os sistemas de apoio existem para colmatar as necessidades nos períodos em que o sol não consegue satisfazer o aquecimento das águas por si só, ou devido à baixa radiação solar existente ou ao consumo elevado. Estes sistemas funcionam recorrendo ao uso de energia convencional (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009).

## 5.9 Aplicações em programas de cálculo

O recurso a programas de cálculo para quantificar a energia captada por um dado tipo de sistema solar térmico é imprescindível como também é obrigatório. A análise de funcionamento de um sistema solar térmico é demasiado complexa para ser abordada sem a ajuda de um programa de cálculo próprio. No mercado actualmente existem diversos programas que permitem tirar várias conclusões das instalações, alguns até fabricados pelas próprias marcas de comercialização dos equipamentos.

Estes programas, são de modo geral, de fácil aprendizagem, permitindo um uso eficaz e célere, nomeadamente para a comparação entre sistemas solares térmicos.

### 5.9.1 Programa de cálculo desenvolvido em Matlab e Solterm

A criação de um programa em Matlab para a determinação de parâmetros como por exemplo a fracção solar, deve-se à possibilidade de se poder introduzir com maior facilidade os chamados “*input data*” que usualmente não são visíveis nos programas de simulação disponíveis no mercado, fazendo com que o utilizador seja obrigado a aceitar certas condições sem que as possa manipular (adequar à situação) para uma melhor resposta.

No entanto é importante realçar que qualquer tipo de comparação entre os resultados obtidos por diferentes programas de cálculo não deve servir de base de comparação, isto porque é necessário ter em atenção que:

- as bases de dados climáticos varia nos diferentes programas de cálculo;
- as soluções variam de programa para programa, sendo uns mais limitados que outros;
- a introdução de dados para análise não é consensual nos diversos programas;

Dentro de todos os softwares existentes destacam-se dois programas, o Solterm do INETI e o Solar Energy System Analysis da F-Chart designado apenas por F-Chart. O Solterm é imposto pelo actual Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). O F-Chart adopta uma metodologia bastante abrangente para a análise do desempenho energético dos edifícios, sendo por isso adoptada como programação base de outros softwares.

Mais à frente temos alguns exemplos da interface simples e harmoniosa do Solterm.

## 6 Métodos de transmissão de calor e o regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios

### 6.1 Transmissão de calor

Onde quer que exista um certo diferencial de temperatura, ocorre uma transferência de calor.

Transferência de calor ocorre por três processos distintos (condução; convecção; radiação). A Figura 36 mostra os diferentes tipos de transferência de calor.

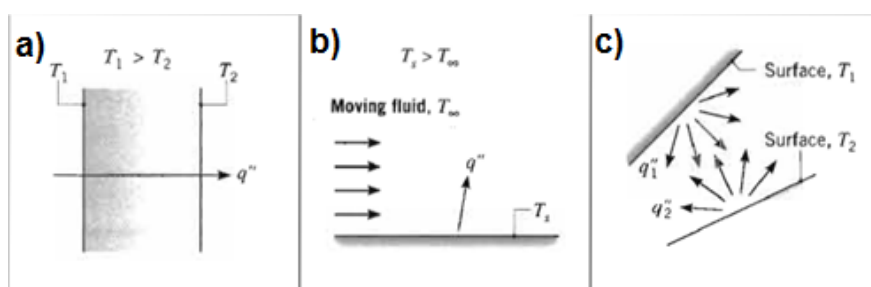


Figura 36 - Processos de transferência de calor (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007)

A **condução** (Figura 36-a)) como modo de transferência de calor, relaciona-se com os sólidos e líquidos, porque a transferência de calor dá-se a nível molecular através de colisões e vibrações (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007).

A transferência de calor por **convecção** (Figura 36-b)) associa-se ao movimento dos fluidos, quando estes entram em contacto com materiais a diferentes temperaturas. A convecção como meio de transferência de calor distingue-se por dois tipos: a convecção natural através da diferença de densidade entre os materiais e a convecção forçada que ocorre devido à variação de pressão entre os materiais (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007).

A **radiação** (Figura 36-c)) é a energia emitida por toda a matéria com temperatura, através de ondas electromagnéticas não sendo por isso necessário o contacto entre os objectos (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007).

### 6.2 Aspectos principais do regulamento

#### 6.2.1 A regulamentação em vigor

O início dos requisitos térmicos para os edifícios em Portugal data de 6 de Fevereiro de 1990 através do DL40/90, conhecido como o RCCTE (Regulamento das

Características do Comportamento Térmico de Edifícios), antes dessa data, não havia quaisquer tipos de requisitos térmicos na edificação.

Portugal tornou-se pioneiro numa Europa de mudança no que concerne o conforto térmico e por conseguinte a sustentabilidade ambiental.

Com a crescente evolução dos consumos de energia nos edifícios, crescem as preocupações com as emissões de “Gases Efeito de Estufa” (GEE), mencionados no protocolo de Quioto, juntando-se também as de segurança no abastecimento.

De forma a reduzir os consumos de energia nos edifícios, como contributo para o controlo das emissões de GEE, a União Europeia, procedeu a uma série de iniciativas de cariz político por de forma a pressionar os poluidores.

Num nível médio europeu, os edifícios, representam cerca de 40% do consumo de energia na Europa, sendo por isso, alvo de uma grande reflexão sobre tamanhos gastos. Facilmente chegou-se à conclusão que grande parte desse consumo pode ser significativamente reduzida, através de medidas do foro construtivo.

Em 2001, a Comissão Europeia avançou com a proposta de uma Directiva, ao qual destaca o desempenho energético dos edifícios, “*Energy Performance of Buildings Directive*” (EPBD), aprovada como Directiva 2002/91/Cem de 16 Dezembro de 2002.

Uma directiva europeia trata-se de um acto legislativo que exige que os Estados Membros alcancem um determinado resultado, neste caso a EPBD obrigava até 4/01/2006 os Estados Membros a imporem:

- Requisitos mínimos para os novos edifícios.
- Requisitos mínimos para reabilitações importantes de edifícios existentes com mais de 1000 m<sup>2</sup>.
- Introdução da certificação obrigatória dos edifícios.
- Qualificação profissional adequada dos técnicos para a certificação.
- Inspeções a caldeiras, equipamentos e sistemas de ar condicionado.
- Inspeções a sistemas de aquecimento ao perfazerem 15 anos de idade.

Os requisitos nacionais devem ser revistos periodicamente, no máximo de 5 em 5 anos, e caso se justifique, actualizados, sendo que 2011 é o ano que completa o ciclo dos 5 anos.

Os Estados Membros da UE deverão garantir que os edifícios cumpram os requisitos mínimos antes da concessão da licença de utilização dos edifícios.

Em Portugal a transposição da Directiva 2002/91/CE, deu-se em conformidade, e por comunicado do Conselho de Ministros de 26 de Janeiro de 2006, foram aprovados diversos diplomas, sendo estes:

- O Decreto-Lei que aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios e transpõe parcialmente para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios é o DL 78/2006, de 4 de Abril.
- Decreto-Lei que aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios é mais conhecido pela sua abreviação RSECE (DL 79/2006, de 4 de Abril).
- Decreto-Lei que aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (**RCCTE**), é o DL 80/2006, de 4 de Abril.

Esta legislação tem como âmbito de aplicação dentro do RCCTE os edifícios de habitação novos e grandes reabilitações (intervensões com custo superior a 25% do valor do edifício 630€/m<sup>2</sup>), e os pequenos edifícios (todos os não-residenciais com menos de 1000 m<sup>2</sup> de área útil de pavimento, ou com menos de 500 m<sup>2</sup> no caso de Centros Comerciais, Hipermercados, Supermercados e Piscinas cobertas) de serviços sem sistema de climatização ou cujo potência seja inferior ou igual a 25 kW.

Já o RSECE destina-se para os grandes edifícios de serviços, sendo estes novos, grandes reabilitações e existentes, para os edifícios de habitação ou pequenos edifícios de serviços com sistemas de climatização com potência superior a 25 kW, tanto como a todos os sistemas de climatização com potência maior ou igual a 25 kW.

Como todas as Leis, esta não é excepção à regra e apresenta as suas exclusões, estando assim isentos das exigências do RCCTE e RSECE vários casos, abaixo supracitados.

- Edifícios frequentemente abertos ao exterior e sem aquecimento ou climatização;
- Edifícios industriais;
- Armazéns e similares não climatizados;

- Igrejas e similares;
- Monumentos e edifícios classificados;
- Infra-estruturas militares de acesso reservado

Nas ampliações, os regulamentos aplicam-se apenas à zona nova, ficando isentas as partes existentes do edifício ampliado.

### **6.2.2 Aplicação**

O RCCTE deve ser aplicado por fracção autónoma residencial nova, por edifício novo, caso haja mais do que um servido por um único contador de energia, por cada corpo de edifícios complexos e nas ampliações somente nas áreas a construir.

### **6.2.3 Parâmetros a verificar**

O RCCTE impõe que sejam verificados e atingidos os requisitos mínimos de isolamento térmico (U), pontes térmicas e protecção solar (Fs). Tal como também são considerados os limites de necessidades de aquecimento, arrefecimento, de energia para AQS a contribuição de painéis solares e limite necessidades de energia primária.

### **6.2.4 Conteúdo**

O conteúdo dos processos de pedido de emissão de licença ou autorização de construção terá de conter a ficha sumário de demonstração da conformidade regulamentar contendo (RCCTE, 2006):

- Levantamento dimensional para cada fracção autónoma
- Folhas de cálculo Nic, Nvc, Nac e Ntc
- Ficha de comprovação de satisfação dos requisitos mínimos
- Pormenores construtivos definidores de todas as situações de ponte térmica:
  - i)* Ligação da fachada com os pavimentos térreos;
  - ii)* Ligação da fachada com pavimentos locais 'não úteis' ou exteriores;
  - iii)* Ligação da fachada com pavimentos intermédios;

- iv)* Ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço;
- v)* Ligação da fachada com varanda;
- vi)* Ligação entre duas paredes verticais;
- vii)* Ligação da fachada com caixa de estore;
- viii)* Ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril.

- Termo de responsabilidade do técnico responsável
- Declaração de conformidade regulamentar (**DCR**) subscrita por um perito qualificado, no âmbito do Sistema de Certificação de Edifícios (SCE).

A responsabilidade pelo projecto e execução do cumprimento das exigências do regulamento tem de ser assumida por um arquitecto, reconhecido pela Ordem dos Arquitectos, ou um engenheiro, reconhecido pela Ordem dos Engenheiros ou um engenheiro técnico reconhecido pela Ordem dos Engenheiros Técnicos, com qualificações para o efeito (RCCTE, 2006).

### **6.2.5 Conforto**

As condições de conforto existem quando um indivíduo não sente qualquer tipo de desagrado ou irritação de modo a desviar a sua atenção (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009).

O RCCTE define as seguintes condições de referência interiores para o conforto:

- Temperatura do ar 20°C – para estação de aquecimento
- Temperatura do ar 25°C e 50% de humidade relativa – para estação de arrefecimento
- Taxa de renovação do ar interior 0,6 renovações por hora
- Consumo de referência de AQS em edifícios de habitação 40 l de água quente a 60°C por pessoa.

O RCCTE apresenta o conforto térmico como um direito obrigatório a satisfazer para o bem comum da população, nomeadamente através da certificação energética, que associa o conforto à quantidade de energia consumido pré estabelecendo um máximo.

### 6.3 Classificação energética

O uso e aplicação dos regulamentos atrás supracitados em vigor levam à obrigatoriedade da certificação energética de acordo com o Sistema de Certificação de Edifícios (SCE), estipulado no Decreto-lei 78/2006, de 4 de Abril.

O SCE é totalmente obrigatório para a obtenção de uma licença de construção, para reabilitações cujo valor ultrapasse os vinte e cinco por cento (25%) do valor do edifício sem terreno como também para obter a licença de utilização.

Este certificado é válido por 10 anos, no caso da habitação, podendo ser apenas elaborado por peritos qualificados.

No caso da habitação os aspectos que mais influenciam no desempenho energético, são as necessidades de aquecimento, arrefecimento e produção de águas quentes sanitárias (AQS).

A Classe de eficiência energética é calculada a partir da expressão:

$$R = \frac{Ntc}{Nt} \quad (6.3.1)$$

Sendo que:

$$Ntc = 0,1 \frac{Nic}{\eta i} F_{pui} + 0,1 \frac{Nvc}{\eta v} F_{puv} + Nac F_{pua} \text{ (kgep/m}^2 \text{ .ano)} \quad (6.3.2)$$

e

$$Nt = 0,9(0,01Ni + 0,01Nv + 0,15Na) \text{ (kgep/m}^2 \text{ .ano)} \quad (6.3.3)$$

A conversão de energia útil ( $F_{puv}$ ) em energia primária é definida no Regulamento pelos seguintes valores:

- Electricidade:  $F_{puv} = 0,290$  kgep/kWh;
- Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos:  $F_{puv} = 0,086$  kgep/kWh;

Para garantir as necessidades energéticas de energia primária as necessidades do edifício terão que ser obrigatoriamente inferiores ou iguais às de referência, nunca superiores (Tabela 5).

Tabela 5 - Necessidades energéticas

	Edifício	Referência
<b>Aquecimento</b>	$N_{ic} = (Q_t + Q_u - Q_{gu}) / A_p$	$N_i = f(FF, GD)$
<b>Arrefecimento</b>	$N_{vc} = Q_g(1 - \eta) / A_p$	$N_v$ (depende da zona climática do local)
<b>AQS</b>	$N_{ac} = (Q_a / \eta_a - E_{solar} - E_{ren}) / A_p$	$N_a = 0,081 \cdot M_{AQS} \cdot nd / A_p$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)

Os edifícios novos de habitação terão que constar entre as classes A+ e B-, aos restantes edifícios poderão ser atribuídos qualquer classe (Figura 37) variando entre G (mais desfavorável) e A+.

Classe energética	$R = N_{tc} / N_t$
A+	$R \leq 0,25$
A	$0,25 < R \leq 0,50$
B	$0,50 < R \leq 0,75$
B-	$0,75 < R \leq 1,00$
C	$1,00 < R \leq 1,50$
D	$1,50 < R \leq 2,00$
E	$2,00 < R \leq 2,50$
F	$2,50 < R \leq 3,00$
G	$3,00 < R$

Figura 37 - Classes energéticas (ADENE, 2010)

## 7 Programa de cálculo – Simulação em Matlab

Foi desenvolvido um programa de cálculo usando a linguagem MATLAB, com o objectivo de efectuar um estudo paramétrico sobre algumas das variáveis relevantes do projecto, em relação às quais, não existem directrizes bem definidas, ou mesmo simples (orientações) e se desconhecem os efeitos reais da sua variabilidade no desempenho dos sistemas (solar térmico e RCCTE).

Elaborar um programa computacional obriga ao estudo detalhado da formulação matemática que suporta os cálculos, o que tem a vantagem em relação ao programa SOLTERM por não ser um conceito de “caixa negra” onde se desconhecem os principais factores de influência sobre os resultados finais.

De referir que a exactidão dos dados utilizados admite erros com uma grandeza que pode facilmente chegar aos 10% podendo ser de 20% em alguns casos de dados mais antigos, o que se deve à não uniformização dos métodos de cálculo e ao uso e calibração que se dá aos instrumentos que ao longo dos anos se vão aperfeiçoando (Duffie & Beckman, 2006).

### 7.1 Equações

As equações que se seguem dão corpo ao programa computacional.

Ângulo de declinação solar ( $\delta$ )

$$\delta = \sin^{-1} \left( 0,3979 \sin \left( \frac{2\pi(n + 284)}{365.25} \right) \right) \quad (7.1.1)$$

Latitude em radianos para a cidade do Funchal, Madeira (PT) ( $\lambda = 32,646^\circ$ )

$$\lambda = 32,646 \frac{\pi}{180} \text{ rad} \quad (7.1.2)$$

Inclinação do colector com superfície horizontal em radianos ( $\beta=32^\circ$ )

$$\beta = 32 \frac{\pi}{180} \text{ rad} \quad (7.1.3)$$

Ângulo do pôr do Sol ( $\omega_s$ )

$$\omega_s = \cos^{-1} (-\text{tg} \lambda \cdot \text{tg} \delta) \text{ para } \lambda = \beta \quad (7.1.4)$$

ou

$$\omega_s' = \cos^{-1}(-\operatorname{tg} \lambda \operatorname{tg} \delta) \quad \text{para } \lambda \neq \beta \quad (7.1.5)$$

Radiação fora da atmosfera terrestre ( $I_o$ )

$$I_o = 1367 \left( 1 + 0,033 \cdot \cos \left( \frac{2\pi \cdot n}{365} \right) \right) \quad (7.1.6)$$

O valor diário da radiação, sobre um plano horizontal, fora da atmosfera terrestre ( $H_o$ ) é obtido através da integração de  $I_o$  multiplicando pelo co-seno do ângulo que em cada instante a radiação faz com a normal do local.

$$H_o = \frac{86400}{\pi} \cdot I_o \cdot \cos \lambda \cdot \cos \delta (\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s) \quad (7.1.7)$$

A Tabela 6 revela os dados climáticos da temperatura ambiente média do ar e da radiação solar da cidade do Funchal que utilizados para a determinação de alguns parâmetros a seguir apresentados.

Tabela 6 - Dados climáticos e de radiação solar para o Funchal, Madeira (PT) (DHTE, 2010) e (Atlas da Radiação Solar do Arquipélago da Madeira, 2008)

Mês	$H_h$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$T_{amb}$ (°C)
Janeiro	10,25	16,4
Fevereiro	12,31	15,7
Março	16,73	15,8
Abril	16,87	15,8
Maio	20,49	17,1
Junho	20,16	18,8
Julho	20,21	20,8
Agosto	19,79	21,9
Setembro	18,15	21,9
Outubro	13,29	21,2
Novembro	10,31	18,7
Dezembro	8,93	16,3

Índice de transparência “*clearness index*” ( $K_h$ ) define-se pela razão entre a irradiância sobre uma superfície inclinada e a radiação total disponível sobre um plano horizontal.

$$K_h = \frac{H_h}{H_o} \quad (7.1.8)$$

Fracção de radiação diária difusa  $\left(\frac{H_d}{H}\right)$  em função do índice de transparência.

$$\frac{H_d}{H} = 1,391 - 3,560K_h + 4,189K_h^2 - 2,137K_h^3 \quad (7.1.9)$$

Quando  $\omega_s > 81,4^\circ$

$$\frac{H_d}{H} = 1,311 - 3,022K_h + 3,427K_h^2 - 1,821K_h^3 \quad (7.1.10)$$

Razão de radiação diária média numa superfície inclinada em relação à radiação num plano horizontal ( $R_b$ ).

$$R_b = \frac{\cos(\lambda - \beta) \cos \delta \operatorname{sen} \omega'_s + (\pi / 180) \omega'_s \operatorname{sen}(\lambda - \beta) \operatorname{sen} \delta}{\cos \lambda \cos \delta \operatorname{sen} \omega_s + (\pi / 180) \omega_s \operatorname{sen} \lambda \operatorname{sen} \delta} \quad (7.1.11)$$

Média mensal da radiação diária média numa superfície inclinada em relação à radiação num plano horizontal ( $\bar{R}$ ).

$$\bar{R} = D + \frac{H_d}{H} \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (7.1.12)$$

Radiação diária média mensal sobre um plano inclinado ( $H_T$ ).

#### Liu Jordan method

$$H_T = (H - H_d)R_b + H_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + H\rho \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (7.1.13)$$

#### KT method

$$H_T = H_b R_b + H_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + H\rho \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (7.1.14)$$

Liu-Jordan method e KT method equações detalhadas em “Solar engineering of thermal processes”

Taxa de radiação ao meio-dia ( $R_n$ ).

$$R_n = \left(1 - \frac{r_{d,n} H_d}{r_{t,n} H}\right) R_{b,n} + \left(\frac{r_{d,n} H_d}{r_{t,n} H}\right) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \quad (7.1.15)$$

Hora de radiação crítica em superfície inclinada ( $I_{Tc}$ ).

$$I_{Tc} = \frac{F_R U (T_i - T_a)}{F_R \eta_0 (\tau \alpha)} \quad (7.1.16)$$

Razão de intensidade crítica que quantifica a informação sobre as características do colector e sobre o clima (energia perdida versus energia disponível) ( $\bar{X}_c$ ).

$$\bar{X}_c = \frac{I_{Tc}}{r_{t,n} R_n H} \quad (7.1.17)$$

Utilizabilidade  $\bar{\phi}$ , termo estatístico que define a partir de um ponto crítico em que a radiação é realmente útil (Duffie & Beckman, 2006).

$$\bar{\phi} = \exp [[a + b (R_n/\bar{R})][\bar{X}_c + c \bar{X}_c^2]] \quad (7.1.18)$$

Com,

$$a = 2,943 - 9,27 K_h + 4,031 K_h^2$$

$$b = -4,345 + 8,853 K_h - 3,602 K_h^2$$

$$c = -0,170 - 0,3061 K_h + 2,936 K_h^2$$

Energia útil ( $Q$ )

$$Q = A_c F_R \eta_0 (\tau \alpha) H_T N \bar{\phi} \quad (7.1.19)$$

Perdas térmicas ( $\bar{X}$ )

$$\bar{X} = \frac{A_c F_R U (T_{ref} - \bar{T}_a) T N}{L} \cdot \frac{11,6 + 1,18 T_w + 3,86 T_m - 2,32 \bar{T}_a}{100 - \bar{T}_a} \quad (7.1.20)$$

Ganhos dos colectores por unidade de energia necessária ( $Y$ )

$$Y = \frac{A_c F_{R\eta_0} H_T N}{L}. \quad (7.1.21)$$

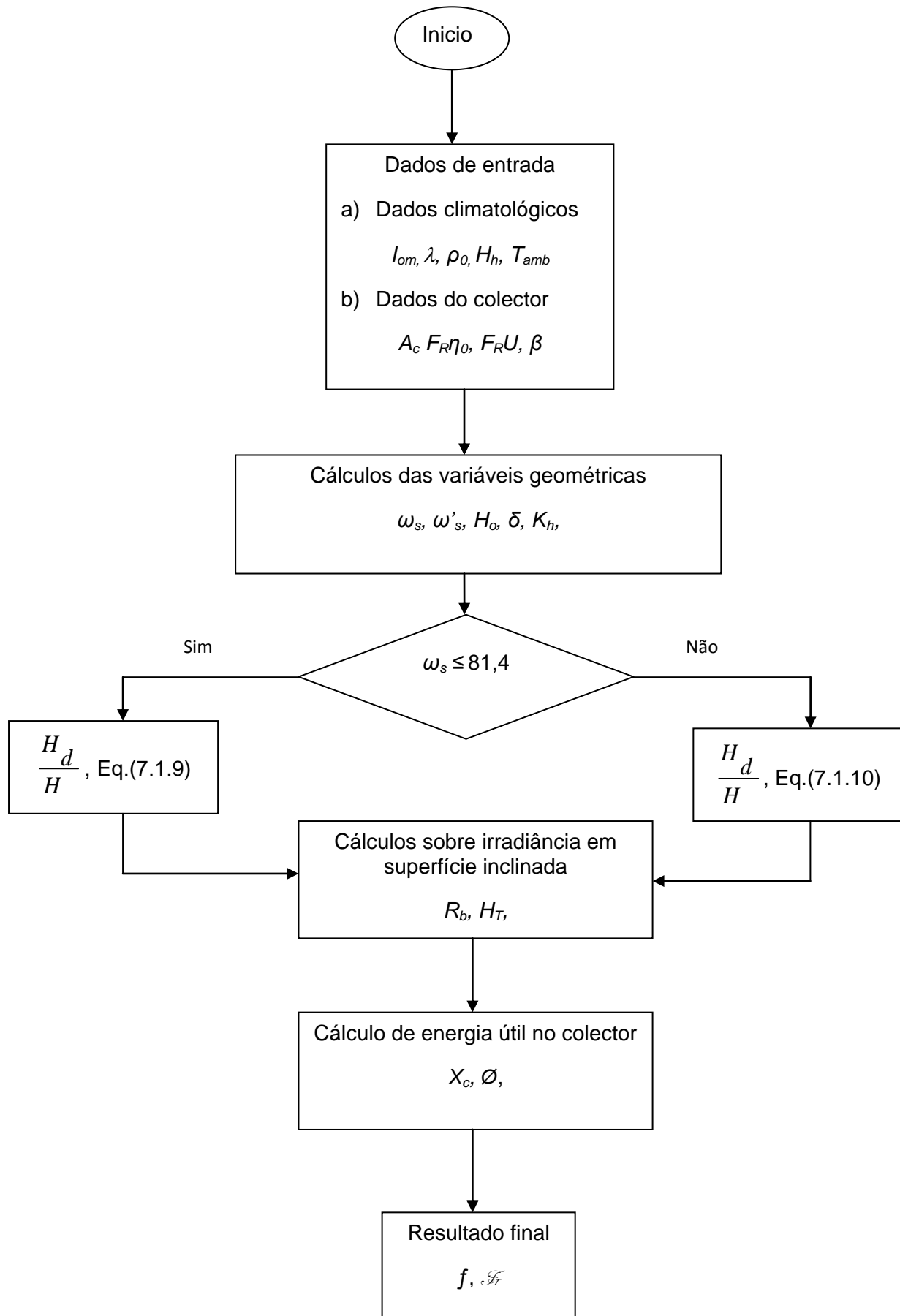
Fracção solar mensal ( $f$ )

$$f = 1,029 Y - 0,065 X - 0,245 Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215 Y^3 \quad (7.1.22)$$

Fracção solar anual ( $\mathcal{F}$ )

$$\mathcal{F} = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i}. \quad (7.1.23)$$

O seguinte fluxograma resume a hierarquia computacional do programa desenvolvido.



## 7.2 Validação

Quando se cria algum tipo de programa com o intuito de simular o comportamento de um determinado sistema, este deverá ser comparado com um outro programa que possa ser utilizado como referência, num procedimento adequado de validação, de forma a garantir que o software criado tem uma exactidão aceitável para descrever o comportamento do sistema real, tendo em conta toda a informação e dados climáticos reais do local a que se destina.

A bibliografia utilizada para o desenvolvimento do modelo de cálculo foi baseada no relatório “método de cálculo para dimensionamento de sistemas ao aproveitamento de energia solar para o aquecimento de água por intermédio de colectores planos” elaborado por Manuel Collares Pereira com a colaboração de Hélder Gonçalves e Pedro Paes de 1983 pelo Laboratório Nacional de Energia e Tecnologia Industrial, e no livro “solar engineering of thermal processes” 3ª Edição de Duffie et al (2006).

Atendendo a que o programa Solterm (última versão 5.1.3) acreditado pelo INETI é obrigatório para o dimensionamento solar térmico em Portugal, os resultados obtidos pelo método de cálculo desenvolvido no programa Matlab foram devidamente comparados com os resultados obtidos pelo Solterm.

Alguns dos dados utilizados, como os valores médios mensais da radiação solar e da temperatura ambiente, foram baseados no “*Atlas da Radiação Solar do Arquipélago da Madeira*” e dados do Laboratório Regional de Engenharia Civil da Madeira (LREC, IP-RAM) devidamente extrapolados em vez de os utilizar de hora a hora e de dia para dia. O método utilizado tem uma limitação de erro médio na ordem dos 10%, podendo (como se disse atrás) chegar aos 20%. Tal pode ser confirmado com os resultados obtidos. Assim doravante considera-se que o método utilizado se encontra devidamente legitimado do ponto de vista do rigor científico.

De seguida apresentam-se na Tabela 7 e Figura 38 os valores da irradiância mensal sobre uma superfície inclinada, retirados do programa de aplicação Solterm, variando o ângulo de inclinação do colector entre os 5° e os 90°.

Tabela 7 - Irradiância mensal sobre uma superfície inclinada em MJ/m<sup>2</sup> (Solterm,2011)

Mês	Inclinação							
	5°	15°	25°	32°	38°	45°	60°	90°
	(MJ/m <sup>2</sup> )							
<b>Janeiro</b>	230	263	288	302	310	317	320	274
<b>Fevereiro</b>	292	320	342	353	360	364	353	281
<b>Março</b>	425	446	461	464	464	457	428	306
<b>Abril</b>	508	515	511	504	493	472	418	256
<b>Mai</b>	605	601	583	565	544	515	436	234
<b>Junho</b>	547	536	511	493	472	443	367	191
<b>Julho</b>	641	634	608	587	562	529	443	227
<b>Agosto</b>	608	612	605	590	576	551	479	274
<b>Setembro</b>	461	482	490	493	486	479	439	302
<b>Outubro</b>	360	389	410	421	425	425	410	317
<b>Novembro</b>	248	281	306	320	328	335	338	284
<b>Dezembro</b>	220	252	277	292	302	313	317	277
<b>TOTAL</b>	<b>5144</b>	<b>5332</b>	<b>5393</b>	<b>5386</b>	<b>5321</b>	<b>5198</b>	<b>4748</b>	<b>3222</b>

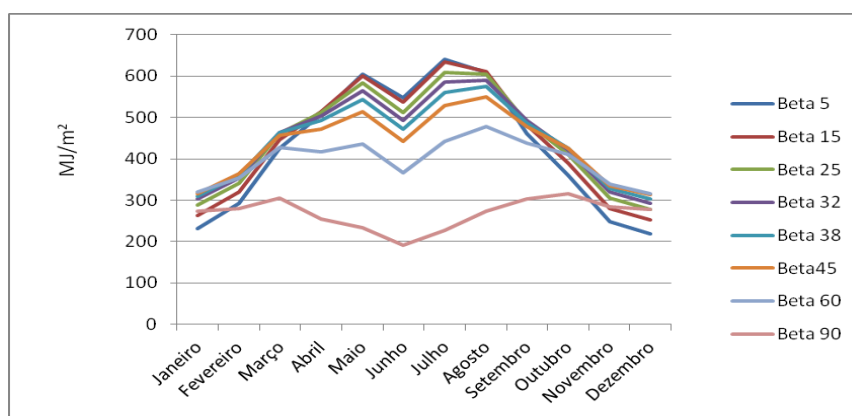


Figura 38 - Valores da Irradiância mensal sobre uma superfície inclinada em MJ/m<sup>2</sup> (Solterm, 2011)

Estes valores supracitados servem de referência para um ajustamento ao modelo computacional aqui desenvolvido.

Os modelos de cálculo utilizados no programa para determinar a irradiância sobre uma superfície inclinada ( $H_T$ ), basearam-se no método Liu-Jordan e KT-Method. Estes dois métodos em pouco variam entre si (Tabela 8), sendo que o KT-Method se trata de uma adaptação do método Liu-Jordan.

Tabela 8 - Soma da irradiância ao longo do ano, segundo o Metodo Liu Jordan, KT-Method e Solterm, variando beta (inclinação do colector) em MJ/m<sup>2</sup>

Método	Inclinação							
	5°	15°	25°	32°	38°	45°	60°	90°
	(MJ/m <sup>2</sup> )							
<b>Liu Jordan</b>	5870	6103	6217	6223	6180	6074	5656	4179
<b>KT Method</b>	5836	6067	6176	6179	6133	6024	5596	4096
<b>Solterm</b>	5144	5332	5393	5386	5321	5198	4748	3222

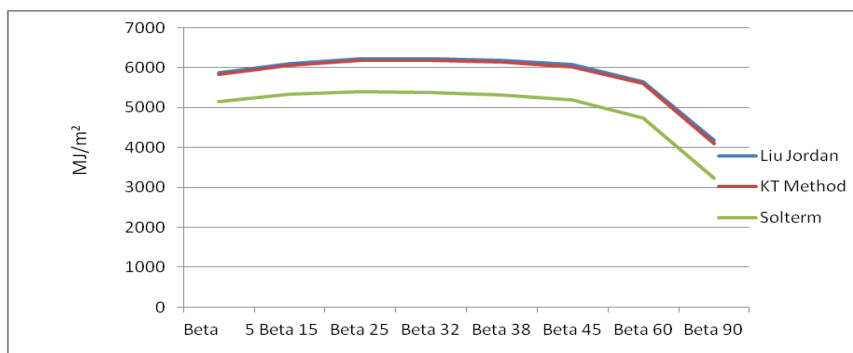


Figura 39 - Soma da irradiância ao longo do ano, segundo o Metodo Liu Jordan, KT-Method e Solterm, variando beta (inclinação do colector) em MJ/m<sup>2</sup>

Pode-se concluir que os dois métodos escolhidos para a determinação de  $H_T$ , alcançaram resultados muito satisfatórios, tendo em conta que a linha de orientação da Figura 39, extraída do Solterm é em tudo semelhante com as obtidas pelos métodos de cálculo desenvolvidos de forma computacional, havendo uma diferença média entre as duas linhas de cerca de 13%.

Para uma preferível resposta e maior aproximação ao sistema aceite pelo mercado (Solterm), ajustou-se com base nos valores obtidos os valores da irradiância mensal sobre uma superfície inclinada, com uma correcção de 20% (Tabela 9 e Figura 40) a menos nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro, por forma a garantir uma melhor fiabilidade do programa.

Tabela 9 - Correção de 20% nos meses Janeiro, Fevereiro, Março, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro, nos métodos Liu-Jordan e KT-Method, para uma inclinação do colector de 32° (MJ/m<sup>2</sup>)

Mês	32°		
	Solterm	Liu-Jordan (MJ/m <sup>2</sup> )	KT Method
Janeiro	302	383	371
Fevereiro	353	362	353
Março	464	475	470
Abril	504	501	502
Mai	565	579	587
Junho	493	532	541
Julho	587	560	568
Agosto	590	588	592
Setembro	493	469	466
Outubro	421	400	392
Novembro	320	346	336
Dezembro	292	335	324

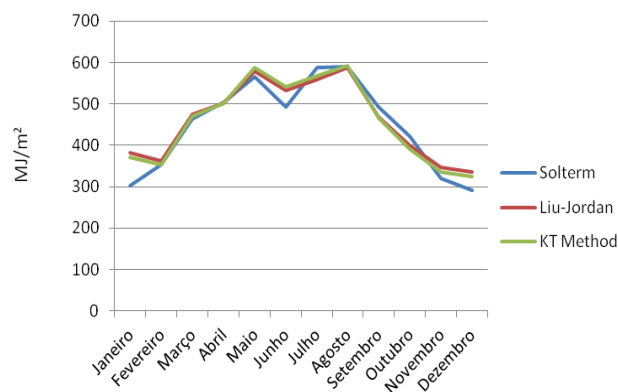


Figura 40 - Correção de 20% nos meses Janeiro, Fevereiro, Março, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro, nos métodos Liu-Jordan e KT-Method, para uma inclinação do colector de 32°

Nos meses de Abril, Março, Julho, Julho e Agosto, não se procedeu a qualquer tipo de ajustamento, por se confirmar que a comparação com o Solterm é muito boa para efeitos da simulação pretendida.

O ajustamento de 20% nos restantes meses, nos métodos reportados, não constitui um problema, porque desde o início da programação se aceitava um desvio que pudesse atingir esses valores limites. As correcções efectuadas, nos meses referidos, visam apenas uma melhor aproximação ao programa aceite como referência no nosso país.

Alguns dos dados usados, sendo todos eles credíveis, diferem dos que são utilizados pelo Solterm na sua simulação, como é o caso das temperaturas médias do ar ( $T_{amb}$ ) que são datadas de 1967-1971, a radiação incidente ( $H_T$ ), fornecida pelo LREC, e até mesmo o valor da radiação fora da atmosfera terrestre ( $I_o$ ) e dos dias médios do mês ( $n$ ), que variam de bibliografia para bibliografia, daí a aceitabilidade dos valores de incerteza referidos.

“Seja qual for o método de cálculo, o rigor da estimativa que produz está condicionado pelo rigor dos dados de partida” (Pereira, Collares, 1983).

### 7.3 Apresentação de resultados

Os exemplos que se seguem, consideram um sistema de energia solar típico, na cidade do Funchal, Madeira (Portugal). A cidade do Funchal situa-se a uma latitude de  $\lambda=32,646^\circ$ , e tem uma radiação diária mensal sobre uma superfície horizontal e uma temperatura ambiente média expressas na Tabela 6. Os parâmetros considerados para cálculo, tanto da geometria solar como do painel solar utilizado, são os seguintes:  $F_{RU} = 3,668 \text{ W/m}^2\text{C}$ , com rendimento de  $F_R\eta_o = 0,750$ ; inclinação do painel  $\beta = 32^\circ$ ; azimute  $\gamma = 0^\circ$ ; área de painéis solares  $A_c = 4 \text{ m}^2$ ; reflectância do solo  $\rho = 0,2$ ; depósito acumulador de 200 litros.

A Tabela 10 e Tabela 11 e as Figuras 41 e 42, apresentam os valores da irradiância na superfície inclinada do painel ao longo do ano, variando a inclinação do colector solar entre os  $5^\circ$  e os  $90^\circ$ , considerando o azimute Sul, latitude  $\lambda = 32,646^\circ$  da cidade do Funchal tal como os dados da radiação  $H_o$  e temperatura ambiente.

## Liu Jordan method

Tabela 10 - Irradiância mensal sobre uma superfície inclinada em MJ/m<sup>2</sup> segundo o método Liu-Jordan (após correcção)

Mês	Inclinação							
	5°	15°	25°	32°	38°	45°	60°	90°
	(MJ/m <sup>2</sup> )							
<b>Janeiro</b>	278	319	354	373	386	396	403	349
<b>Fevereiro</b>	294	322	342	351	356	359	350	281
<b>Março</b>	430	453	466	469	467	461	430	308
<b>Abril</b>	512	517	511	501	488	470	415	262
<b>Maió</b>	634	624	601	579	556	524	443	251
<b>Junho</b>	600	583	556	532	507	475	395	222
<b>Julho</b>	623	609	584	560	535	503	421	237
<b>Agosto</b>	618	617	604	588	569	543	469	278
<b>Setembro</b>	448	465	471	469	464	453	413	278
<b>Outubro</b>	346	373	392	400	403	403	388	301
<b>Novembro</b>	268	303	331	346	356	364	366	310
<b>Dezembro</b>	243	282	314	332	345	355	363	320
<b>TOTAL</b>	<b>5293</b>	<b>5466</b>	<b>5526</b>	<b>5500</b>	<b>5434</b>	<b>5305</b>	<b>4855</b>	<b>3397</b>

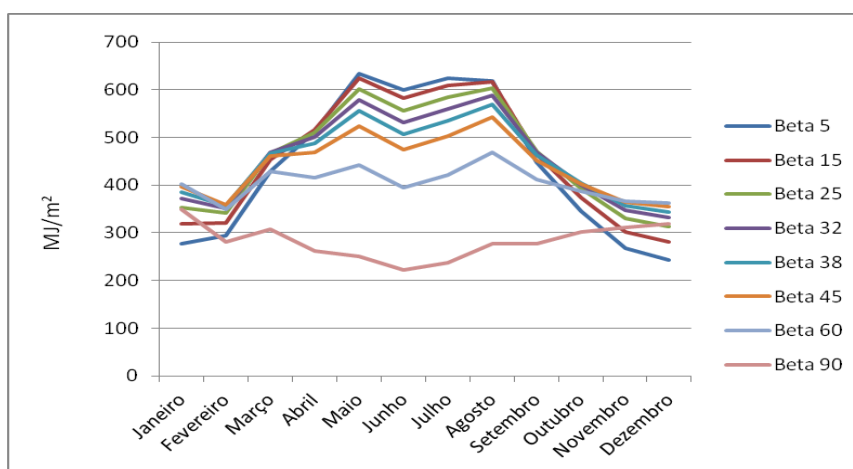


Figura 41 - Irradiância mensal sobre uma superfície inclinada em MJ/m<sup>2</sup> segundo o método Liu-Jordan (após correcção)

## KT method

Tabela 11 - Irradiância mensal sobre uma superfície inclinada em MJ/m<sup>2</sup> segundo KT method (após correcção)

Mês	Inclinação							
	5°	15°	25°	32°	38°	45°	60°	90°
	(MJ/m <sup>2</sup> )							
<b>Janeiro</b>	274	313	344	361	372	381	385	330
<b>Fevereiro</b>	291	316	334	343	347	348	338	268
<b>Março</b>	426	448	461	463	462	455	424	303
<b>Abril</b>	509	516	511	502	491	472	419	267
<b>Maió</b>	634	627	608	587	565	534	453	256
<b>Junho</b>	602	589	564	541	517	486	406	225
<b>Julho</b>	624	613	591	568	545	513	432	241
<b>Agosto</b>	616	618	607	592	575	549	477	284
<b>Setembro</b>	444	461	468	466	461	450	411	278
<b>Outubro</b>	342	367	385	391	394	393	377	290
<b>Novembro</b>	264	297	322	336	344	351	350	294
<b>Dezembro</b>	240	275	305	321	332	341	346	301
<b>TOTAL</b>	<b>5265</b>	<b>5439</b>	<b>5499</b>	<b>5472</b>	<b>5403</b>	<b>5272</b>	<b>4816</b>	<b>3335</b>

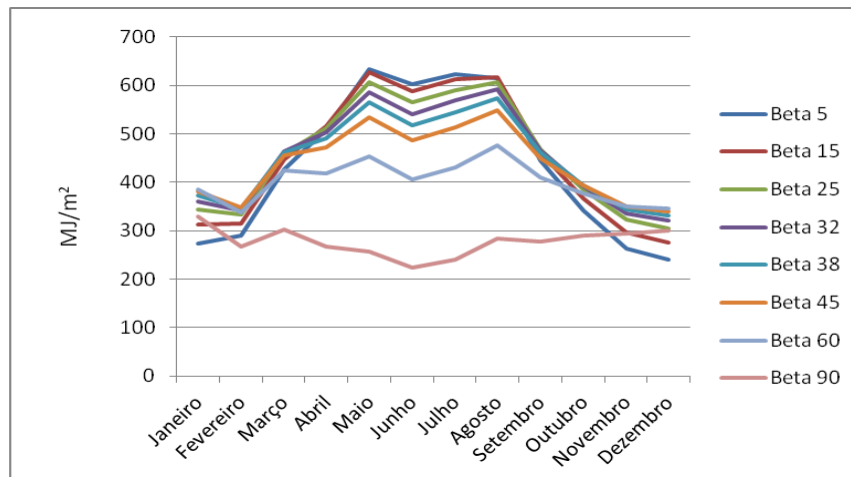


Figura 42 - Irradiância mensal sobre uma superfície inclinada em MJ/m<sup>2</sup> segundo KT method (após correcção)

Estes valores mostram de forma clara a variação da irradiância conforme a inclinação a adoptar pelo colector solar, mas cuja importância depende claramente do valor de inclinação adoptado. Entre valores de  $\beta$  entre 5° e 45° existe uma clara variação entre a irradiância nos meses de Verão e Inverno, que se esbate quando a inclinação ao painel sobe para 60°, e deixa de existir quando esse valor atinge os 90°. Por outro lado, dentro dos valores de  $\beta$  entre 5° e 45° praticamente não existem diferenças nos

valores da irradiância nas estações intermédias da Primavera e Outono, e embora exista alguma diferença nos quatro meses de verão é questionável se essa diferença, que diminui à medida que os valores de  $\beta$  aumentam (ao contrário dos meses de inverno), tem importância prática ao nível do desempenho global dos sistemas de solar térmico em edifícios, designadamente na classificação energética dos edifícios. Voltaremos mais à frente a esta questão.

Um outro estudo paramétrico efectuado vem ilustrado nas Tabelas 12 e 13, simula valores da irradiância alternando o ângulo de orientação (azimute) do colector solar de  $0^\circ$  (Sul) a  $45^\circ$  (valores positivos para Oeste), para uma inclinação  $\beta$  específica.

Tanto a Figura 43 como a Figura 44 realçam que só acima de  $15^\circ$  de desvio em relação a Sul é que se começam a sentir efeitos na contribuição efectiva do sistema (visíveis a partir de  $30^\circ$ ). Estes gráficos confirmam que para valores de  $\beta$  mais elevados existe uma menor variação nos valores da irradiação ao longo do ano. No entanto para valores de  $\beta = 60^\circ$  o efeito causado pela variação da orientação dos painéis (azimute) é mais acentuado, em que a irradiância é maior no verão para azimutes maiores e contrário, de forma mais acentuada, nos meses de Inverno. Para valores de  $\beta = 30^\circ$  a influência do azimute apenas se detecta nos meses de Inverno. Esta combinação de factores não deve, todavia, impedir a conclusão óbvia de que para valores  $\beta = 30^\circ$  se obtêm valores globais de irradiância superiores aos obtidos para  $\beta = 60^\circ$ . Em termos médios estas diferenças são cerca de 15% tal como ilustrado na Figura 45.

Não esquecer, no entanto, que estas últimas conclusões comparam valores de inclinação de painéis solares muito distintos e que as diferenças individuais entre inclinações do painel solar, quando orientado a sul, não eram muito significativas, o que poderá dar indicações quanto à pertinência de se alterarem inclinações que contrariam a inclinação natural dos telhados inclinados dos edifícios. E mesmo os desvios de orientações, em relação a sul, até  $15^\circ$  não aparentam ser de molde a justificar alterações para contrariar a orientação e inclinação dos locais onde instalar os painéis.

Tabela 12 - Valores da irradiância (HT) segundo o método de Liu Jordan, variando o ângulo de orientação (Azimute) para um  $\beta=30$  em MJ/m<sup>2</sup>

Mês	Azimute			
	0°	15°	30°	45°
	(MJ/m <sup>2</sup> )			
Janeiro	357	352	339	320
Fevereiro	341	338	329	316
Março	463	460	453	441
Abril	506	505	502	497
Maio	594	594	596	597
Junho	548	549	553	557
Julho	575	576	579	582
Agosto	597	597	596	593
Setembro	467	466	460	451
Outubro	389	387	378	365
Novembro	332	329	318	302
Dezembro	316	313	301	283
<b>TOTAL</b>	<b>5485</b>	<b>5465</b>	<b>5404</b>	<b>5305</b>

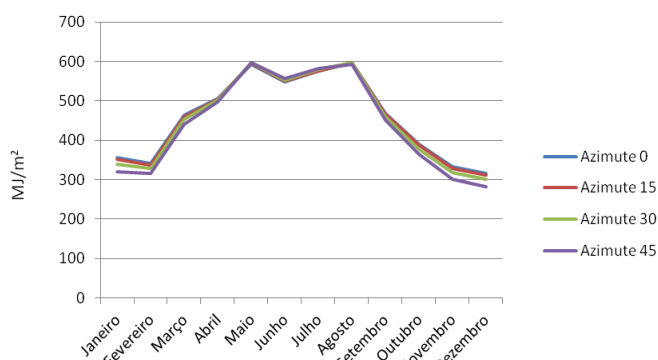


Figura 43 - Valores da irradiância (HT) segundo o método de Liu Jordan, variando o ângulo de orientação (Azimute) para um  $\beta=30$

Tabela 13 - Valores da irradiância (HT) segundo o método de Liu Jordan, variando o ângulo de orientação (Azimute) para um  $\beta=60$  em MJ/m<sup>2</sup>

Mês	Azimute			
	0°	15°	30°	45°
	(MJ/m <sup>2</sup> )			
Janeiro	385	377	355	324
Fevereiro	338	332	318	299
Março	424	420	410	396
Abril	419	420	420	418
Maio	453	458	469	479
Junho	406	411	423	438
Julho	432	437	449	462
Agosto	477	480	486	489
Setembro	411	409	404	395
Outubro	377	371	358	339
Novembro	350	343	325	299
Dezembro	346	339	319	290
<b>TOTAL</b>	<b>4816</b>	<b>4797</b>	<b>4736</b>	<b>4629</b>

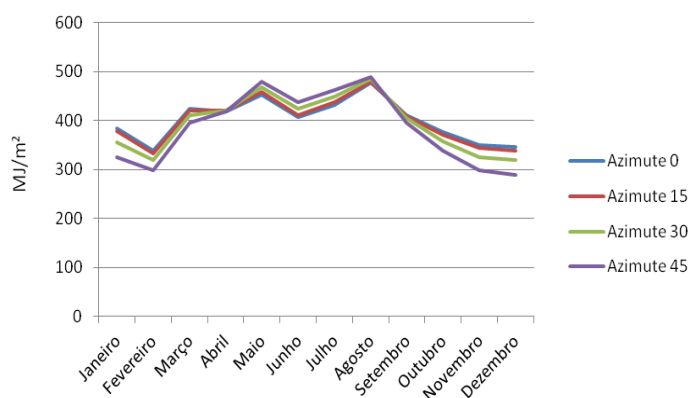


Figura 44 - Valores da irradiância (HT) segundo o método de Liu Jordan, variando o ângulo de orientação (Azimute) para um  $\beta=60$

Considerando estas posições (Azimute) em relação com o Sul combinadas com a inclinação do colector ( $\beta$ ), criou-se uma análise dos valores da irradiância anual, onde facilmente se verifica que a inclinação associada à orientação, pode causar sérios efeitos no rendimento do sistema.

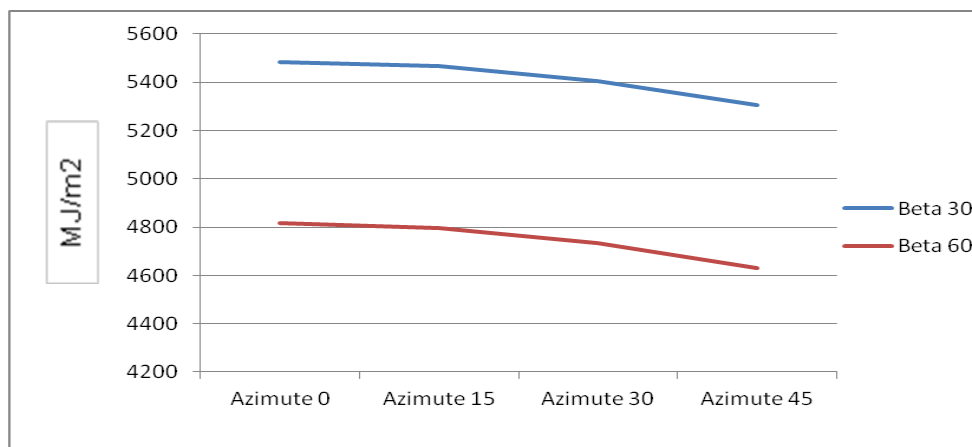


Figura 45 - Variação da irradiância anual, com  $\beta=30$  e  $\beta=60$ , combinado com a variação do azimute entre  $0^\circ$  e  $45^\circ$

### 6.3.1 Cálculo da fracção solar através do método f-chart

A metodologia f-chart é usada para a determinação de uma estimativa da fracção solar dos sistemas solares, através das características locais, dos colectores, capacidade de armazenamento, etc.

Este tipo de metodologia f-chart é utilizada para uma grande variedade de aplicações, como é o caso de alguns processos de aquecimento de edifícios e ar condicionado por absorção (Duffie & Beckman, 2006).

A Tabela 14 mostra os resultados detalhados para os doze meses do ano, obtidos através do modelo computacional desenvolvido em MATLAB, sem considerar as perdas de calor no reservatório.

Tabela 14 - Cálculo da fracção solar sem considerar as perdas térmicas do reservatório

Mês	HT (MJ/m <sup>2</sup> )	Tamb (°C)	L (GJ)	X	Y	f	fL (GJ)
Janeiro	12,70	16,4	1,17	3,44	0,95	0,58	0,67
Fevereiro	15,67	15,7	1,06	3,49	0,99	0,59	0,63
Março	18,90	15,8	1,17	3,49	1,20	0,72	0,84
Abril	16,50	15,8	1,13	3,47	1,33	0,78	0,88
Mai	18,32	17,1	1,17	3,38	1,49	0,86	1,00
Junho	17,33	18,8	1,13	3,25	1,41	0,83	0,94
Julho	17,67	20,8	1,17	3,10	1,44	0,86	0,99
Agosto	18,68	21,9	1,17	3,01	1,51	0,89	1,04
Setembro	19,46	21,9	1,13	3,01	1,24	0,77	0,86
Outubro	16,21	21,2	1,17	3,07	1,03	0,64	0,75
Novembro	14,66	18,7	1,13	3,26	0,92	0,56	0,64
Dezembro	13,65	16,3	1,17	3,45	0,85	0,51	0,60
<b>Total</b>			<b>13,76</b>				<b>9,85</b>

$$F = 0,7158$$

A Tabela 15 tem por base o mesmo princípio e método da anterior, mas com a introdução de um novo parâmetro que considera as perdas de calor no reservatório.

Tabela 15 - Cálculo da fracção solar considerando as perdas térmicas do reservatório

Mês	HT (MJ/m <sup>2</sup> )	Tamb (°C)	L (GJ)	X	Y	f	fL (GJ)
Janeiro	12,70	16,4	1,34	3,00	0,84	0,52	0,70
Fevereiro	15,67	15,7	1,22	3,05	0,87	0,54	0,66
Março	18,89	15,8	1,34	3,04	1,05	0,65	0,88
Abril	16,50	15,8	1,29	3,04	1,16	0,72	0,93
Maió	18,32	17,1	1,34	2,96	1,30	0,79	1,10
Junho	17,33	18,8	1,29	2,84	1,23	0,77	0,99
Julho	17,67	20,8	1,34	2,70	1,25	0,78	1,05
Agosto	18,68	21,9	1,34	2,63	1,31	0,82	1,10
Setembro	19,46	21,9	1,30	2,63	1,08	0,70	0,90
Outubro	16,21	21,2	1,34	2,68	0,89	0,58	0,78
Novembro	14,66	18,7	1,29	2,85	0,80	0,51	0,66
Dezembro	13,65	16,3	1,34	3,01	0,74	0,46	0,62
<b>Total</b>			<b>15,76</b>				<b>10,32</b>

$$F_f = 0,6548$$

Comportamento da fracção solar considerando perdas no reservatório, para o caso do Funchal, Madeira (Portugal) – ver Figura 46.

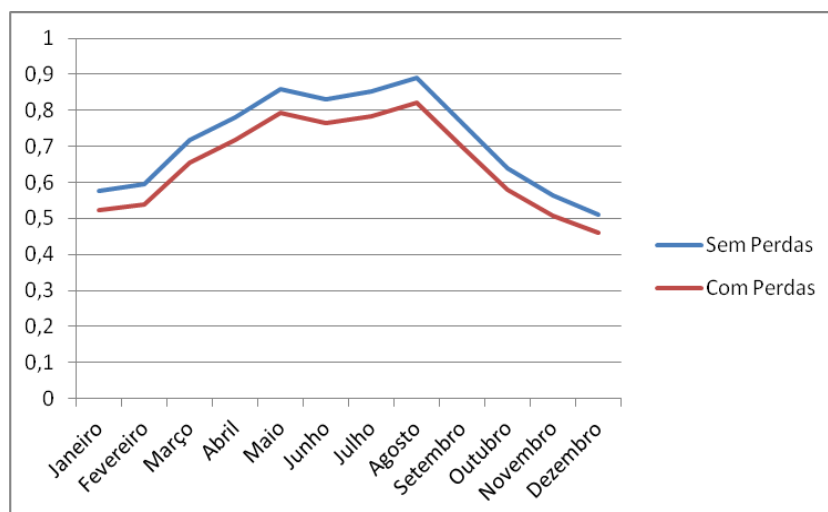


Figura 46 - Comportamento da fracção solar considerando perdas no reservatório, para o caso do Funchal, Madeira (Portugal).

As perdas no reservatório reduzem de forma global o valor da fracção solar de 71,6% para 65,5%.

A fracção solar em função da área de colector disponível pode ser analisada na Figura 47, onde se observa a sua crescente com o aumento de área de colector até atingir um nível máximo tendo em conta os parâmetros de utilização anteriormente descritos.

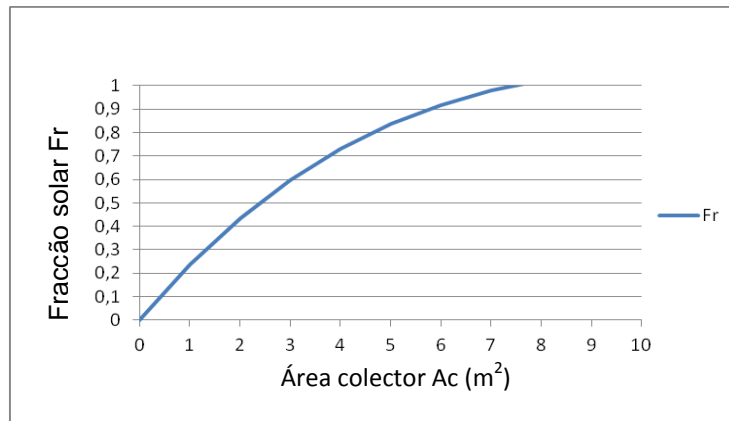


Figura 47 - Fração solar em função da área de colector disponível

## 7.4 Discussão

O método permite estudar a importância da variação da inclinação do colector com a horizontal ( $\beta$ ). Sabe-se da teoria que ao aumentarmos o ângulo  $\beta$  superior à latitude do local ( $\gamma$ ) teremos maiores ganhos solares na altura do Inverno e o contrário verifica-se para a altura de Verão. Tal informação é demonstrada e provada através da análise dos dados supracitados, onde podemos concluir através dos resultados obtidos que valores de inclinação superiores à latitude  $+15^\circ$  apenas servem para reduzir a contribuição do sistema no Verão. Salienta-se que uma inclinação óptima para uma latitude específica só é alcançada após uma análise em função do consumo e período ou períodos de funcionamento a dar ao sistema. Uma instalação que só irá dar o seu contributo no Verão, terá certamente uma inclinação dos colectores inferior a de uma instalação que apenas funcione no Inverno.

A fracção solar varia com a quantidade de armazenamento de água, a área de colector, o colector e sua utilizabilidade, não esquecendo os parâmetros da latitude orientação e inclinação. Na análise feita as perdas do reservatório têm um peso considerável no valor obtido, devendo ser por isso tomada em conta as características técnicas na hora da escolha do depósito acumulador e da hora de consumo.

A área de captação de energia solar, ou seja a área de colectores a usar numa instalação está directamente ligada com o aumento gradual da fracção solar atendendo que esta atinge um nível máximo, que a partir do qual torna-se desnecessário o aumento de área de captação.

## 8 Casos de estudo e discussão de resultados

### 8.1 Caso de estudo 1 - Vivenda no Santo da Serra

Neste estudo caso estuda-se o impacto que um sistema solar térmico tem de forma a poder contribuir para a classificação energética de uma moradia unifamiliar através dos valores obtidos pelo Solterm, atendendo a que o consumo de AQS tem um grande peso no consumo de energia no sector doméstico, atingindo os 50% do total de energia consumida.

Neste caso de estudo temos um exemplo de uma moradia tipo T4 situada num meio rural na Região Autónoma da Madeira (Santo da Serra).

A contribuição dos sistemas solares é designada pelo parâmetro  $E_{\text{solar}}$  que por sua vez se encontra directamente relacionado com o tipo de colector e a sua área, características do colector, fracção solar, localização, perfis de consumo, sombreamento, inclinação e orientação do colector.

Executaram-se simulações no Solterm para alguns dos parâmetros mencionados, tais como os perfis de consumo a uma carga constante, o sombreamento, a orientação e inclinação do colector.

#### 8.1.1 Caracterização do imóvel

Trata-se de um edifício de habitação individual, situado na periferia de uma zona urbana (zona rural), no Arquipélago da Madeira, zona climática I 1 – V1, em Santa Cruz, a uma altitude de 616 metros, com distância à costa inferior a 5 km.

Utilizou-se o software Solterm versão 5.1.3, para a obtenção de valores como a Fracção Solar, a Produtividade o  $E_{\text{solar}}$  e o Rendimento do sistema, para diferentes simulações.

Os dados seguintes (ver Figura 48) advêm de um colector da marca Wolf Modelo Topson F3-1 certificado e escolhido aleatoriamente entre os existentes à venda no mercado, após a simulação inicial obrigatória com o colector padrão (1m<sup>2</sup> por pessoa).

A radiação horizontal e inclinada para o concelho Santa Cruz, onde se encontra a moradia é a seguinte:

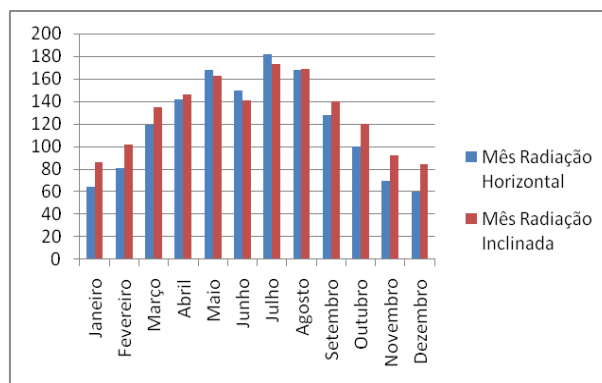


Figura 48 - A radiação horizontal e inclinada para o concelho Santa Cruz (Solterm, 2011)

### 8.1.2 Perfis de consumo

Consoante o tipo de utilização e consumo a contribuição do sistema varia, sendo por isso um ponto importante para o dimensionamento dos sistemas solares térmicos, de forma a garantir as necessidades de consumo de forma equilibrada.

Sabendo que se trata de uma das maiores fontes de incerteza por parte do projectista, é necessário algum cuidado na especificação das cargas térmicas. Nesta análise variou-se a distribuição sobre o consumo diário e ao longo do ano, considerando 4 tipos de casos de utilização de acordo com a Tabela 16.

De forma a poder comparar os resultados obtidos pela análise, considerou-se para todos os casos o mesmo consumo diário total, variando apenas o consumo ao longo do dia e do ano.

No caso 1 o consumo é típico de uma família que usa o sistema de manhã ao acordar e depois somente ao final do dia quando regressa do trabalho. O caso 2 distribui-se o consumo de AQS pelas 24h que tem o dia, eliminando assim picos de consumo. Os casos 3 e 4 são casos típicos de consumo para casas de fim de semana e de férias respectivamente.

Tabela 16 - Perfis de consumo

Hora	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
0-1		8,00		
1-2		8,00		
2-3		8,00		
3-4		8,00		
4-5		8,00		
5-6		8,00		
6-7	60	8,00		
7-8	60	8,00		
8-9		9,00		
9-10		9,00		
10-11		9,00	A mesma utilização do Caso 2, apenas ao fim de semana	A mesma utilização do Caso 2, apenas nos Meses de Junho a Outubro
11-12		9,00		
12-13		9,00		
13-14		9,00		
14-15		9,00		
15-16		9,00		
16-17		8,00		
17-18		8,00		
18-19		8,00		
19-20		8,00		
20-21	40,00	8,00		
21-22	40,00	8,00		
22-23		8,00		
23-24		8,00		
<b>Total Litros Diários</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>200*</b>	<b>200**</b>

\* Apenas no fim de semana.

\*\* Apenas nos meses de Junho, Julho, Agosto, Setembro e Outubro.

Os resultados obtidos na Tabela 17, são bastante reveladores, observando-se nos casos 1 e 2 que a variação de consumo ao longo do dia pouca alteração produz nos resultados finais, não sendo assim tão relevante fazer uma distribuição muito detalhada sobre o consumo diário pelas 24h.

Os valores obtidos advêm do colector Wolf Topson F3-1, com uma inclinação óptima (24°-28°), azimute Sul e sem obstrução significativa, com área de 4m<sup>2</sup>.

A tabela seguinte e as figuras 49, 50, 51 e 52 mostram os valores do Esolar, do rendimento, da produtividade e da fracção solar respectivamente, de cada caso de utilização.

Tabela 17 - Determinação do Esolar, rendimento, produtividade e fracção solar (solterm, 2011)

Utilização	Esolar (Kwh/ano)	Rendimento (%)	Produtividade (Kwh/m <sup>2</sup> colector)	Fracção Solar (%)
caso 1	2376	38	597	64,1
caso 2	2396	39	602	64,7
caso 3	909	15	228	86,1
caso 4	1125	18	283	74,5

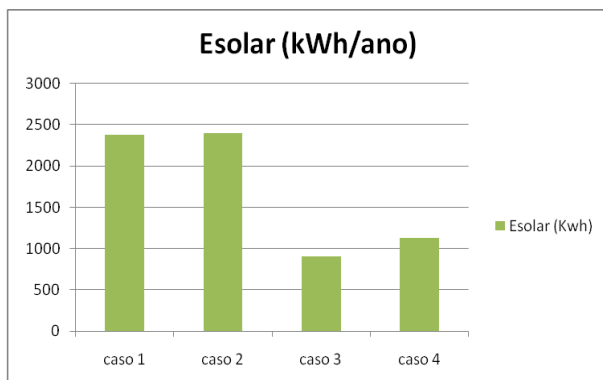


Figura 49 - Influência do tipo de consumo no rendimento (kWh/ano) dos colectores (4m<sup>2</sup>)

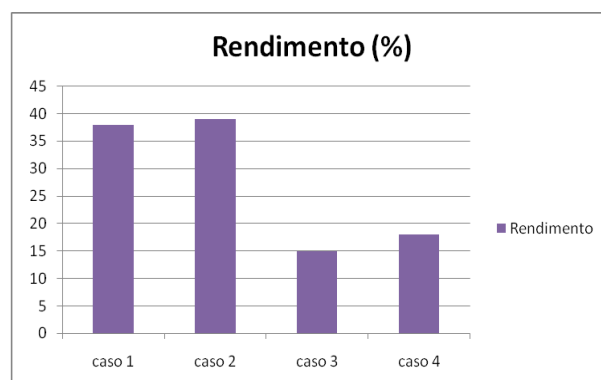


Figura 50 - Influência do tipo de consumo no rendimento (%) dos colectores (4m<sup>2</sup>)

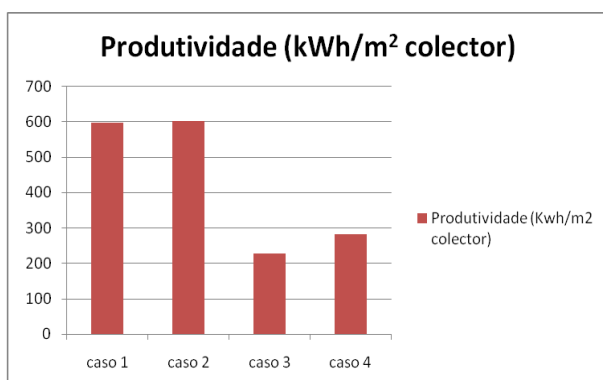


Figura 51 - Influência do tipo de consumo na produtividade (kWh/m<sup>2</sup>) dos colectores (4m<sup>2</sup>)

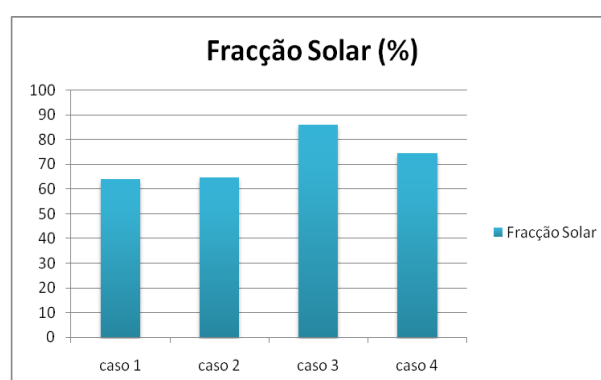


Figura 52 - Influência do tipo de consumo na fracção solar (%) dos colectores (4m<sup>2</sup>)

Os casos 3 e 4, levantam sérias dúvidas sobre se o sistema solar é realmente uma boa escolha para suprir as necessidades de AQS. No entanto, sabe-se que para efeitos de cálculo os projectistas consideram a utilização ao longo de todo o ano nos períodos de consumo dos casos 3 e 4, ficando as necessidades de AQS salvaguardadas como as do caso 2 visto tratar-se da mesma carga.

A especificação das cargas térmicas deve ser tratada como uma variável que não se refere ao sistema em si, mas sim à utilização que se poderá vir a dar ao mesmo.

A fracção solar é a razão entre a energia fornecida pelo sistema solar e a carga térmica necessária em valores anuais, pelo que nos casos 3 e 4 em que temos as

cargas concentradas no fim-de-semana e nos meses de Verão, os valores não são os mais adequados para o desempenho anual do sistema.

### 8.1.3 Sombreamento

O programa Solterm, permite refinar alguns detalhes locais para o dimensionamento de um sistema solar térmico. Como se pode observar nas figuras 53, 54 e 55 e nos valores da Tabela 18. Estes detalhes têm um efeito preponderante nos resultados finais.

O efeito do sombreamento e das obstruções existentes está directamente relacionado com a quantidade de radiação directa que contribui para o sistema.

Um factor de obstrução de  $3^\circ$  é totalmente desprezado para efeitos de cálculo, contudo neste exemplo recriaram-se 3 tipos distintos de sombreamento, sendo eles, de  $3^\circ$  e  $20^\circ$ , esta visível na Figura 53 a uma altura angular constante, e a  $60^\circ$  constante a SW e a SE do imóvel nas Figuras 54 e 55. O terceiro caso é uma tentativa de aproximação das obstruções reais que existem no local, atendendo que a moradia tem em seu redor árvores de grande porte que proporcionam sombras (Figura 55).

Para os três exemplos considerou-se o caso 1 de utilização, azimuth Sul e inclinação óptima ( $24^\circ$ - $28^\circ$ ), colectador Wolf Topson F3-1.



Figura 53 - Obstruções no horizonte de  $20^\circ$  a altura angular constante (Solterm,2011)

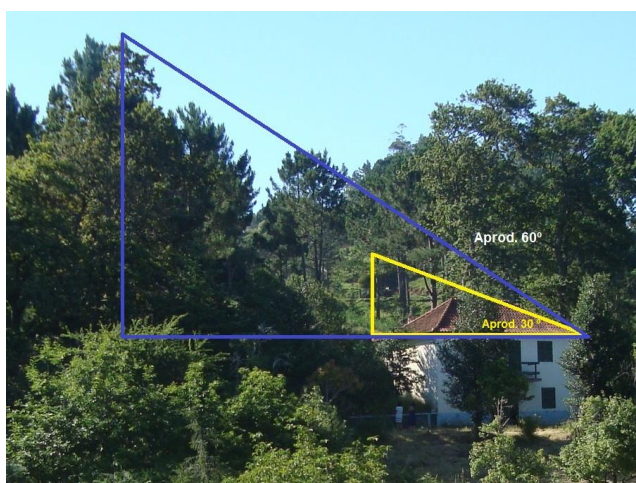


Figura 54 - Foto do imóvel, rodeado de árvores de grande porte a Este e a Oeste

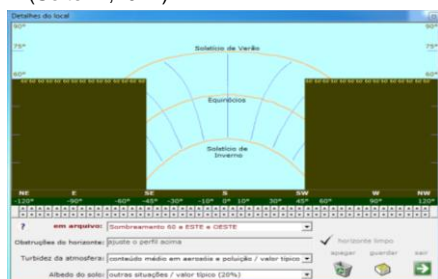


Figura 55 - Obstruções no horizonte de  $60^\circ$  a SW e SE

A Tabela 18 e as figuras 56, 57, 58 e 59 mostram o efeito preponderante nos resultados finais que os detalhes locais originam no dimensionamento de um sistema solar térmico.

Tabela 18 - Determinação de vários parâmetros para diferentes factores de obstrução (Solterm, 2011)

Factor de Obstrução	Esolar (Kwh/ano)	Rendimento (%)	Produtividade (Kwh/m <sup>2</sup> colector)	Fracção Solar (%)
3°	2376	38	597	64,1
20°	1956	38	489	52,8
60°	1520	47	382	41

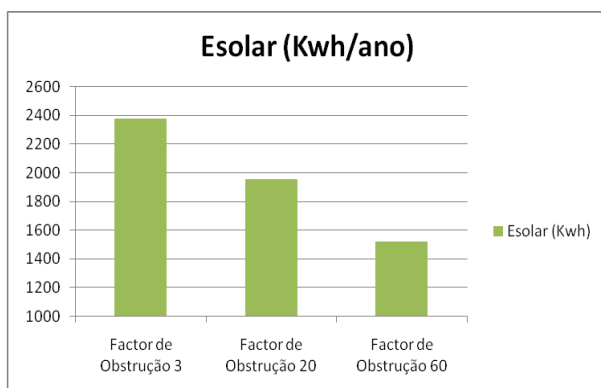


Figura 56 - Influência do factor de obstrução no rendimento (kWh/ano) dos colectores (4m<sup>2</sup>)

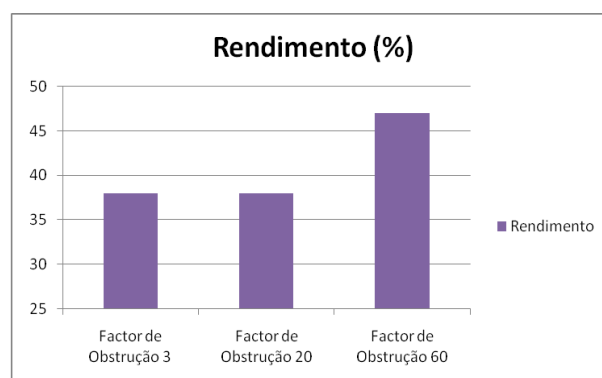


Figura 57 - Influência do factor de obstrução no rendimento (%) dos colectores (4m<sup>2</sup>)

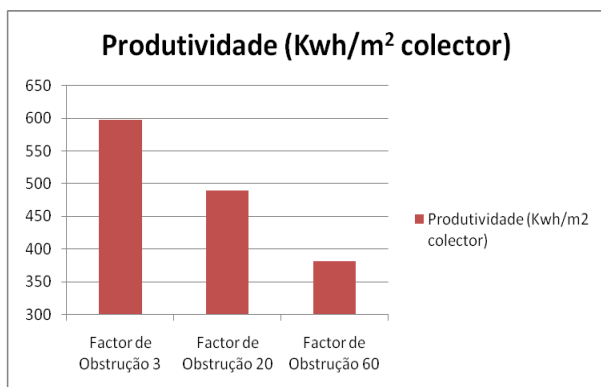


Figura 58 - Influência do factor de obstrução na produtividade (kWh/m<sup>2</sup>) dos colectores (4m<sup>2</sup>)

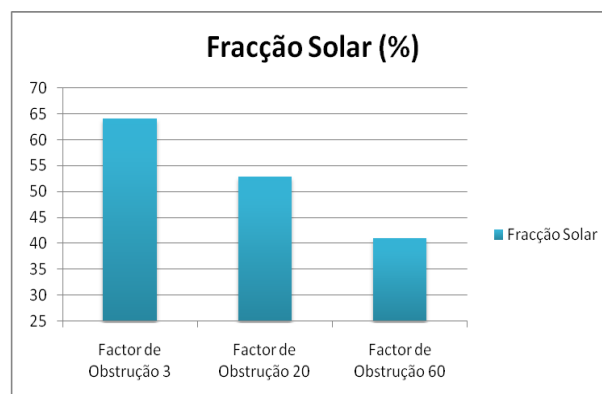


Figura 59 - Influência do factor de obstrução na fracção solar (%) dos colectores (4m<sup>2</sup>)

Ao retratar os resultados obtidos pelas simulações efectuadas, é realçada a importância que o sombreamento detém sobre o comportamento do sistema, reduzindo significativamente a contribuição para o cálculo das necessidades de aquecimento, contribuindo para um pior resultado em termos de eficiência energética.

Neste caso vemos um ligeiro aumento no rendimento do sistema, ou seja, na eficácia do sistema, mas tal só acontece por o rendimento ser a razão entre a energia fornecida e a disponível à face dos colectores.

### 8.1.4 Orientação

Um dos mais controversos temas no dimensionamento de sistemas solares é o da orientação. Neste exemplo variou-se o azimute de orientação do sistema para três direcções diferentes, Sul, SE e SW.

Os valores registados (Tabela 19 e Figuras 60, 61, 62 e 63) dizem respeito à orientação (azimute), a Sul e a 45 graus a Este (sinal negativo por convenção) e Oeste, sem obstrução significativa.

Tabela 19 - Dados recolhidos do Solterm para diferentes Azimutes

Orientação	Esolar (Kwh/ano)	Rendimento (%)	Produtividade (Kwh/m <sup>2</sup> colector)	Fracção Solar (%)
Azimute Sul	2376	38	597	64,1
Azimute -45	2151	36	541	58,1
Azimute 45	2199	37	552	59,3

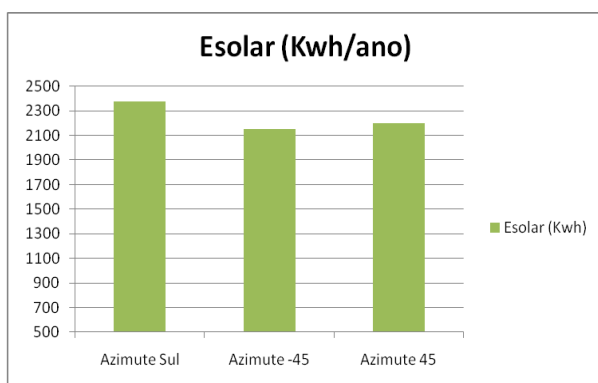


Figura 60 - Influência do azimute no rendimento (kWh/ano) dos colectores (4m<sup>2</sup>)

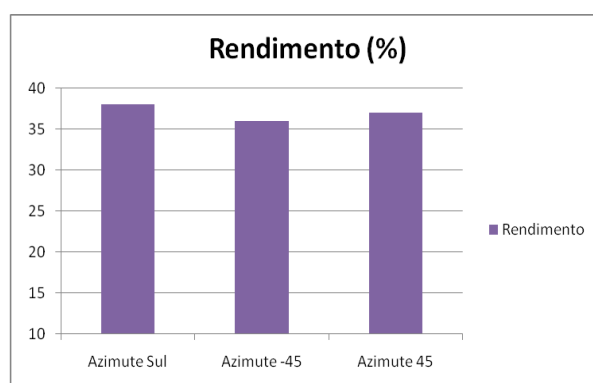


Figura 61 - Influência do azimute no rendimento (%) dos colectores (4m<sup>2</sup>)

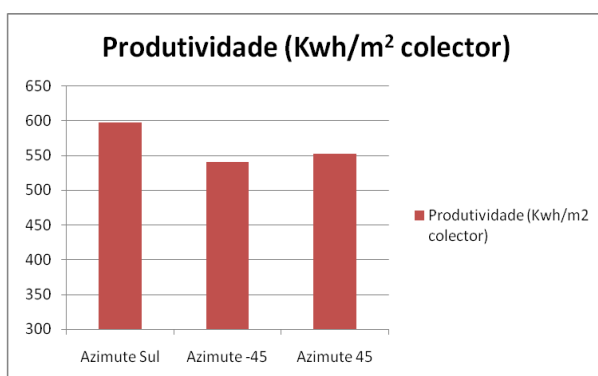


Figura 62 - Influência do azimute na produtividade (kWh/m<sup>2</sup> colector) dos colectores (4m<sup>2</sup>)

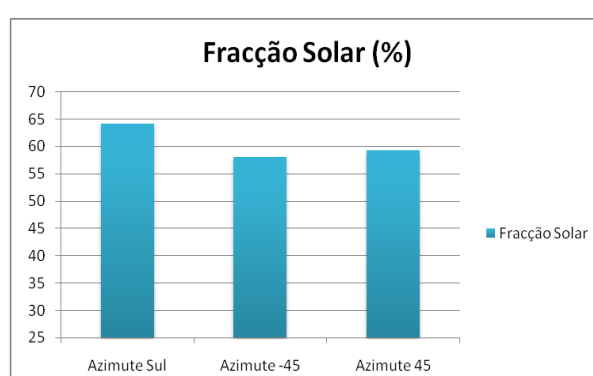


Figura 63 - Influência do azimute na fracção solar (%) dos colectores (4m<sup>2</sup>)

Os dados apresentados mostram uma ligeira diferença (36% para Este e 37% para Oeste) no rendimento (Figura 61) que um desvio a Oeste se torna menos gravoso que um desvio a Este.

Contudo neste exemplo em que se desviou o colector até 45° para Este e Oeste, podemos afirmar que os valores podem, no limite, vir a ser causadores de um abaixamento no nível da classe energética, embora o sistema seja o mesmo.

### 8.1.5 Inclinação

As simulações seguintes reportam a variações da inclinação dos colectores entre os 10 e os 50 graus.

A inclinação dos colectores está directamente relacionada com o rendimento dos mesmos, através das simulações obtidas neste caso de estudo, tendo-se verificado que o desempenho energético aumenta com o aumento da inclinação, perdendo rendimento de forma mais visível para inclinações superiores a 40° (ver Figura 64).

A Tabela 20 que se segue refere-se ao caso de estudo 1 de utilização para o colector Wolf Topson F3-1 sem obstrução significativa orientado a Sul.

Tabela 20 - Dados recolhidos do Solterm para diferentes inclinações do colector

Inclinação	Esolar (Kwh/ano)	Rendimento (%)	Produtividade (Kwh/m <sup>2</sup> colector)	Fracção Solar (%)
10°	2313	39%	581	62,4%
20°	2372	39%	596	64,0%
30°	2361	38%	593	63,7%
40°	2283	38%	574	61,6%
50°	2141	37%	538	57,8%
Optimizada	2376	38%	597	64,1%

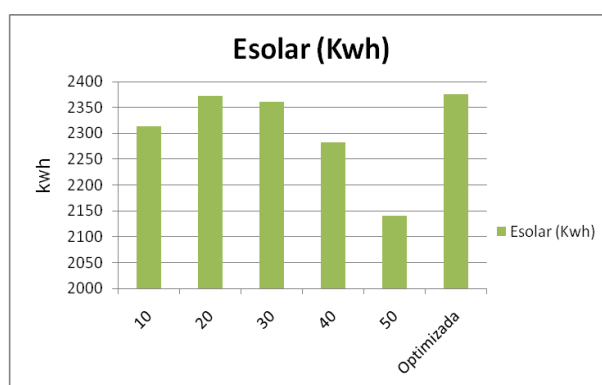


Figura 64 - Influência da inclinação no rendimento (kWh/ano) dos colectores (4m<sup>2</sup>)

A ponderação da inclinação dos colectores solares em relação ao plano horizontal está directamente ligada aos ganhos solares, período de utilização e localização geográfica.

Neste caso em particular, estamos situados na Região Autónoma da Madeira onde a latitude ronda os 32°, sendo por isso expectável que a inclinação óptima esteja perto desse valor. Podemos ainda concluir que ao baixarmos um pouco mais a inclinação dos colectores não iríamos notar muita diferença na contribuição da energia fornecida (Esolar) porque esta variação como mostra este caso é inferior a 50kWh/ano (pouco significativa), embora o mesmo já não se aplique a inclinações superiores a 40° que comprometem seriamente o desempenho do sistema.

### **8.1.6 Análise e conclusão**

Após uma análise cuidada e detalhada sobre os dados recolhidos e aqui tratados podemos afirmar que uma elevada fracção solar por si só não significa que se tenha um bom rendimento ou até mesmo uma boa produtividade do colector. Por outro lado, ficou demonstrado que a influência da orientação e da inclinação é significativa para valores extremos de utilização. Por fim, tal como se esperava, o sombreamento tem uma influência mais notória no desempenho do sistema podendo levar a níveis de rendimento incompatíveis com os investimentos efectuados e o propósito inicial da instalação do solar térmico.

Podemos verificar que no Esolar, a produtividade, e a fracção solar são superiores às restantes inclinações e o rendimento apenas o é comparado com a inclinação de 50° (no caso em que temos a inclinação otimizada pelo programa). Tal acontece devido à formula de cálculo usada para o rendimento do sistema ( $E_{solar}/(\text{radiação inclinada} \times \text{área do painel})$ ), que podemos facilmente concluir que para uma inclinação menor temos uma radiação inclinada também menor à face dos colectores solares.

Todos estes índices anuais (produtividade, rendimento e fracção solar) deverão ser analisados em conjunto de modo a servirem de base de critério de dimensionamento, nomeadamente para a análise de sistemas com fortes cargas sazonais, onde alguns critérios podem ser falíveis se considerados individualmente.

## 8.2 Caso de estudo 2 - Bloco apartamentos no Funchal

O presente estudo de caso prevê instalações de aquecimento solar do edifício designado por “Funchal Palace” (Figura 65), no Funchal, cujo processo de instalação foi acompanhado no âmbito do estágio que o autor da presente dissertação realizou na empresa Termomadeira – Sistemas de Aquecimento, Lda.

Numa instalação solar térmica de um prédio contendo múltiplas fracções autónomas é necessário recorrer a um estudo detalhado, que vai desde a análise do espaço existente, ao possível trajecto e dimensionamento da tubagem sem que interfira com outras especialidades (gás e electricidade) já existentes.

### 8.2.1 Caracterização do edifício e de espaços a tratar

O empreendimento está dividido em dois blocos designados por 1 e 2, por serem de tipologia semelhante apenas iremos considerar o bloco 1.

Bloco 1 tem 25 apartamentos, com 5 andares.

- 5 Apartamentos tipologia T3
- 15 Apartamentos tipologia T2
- 5 Apartamentos tipologia T1



Figura 65 - Fotografia do Bloco 1 “Funchal Palace” (Gonçalo Camacho, 2010)

### 8.2.2 Solução Projectada

Os painéis solares são instalados na cobertura do edifício, distribuídos de acordo com as tipologias existentes, com o objectivo de captar energia para produzir AQS.

A acumulação de AQS faz-se através de termoacumuladores individuais com capacidades de 150 litros para as tipologias tipo T1, 200 litros para as tipologias tipo T2 e 300 litros para as tipologias tipo T3, colocados em cada fracção. O circuito primário principal distribui um caudal igual à soma dos caudais dos ramais secundários de forma a garantir uma maior equidade na distribuição de calor solar.

O termoacumulador dispõe de uma resistência eléctrica que é interligada ao controlador diferencial existente em cada fracção, sendo configurada a prioridade ao aquecimento solar, gerindo melhor o consumo de energia eléctrica. Não obstante, é

possível através do controlador, forçar a activação da resistência, suprimindo a configuração de prioridade e garantindo água quente à temperatura e na quantidade pretendida a qualquer hora do dia.

O controlador possui duas sondas de imersão colocadas no circuito de ida e de retorno e uma ligação à válvula de 3-vias. A posição OFF da válvula de 3-vias é aberta para o lado do depósito, sendo esta fechada quando a diferença de temperatura entre a Ida e o Retorno do depósito for inferior a 2°C ou superior a 60°C no Retorno.

A distribuição de água quente, é feita do depósito para toda a habitação. A opção do termoacumulador eléctrico representa maior segurança e evita a instalação de esquentadores, evitando assim a combustão de gases.

Esta solução permite desactivar o aquecimento solar por fracção, assim como adicionar um esquentador convencional ligado em série com o depósito ou, suprimindo o aquecimento solar, ligar directamente o esquentador.

As características do sistema instalado encontra-se descrita de forma detalhada no Anexo VI.

### **8.2.3 Campo de colectores**

#### **8.2.3.1 Painéis solares**

Os painéis solares são colocados na cobertura, com suportes em alumínio adequados para o efeito. Estes painéis são ligados em grupos de 5 painéis ligados em paralelo de canais e ligados ao ramal principal em retorno invertido.

A inclinação dos painéis é de 38° sobre a cobertura plana, permitindo o maior rendimento médio anual, considerando uma utilização de 12 meses/ano.

A instalação é feita com orientação SUL e estão salvaguardadas as distâncias entre fileiras de colectores evitando as sombras no solstício de Inverno.

As filas de painéis confluem para a estação de bombagem e desse ponto, segue para a acumulação solar, conseguindo-se dessa forma uma instalação mais segura e versátil em relação a possíveis anomalias.

A transmissão de energia dos painéis aos acumuladores é realizada através de serpentina interior nos depósitos de 150 litros, 200 litros e 300 litros.

Para garantir que os painéis se encontram equilibrados hidraulicamente, será utilizado o método de retorno invertido.

Para minimizar as perdas e reduzir os custos de instalação, optou-se pela instalação dos depósitos próximo da zona de captação.

Todas as tubagens do circuito primário estão devidamente isoladas térmica e mecanicamente.

### 8.2.3.2 Colectores Aplicados

Modelo de colector .....	Isotherm V
Tipo .....	Plano
Nº total de módulos/área .....	35 módulos (77,0m <sup>2</sup> )
Inclinação .....	38º
Azimute .....	Sul
Coefficientes de perdas térmicas .....	a1=3,243 W/m <sup>2</sup> /K a2= 0,014W/m <sup>2</sup> /K <sup>2</sup>
Rendimento óptico .....	75,0%
Equipamento de referência: ISOTHERM V	

### 8.2.3.3 Especificação

Painel solar da marca ISOFOTON, vertical modelo ISOTHERM V, certificado com a norma europeia EN12975 pela Solarkeymark. Estes painéis têm uma superfície de absorção selectiva, de alto rendimento, com área absorvedora de 1,99m<sup>2</sup>.

### 8.2.3.4 Estruturas de suporte

Perfis de alumínio anodizado liga 60/63, resistente às mudanças de temperatura e à corrosão.

### 8.2.3.5 Cobertura

Vidro com 4 mm de espessura. Possui muito baixa percentagem de ferro na sua composição permitindo mais transparência, menor reflectividade e conseqüentemente mais ganhos térmicos.

### 8.2.3.6 Isolamento

Lã de rocha de 50 mm de espessura.

### 8.2.3.7 Absorção

Soldadura por Ultrasons.

### 8.2.3.8 Estanquicidade

Sistema de perfis de alumínio com junta de silicone de dupla resistência à temperatura e radiação.

## 8.2.7 Registo fotográfico

De seguida podemos observar as diversas fases de progressão numa instalação solar térmica deste tipo de dimensão (Figuras 66 a 76). Este registo fotográfico reporta a várias fases da obra.



Figura 66 - Cobertura Funchal Palace (Gonçalo Camacho, 2010)



Figura 67 - Colocação de vigas (Gonçalo Camacho, 2010)



Figura 68 - Estrutura de suporte em alumínio sobre as vigas (Gonçalo Camacho, 2010)



Figura 69 - Soldadura em tubo de cobre (Gonçalo Camacho, 2010)



Figura 70 - Colocação dos painéis (Gonçalo Camacho, 2010)



Figura 71 - Formação de uma curva a 90º em tubagem de cobre (Gonçalo Camacho, 2010)



Figura 72 - Válvula de 3 vias (Gonçalo Camacho, 2010)

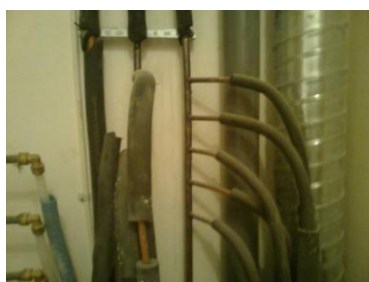


Figura 73 - Distribuição na prumada do circuito primário em cobre (Gonçalo Camacho, 2010)



Figura 74 - Caudalímetro (Gonçalo Camacho, 2010)



Figura 75 - Depósito Acumulador (Gonçalo Camacho, 2010)



Figura 76 - Cobertura com os painéis solares (Gonçalo Camacho, 2010)

### 8.2.8 Classificação energética

Exemplifica-se neste estudo caso uma classificação energética de um apartamento tipo T2 existente no complexo.

Os dados apresentados na Tabela 21 são simplificados de modo a resumir apenas as necessidades nominais de produção de AQS, de forma a cumprir o estabelecido nos regulamentos em vigor.

Tabela 21 - Dados

Dados	
Local de implementação	Periferia de uma zona urbana ou zona rural
Altitude	131,00 m
Tipologia da Fracção	T2
$A_p$	82,80 m <sup>2</sup>
$P_d$	2,60 m
$A_{env}$	15,36 m <sup>2</sup>
Nic	20,19 kWh/m <sup>2</sup> .ano
Ni	18,89 (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Nic	1715,51 (kWh/m <sup>2</sup> )
Nv	23 (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Eren	0 (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Na	42,85 (kWh/m <sup>2</sup> .ano)

A Tabela 22 reproduz o caso real, em que a fracção autónoma tipo T2 detêm um termoacumulador eléctrico com rendimento de 90%, com uma contribuição solar de 1481 kWh/ano originando uma eficiência energética de classe B.

Tabela 22 - Caso existente

Caso existente	Esolar (kWh/ano)	Nac (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	Classe
<b>Termoacumulador eléctrico</b>	1481	12,87	4,41	B

Para a mesma fracção autónoma e dados acima referidos, simulou-se para diferentes valores de contribuição de energias renováveis (Esolar) e dois tipos de sistemas de apoio de AQS, com rendimentos reais com os sistemas existentes no mercado e factores de conversão ( $F_{pu}$ ) entre energia útil e energia primária diferentes.

A Tabela 23, varia o valor do Esolar consoante o tipo de classe que contribui, sabendo que segundo o RCCTE os edifícios novos não podem deter uma energética inferior a “B-“.

Tabela 23 - Influência da contribuição solar na classificação energética com o apoio de um termoacumulador eléctrico

	Esolar (kWh/ano)	Nac (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	Classe
<b>Termoacumulador eléctrico (Rendimento 0,9)</b>	981	18,91	6,16	C
	1421	13,60	4,62	B-
	1481	12,88	4,41	B
	1862	8,27	3,08	A
	2302	2,96	1,54	A+

A Tabela 24 também varia o Esolar consoante o tipo de classe que contribui, mas para um sistema de apoio diferente, sendo este um esquentador típico de 11 litros a gás com um rendimento de 81% a 30% da carga nominal.

Tabela 24 - Influência da contribuição solar na classificação energética com o apoio de um Esquentador a gás

	Esolar (kWh/ano)	Nac (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	Classe
<b>Esquentador a Gás (Rendimento 0,81)</b>	0	34,18	3,62	B
	518	27,92	3,08	B
	1481	16,29	2,08	A
	2002	10,00	1,54	A+

No primeiro caso temos um termoacumulador eléctrico, a comparticipação do Esolar torna-se mais relevante para a escolha da classe energética, podendo até com um mau dimensionamento ou um sistema de baixo rendimento não ser capaz de atingir o mínimo aceitável pela lei (Classe B-).

No caso em que usamos um esquentador a gás com as características em cima mencionadas, verificamos que apenas necessitamos de um sistema solar apenas pela obrigatoriedade imposta legalmente, pois a sua contribuição para este caso tipo

poderia até ser nula (Esolar = 0 kWh) que em termos de eficiência energética estaríamos acima do mínimo regulamentar.

No entanto como é praticamente obrigatório a produção de AQS por meio de energias renováveis, sendo que deste modo facilmente conseguimos obter uma classe energética superior A ou A+.

### 8.2.9 Análise Económica

A aplicação de um sistema solar térmico embora obrigatório só se reflecte numa melhoria do comportamento térmico dos edifícios se os seus ganhos forem significativos ao ponto de termos uma poupança económica vantajosa.

Na presente fase do trabalho apresentamos uma análise económica, que avalia a quantidade de energia necessária e consumo para satisfazer as necessidades de aquecimento consoante a tipologia da fracção autónoma, o rendimento do sistema convencional existente ( $\eta = 0,9$ ), a taxa de crescimento anual do preço de energia que por motivos de simplicidade nos cálculos considerou-se a mesma que a taxa de inflação prevista para o presente ano de  $\alpha=3,4\%$  (Economia Finanças, 2011), e o preço da electricidade que baseou-se na tarifa simples social com o valor de 0,1352€/kWh (EEM, 2011). Os valores de referência utilizados para a determinação da análise económica são visíveis na Tabela 25.

A análise completa-se com a determinação do tempo de retorno sobre o investimento inicial e os ganhos alcançados por se ter optado por esta solução. A Tabela 26 e a Figura 77 mostram resumidamente os valores da análise económica efectuada.

#### 8.2.9.1 Método simples

A energia dispendida com sistemas convencionais utilizados na preparação das AQS durante um ano é dada pela seguinte equação (RCCTE, 2006):

$$Q_a = (M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d) / 36000000 \quad (8.2.9.1.1)$$

$M_{AQS}$  – Consumo médio diário de referência de AQS;

$\Delta T$  - Aumento de temperatura necessária para preparar as AQS;

$n_d$  – Numero anual de dias de consumo de AQS;

Custo da energia em euros.

$$C_e = \frac{Q}{\eta} \cdot C_e \quad (8.2.9.1.2)$$

$C_e$  = Custo inicial da energia em determinado ano;

$\eta$  – Rendimento do sistema convencional;

O custo da energia num determinado ano  $n$  é obtido através da seguinte equação:

$$C_{e,n} = C_{e,i} (1 + \alpha)^n \quad (8.2.9.1.3)$$

$C_{e,i}$  – Custo inicial da energia;

$\alpha$  - Taxa de crescimento anual do preço da energia;

Tabela 25 - Valores de referência para o cálculo da análise económica

<b>Dados</b>	
Tipologia Fracção Autónoma	T2
Esolar (kWh/m2.ano)	1481
Taxa de Inflação (%)	3,4
Investimento inicial (euros)	2150,00
Vida útil do sistema	20
$Q_a$ (kWh/ano)	2292,4
Tarifa simples social (€/kWh)	0,1352
Rendimento AQS apoio ( $\eta$ )	0,9

O retorno é calculado, descontando a poupança ganha anualmente em euros alcançada pelo uso de painéis solares comparativamente ao sistema convencional de apoio eléctrico com a mesma base de transformação (0,1352 €/kWh), do valor investido inicialmente para a instalação do sistema.

Tabela 26 - Análise económica simples

n (anos)	Custo inicial da energia (€/kWh)	Custo Anual da energia (€) considerando um sistema convencional de AQS (Termoacumulador eléctrico)	Poupança anual de energia Com painéis solares (€)	Custo Anual da energia (€) do sistema convencional de AQS de Apoio (Termoacumulador eléctrico)	Retorno (€)
0	0,1352	344,37	200,23	144,14	-2150,00
1	0,1398	356,08	207,04	149,04	-1949,77
2	0,1445	368,18	214,08	154,11	-1742,73
3	0,1495	380,70	221,36	159,35	-1528,65
4	0,1545	393,65	228,88	164,76	-1307,29
5	0,1598	407,03	236,66	170,36	-1078,41
6	0,1652	420,87	244,71	176,16	-841,75
7	0,1709	435,18	253,03	182,14	-597,03
8	0,1767	449,97	261,63	188,34	-344,00
9	0,1827	465,27	270,53	194,74	-82,37
10	0,1889	481,09	279,73	201,36	<b>188,16</b>
11	0,1953	497,45	289,24	208,21	467,89
12	0,2019	514,36	299,07	215,29	757,13
13	0,2088	531,85	309,24	222,61	1056,21
14	0,2159	549,94	319,76	230,18	1365,45
15	0,2232	568,63	330,63	238,00	1685,20
16	0,2308	587,97	341,87	246,09	2015,83
17	0,2387	607,96	353,49	254,46	2357,70
18	0,2468	628,63	365,51	263,12	2711,19
19	0,2552	650,00	377,94	272,06	3076,71
20	0,2639	672,10	390,79	281,31	3454,65
<b>TOTAL</b>		<b>10311,30</b>	<b>5995,43</b>	<b>4315,87</b>	

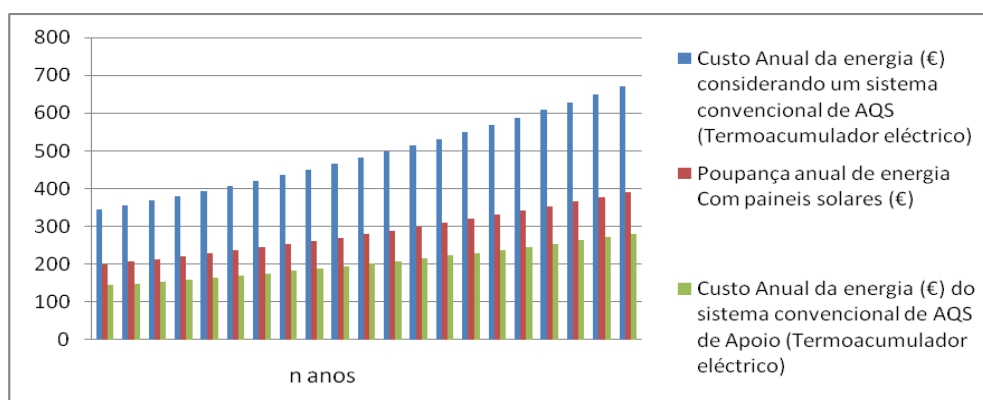


Figura 77 - Ilustração das poupanças e gastos de energia em euros com e sem a contribuição dos painéis solares

O retorno do investimento inicial para a instalação do sistema é conseguido para este caso em particular ao fim dos 10 anos de utilização, admitindo poupanças acumuladas

na ordem nos 6 mil euros no final da sua vida útil (20 anos), o que em termos percentuais ronda os 60% das necessidades de AQS.

A estes valores são acrescidos, o imposto legal em vigor (IVA) que actualmente na Região Autónoma da Madeira é de 4%, e que se actualizará até ao final do corrente ano para o valor máximo (16%) ou até mesmo superior.

### 8.2.9.2 Método do Valor Líquido Actual (VLA)

O cálculo do valor líquido actual (VLA) é um indicador muito usual na análise de viabilidade de projectos, tendo neste caso sido utilizado um período de 20 anos por ser o valor normal estimado para o tempo de vida de painéis solares.

O VLA tem como função determinar o investimento obtido a longo prazo comparando com o valor do investimento inicial, sendo que se o resultado for positivo estamos perante um projecto com rentabilidade.

A actualização dos montantes a avaliar é feita através de uma taxa de juro equivalente com as taxas de juro das obrigações do tesouro (OT), para facilitar os cálculos considerou-se uma taxa fixa de juro de 5%, embora outros cenários sejam igualmente plausíveis.

Os valores das poupanças admite tal como no exemplo anterior uma taxa de inflação sobre a tarifa simples social da electricidade de 3,4% ao ano.

$$VLA = \sum_{k=0}^n \frac{CF_k - I_k}{(1+i)^k} \quad (8.2.9.2.1)$$

$I$  – Investimento inicial;

$CF_k$  – Valor da poupança anual em euros;

A Tabela 27 mostra um saldo de acumulado de €1271,69 o que quer dizer que esta instalação solar térmica é rentável (saldo positivo).

Tabela 27 - Determinação do Valor Líquido Actual em euros

n (anos)	CF <sub>k</sub> (€)	VLA (€)
0	0	-2150,00
1	207,04	197,18
2	214,08	194,17
3	221,36	191,22
4	228,88	188,30
5	236,66	185,43
6	244,71	182,61
7	253,03	179,82
8	261,63	177,08
9	270,53	174,39
10	279,73	171,73
11	289,24	169,11
12	299,07	166,53
13	309,24	163,99
14	319,76	161,50
15	330,63	159,04
16	341,87	156,61
17	353,49	154,23
18	365,51	151,88
19	377,94	149,56
20	390,79	147,28
<b>TOTAL</b>		<b>1271,69</b>

### 8.2.9.3 Cálculo do período de retorno (PR)

Este método analisa o chamado “*payback time*”, através do investimento inicial e os ganhos ao longo do período de vida do sistema, com uma taxa de juro de 5% ao ano, não podendo ser directamente comparado com o anterior.

$$S_k = S_{k-1} + \frac{CF_k - I_k}{(1+i)^k} \quad (8.2.9.3.1)$$

S – Diferença entre o VLA e o investimento inicial

Os cálculos para a determinação do período de retorno (PR) resumem-se na Tabela 28. A análise do PR para assim que o valor do investimento passa a positivo, ou seja, quando realmente estamos a tirar partido económico do investimento inicial.

Tabela 28 - Determinação do Período de Retorno (PR)

n (anos)	PR
0	-2150,00
1	-1952,82
2	-1758,64
3	-1567,43
4	-1379,13
5	-1193,69
6	-1011,08
7	-831,26
8	-654,17
9	-479,79
10	-308,06
11	-138,95
12	27,59

Por Interpolação matemática o Período de Retorno dá-se aos 11 anos e 10 meses, ou seja altura que o investimento se pagaria a si próprio, sendo o restante período de utilização transformado em lucro.

#### 8.2.9.4 Índice de rentabilidade (IR)

$$IR = \frac{\sum_{k=0}^n \frac{CF_k - I_k}{(1+i)^k}}{\sum_{k=0}^n \frac{I_k}{(1+i)^k}} \quad (8.2.9.4.1)$$

$$IR = \frac{1271,69}{2150} = 0,59$$

Segundo este método o IR traduz-se na razão entre os ganhos da VLA e o investimento inicial, sendo também muito utilizado como indicador, mostrando-se neste caso financeiramente favorável.

#### 8.2.10 Análise e conclusão

Desde 2006 que se tornou praticamente obrigatório a instalação painéis solares para transformação de AQS, neste exemplo de um edifício que contem múltiplas fracções autónomas o seu dimensionamento torna-se um pouco mais complexo, tanto na definição da área a usar como na distribuição da energia captada de modo a satisfazer todas as fracções autónomas.

O recurso a um esquentador a gás como sistema de apoio na produção de AQS certamente seria uma opção do ponto de vista da classificação energética que alcançaria uma melhor prestação, contudo a opção tomada de o uso de resistência eléctrica do termoacumulador como sistema de apoio, veio permitir uma poupança significativa na fase de construção por se ter abolido toda a especialidade do gás (AQS e cozinha) do edifício que iria acarretar custos de instalação e manutenção ao longo da vida.

Uma outra consideração é a optimização de espaço conseguido em cada fracção, pois neste caso o mesmo acumulador recebe energia dos colectores como também é termoacumulador eléctrico, ou seja temos menos um aparelho (termoacumulador eléctrico de apoio), que por sua vez reflecte-se no valor final de cada fracção autónoma.

O dimensionamento do sistema solar deve proporcionar uma cobertura anual de cerca de 60 a 80% das necessidades de AQS, sendo que a restante fracção seja assegurada por um sistema de apoio tipo convencional.

O recurso às energias renováveis implica um custo inicial avultado, o que levanta por vezes sérias dúvidas sobre a sua verdadeira participação na sustentabilidade económica, atendendo que através de recursos como o gás e a electricidade apenas consumimos várias centenas de euros por ano (embora a conjectura actual aponte para aumentos significativos).

O investimento inicial por vezes é enganador fazendo ainda com que muitos utilizadores se retraem quanto à sua verdadeira rentabilidade. O caso demonstrado revela que o *IR* obtido para uma fracção tipo T2 com as condições descritas atrás é de 59% o que torna o projecto francamente favorável para sua implementação e uso ao longo da sua vida (20 anos).

Neste caso concreto em que estamos perante uma instalação colectiva, a energia fornecida é distribuída por todas as fracções autónomas, tendo por isso normalmente um valor de Esolar francamente inferior a uma moradia, como por exemplo a do estudo caso anterior, que segundo o mesmo método de análise económica teríamos um período de retorno na ordem dos 6 anos e alguns meses.

A análise económica foi calculada para um período de 20 anos, que com a qualidade dos materiais e um nível de manutenção aceitável (não considerado neste estudo), poderá ser superior, extraíndo-se ainda mais benefícios do sistema.

## **9 Notas finais**

O presente trabalho analisa a problemática da energia solar térmica tendo em conta a teoria de suporte aplicável e a legislação em vigor (RCCTE).

A aplicação do RCCTE para obter a classificação energética torna-se obrigatória na construção, venda e remodelações significativas e encontra-se relacionada e dependente do uso de painéis solares, ficando visto que a sua contribuição para a melhoria da classe energética é crucial.

O programa de cálculo desenvolvido permitiu a simulação de alguns parâmetros importantes para o dimensionamento dos sistemas solares térmico, e a determinação de índices de referência associados ao desempenho do sistema, sendo portanto uma ferramenta útil para a selecção das características dos painéis solares. No entanto, algumas características do sistema, como por exemplo o efeito do sombreamento, e as características técnicas dos sistemas auxiliares deverão ser simulados pelo programa de cálculo Solterm.

A determinação das cargas térmicas e sua utilização ao longo do ano, podem e devem ser definidas pelo projectista de modo a aproximá-las das condições reais, no entanto o seu dimensionamento final deve sempre ter em conta a tipologia da fracção, de modo a salvaguardar futuras utilizações diferentes das que inicialmente foram projectadas. A escolha do acumulador deve ser sensata, pois a sua capacidade de armazenamento e perdas térmicas influenciam significativamente parâmetros como por exemplo a fracção solar.

### **9.1 Conclusões**

Devido a ser praticamente obrigatório o recurso a sistemas solares para a produção de AQS, é recomendável que durante a fase de planeamento (projecto) se prevejam áreas devidamente úteis, orientadas a Sul 15°, para a aplicação destes sistemas, sem descuidar a estética e o desempenho pretendido. Contudo, em caso de necessidade, o verifica-se que pode-se ir +/- 45° sem grandes perdas.

Embora a inclinação óptima para a captação máxima de energia de um colector solar para uma utilização anual seja de cerca de 5° abaixo da latitude do local de instalação, verifica-se contudo que inclinações que não excedam os 45° (considerando a latitude do Funchal) não provocam perdas significativas de desempenho.

A existência de obstáculos capazes de limitar ou até mesmo impedir a irradiação directa sobre os colectores solares deve ser minimizada para a obtenção de um sistema mais eficaz evitando-se deste modo obter um sistema subdimensionado.

A fracção solar encontra-se directamente dependente da área de colector disponível e da existência de um reservatório. Conclui-se que cresce de forma acentuada com o aumento da área dos colectores até atingir um limite máximo, onde se torna desnecessário o aumento daquelas áreas (colectores).

No caso de estudo 1, referente à aplicação de um sistema solar térmico a uma vivenda no Santo da Serra, conclui-se que a influência da orientação e da inclinação destes sistemas apenas é significativa para valores extremos, sendo que valores moderados em torno dos valores óptimos não produzem grandes prejuízos.

O estudo económico mostra-se crucial para a analisar se o projecto é ou não viável. Neste trabalho a análise económica aplicada ao caso de estudo 2 (bloco de apartamentos no Funchal) confirmou que o uso de sistemas solares térmicos torna-se compensador ao longo do seu período de vida útil (20 anos), tendo-se obtido sido um índice de rentabilidade aceitável.

Uma maior eficiência energética conduz a menores gastos em energia por parte dos utilizadores (mantendo os mesmos níveis de conforto). Tal redução é conseguida não só pelo recurso às energias renováveis como também pelas boas práticas de construção e escolha de materiais termicamente eficazes.

## **9.2 Trabalho futuro**

Para trabalho futuro, visto que a elaboração do código se baseou nas fórmulas aqui apresentadas, seria desejável que a simulação (sendo possível de o elaborar numa outra linguagem) viesse a incluir a análise de outros parâmetros, como por exemplo o sombreamento, de modo a abranger mais casos de estudo e diferentes tipologias. Sugere-se também o desenvolvimento de uma versão, mais completa que inclua uma análise ao RCCTE, simulando de forma integrada factores como o isolamento térmico, envidraçados, e perdas da envolvente, e ainda outras formas de energias renováveis.

A contribuição do depósito acumulador para a diminuição da fracção solar é notório neste trabalho, contudo, uma análise detalhada aos materiais mais comuns de cubas existentes (cobre, aço inox, pvc, aço vitrificado) no mercado e seus isolamentos térmicos, iria determinar qual a verdadeira contribuição para este factor.

A nível da análise económica apresentada no estudo de caso do bloco de apartamentos no Funchal, é facilmente adaptada a outros casos e podendo ser aperfeiçoada, com a inclusão de novos parâmetros de influência (manutenção). Seria interessante e até revelador desenvolver uma análise mais profunda em relação ao período de vida útil dos equipamentos, e até a possíveis simulações sobre valores e taxas de juro de empréstimos bancários.

## Referências Bibliográficas

- ADENE, (2010). Obtido em 13 de Agosto de 2010, de <http://www.adene.pt/ADENE.Portal>
- Apambiente, (2010). Obtido em 28 de Janeiro de 2010, de <http://www.apambiente.pt/>
- Atlas da Radiação Solar do Arquipélago da Madeira, (2008). Laboratório Regional de Engenharia Civil.
- Borges, A. D., & Ribeiro, J. M. (2009). *Energia Eólica*. Vila Real: UTAD.
- BP, (2008). Obtido em 25 de Fevereiro de 2010, de <http://www.bp.com/>
- Carvalho, G. (2010). *Graça Carvalho*. Obtido em 10 de Janeiro de 2011, de <http://www.gracacarvalho.eu/>
- Centro de estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente (2009). Obtido em 2 de 06 de 2010, de <http://www.ceeeta.pt/energia/>
- Climatização, (Outubro de 2009). Obtido em 14 de Julho de 2010, de [www.climatizacao.pt/](http://www.climatizacao.pt/)
- CNN, (2010). Obtido em 12 de Setembro de 2010, de <http://edition.cnn.com/2010/>
- Cole, F. W. (1980). *Radiation Processes and Heat Transfer. Introduction to Meteorology*. Nova Iorque: Wiley.
- Colectores Solares para Aquecimento de Água. (2004). Lisboa: DGGE - IP-AQSpP.
- COM(2010) 265 final. European Commission.
- Construção Sustentável, (2011). Obtido em 13 de Março de 2011, de <http://www.construcaosustentavel.pt/>
- DGGE, (2004). *Potencial e Estratégia de desenvolvimento da energia das ondas em Portugal*. DGGE.
- DHTE, (2010). *Temperatura média do ar*. Funchal: Laboratório Regional de Engenharia Civil.
- Direção Geral da Energia e Geologia, (2009). Obtido em 29 de Agosto de 2010, de <http://www.dgge.pt/>
- Doninelli, M. e. (Maio de 2006). As Instalações Solares. *Hidráulica* 25 .
- Duffie, J., & Beckman, W. (2006). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Wiley.
- Ecoenergia, (Novembro de 2005). Obtido em 15 de Outubro de 2010, de <http://ecoenergia.blogspot.com/>
- Economia Finanças, (12 de 07 de 2011). Obtido em 10 de Setembro de 2011, de <http://economiafinancas.com/tag/taxa-de-inflacao-2011/>
- EDP, (2009). Obtido em 22 de Novembro de 2010, de <http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/>
- EDP, (2011). Obtido em 21 de Janeiro de 2011, de <http://www.a-nossa-energia.edp.pt/>
- EEM, (2011). *Tarifário de venda de energia eléctrica a clientes finais* . Funchal: EEM.

*Energia Solar Térmica, manual sobre tecnologias, projecto e instalação*, (2004). Bruxelas. Comissão Europeia.

*Energias Renováveis em Portugal - Alguns Aspectos*, (1982). Lisboa: Direcção Geral de Energia - Departamento de Diversificação Energética.

*Estratégia Nacional para a Energia*, (2010) Lisboa: Ministério da Economia da Inovação e Desenvolvimento.

*Expresso*, (2011). Obtido em 10 de Janeiro de 2011, de <http://aeiou.expresso.pt/energia-aposta-nas-renovaveis-assegura-a-viabilidade-de-muitas-empresas-portuguesas-teixeira-dos-santos=f533320>

Fernandes, J. (16 de Outubro de 2004). A idade das Estrelas II: as observações.

*Guia para Instaladores de Colectores Solares*. (2004). Lisboa: DGGE / IP-AQSpP.

*iea.org*, (2009). Obtido em 13 de Agosto de 2010, de <http://www.iea.org/techno/index.asp>

Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (Sexta Edição ed.). Estados Unidos da América: Wiley.

Inovação, M. d. (2010). *Uma política de energia com ambição*. Lisboa: Ministério da Economia e da Inovação.

*Instalações Solares Térmicas*, (2007). Lisboa: INETI.

*Kwon Alternativo*, (2011). Obtido em 9 de Setembro de 2011, de <http://kno3.planetaclix.pt/combfosse.html>

*Livro Verde*. Bruxelas, (2006). Comissão das Comunidades Europeias.

Marques, A. J. (1987). *INSOLAÇÃO*. Lisboa: Secretaria de Estado do Ambiente e Recursos Naturais.

Meteostat, (2007). *Energiasrenovaveis*. Obtido em 15 de Outubro de 2010, de <http://www.energiasrenovaveis.com/>

*Nota Positiva*, (2010). Obtido em 29 de Agosto de 2010, de <http://www.notapositiva.com/pt/>

Peixoto, J. P., (1981). *A Radiação Solar e o Ambiente*. Lisboa: Secretaria de Estado Do Ordenamento e Ambiente.

Pereira, Collares. (1983). *Método de cálculo para dimensionamento de sistemas destinados ao aproveitamento de energia solar para o aquecimento de água por intermédio de colectores planos*. Lisboa: LNETI.

Plano Nacional Acção Eficiência Energética, (2008). Portugal.

*Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis*, (2009). Portugal

*Plano SET*, (2007). Bruxelas: Comissão das Comunidades Europeias.

*Portal das energias renováveis*, (2009). Obtido em 21 de 06 de 2011, de <http://www.energiasrenovaveis.com/>

*Programa Nacional para as Alterações Climáticas*, (2006). Diário da República, 1ª série.

*Radiação Solar*, (1988). Lisboa: Secretaria de Estado do Ambiente e Recursos Naturais.

- Ramage, J., (1997). *Guia da Energia*. Lisboa: Monitor.
- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - Decreto-Lei n.º80/2006. (04 de 2006). *Diário da República - I Série A*, 2468-2513.
- Relatório do Estado do Ambiente*, (2008). Amadora: Agência Portuguesa do Ambiente.
- Renewable*, (2011). Obtido em 14 de Janeiro de 2011, de <http://www.renewable.pt/>
- Rodrigues, A. M., Piedade, A. C., & Braga, A. M. (2009). *TÉRMICA DE EDIFÍCIOS*. Amadora: ORION.
- Roriz et al, (2010). *Energia Solar em Edifícios*. Amadora: Orion.
- Sá, A. F, (2008). *Guia de aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética*. Porto: Publindústria.
- Solar Thermal Industry Federation*, (2009). Obtido em 14 de Maio de 2010, de <http://www.estif.org/>
- Stern, N., (2007). *The Economics of Climate Change - O Relatório Stern*. Cambridge: Cambridge.
- The Climate Hub*, (2010). Obtido em 22 de Março de 2010, de <http://www.theclimatehub.com/world-wind-energy-1997-2010>
- Trabalhar com segurança em telhados*, (2004). Bilbao: Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho.
- Utilização de Colectores Solares para Aquecimento de Água no Sector Doméstico*, (2004). Lisboa: DGGE - IP-AQSpP.
- Wordpress*, (2007). Obtido em 12 de Setembro de 2010, de <http://anabarco.files.wordpress.com/2007/01/ciclo-del-agua.jpg>

## **ANEXOS**

## ANEXO I

### A Contaminação das AQS

A qualidade da água é definida de forma geral por parâmetros como o pH, a dureza, a concentração de cloretos, ferro, zinco, nitritos, ortofosfatos e inibidores de corrosão, a condutividade eléctrica, a salinidade total, a existência de colónias de fungos, leveduras e germes. Apesar de todos estes parâmetros que servem de base para se considerar se uma água é própria para consumo ou não, existem também diversas aplicações que se pode dar a água, sendo que certos parâmetros podem estar acima do dito normal para consumo.

De todos estes parâmetros acima supracitados grande parte são de fácil dedução o porquê que contribuem para uma água imprópria para consumo.

O parâmetro pH quantifica as soluções aquosas de ácidas ou básicas. É determinado medindo a quantidade de iões de hidrogénio existentes na amostra, assumindo valores entre o 0 (solução ácida) e o 14 (solução básica). O pH da água vária consoante a temperatura e a exposição ao ano. Um grande inimigo para os sistemas solares térmicos e todas a tubagens é a formação de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que se deposita nas paredes internas denominando-se vulgarmente por tártaro.

A dureza da água permite medir a quantidade de sais dissolvidos na mesma. Existem dois tipos de dureza, a dureza temporária e a dureza permanente. A dureza temporária é fortemente influenciada pela temperatura que por sua vez influencia a quantidade de  $\text{CO}_2$  dissolvido na água e é função da quantidade de carbonatos de cálcio ( $2(\text{HCO}_3)\text{Ca}$ ) e de magnésio ( $2(\text{HCO}_3)\text{Mg}$ ) dissolvidos na água. Esta dureza temporária resulta especialmente da precipitação de carbonato de cálcio, originando graves problemas de formação de tártaro. A dureza permanente depende de sais á base de cloretos, sulfatos e fosfatos não dependentes de  $\text{CO}_2$  para a sua dissolução.

Em Portugal a análise da dureza da água é feita através dos Graus Franceses ( $^\circ\text{f}$ ) ou os ppm referidos ao  $\text{CaCO}_3$  ( $\text{ppmCaCO}_3$ ), como se ilustra na Tabela que se segue.

Tabela 11 - Classificação da dureza da água (Roriz et al, 2010)

Água	Muito doce	Doce	Medianamente doce	Dura	Muito Dura
<b>G. Franceses</b>	0 – 7	7 – 15	15 – 25	25– 42	>42
<b>ppm <math>\text{CaCO}_3</math></b>	< 80		80 – 200	200 – 300	>300

A existência de corrosão nos circuitos hidráulicos provocada pela água advém da quantidade de gases e outros componentes altamente ionizáveis dissolvidos na água. A condutividade eléctrica da água é um bom parâmetro para analisar a pureza desta, visto que quanto mais pura for a água menos sais dissolvidos, iões e outras impurezas existirão.

Há que se considerar para além do cálcio e dos carbonatos e do magnésio, a existência de gases, metais e compostos orgânicos embora de menor relevo para a qualidade da água devem ser mencionadas pelos efeitos que originam na instalação.

Os metais na água apresentam-se dissolvidos em iões, os mais importantes são o magnésio, o sódio, o ferro e o cobre.

Os gases actuam na água, não como iões mas como moléculas, estando assim relacionando com a pressão e a temperatura a que a água está sujeita. Os gases mais importantes dissolvidos na água são o oxigénio (O<sub>2</sub>), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e o azoto (N<sub>2</sub>).

O composto orgânico que mais subsiste dissolvido nas águas é o húmus (restos de plantas e animais). As bactérias, fungos vírus e óleos são também de origem orgânica.

Para fins de aquecimento de águas sanitárias e aquecimento ambiente os valores de referência admissíveis que caracterizam a qualidade da água diferem consoante o tipo de fim a que se destina.

Tabela I2 - Valores de referência para água de compensação (Roriz et al, 2010)

Parâmetro	Unidades	Intervalo de valores admissíveis	
		Máximo	Mínimo
pH	Esc. Sorensen	8,5	6,5
Dureza Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	18	-
Dureza Calcário	mg/l CaCO <sub>3</sub>	12	-
Dureza Magnésio	mg/l CaMg <sub>3</sub>	6	-
Cloretos	mg/l Cl	50	-
Condutividade	mS/ cm	400	-
Salinidade Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	200	-
Ferro	mg/l Fe <sup>2+/3+</sup>	0,1	-

Tabela 13 - Valores de referência para a água que circula dentro do sistema hidráulico (Roriz et al, 2010)

Parâmetro	Unidades	Intervalo de valores admissíveis	
		Máximo	Mínimo
pH	Esc. Sorensen	11	9,5
Dureza Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	54	-
Dureza Calcário	mg/l CaCO <sub>3</sub>	36	-
Dureza Magnésio	mg/l CaMg <sub>3</sub>	18	-
Cloretos	mg/l Cl	750	-
Condutividade	mS/ cm	6000	-
Salinidade Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	3000	-
Inibidor de Corrosão	mg/l NO <sub>2</sub>	2800	1600
Ferro	mg/l Fe <sup>2+/3+</sup>	0,1	-
Germens	UFC (*)	<1000	-
Fungos	UFC	0	-
Leveduras	UFC	0	-

(\*) UFC – Unidade de formadora de colónias.

Tabela 14- Valores de referência da água para consumo humano (Roriz et al, 2010)

Parâmetro	Unidades	Intervalo de valores admissíveis	
		Máximo	Recomendado
pH	Esc. Sorensen	9,5	6,5
Dureza Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>		500
Cloretos	mg/l Cl		25
Condutividade	mS/ cm		400
Salinidade Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	1500	
Ferro	mg/l Fe <sup>2+/3+</sup>	0,2	0,05
Nitritos		0,1	

A Legionella é sem duvida alguma a bactéria que mais impacte e medo gera, quando casos de contaminação das águas por bactérias surgem. Legionella Pneumophila tem cerca de 2 µm de comprimento e 0,6 µm de largura, originando a famosa doença do legionário.

Esta bactéria associa-se á contaminação do ar interior, porque facilmente formam um aerossol, com grande capacidade de penetração no sistema respiratória dos humanos, onde se aloja dando origem a pneumonias gravíssimas podendo ser fatal.

A forma mais eficaz de combater as bactérias é não dar espaço nem condições para que se desenvolva. A Legionella desenvolve-se entre uma gama de temperaturas desde os 20 °C até aos 50 °C (temperatura que começa a degenerar a bactéria).

Nos circuitos solares distingue-se as águas que circulam no circuito primário (isolado), das águas do circuito secundário (consumo) (Roriz et al, 2010).

No circuito primário, geralmente em cobre e por norma composto por uma mistura de água com glicol (anticongelante), o perigo de contaminação é muito menor e

despreocupante, isto porque, a temperatura de funcionamento vulgarmente ultrapassa os 70 °C (temperatura em que as bactérias morrem por completo) (Roriz et al, 2010).

No circuito secundário, onde se encontra a água armazenada para fins de AQS, é onde persiste o maior perigo, visto que a temperatura usual das águas fornecem as condições ideais para o desenvolvimento da bactéria (Tabela I5).

Tabela I5 - Resistência da Legionella Pneumophila à temperatura (Roriz et al, 2010)

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Estado</b>
< 20	As bactérias vivem em estado vegetativo
$20 \leq T < 35$	As bactérias começam a reproduzir-se
$35 \leq T < 48$	Temperatura óptima para o desenvolvimento da bactéria
50	90% das bactérias morrem ao fim de 2 horas
60	90% das bactérias morrem ao fim de 2 minutos
70	As bactérias morrem instantaneamente

A bactéria Legionella pode ser combatida através de tratamentos térmicos, físicos ou químicos á água.

Os tratamentos térmicos, são os mais usuais por serem economicamente mais acessíveis, para isso uma das soluções é elevar a temperatura da água do circuito secundário para 70 °C durante um período, não inferior a meia hora. Os tratamentos físicos divergem entre os condicionadores, uso de lâmpadas ultra violeta que através da radiação destroem o DNA das bactérias, e a ionização através de descargas eléctricas de baixa voltagem. Os tratamentos químicos dados à água são o uso de cloro, iões positivos de cobre e de prata ou dióxido de cloro, no entanto têm que ser cuidadosamente controlados para não corromper a qualidade da água e do equipamento inerente (Roriz et al, 2010).

## **ANEXO II**

### **Segurança nas instalações solar térmicas**

O Decreto-Lei 273/2003 sustem as prescrições mínimas de segurança e saúde no trabalho designadas pela Directiva Europeia 92/57/CEE, do Conselho, de 24 de Junho.

O artigo 5º deste mesmo DL prevê a obrigatoriedade de um Plano de Segurança e Saúde (PSS) em obras sujeitas a projecto onde existe trabalhos que impliquem riscos especiais. No caso de instalações solar térmicas, os riscos especiais que se validam contemplados no DL 273/2003 são os riscos de queda em altura e montagem e desmontagem de elementos cuja forma, peso ou dimensão exponham os trabalhadores a risco grave.

Por falta de regulamentação para as instalações de energia solar térmica, é usual concluir que não é obrigatório um projecto e por consequente não é valido a existência de um PSS. Facilmente observamos que uma instalação deste tipo de natureza, não se pode de forma alguma banalizar ou até mesmo não considerar a ocorrência de algum tipo de acidente de trabalho que possa acontecer. Assim é prudente e inteligente a existência a aplicabilidade de um Plano de Segurança e Saúde.

O Plano de Segurança e Saúde é um elemento que trata da gestão da segurança em obra, apontando todos os riscos de forma a minimizar as consequências do seu acontecimento.

O PSS planifica todas as medidas de protecção individual e colectiva, a distribuição das instalações, as regras de acesso e circulação de viaturas e pessoas, as regras de visitantes à obra, utilização de ferramentas e equipamentos, o modo de montar e desmontar instalações e andaimes, os cuidados a ter com produtos químicos, tóxicos ou explosivos, etc.

De forma a não comprometer a segurança, o PSS começa a ser elaborado na fase de projecto. Durante a obra, o PSS serve como um guia, adaptando-se aos equipamentos e trabalhadores.

Numa obra em que existem vários intervenientes (empregueiros, projectistas), implica a existência de um coordenador de segurança que elabore o PSS em projecto. Caso se trate de uma obra nova sem outro tipo de interveniente, a responsabilidade da elaboração do PSS em fase de projecto recai sobre o projectista.

Uma instalação solar térmica, requer ainda a existência de uma compilação técnica, contendo todos os elementos técnicos necessários à manutenção da obra de forma a ser feita com o menor risco possível.

**Os trabalhos plausíveis de medidas de segurança na execução de uma instalação solar térmica são:**

- Trabalhos em altura;
- Movimentação mecânica e manual de cargas;
- Montagem de andaimes ou estruturas metálicas;
- Utilização de fogo (soldadura);

**Os riscos inerentes a estes trabalhos são:**

- Risco de queda de nível (pequenas quedas);
- Risco de queda em altura;
- Risco de queda de objectos;
- Risco de esmagamento;
- Risco de corte;
- Risco de queimaduras de pele;
- Risco de incêndio;
- Risco de queimadura por UV (olhos e pele);

## **ANEXO III**

### **Legislação sobre segurança**

Em Portugal a legislação disponível sobre toda esta matéria é vasta e por vezes muito pouco explicativa, sendo por isso necessário recorrer por inúmeras vezes a técnicos especializados na análise e compreensão das leis.

Dentro de toda a legislação existente salienta-se a seguinte:

- Regime jurídico dos acidentes de trabalho e das doenças profissionais Decreto-Lei 100/97
- Condições de Segurança e Saúde no Trabalho em Estaleiros Temporários ou Móveis Decreto-Lei 273/2003 de 29 de Outubro
- Regulamento de segurança no trabalho da construção civil Dec – Lei 41 821, de 11 Agosto 1958
- Prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos a vibrações mecânicas. Decreto-Lei n. o 46/2006
- Prescrições mínimas de segurança e saúde dos trabalhadores na utilização de equipamentos de trabalho Dec-Lei 50/2005
- Prescrições mínimas de segurança à manutenção manual de cargas Dec.-Lei 330/93

## **ANEXO IV**

### **Fluxo de Trabalho**

O Fluxo de trabalhos a seguir numa instalação de um sistema solar térmico activo em norma deve seguir a seguinte ordem:

1. Visita prévia ao local de obra
2. Transporte do colector, deposito, estrutura suporte, ferramentas e acessórios para o local de obra, ou o mais próximo possível deste
3. Preparação e instalação dos equipamentos de segurança e elevação
4. Elevação dos colectores, depósito, estrutura de suporte, ferramentas e acessórios até ao local de final de instalação
5. Instalação da estrutura de suporte
6. Instalação do depósito
7. Instalação dos colectores
8. Instalação de acessórios e ligação da rede hidráulica

## **ANEXO V**

### **Manutenção**

Um sistema solar térmico quando bem instalado necessita de manutenção mínima durante o seu período de vida, que se estima ser superior a 15 anos. Recomenda-se que seja sempre efectuado um contrato de manutenção entre o proprietário e o instalador que contemple visitas periódicas e os termos de garantia pré-estabelecidos pela lei.

Para que o sistema solar térmico possa ser utilizado nos cálculos do RCCTE, uma das condições obrigatórias é o sistema dispor de uma garantia de manutenção por um período mínimo de 6 anos após data de instalação, esta garantia tem de ser comprovada por meio de um contrato de manutenção válido.

## ANEXO VI

### Características do sistema instalado no caso de estudo 2

#### Depósitos

O reservatório é fabricado em chapas de aço e testado com uma pressão de 12 bar. A cuba interior do depósito é em aço inoxidável AISI 316, completamente isolada termicamente com 5cm de cortiça comprimida.

A parte eléctrica situa-se sob uma caixa desmontável de plástico. A temperatura da água pode ser regulada através de um termóstato.

Graças ao eficaz isolamento os depósitos têm perdas de calor muito baixas, o que permite uma reserva de água quente em condições realmente económicas.

Modelo .....	Bsun
Volume Total .....	5250 l
Material .....	Médio condutor de calor
Posição .....	Vertical mural
Deflectores .....	Interiores
Coefficiente de perdas térmicas .....	70,20 W/K
Nº de Depósitos .....	25

#### Carga térmica de Segunda a Sexta

75 Ocupantes

Temperatura nominal de consumo ...	60°C (existem válvulas misturadoras)
Temp. de abastecimento ao depósito (°C) .....	15°C
Consumo diário .....	3000 l

#### Localização, posição e envolvente do sistema

Concelho .....	Funchal
Coordenadas nominais .....	32,7°N, 16,9°W
Obstruções do horizonte.....	Sem sombras
Orientação do painel .....	Inclinação 38° - Azimute 0°
Fracção solar média global.....	68,4%

Rendimento médio global anual do sistema.....	37%
Produtividade.....	543 kWh/[m <sup>2</sup> colector]
(informação recolhida do Solterm 5.1.3)	

## Estação Solar

O sistema de distribuição detêm de uma Estação solar.

O controlador solar com regulação integrada, da marca ISOFOTON, para utilização com os respectivos campos de colectores.

Possui:

- Bomba circuladora
- Válvulas de corte (ida e retorno)
- Termómetros (ida e retorno)
- Válvula de retenção
- Válvula de regulação de caudal e caudalímetro
- Válvula de segurança com purgador
- Conexão para o vaso de expansão
- Ligação para enchimento / descarga
- Isolamento térmico do conjunto

## Dados técnicos

### Colectores

Superfície exterior.....	2,25m <sup>2</sup>
Superfície de absorção.....	1,99m <sup>2</sup>
Selectividade – absorção.....	95%
Selectividade – emissividade.....	5%
Temperatura máxima de funcionamento.....	181°C
Pressão máxima de funcionamento.....	8bar
Largura.....	1081mm
Comprimento.....	2079mm
Peso.....	38,5kg

## Acumuladores

Capacidade.....	150l / 200l / 300l
Resistência eléctrica.....	2,5kW
Dimensões.....	530x1400mm / 630x1250mm / 630x1600mm
Isolamento.....	5cm de cortiça comprimida, coeficiente de condução de calor = 0,039 W/mK
Peso.....	50kg / 58kg / 65 kg
Pressão máxima circuito solar / água aquecimento.....	8/25bar
Perdas de calor.....	1,39 kWh/24h
Superfície serpentina solar.....	0,42m <sup>2</sup> / 0,75m <sup>2</sup> / 1,1m <sup>2</sup>
Perda de pressão serpentina solar .....	33 mbar
Equipamento de referência: BSolar-IX com Serpentinhas	

## Permutador

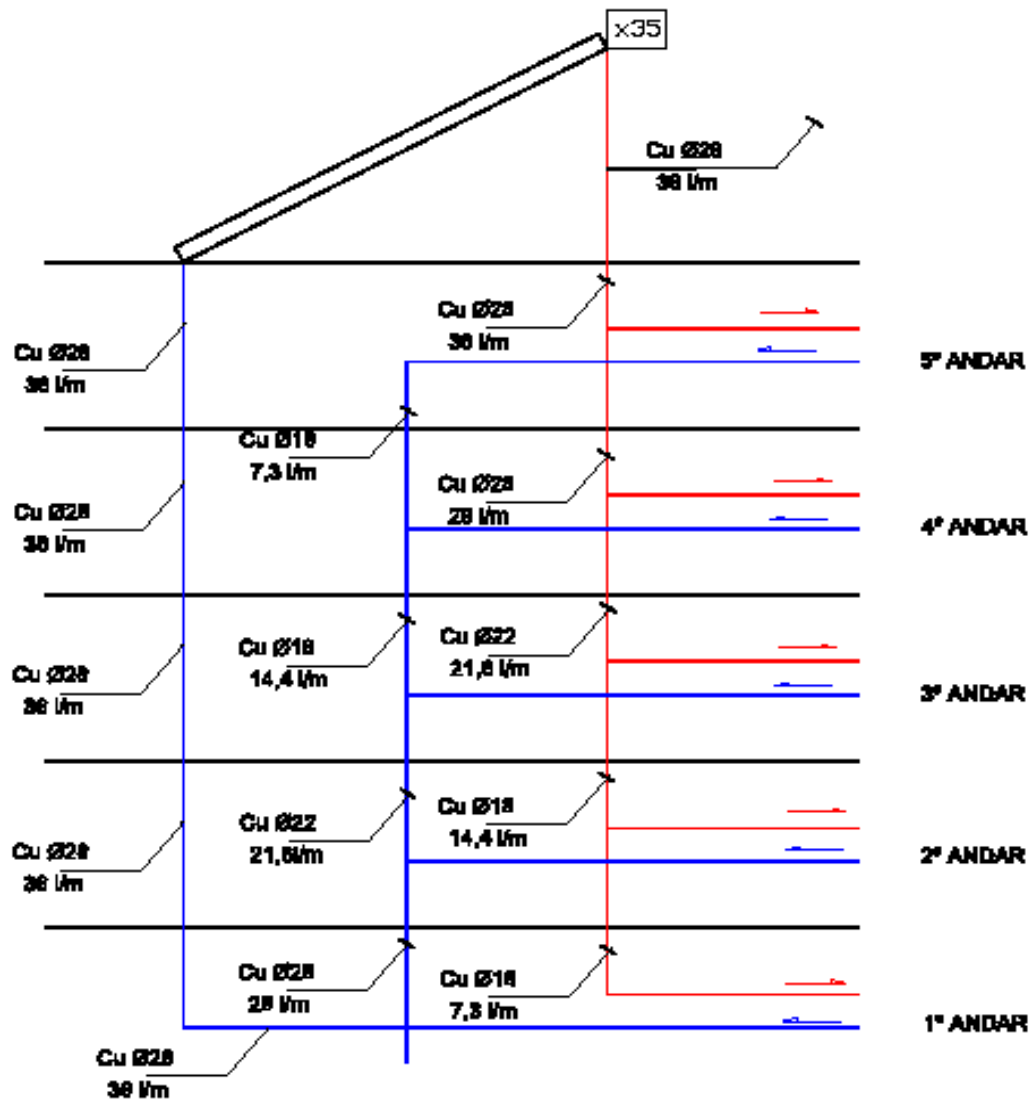
Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia .....	55%
Caudal no grupo painel/permutador .....	38,1 l/m <sup>2</sup> por hora (0,81 l/s)

## Dimensionamento do Circuito Hidráulico

### Tubagens

Espessura do tubo metálico.....	4,0 mm
Espessura do isolamento .....	30,0 para exterior e ramal principal 13mm para ramais de distribuição
Condutividade térmica do metal .....	380 W/m/K
Condutividade térmica do isolamento .....	0,030 W/m/K

# Esquema de tubagem.





## Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região



REGIÃO AUTÓNOMA DA  
MADEIRA



REPÚBLICA PORTUGUESA



UNIÃO EUROPEIA