



Mestrado em Engenharia Mecânica

---

# **Aquecimento e Produção de Águas Quentes Sanitárias para uma Vivenda com Energia Solar Térmica**

Trabalho de Projeto apresentado para a obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica

Especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas  
Térmicos

**Autor**

**Juan Diego Rivas Henriques**

**Orientador**

**Doutor Gilberto Cordeiro Vaz**

Professor Coordenador do Departamento Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

**Coimbra, janeiro, 2018**



*“When you open your mind to the impossible, sometimes you find the truth”*

*W.B*



## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor e orientador, Gilberto Cordeiro Vaz pela confiança, paciência e absoluta disponibilidade durante a realização do projeto.

Ao professor António Manuel de Morais Grade pelo apoio prestado.

A minha esposa, pelo apoio incondicional.

Aos meus pais, vocês são um verdadeiro exemplo de vida.

Ao meu irmão e cunhada, pela disponibilidade e apoio.



## RESUMO

O *International Energy Outlook 2016* prevê um aumento do consumo de energia mundial de 48% entre 2012 e 2040 (IEA,2016), este seria um valor nunca antes registado. Neste cenário se a produção de energia ao nível europeu não se tornar mais competitiva e eficiente, Portugal poderia estar numa posição vulnerável.

O Estado Português tem vindo a aplicar medidas para atingir as metas de consumo fontes de energia renovável do *climate & energy package 2020* (Diretiva 2009/28/CE). Os resultados têm sido muito favoráveis, atingindo bons resultados em fatores como a diminuição do índice de dependência energética e redução de energia primária. Apesar disso, será necessário seguir incentivando políticas que ajudem a atingir os objetivos.

Segundo estudos da ADENE, a produção de água quente sanitária em edifícios domésticos tem um fator de consumo de 23,5% e 22% é destinado para aquecimento ambiente (ADENE, 2016). Estes dois fatores são considerados como os mais importantes no consumo energético de uma vivenda. É importante destacar que, dos pontos de consumo energético de uma vivenda estes dois estão entre os melhores para aplicação de energias alternativas. Entende-se assim que o estudo e a constante procura de otimização dos sistemas de produção de AQS e aquecimento central torna-se uma necessidade no contexto nacional e europeu.

A realização do projeto pretende definir um conjunto de sistemas para produção de águas quentes sanitárias e produção de água quente para aquecimento central (pavimento radiante), com tecnologia solar térmica para uma moradia situada na Cidade do Fundão.

O relatório é composto por vários capítulos que abarcam a apresentação do caso, cálculo das necessidades para aquecimento e produção de águas quentes sanitárias, o dimensionamento dos sistemas e a seleção dos equipamentos com o *Software CYPE ingenieros*.

Seguidamente é efetuada uma análise energética com os *Softwares* SCE.ER e Solterm, com o objetivo de determinar o comportamento energético da instalação e o rendimento global.

Finalmente é realizada uma análise económica para verificar a viabilidade do projeto. No ultimo capítulo são apresentadas as conclusões e possíveis recomendações.

Este documento foi escrito ao abrigo do Novo Acordo Ortográfico.

**Palavras-chaves:** Energia Solar Térmica; Produção de Águas Quentes Sanitárias; Pavimento radiante.





## ABSTRACT

The International Energy Outlook 2016 prognosticate an increase in global energy consumption from 48% between 2012- 2040 (IEA, 2016), this would be an increase never recorded. In this scenario, if energy production at European Union does not become more competitive and efficient Portugal could be in a vulnerable position.

The Portuguese State has been implementing measures to achieve the targets for consumption of renewable energy systems of the climate & energy package 2020 (Directive 2009/28 / EC). The results have been very promising, reaching good results in factors such as the decrease in the rate of energy dependence and reduction consumption of primary energy. However, it will be necessary to continue promoting policies that help us achieve the European targets.

According to ADENE studies, the production of domestic hot water in domestic buildings has a consumption factor of 23.5% and 22% is destined for space heating (ADENE, 2016). These are the most important in the energy consumption in domestic applications. It is important to highlight the points of energy consumption on domestic use, and these two are among the best for alternative energy application. It is understood that the study and constant search for optimization of the production systems of central heating and the production of domestic hot water in domestic buildings becomes a necessity in the national and European context.

The report consists of several chapters covering the presentation of the case, calculating the requirements for heating and domestic hot water and sizing systems to choose the equipment with the CYPE Software.

Then, is performed an energy analysis with the Softwares SCE.ER and Solterm, to determine the energy performance of the installation.

Finally, an economic analysis is carried out to verify the viability of the project. In the last chapter the conclusions and possible recommendations are presented.

**Key-words:** Solar Thermal Energy; Heating and Domestic Hot Water; Underfloor heating.



---

## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	v
<b>RESUMO</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	xvii
<b>ABREVIATURAS</b> .....	xix
<b>SIMBOLOGIA</b> .....	xxi
<b>1 – INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivos do Projeto .....	1
1.3. Estrutura Geral do Projeto .....	1
<b>2 -ENQUADRAMENTO TEÓRICO</b> .....	3
2.1. Sistema solar térmico para preparação de água quente sanitária.....	3
2.1.1. Sistema com circulação natural.....	3
2.1.2. Sistema com circulação forçada.....	4
2.2. Descrição do sistema e componentes de um sistema de produção de AQS com coletores solares .....	5
2.3. Tipos de coletores solares .....	5
2.3.1. Coletores solares planos sem cobertura .....	5
2.3.2. Coletores solares planos com cobertura.....	6
2.3.3. Coletores CPC.....	6
2.3.4. Coletores de tubo de vácuo .....	7
2.4. Geradores de calor .....	8
2.4.1. Caldeiras tradicionais .....	8
2.4.2. Caldeiras com condensação .....	9
2.4.3. Caldeiras de biomassa .....	9
2.5. Depósito de acumulação .....	10
2.6. Equipamentos de impulsão .....	11
2.6.1. Bomba circuladora solar.....	11
2.6.2 Bomba circuladora para aquecimento.....	12
2.6.3. Grupo de circulação hidráulico .....	12
2.7. Unidade terminal pavimento radiante.....	13
2.7.1. Tipo de distribuição dos tubos .....	13
2.7.2. Sistema de coletores.....	14

---

2.8. Elementos de segurança e controlo .....	15
2.8.1. Vaso de expansão .....	15
2.8.2. Válvula de corte .....	16
2.8.3. Válvulas de retenção .....	16
2.8.4. Válvulas de regulação .....	16
2.8.5. Válvula de segurança .....	16
2.8.6. Purgadores de ar .....	17
2.9. Possíveis configurações do sistema solar térmico .....	17
2.9.1. Produção com apoio energético instantâneo .....	17
2.9.2. Produção com apoio energético no acumulador solar .....	18
2.9.3. Produção com energia de apoio num segundo acumulador .....	18
2.10. <i>Software</i> de dimensionamento térmico .....	18
2.10.1. <i>CYPE</i> .....	18
2.10.2. <i>Solterm</i> .....	19
2.10.3. <i>SCE.ER</i> .....	19
2.11. Características da instalação .....	19
2.11.1. Orientação do coletor solar .....	19
2.11.2. Inclinação do coletor solar .....	19
2.11.3. Sombreamentos na instalação .....	20
<b>3 – DIMENSIONAMENTO DA INSTALAÇÃO</b> .....	<b>23</b>
3.1. Descrição da instalação .....	23
3.2. Definição dos espaços da instalação .....	23
3.3. Localização geográfica .....	23
3.4. Dados da localização geográfica .....	24
3.5. Delimitação da envolvente .....	25
3.6. Cálculo da energia útil necessária para a preparação de AQS .....	26
3.7. Determinação do zonamento climático .....	27
3.8. Orientação da instalação .....	28
3.9. Sombreamento da instalação .....	29
3.10. Ângulo de inclinação .....	29
3.11. Definição de elementos construtivos da moradia .....	29
3.11.1. Envolvente exterior .....	30
3.11.2. Paredes interiores .....	30
3.11.3. Cobertura horizontal .....	31

---

---

3.11.4. Pavimento térreo .....	32
3.11.5. Lajes térreas.....	32
3.11.6. Janelas .....	33
3.11.7. Pontes térmicas lineares .....	33
3.12. Dimensionamento com o <i>Software CYPE Ingenieros</i> .....	33
3.12.1. Cálculo das cargas térmicas para climatização .....	35
3.12.2. Cálculo das cargas térmicas para aquecimento .....	35
3.13. Dimensionamento do sistema para produção de AQS.....	36
3.13.1 Dimensionamento do circuito primário.....	36
3.13.2. Cálculo do diâmetro das tubagens.....	37
3.13.3. Cálculo de perda de carga no circuito primário .....	38
3.13.4. Seleção da bomba de circulação.....	39
3.13.5. Seleção do vaso de expansão .....	40
3.13.6. Seleção do fluido térmico.....	40
3.13.7. Dimensionamento do circuito secundário – rede de distribuição de AQS.....	40
3.13.8. Cálculo do caudal acumulado .....	40
3.14. Dimensionamento do sistema de água quente para pavimento radiante.....	44
3.14.1. Coletor solar .....	44
3.14.2. Cálculo de distância entre os coletores .....	45
3.14.3. Modo de ligação dos coletores .....	46
3.14.4. Cálculo das perdas de carga .....	47
3.14.5. Perdas de cargas na serpentina do depósito .....	47
3.14.6. Perdas de carga nos coletores solares.....	47
3.14.7. Perdas de carga na tubagem .....	48
3.14.8. Escolha do grupo de circulação hidráulico .....	49
3.14.9. Dimensionamento do circuito de pavimento radiante.....	50
3.14.10. Localização dos coletores e instalação.....	51
3.14.11. Cálculo do comprimento dos circuitos.....	52
3.14.12. Cálculo da temperatura de impulsão da água.....	52
3.14.13. Cálculo do caudal de água para cada circuito .....	52
3.14.14. Resumos dos cálculos do dimensionamento hidráulico do sistema de pavimento radiante .....	54
3.15. Equipamentos da instalação .....	54
3.15.1. Vaso de expansão (Solar).....	54
3.15.2. Depósito de acumulação.....	55

---

---

3.15.3. Grupo de circulação hidráulico .....	55
3.15.4. Caldeira de condensação .....	56
3.15.5. Tubagem.....	57
3.15.6. Elementos de segurança .....	58
3.15.7. Pavimento radiante.....	58
3.15.8. Coletor modular.....	58
3.15.9. Tubos de polietileno reticulado .....	59
3.15.10. Bomba de circulação .....	59
3.15.11. Unidade de controlo .....	59
3.15.14. Elementos de segurança .....	60
3.16 Fluxograma Geral da Instalação .....	61
<b>4 - ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÓMICA.....</b>	<b>63</b>
4.1. Análise energética do Sistema de produção de AQS.....	63
4.1.1 Simulação com <i>Software Solterm</i> .....	63
4.1.2. Simulação com <i>Software SCE.ER</i> .....	64
4.2. Análise energética do sistema de produção de água quente - Aquecimento .....	65
4.3. Estimativa orçamental.....	67
4.4. Análise económica.....	67
<b>5 – CONCLUSÕES.....</b>	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>77</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Sistema solar térmico para preparação de AQS- Termossifão (Junkers, 2015).....	3
Figura 2. 2 Diagrama do sistema com circulação forçada (Caleffi, 2006).....	4
Figura 2. 3 Coletor solar plano sem cobertura (Caleffi, 2006).....	5
Figura 2. 4 Coletor solar plano com cobertura (Caleffi, 2006).....	6
Figura 2. 5 Diagrama da estrutura de um coletor CPC (SolarFocus, 2013).....	7
Figura 2. 6 Imagem ilustrativa de bateria de tubos de vácuo (Archi Expo,2015).....	8
Figura 2. 7 Imagem ilustrativa do coletor de tubo de vácuo por escoamento direto (Tectonica, 2015).....	8
Figura 2. 8 Imagem ilustrativa duma caldeira com condensação (Vulcano, 2011).....	9
Figura 2. 9 Imagem ilustrativa de uma caldeira a biomassa (Ahorraclima, 2017).....	10
Figura 2. 10 Imagem ilustrativa dos acumuladores (Vulcano, 2014).....	11
Figura 2. 11 Imagem ilustrativa de uma bomba circuladora solar (Wilco, 2015).....	12
Figura 2. 12 Estrutura geral do Grupo de AGS (Vulcano,2015).....	12
Figura 2. 13 Gráficos de distribuição da temperatura para diferentes sistemas de aquecimento (Macolis FR, 2016).....	13
Figura 2. 14 Tipos de distribuição de tubos para pavimento radiante (Barbi, 2014).....	13
Figura 2. 15 Composição do pavimento radiante (Giacomini, 2015).....	14
Figura 2. 16 Imagem ilustrativa de um coletor para pavimento radiante (Uponor, 2013).....	15
Figura 2. 17 Imagem Ilustrativa de uma válvula de retenção de esfera (Zetkama, 2016).....	16
Figura 2. 18 Imagem ilustrativa do purgador de ar para circuito solar (Honeywell, 2014)....	17
Figura 2. 19 Diagrama da produção instantânea com apoio energético (LNEG, 2007).....	17
Figura 2. 20 Diagrama da produção com energia de apoio num segundo acumulador (LNEG, 2007).....	18
Figura 2. 21 Intervalos de ângulos de inclinação a nível mundial (House Roof , 2015).....	20
Figura 2. 22 Exemplo de sombreamento (IDEC, 2017).....	21
Figura 3. 1 Foto da localização de moradia ( <i>Imagens ©2017 Google Maps</i> ).....	24
Figura 3. 2 Foto real da localização de moradia ( <i>Imagens ©2017 Google Maps</i> ).....	24
Figura 3. 3 Vista de planta da instalação (Adaptado <i>AutoCAD</i> ).....	25
Figura 3. 4 Vista de laterais da instalação (Adaptado <i>AutoCAD</i> ).....	25
Figura 3. 5 Imagem das cores para a delimitação da envolvente.....	26
Figura 3. 6 Imagem da simulação com folha de cálculo do LNEG (LNEG, 2016).....	28
Figura 3. 7 Imagem Ilustrativa da Orientação da Instalação (Software <i>CYPE ingenieros</i> ).....	29
Figura 3. 8 Modelo da Envolvente Exterior (Adaptado do Software <i>CYPE Ingenieros</i> ).....	30
Figura 3. 9 Modelo da parede interior (Adaptado do Software <i>CYPE Ingenieros</i> ).....	31
Figura 3. 10 Modelo da Cobertura (Adaptado do Software <i>CYPE Ingenieros</i> ).....	31
Figura 3. 11 Modelo do pavimento térreo (Adaptado do Software <i>CYPE Ingenieros</i> ).....	32
Figura 3. 12 Modelo das lajes térreas (Adaptado do <i>Software CYPE Ingenieros</i> ).....	33
Figura 3. 13 Imagem da vista 3D da instalação ( <i>Software CYPE Ingenieros</i> ).....	34
Figura 3. 14 Esquema do circuito primário para Produção de AQS ( <i>Software CYPE Ingenieros</i> ).....	37
Figura 3. 15 Imagem da vista 3D da instalação com sistema de produção de AQS ( <i>Software CYPE Ingenieros</i> ).....	37
Figura 3. 16 Imagem do coletor JUNKERS F1/200/FKT-2 (Junkers, 2017).....	44

---

Figura 3. 17 Distância aconselhada entre painéis (Caleffi, 2006) .....	45
Figura 3. 18 Ligação mista de coletores solares ( <i>Software AutoCAD</i> ) .....	46
Figura 3. 19 Gráfica de perda de carga do Depósito S750 ZB-Solar (Vulcano, 2014).....	47
Figura 3. 20 Gráfico para escolha do grupo de circulação hidráulico (Vulcano, 2015).....	50
Figura 3. 21 Ilustração da instalação do pavimento radiante ( <i>Software CYPE Ingenieros</i> )....	51
Figura 3. 22 Imagem ilustrativa do vaso expansão para instalações solares com membrana em diafragmada da marca Caleffi (Caleffi, 2006).....	55
Figura 3. 23 Imagem ilustrativa do grupo AGS 10 Vulcano (Vulcano,2015).....	56
Figura 3. 24 Caldeira Vulcano ZSB 22-3C 23 (Vulcano, 2011) .....	57
Figura 3. 25 Sistema de controlo Vulcano ZSB 22-3C 23 (Vulcano,2011).....	57
Figura 3. 26 Tubo de cobre com isolamento de espuma (Istock, 2016).....	58
Figura 3. 27 Coletor Vario Plus UPONOR IBÉRIA (UPONOR, 2013).....	58
Figura 3. 28 Bomba de circulação modelo Ego T Easy 32/100 "EBARA" (EBARA,2014) ...	59
Figura 3. 29 Unidade de controlo Smatrix Wave PLUS I-167, "UPONOR IBERIA" (UPONOR, 2013) .....	60
Figura 3. 30 Cabeça eletrotérmica Vario Plus 24V UPN (UPONOR, 2013).....	60
Figura 4. 1 Horas de funcionamento em função dos meses do inverno .....	66
Figura 4. 2 Gráfico de comparação da energia térmica fornecida com a variação do angulo de inclinação.....	66



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2. 1 Ângulos de inclinação recomendados (Grade, 2017).....	20
Tabela 3. 1 Características dimensionais da instalação.....	23
Tabela 3. 2 Dimensões de janelas da Instalação (Software CYPE ingenieros).....	33
Tabela 3. 3 Parâmetros Gerais (Software CYPE Ingenieros).....	34
Tabela 3. 4 Resumo dos cálculos das cargas para aquecimento por compartimentos (Software CYPE ingenieros).....	35
Tabela 3. 5 Resumo dos cálculos das cargas para aquecimento por conjunto (Software CYPE ingenieros).....	35
Tabela 3. 6 Resumo dos cálculos das cargas para arrefecimento por compartimentos (Software CYPE ingenieros).....	36
Tabela 3. 7 Resumo dos cálculos das cargas para arrefecimento por conjunto (Software CYPE ingenieros).....	36
Tabela 3. 8 Dados para escolha da bomba circuladora.....	39
Tabela 3. 9 Propriedades de Fluido Térmico (Software CYPE ingenieros).....	40
Tabela 3. 10 Valores mínimos de caudais para o caudal acumulado.....	41
Tabela 3. 11 Tabela e cálculo dos Di comerciais e velocidade corrigida (Rede Fria).....	42
Tabela 3. 12 Tabela e cálculo dos Di comerciais e velocidade corrigida (Rede AQS).....	42
Tabela 3. 13 Resumo cálculos para a rede de água fria e de AQS.....	43
Tabela 3. 14 Dados técnicos e características do Coletor solar (Junkers, 2013).....	44
Tabela 3. 15 Tabela de dados geral do circuito primário da instalação.....	48
Tabela 3. 16 Tabela de acessórios da tubagem do circuito primário.....	48
Tabela 3. 17 Tabela dos resultados das perdas de carga no circuito primário.....	49
Tabela 3. 18 Dados de temperatura para as tipologias dos compartimentos (Software CYPE).....	50
Tabela 3. 19 Dados de temperatura para as tipologias de compartimentos.....	51
Tabela 3. 20 Resumos das características físicas dos circuitos hidráulicos.....	54
Tabela 3. 21 Resumos dos cálculos e energético e hidráulicos dos circuitos.....	54
Tabela 3. 22 Tabela de especificações técnicas dos depósitos de acumulação (Vulcano, 2014).....	55
Tabela 3. 23 Especificações técnicas do conjunto UPONOR (UPONOR, 2013).....	59
Tabela 4. 1 Resumo da distribuição energética para sistema Produção de AQS (Software Solterm).....	63
Tabela 4. 2 Resumo dos índices de radiação (Software Solterm).....	64
Tabela 4. 3 Resumo dos dados técnicos da instalação (Software Solterm).....	64
Tabela 4. 4 Resumo da distribuição energética para sistema Produção de AQS (Software SCE.ER).....	64
Tabela 4. 5 Resumo dos dados técnicos da instalação (Software SCE.ER).....	65
Tabela 4. 6 Resumo da distribuição energética para sistema de Produção água quente para aquecimento (Software Solterm).....	65
Tabela 4. 7 Estimativa Orçamental (Adaptado do Software CYPE ingenieros).....	67
Tabela 4. 8 Características técnicas do Sistema de produção de AQS e o Sistema de produção água quente para aquecimento (Software Solterm).....	68

Tabela 4. 9 Síntese dos resultados para o Sistema de produção água quente para aquecimento (Software Solterm) .....	68
Tabela 4. 10 Síntese dos resultados para o Sistema de produção água quente para aquecimento (Software Solterm) .....	68

**ABREVIATURAS**

ADENE	Agência para a Energia
AGS	Grupo de circulação solar para sistemas solares térmicos
APTA	Associação de Produtores de Tubos e Acessórios
AQS	Águas Quentes Sanitárias
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Acondicionado
CYPE	<i>Software CYPE ingenieros</i>
CYPE CAD	Módulo <i>CYPE CAD</i>
CYPETHERM	Módulo <i>CYPETHERM</i>
CPC	<i>Compound Parabolic Concentrator</i>
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
DHW	<i>Domestic Hot Water</i>
EN	<i>European Norm</i>
EPS	<i>Expanded Polystyrene Insulation</i>
ETICS	<i>External Thermal Insulation Composite Systems</i>
FER	Fontes de Energia Renovável
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IS	Instalação Sanitária
IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
I.S.O.	<i>International Organization for Standardization</i>
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
NP	Normativa Portuguesa
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
PCI	Poder calorífico Inferior
PCS	Poder calorífico Superior
PEX	Polietileno reticulado
PTL	Pontes Térmicas Lineares
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RES	<i>Renewable Energy Systems</i>
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
SCE.ER	<i>Software</i> de dados e cálculos padronizados para sistemas de aproveitamento de Energias Renováveis
SolTerm	<i>Software</i> Solar Térmico
T2	Tipologia 2
XPS	<i>Extruded polystyrene</i>



**SIMBOLOGIA**

A	Área	[m <sup>2</sup> ]
A1	Coefficiente de perda	[adimensional]
AF	Superfície coberta pelo circuito de piso radiante	[m <sup>2</sup> ]
C	Caudal	[l/s]
Ce	Coefficiente de expansão do fluido	[adimensional]
CP	Coefficiente de pressão	[adimensional]
Cw	Calor específico da água	[kJ/K.kg]
D	Diâmetro da tubagem	[m]
D	Distância aconselhada entre coletores	[m]
Di	Diâmetro interior do troço	[mm]
E	Separação entre tubagens	[m]
Feh	Fator de eficiência hídrica	[adimensional]
H	Comprimento do coletor	[m]
H	Desnível do troço da tubagem	[m]
I	Irradiação solar	[W/m <sup>2</sup> ]
J	Perdas de cargas unitárias	[kPa/m]
KH	Constante	[adimensional]
L	Comprimento da tubagem	[m]
L	Distância entre o coletor e a área a climatizar	[m]
L eq	Comprimento equivalente da tubagem	[m]
M	Viscosidade do fluido	[N.s/m <sup>2</sup> ]
N	Número total de coletores	[adimensional]
N	Número convencional de ocupantes de cada fração autónoma	[adimensional]
Nd	Número anual de dias de consumo de AQS	[dias]
No	Fator óptico	[adimensional]
P	Potência elétrica	[kW]
Pf	Pressão final (Troço final)	[kPa]
Pfc	Pressão final corrigida	[kPa]

---

Pi	Pressão no início do troço da tubagem	[kPa]
P <sub>mín. A</sub>	Pressão mínima de abastecimento	[kPa]
Q	Densidade de fluxo térmico	[W/m <sup>2</sup> ]
Q <sub>c</sub>	Caudal calculado	[l/s]
Q <sub>t</sub>	Caudal total	[l/s]
Q <sub>troço</sub>	Caudal do troço	[l/s]
Re	Valor do número de Reynolds	[adimensional]
R <sub>o</sub>	Resistência térmica parcial ascendente do pavimento	[m <sup>2</sup> .K/W]
R <sub>u</sub>	Resistência térmica parcial descendente do pavimento	[m <sup>2</sup> .K/W]
R <sub>α,4</sub>	Resistência térmica do teto	[m <sup>2</sup> .K/W]
R <sub>λ,1</sub>	Resistência térmica do isolante	[m <sup>2</sup> .K/W]
R <sub>λ,2</sub>	Resistência térmica da laje	[m <sup>2</sup> .K/W]
R <sub>λ,3</sub>	Resistência térmica do teto falso	[m <sup>2</sup> .K/W]
R <sub>λ,B</sub>	Resistência térmica do revestimento do pavimento	[m <sup>2</sup> .K/W]
S	Salto de temperatura	[°C]
S <sub>u</sub>	Espessura	[m]
T <sub>a</sub>	Temperatura ambiente	[°C]
T <sub>e</sub>	Temperatura média	[°C]
V	Velocidade do fluido	[m/s]
V	Velocidade de escoamento	[m/s]
V <sub>t</sub>	Volume útil necessário	[l]

$\Delta T$	Aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS	[°C]
$\Delta l$	Perda de localizadas	[m.c.a]
$\Delta P$	Perda de carga	[m.c.a]
$\Delta P_t$	Perda de pressão no conjunto de captação	[m.c.a]
$\Theta_i$	Temperatura do compartimento	[°C]
$\Theta_u$	Temperatura do compartimento inferior	[°C]
$\Lambda$	Coefficiente de atrito	[adimensional]
$\Lambda_u$	Condutibilidade térmica da camada de suporte	[K.m/W]





## 1 – INTRODUÇÃO

### 1.1. Enquadramento

No contexto Europeu atual a dependência energética e os distintos impactos ambientais têm incentivado uma constante procura de energias alternativas para satisfazer as necessidades energéticas nos edifícios. A legislação europeia e especificamente a Portuguesa, têm imposto regulamentos e critérios para tornar os edifícios mais eficientes.

A memória descritiva e justificativa refere-se a um sistema de produção de AQS e Aquecimento (por pavimento radiante) para uma moradia situada na Cidade do Fundão, no Concelho de Castelo Branco, com o objetivo de conseguir garantir os parâmetros de conforto térmico, necessidades para AQS e que, ao mesmo tempo, seja um sistema de aplicação viável e que cumpra com os critérios da legislação portuguesa em vigor.

Na sequência do exposto, justifica-se a importância da aplicação de fontes alternativas de energia em edifícios habitacionais para satisfazer as necessidades energéticas. No contexto atual nacional, a análise da viabilidade e desenvolvimento deste tipo de projetos torna-se cada vez mais importante.

### 1.2. Objetivos do Projeto

O estudo a realizar consiste basicamente na análise da implementação de um sistema solar térmico para o fornecimento de AQS e apoio ao sistema de aquecimento por pavimento radiante numa moradia.

O estudo vai ser desenvolvido de forma que seja possível atingir os seguintes objetivos:

- a) Avaliação térmica do caso de estudo através do *Software CYPE Ingenieros* (análise da envolvente, necessidades energéticas para aquecimento e produção de AQS).
- b) Análise e dimensionamento de dois sistemas solares térmicos que consigam satisfazer as necessidades de AQS e aquecimento por pavimento radiante, considerando todos os equipamentos e sistemas complementares que poderá precisar.
- c) Avaliação da viabilidade de aplicação do projeto com base no estudo técnico e económico das propostas realizadas.

### 1.3. Estrutura Geral do Projeto

No capítulo 1 efetua-se o enquadramento do trabalho referindo a importância que têm o tema do projeto e a motivação do caso de estudo. Apresentam-se ainda os objetivos principais do projeto que devem ser atingidos.

No segundo capítulo efetua-se o enquadramento teórico onde se apresentam os conceitos básicos, os tipos de tecnologias aplicáveis e os equipamentos e configurações.

O Capítulo 3 corresponde a uma apresentação mais aprofundada do caso de estudo. São definidos todos os aspetos essenciais para este projeto, como são: a tipologia do caso; características construtivas; possíveis soluções para aplicação no caso de estudo. Também são efetuados os cálculos de base para execução do projeto.

Os cálculos e análise do projeto são desenvolvidos no Capítulo 4 onde, usando ferramentas de cálculo (*Softwares*) consegue-se analisar se as ideias que foram apresentadas nos capítulos anteriores se podem aplicar. Neste capítulo, efetua-se a simulação térmica da moradia pelo *CYPE CAD TERM*, a simulação do sistema solar térmico com os *Softwares SCE.ER* e *Solterm*. Na última parte deste capítulo apresenta-se uma análise técnica e económica que tem basicamente o objetivo de confirmar se verdadeiramente todas as propostas apresentadas no projeto são viáveis.

Por último, no Capítulo 5, apresentam-se as conclusões do trabalho e uma análise das possíveis melhorias que poderiam ser consideradas. Na última secção são apresentados os anexos, material de consulta que fundamenta o projeto e que é indispensável à sua apresentação para o entendimento do projeto.

## 2 -ENQUADRAMENTO TEÓRICO

### 2.1. Sistema solar térmico para preparação de água quente sanitária

O conceito básico de um sistema típico de preparação de águas quentes sanitárias é o de um sistema constituído por dois circuitos hidráulicos, onde se faz a troca de energia térmica por meio de um permutador de calor e outro corresponde ao circuito de distribuição da água quente.

No circuito primário circula o fluido de trabalho do coletor solar que recebe a energia da radiação solar (normalmente mistura glicolada). No circuito secundário circula a água para o consumo. Esta água provém da rede e vai ao permutador de calor onde faz a troca de calor com o fluido do circuito primário. Na figura 2.1 mostra-se uma imagem básica de um sistema simples para a preparação de AQS (Sistema de termossifão).



Figura 2. 1 Sistema solar térmico para preparação de AQS- Termossifão (Junkers, 2015)

#### 2.1.1. Sistema com circulação natural

Este tipo de sistema aproveita a alteração da densidade que apresenta o fluido de trabalho em função da variação de temperatura. Os componentes são: coletor solar; depósito acumulador; e alguns elementos de segurança (válvulas, purgadores). No funcionamento, o fluido de trabalho torna-se menos denso o que possibilita que suba do coletor até ao depósito. Uma vez efetuada a troca de calor, o fluido de trabalho arrefece e desce até ao coletor, iniciando assim um novo ciclo.

Este sistema é muito vantajoso e económico, uma vez que tem ausência de elementos mecânicos ou peças móveis o que aumenta a fiabilidade e reduz a manutenção. No entanto, tem limitações no que respeita à instalação, já que devido ao princípio de funcionamento, obrigatoriamente o depósito acumulador deve estar situado numa cota superior ao coletor solar.

### 2.1.2. Sistema com circulação forçada

A principal diferença que apresenta este tipo de sistema em comparação com o anterior é que a circulação do fluido de trabalho do circuito primário é efetuada com o auxílio de uma bomba circuladora. Embora a troca de calor seja feita da mesma forma que no sistema anterior (permuta de calor no depósito acumulador) este sistema tem a vantagem de poder deslocar o depósito acumulador para qualquer lugar no interior da instalação (cave, sótão, arrumos). Tem uma bomba circuladora que é a encarregada de manter a circulação do fluido no circuito primário. Integra duas sondas, uma no coletor e outra no depósito. Quando a temperatura da sonda do coletor é maior do que o acumulador (diferencial de aproximadamente 4 °C) envia um sinal para ativação da bomba circuladora.

Claramente, torna-se um sistema mais eficiente em comparação com o de circulação natural, que permite o apoio em diversas tecnologias. No entanto, é um sistema com maior manutenção, não é autorregulado e é mais caro. Na figura 2.2 apresenta-se o diagrama do sistema com circulação forçada.

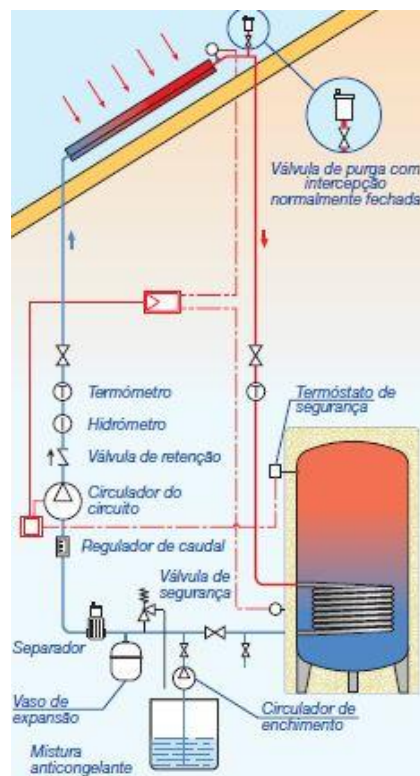


Figura 2. 2 Diagrama do sistema com circulação forçada (Caleffi, 2006)

## 2.2. Descrição do sistema e componentes de um sistema de produção de AQS com coletores solares

Denomina-se coletor solar aos dispositivos que efetuam a captação da energia solar. Estão projetados para aproveitar a energia radiada pelo sol e fazer conversão em energia térmica que pode ser usada em diversos campos como o doméstico (AQS, climatização) ou industrial (processos de fabrico, apoio de sistemas térmicos).

Os coletores solares estão divididos em dois grandes grupos; os de baixa temperatura normalmente usados para produção de AQS e aquecimento e os de alta temperatura para apoio a outros sistemas de produção de energia elétrica.

## 2.3. Tipos de coletores solares

### 2.3.1. Coletores solares planos sem cobertura

Os coletores planos sem cobertura consistem basicamente num circuito tubular interligado a outro tubo de maior diâmetro. É um sistema bastante simples e económico. O sistema não tem nenhum tipo de isolamento ou cobertura e, por esta razão, apresentam grandes perdas de calor. São usados principalmente para aquecimento de água (piscicultura, aquecimento de água para lavagem de automóveis) dado a que a temperatura máxima atingida pelos coletores planos sem cobertura é entre os 40 °C - 45 °C. Na figura 2.3 se ilustra um coletor solar plano sem cobertura.

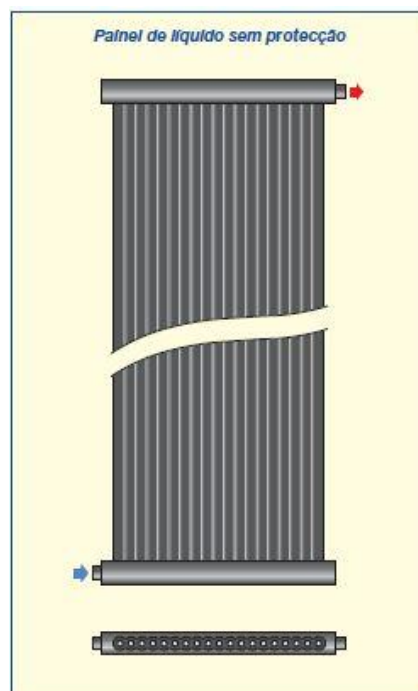


Figura 2. 3 Coletor solar plano sem cobertura (Caleffi, 2006)

### 2.3.2. Coletores solares planos com cobertura

O coletor plano com cobertura é o mais usado na Europa para o aquecimento de água e para aquecimento ambiente. A constituição deste sistema consiste fundamentalmente numa caixa coletora com um isolamento térmico na parte interior, um absorvedor e uma cobertura transparente.

A radiação passa pela cobertura transparente, que tem também a funcionalidade de gerar um efeito de estufa reduzindo as perdas de calor. A radiação é captada pela placa absorvedora e a energia térmica é transmitida ao fluido de trabalho (normalmente uma mistura glicolada).

Estes coletores fazem o aproveitamento da radiação solar direta e da radiação difusa. São dispositivos simples e não têm partes móveis, mas só conseguem atingir temperaturas máximas de cerca de 60 °C. Na figura 2.4 se ilustra um coletor solar plano com cobertura.

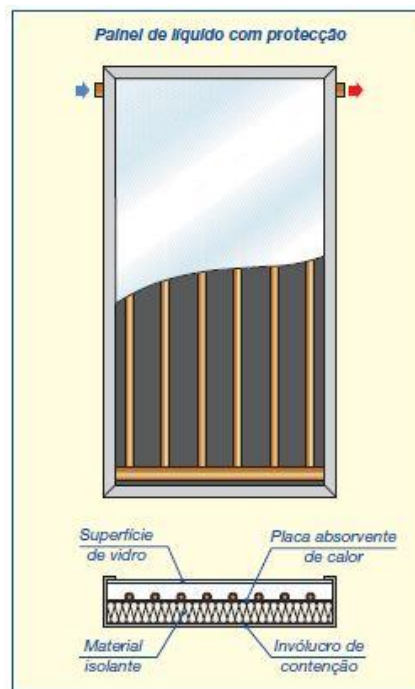


Figura 2. 4 Coletor solar plano com cobertura (Caleffi, 2006)

### 2.3.3. Coletores CPC

Os coletores CPC (compound parabolic concentrator) têm a vantagem de reunir os princípios de funcionamento do coletor plano e do coletor parabólico. Como pode ser observado na Figura 2.5, o coletor está composto por um absorvedor (superfície absorvedora) e uma superfície tubular parabólica (superfície refletora). Existe ainda a variante do absorvedor possuir uma dupla alheta para aumentar a área do absorvedor.

Os raios solares incidem na superfície parabólica e são refletidos ao absorvedor, a dupla alheta acaba por ter captação solar nas duas fases, na fase superior por incidência direta dos raios

solares e na fase inferior pela superfície refletora, aumentando ainda mais a temperatura do fluido e diminuindo as perdas térmicas.

As principais vantagens deste tipo de coletor são a possibilidade de instalação em estrutura fixas porque o princípio de funcionamento permite captar a radiação difusa de varias direções. Apresenta também menos perdas térmicas, menor inércia térmica e maiores temperaturas de trabalho em comparação com os coletores planos.

A quantidade de coletores deste tipo no mercado é limitada por que são mais caros e também apresentam uma performance menor que os coletores de tubo de vácuo.

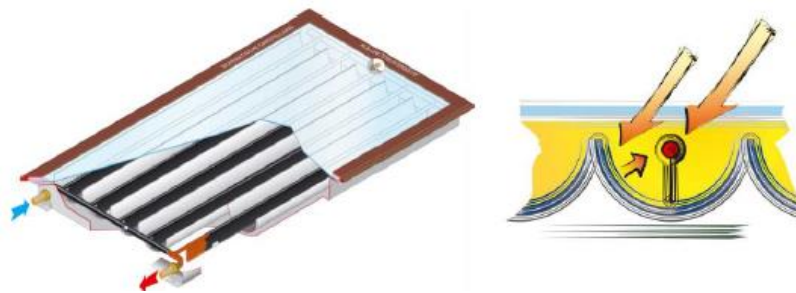


Figura 2. 5 Diagrama da estrutura de um coletor CPC (SolarFocus, 2013)

#### 2.3.4. Coletores de tubo de vácuo

O coletor de tubo de vácuo é uma das tecnologias mais usadas no mercado dos sistemas solares térmicos (principalmente nos países do norte de Europa). Estão compostos por uma bateria de tubos de vidro que são sujeitos ao vácuo, o tubo de vidro tem uma camada que fornece propriedades de alta absorvância e baixa refletância. Na parte interior do tubo encontra-se um absorvedor. Conseguindo assim reduzir significativamente as perdas por convecção e por condução.

Os coletores solares e tubo de vácuo têm duas tipologias:

- *Heat Pipe*

Consiste num tubo de vidro fechado (nas extremidades) um fluido de trabalho de propriedades específicas é introduzido no tubo. O fluido é fornecido numa extremidade e o fluido evapora-se absorvendo o calor (calor latente). À medida que o vapor flui para a extremidade fria do tubo, o fluido condensa-se e faz troca do calor latente, movendo-se ao fundo do tubo por gravidade. Este processo é repetido durante a duração da radiação do sol ou até o coletor atingiu uma temperatura muito alta. Na figura 2.6 se ilustra uma bateria de tubos de vácuo.



Figura 2. 6 Imagem ilustrativa de bateria de tubos de vácuo (Archi Expo,2015)

- Escoamento direto

Os coletores de tubo de vácuo por escoamento direto, tem uma placa (duas alhetas unidas a um tubo) como absorvedor. Esta placa transforma a radiação solar em calor. O fluido de trabalho é transportado pelo tubo até ao permutador onde faz a troca de calor. Na figura 2.7 se ilustra um coletor de tubo de vácuo por escoamento direto.

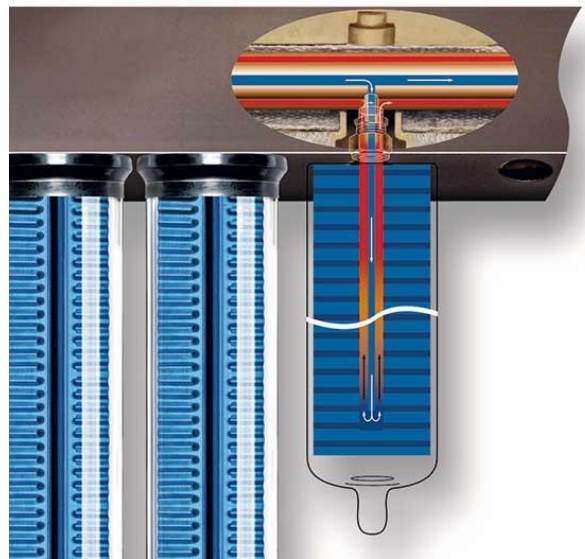


Figura 2. 7 Imagem ilustrativa do coletor de tubo de vácuo por escoamento direto (Tectonica, 2015)

## 2.4. Geradores de calor

### 2.4.1. Caldeiras tradicionais

As caldeiras tradicionais sem condensação são equipamentos atmosféricos e que possuem a câmara de combustão aberta para obter ar do local para a combustão, transmitindo à água o



calor gerado na combustão. O rendimento destes equipamentos normalmente é de cerca de 80% (Grade, 2017).

### 2.4.2. Caldeiras com condensação

As caldeiras com condensação são equipamentos projectados para aproveitar o calor da condensação do vapor de água dos gases da combustão. Conseguem aproveitar o PCS do combustível (aproveitamento do calor latente adicional do condensado). Estas caldeiras podem ser gás tubulares ou aquatubulares. Devido ao aproveitamento do calor latente apresentam rendimentos muito elevados, (entre 90%-96%, Grade, 2017). Na figura 2.8 se ilustra uma caldeira com condensação.

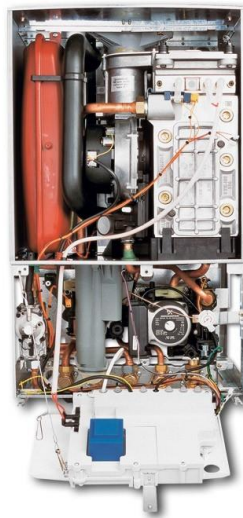


Figura 2. 8 Imagem ilustrativa duma caldeira com condensação (Vulcano, 2011)

### 2.4.3. Caldeiras de biomassa

As caldeiras a biomassa usam como fonte de energia combustível madeira, pellets, briquetes, resíduos florestais e, por isto, são consideradas as mais ecológicas do mercado. Embora o princípio de funcionamento destas caldeiras ser similar ao de uma convencional, queimam um combustível natural. Na realidade, pelo tipo de combustível que usam, estas caldeiras precisam de elementos adicionais, como são uma gaveta e grelha para as cinzas e um conjunto de parafuso sem fim e motor para alimentação da caldeira.

Entre as principais vantagens deste equipamento destacam-se o facto da fonte de energia ser renovável e o facto do preço do combustível ser um dos menores do mercado. Na figura 2.9 se ilustra uma caldeira a biomassa.



Figura 2. 9 Imagem ilustrativa de uma caldeira a biomassa (Ahorraclima, 2017)

## 2.5. Depósito de acumulação

Os depósitos de acumulação são equipamentos cuja função principal é a de armazenar e reter a energia calorífica que foi previamente captada pelos coletores. Desta maneira disponibiliza água quente quer para AQS quer para aquecimento na instalação.

Normalmente costumam ser de forma cilíndrica e a sua instalação tem grande versatilidade já que podem ser instalados no exterior, coberturas ou caves.

No que respeita ao material de constituição do depósito, são normalmente, de aço vitrificado, aço inox ou cobre estanhado. Deverá ter-se em conta as distintas características e necessidades da instalação para a escolha do material. Variáveis como o custo de aquisição, resistência à corrosão e responsabilidade do serviço definirão o tipo de material do reservatório.

O isolamento é um elemento importante na composição do depósito de acumulação. Os materiais mais comuns para o isolamento são poliuretano expandido e lã. Uma camada de material isolante cobrirá o depósito e sua espessura varia dependendo do tipo de serviço (normalmente entre 80 mm a 150 mm). Esta camada de isolamento é coberta por uma proteção mecânica.

Em aplicações habitacionais, estes acumuladores costumam ter uma ou duas serpentinas (de cobre ou alumínio). Estas serpentinas são as responsáveis por conduzir o fluido de trabalho para fazer a troca de calor. No depósito será utilizado uma serpentina se as necessidades

caloríficas puderam ser cobertas só por uma fonte calorífica e duas serpentinas se for necessário outro fluido para fornecer energia de apoio. A serpentina que corresponde ao circuito solar deve ser colocada na parte inferior do depósito, para obter o máximo rendimento do sistema solar. Na figura 2.10 se ilustram alguns depósito de acumulação.



Figura 2. 10 Imagem ilustrativa dos acumuladores (Vulcano, 2014)

## 2.6. Equipamentos de impulsão

### 2.6.1. Bomba circuladora solar

As bombas circuladoras são equipamentos concebidos para realizar a circulação do fluido de trabalho do circuito solar (água, misturas glicoladas). Na figura 2.11 se ilustra uma bomba circuladora solar.



Figura 2. 11 Imagem ilustrativa de uma bomba circuladora solar (Wilo, 2015)

### 2.6.2 Bomba circuladora para aquecimento

As bombas circuladoras para aquecimento são equipamentos responsáveis pela circulação no circuito secundário e unidades terminais da instalação. O fluido de trabalho circula no interior do revestimento do rotor, arrefecendo o motor e lubrificando componentes. É por esta razão que devem ser instaladas no retorno (temperatura inferior) e não no avanço.

### 2.6.3. Grupo de circulação hidráulico

O grupo de circulação hidráulico é um sistema mais complexo que incorpora todos os elementos necessários ao circuito primário de captação solar: bomba, válvula de seccionamento, termómetros, válvula antirretorno, caudalímetro, válvula de segurança e ligação de saída para o vaso de expansão. Na figura 2.12 mostra-se a estrutura geral do grupo de AGS Vulcano.

- 1 – Válvula de esfera (vermelho=avanço / azul=retorno) e travão anti-gravidade
- 2 – União roscada de anel de aperto
- 3 – Válvula de segurança
- 4 – Manómetro
- 5 – Ligação para o vaso de expansão
- 6 – Válvula de enchimento e de drenagem
- 7 – Bomba do sistema de energia solar
- 8 – Indicador do caudal
- 9 – Separador de ar
- 10 – Válvula de regulação/de corte

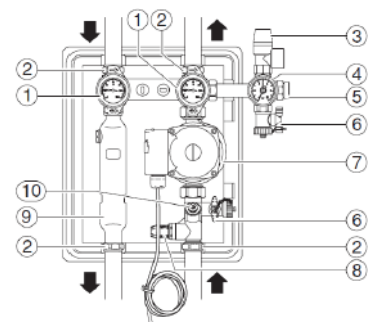


Fig. 1 – Grupo de circulação sem peças isolantes e sem regulador integrado.

Figura 2. 12 Estrutura geral do Grupo de AGS (Vulcano,2015)

## 2.7. Unidade terminal pavimento radiante

O pavimento radiante é um sistema de aquecimento que consiste num conjunto de tubos de polietileno encaixados numa placa pré-formada no solo de um determinado local. Os tubos conduzem água quente a baixa temperatura (normalmente 40 °C) e fazem transferência de calor ao solo. A água é normalmente aquecida por uma caldeira ou bomba de calor, no entanto este tipo de sistema por não ter exigências de altas temperaturas, permite a configuração com sistemas solares térmicos (Barbi, 2014).

Os sistemas de pavimento radiante possuem uma distribuição temperatura mais parecida à curva da distribuição da temperatura ideal (distribuição uniforme da temperatura). Na Figura 2.13 apresentam-se as curvas para os diferentes sistemas de aquecimento. Para outros sistemas de aquecimento, a temperatura no solo é inferior e maior à altura da cabeça, o que pode traduzir-se em desconforto térmico ou problemas de saúde (dores de cabeça, alergias, rinites, etc.).



Figura 2. 13 Gráficos de distribuição da temperatura para diferentes sistemas de aquecimento (Macolis FR, 2016)

### 2.7.1. Tipo de distribuição dos tubos

No pavimento radiante temos basicamente três tipos de distribuição: por espiral (a); por serpentina dupla (b); e por serpentina simples (c) conforme se ilustra na figura 2.14. Existem outros tipos de distribuição, mas são misturas dos três apresentados. E são usados quando o local tem uma forma irregular.

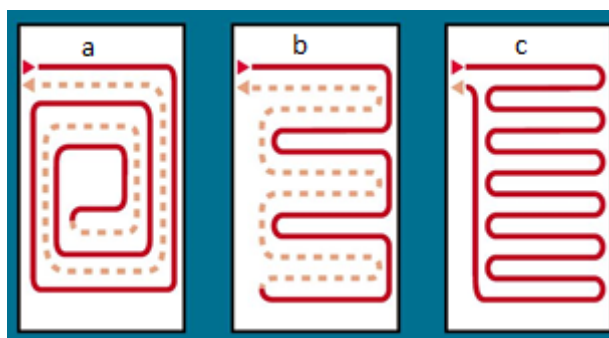


Figura 2. 14 Tipos de distribuição de tubos para pavimento radiante (Barbi, 2014)

Na figura 2.15 apresenta-se a estrutura típica de um pavimento radiante, os elementos construtivos de um pavimento são:

- Cobertura cerâmica
- Argamassa
- Tubos
- Placa
- Faixa perimetral
- Placa de Isolamentos
- Rede Eletrossoldada

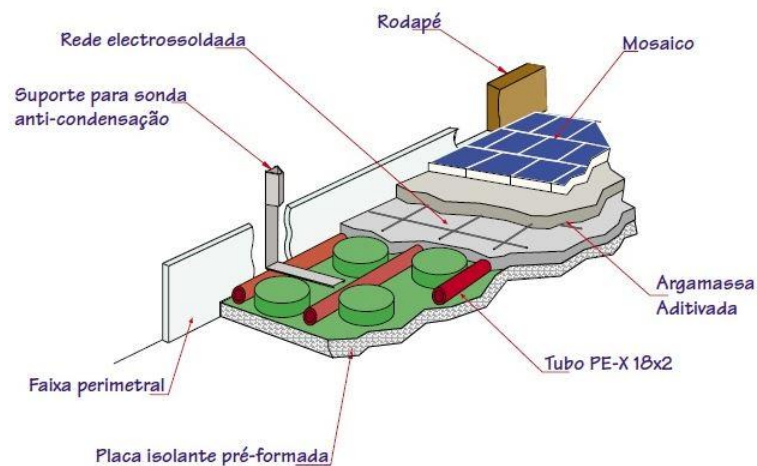


Figura 2. 15 Composição do pavimento radiante (Giacomini, 2015)

### 2.7.2.Sistema de coletores

É um sistema que é usado para distribuir a água quente que recebe do acumulador ou gerador de calor. Este sistema permite a regulação de cada uma das divisões da casa segundo as necessidades de aquecimento.

Os coletores no avanço estão compostos por sensores com indicadores de perda de carga e os coletores de retorno têm uma válvula termostaticável. Na figura 2.16 apresenta-se um coletor para pavimento radiante.

A regulação da temperatura será feita em função das necessidades de aquecimento. O objetivo será conseguir o conforto térmico e minimizar o consumo energético. A regulação pode ser feita por:

- Sistema de regulação a temperatura fixa: neste determina-se uma temperatura fixa, que será fornecida ao pavimento radiante (fluxo de água constante para o pavimento radiante).
- Sistema de regulação a temperatura variável: é um sistema mais complexo e caro, que permitira definir as temperaturas desejadas em cada divisão, regulando assim o fluxo necessário para satisfazer as necessidades de aquecimento.



Figura 2. 16 Imagem ilustrativa de um coletor para pavimento radiante (Uponor, 2013)

## 2.8. Elementos de segurança e controlo

### 2.8.1. Vaso de expansão

Todos os sistemas hidráulicos de climatização estão expostos a variações de temperatura que resultam em alterações do volume do fluido de trabalho. Como as tubagens e acessórios são rígidos é necessário um equipamento que se absorva as variações de volume da água.

Os vasos de expansão mais usados em instalações para climatização são:

- Vaso de expansão passiva (fechado)

Composto por uma câmara cheia de um gás e outra ligada à rede do sistema que vai receber a massa de água, mantendo a pressão constante na linha.

- Vaso de expansão ativo (fechado)

Este vaso é constituído por uma bomba ou compressor de ar, um vaso com membrana e um conjunto de válvulas de segurança.

Este tipo de vaso é instalado diretamente na linha de aspiração das bombas, se a pressão do sistema cai, o vaso comprime até atingir a pressão pretendida no sistema hidráulico. Se a pressão do sistema atinge o seu valor máximo uma válvula deixa sair o fluido.

### 2.8.2. Válvula de corte

As válvulas de corte ou seccionamento têm como principal função interromperem o fluxo do fluido de trabalho, no caso de um eventual corte para manutenção ou serviço. São válvulas com um princípio de funcionamento bastantes simples e têm um baixo custo. Só podem ser usadas para seccionar. Algumas das válvulas de corte mais conhecidas são as de cunha, macho e macho esférico.

### 2.8.3. Válvulas de retenção

As válvulas de retenção só deixam passar o fluxo numa direção (bloqueiam automaticamente o retorno). A abertura ou fecho da válvula será definida pela pressão exercida pelo fluido num elemento móvel. São normalmente utilizadas em tubagens onde é necessário manter o fluido para garantir o bom funcionamento dos equipamentos no arranque e para a proteção dos equipamentos. Existem diversas válvulas de retenção como as de retenção de disco, retenção de esfera e retenção de pé. Na figura 2.17 apresenta-se uma válvula de retenção de esfera.



Figura 2. 17 Imagem Ilustrativa de uma válvula de retenção de esfera (Zetkama, 2016)

### 2.8.4. Válvulas de regulação

São um conjunto de válvulas cuja função é a regulação do caudal, pela ação do obturador. O seu acionamento pode ser manual ou automático. As válvulas de regulação podem ser de globo, agulha, borboleta ou diafragma.

### 2.8.5. Válvula de segurança

São válvulas usadas para limitar a pressão de um fluido a um valor prédefinido. A válvula abre se o valor da pressão ultrapassa o valor predefinido. Tudo isto com o objetivo de servir como um limitador de pressão no circuito e proteger o circuito e os equipamentos.



### 2.8.6. Purgadores de ar

Os purgadores de ar são usados para remoção de ar no circuito primário do sistema de produção de AQS. A presença de ar nos circuitos de aquecimento e outras instalações podem causar alterações frequentes no funcionamento e problemas de corrosão e de ruído.

Para o tipo de instalação que se pretende neste projeto devem ser colocados na saída de cada bateria de coletores solares e no topo do depósito acumulador e também no circuito secundário. Na figura 2.18 apresenta-se um purgador de ar para circuito solar.



Figura 2. 18 Imagem ilustrativa do purgador de ar para circuito solar (Honeywell, 2014)

## 2.9. Possíveis configurações do sistema solar térmico

### 2.9.1. Produção com apoio energético instantâneo

Configuração muito simples e é das mais comuns nas aplicações para produção de AQS. Neste caso o fluido de trabalho faz troca de calor no acumulador. Na linha de saída do acumulador é colocado um gerador de calor instantâneo. Este tipo de configuração deverá ter um *by-pass* ou válvula termo misturadora que permita dirigir o fluxo diretamente ao ponto de consumo, conforme se ilustra na figura 2.19. Justifica-se já que nos meses pico do verão se a água à saída do acumulador for a desejada irá exatamente ao consumo.

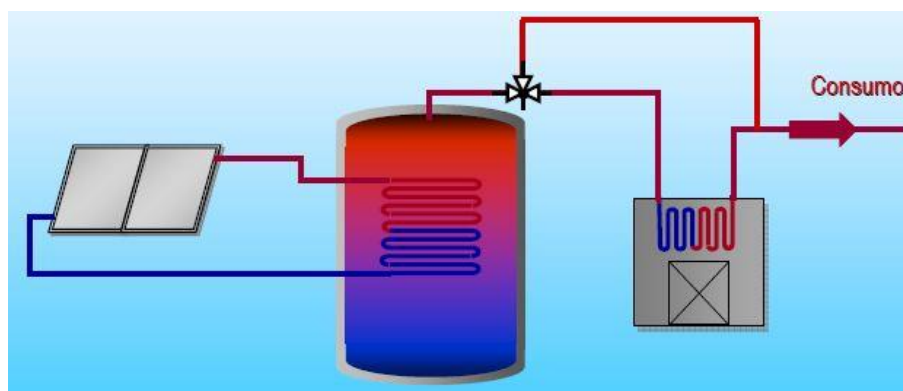


Figura 2. 19 Diagrama da produção instantânea com apoio energético (LNEG, 2007)

### 2.9.2. Produção com apoio energético no acumulador solar

Quando os coletores solares não conseguem satisfazer as necessidades do consumo, poderá ser colocado um apoio energético no acumulador. O permutador do circuito solar deverá localizar-se no ponto mais baixo do acumulador, e o permutador de calor do apoio estar ligado ao gerador de calor. A linha de saída do acumulador irá diretamente aos pontos de consumo.

O apoio a este tipo de sistemas também pode ser elétrico por meio de uma resistência.

### 2.9.3. Produção com energia de apoio num segundo acumulador

Neste tipo de configuração temos dois acumuladores, o primeiro acumulador tem o permutador do circuito solar e o segundo acumulador (de menor volume) tem apoio energético do gerador de calor, conforme se ilustra na figura 2.20. Desta forma o segundo acumulador recebe a água preaquecida e só tem que aquecer até à temperatura de consumo. Esta configuração é normalmente usada em grandes instalações.

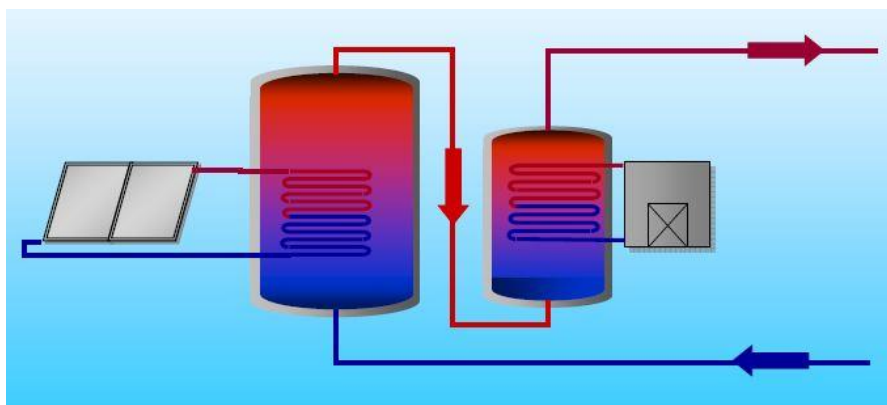


Figura 2. 20 Diagrama da produção com energia de apoio num segundo acumulador (LNEG, 2007)

## 2.10. Software de dimensionamento térmico

### 2.10.1. CYPE

O *software* CYPE é um *software* de cálculo para a arquitetura, engenharia e construção para o desenho e dimensionamentos de projetos, desenvolvido pela empresa espanhola CYPE ingenieros. Este *software*, por meio de uma interface composta por diversos módulos, permite ao utilizador configurar e desenvolver o projeto, e através dos módulos CYPE CAD, Cumprimento REH, CYPETHERM ISO 10211 efetua os cálculos específicos da instalação.

Neste projeto iremos a trabalhar principalmente com dois dos módulos do *Software* CYPE: o módulo CYPECAD MED que nos permite efetuar os cálculos para climatização (necessidades de aquecimento), desenho do sistema de climatização e seleção de produção de AQS e o módulo CYPECAD THERM usado para o desenho do sistema solar da instalação.

### 2.10.2. Solterm

O Solterm é um *software* para análise de sistemas solares térmicos desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia, IP (LNEG). O programa permite o cálculo de sistemas solares clássicos e diferentes configurações (depósitos múltiplos, piscinas, diferentes necessidades) variando os equipamentos e toma em conta a base de dados e condições climáticas em Portugal.

### 2.10.3. SCE.ER

O SCE.ER (dados e cálculos padronizados para sistemas de aproveitamento de Energias Renováveis) é o *software* a que se refere o Despacho DGEG nº 3156/2016, de 1 de março. Implementa metodologias oficiais do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), viz. Decreto-Lei nº118/2013 de 20 de agosto, (alterado e republicado pelo Decreto-Lei nº 194/2015 de 14 de setembro e pelo Decreto-Lei nº 251/2015 de 25 de novembro), com as Portarias e Despachos associados – cf. em particular os Despachos DGEG nº 15793/2013-F, de 3 de dezembro; nº 15793/2013-H de 3 de dezembro, alterado pelo Despacho nº 3156/2016, de 1 de março; e nº 14985/2015, de 17 de dezembro. A energia produzida por sistemas solares térmicos ou fotovoltaicos no âmbito do SCE deve ser calculada através deste *software*, desde o 21 de março de 2016. (DGEG, 2017).

## 2.11. Características da instalação

Para proceder à instalação dos coletores solares devemos ter em conta alguns fatores que poderão afetar o rendimento do coletor. Devemos sempre procurar que o coletor tenha o máximo de insolação possível e ao mesmo tempo uma localização segura e de fácil acessibilidade. Para-se de obter o máximo de captação é necessário considerar os seguintes fatores:

### 2.11.1. Orientação do coletor solar

A localização do coletor determinará a quantidade de radiação solar aproveitável. Para o caso do hemisfério norte, o máximo aproveitável será se o coletor estiver orientado ao sul geográfico. Mesmo assim, é admissível ter desvios por motivos associados a localização, segurança ou estética sempre que forem até  $\pm 20^\circ$ . Neste caso será necessário usar as curvas de penalização para determinar a percentagem de energia disponível em comparação com o posicionamento ideal. Estas curvas correspondem ao regime de utilização (anual, verão ou inverno).

### 2.11.2. Inclinação do coletor solar

Na instalação de painéis solares, normalmente temos a possibilidade de fazer uma instalação fixa, diretamente ao teto ou cobertura inclinada, ou colocar o coletor numa estrutura, quer na cobertura quer nas paredes. Em qualquer dos casos é necessário ter em consideração o ângulo

de inclinação segundo a natureza da instalação. Na tabela 2.1 apresenta-se o ângulo de inclinação recomendado em função da latitude. Na figura 2.21 ilustra-se os intervalos de ângulos de inclinação a nível mundial.

Tabela 2. 1 Ângulos de inclinação recomendados (Grade, 2017)

Utilização	Ângulo de inclinação	Ângulo
Todo o ano (AQS)	Latitude do local – 5°	35°
Inverno (aquecimento)	Latitude do local + 15°	55°
Verão (piscinas não cobertas, hotéis de temporada)	Latitude do local – 15°	25°

Optimal angle for fixed solar panels depending on installation position

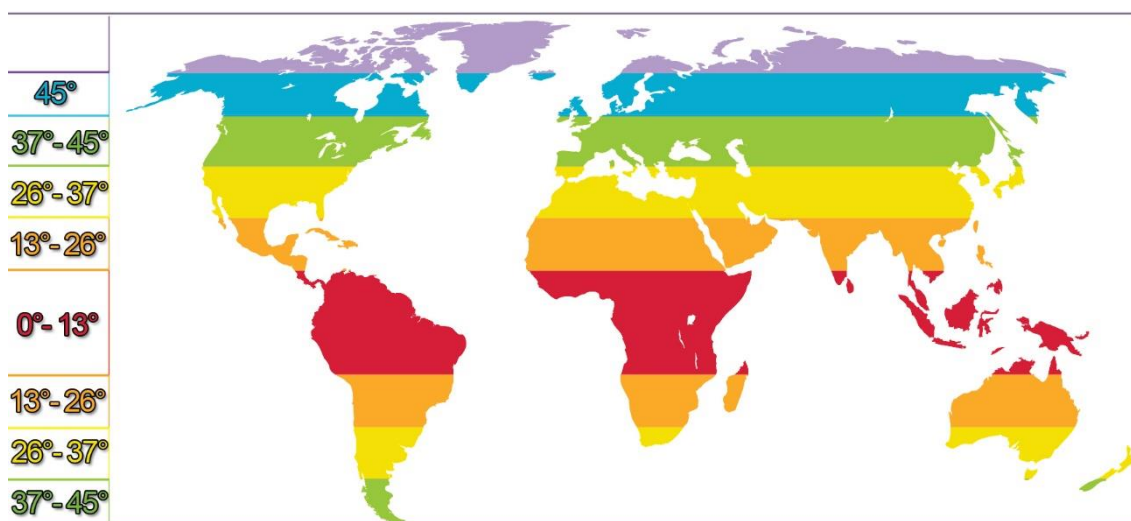


Figura 2. 21 Intervalos de ângulos de inclinação a nível mundial (House Roof , 2015)

### 2.11.3. Sombreamentos na instalação

Na fase do projeto é necessário considerar os sombreamentos ou zonas de sombras, induzidas no coletor por obstáculos, edifícios, chaminés ou outros, impedindo ou limitando a captação dos coletores. Também devem ser considerados os possíveis obstáculos no futuro, as coordenadas estereográficas são uma boa solução para determinação dos sombreamentos ao longo do ano. Estas coordenadas vão representar o movimento aparente do sol para cada dia e hora do ano. Na figura 2.22 apresenta-se um exemplo de sombreamento



Figura 2. 22 Exemplo de sombreamento (IDEC, 2017)



### 3 – DIMENSIONAMENTO DA INSTALAÇÃO

#### 3.1. Descrição da instalação

A instalação de estudo consiste numa moradia de tipologia T2. A moradia tem dois quartos, uma instalação sanitária, lavandaria, cozinha, sala e uma garagem (externa). As características dimensionais de cada uma das divisões apresentam-se na Tabela 3.1;

Tabela 3. 1 Características dimensionais da instalação

Divisão	Área Útil [m <sup>2</sup> ]	Vão envidraçados [m <sup>2</sup> ]
Quarto 1	16,4	0,82
Quarto 2	16,6	0,82
Cozinha	10,1	1,79
Sala	23,6	1,61
Corredor	17,5	-
IS	7,0	1,97
Lavandaria	15,1	0,82
Arrumo	6,7	1,94
Total	113	9,77

#### 3.2. Definição dos espaços da instalação

Para qualquer estudo que envolva a simulação e comportamento térmico de uma fração é indispensável a definição dos espaços úteis e não úteis da fração.

Segundo o Decreto Lei 118/2013 no artigo 2 alinha aa, define um espaço complementar como;

*“...Zona térmica sem ocupação humana permanente actual ou prevista e sem consumo de energia actual ou previsto associado ao aquecimento ou arrefecimento ambiente, incluindo cozinhas, lavandarias e centros de armazenamento de dados.”*

Seguindo esta definição, os espaços não uteis na vivenda são o arrumo e a lavandaria.

#### 3.3. Localização geográfica

A localização geográfica da moradia é na cidade do Fundão, que é uma pequena cidade do Concelho de Castelo Branco na Região da Beira Interior. Encontra-se situada numa das ruas na periferia da zona central do Fundão e tem na adjacência moradias de tipologia similar à moradia do estudo. Servida pelos serviços de rede de água, luz e gás canalizado. Esta morada situa-se na rua da calçada, 21 Fundão –Portugal, conforme se ilustra nas figuras 3.1 e 3.2.



Figura 3. 1 Foto da localização de moradia (*Imagens ©2017 Google Maps*)



Figura 3. 2 Foto real da localização de moradia (*Imagens ©2017 Google Maps*)

### 3.4. Dados da localização geográfica

Endereço: Rua da Calçada, 21 Fundão -Portugal

Coordenadas

Latitude: 40.133598

Longitude: -7.507558

Distância a Costa Marítima: Aproximadamente 114,88 km



Nas figuras 3.3 e 3.4 ilustram-se os desenhos da vista de planta e laterais da moradia (Adaptado AutoCAD)

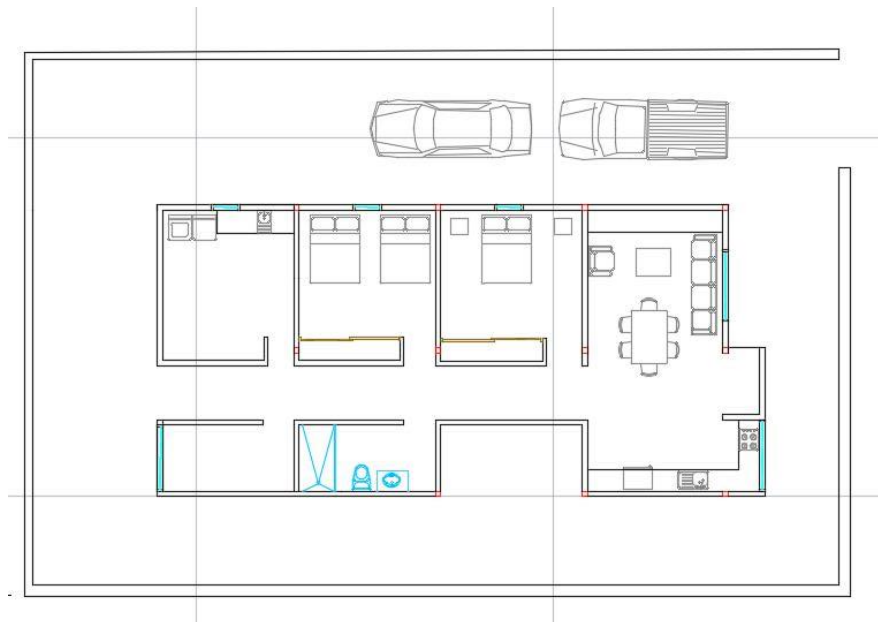


Figura 3. 3 Vista de planta da instalação (Adaptado *AutoCAD*)

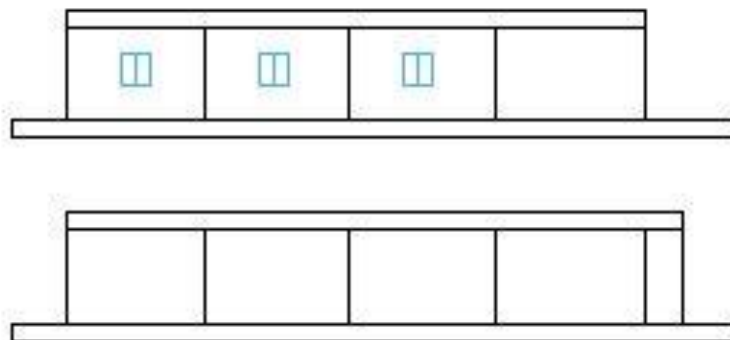


Figura 3. 4 Vista de laterais da instalação (Adaptado *AutoCAD*)

### 3.5. Delimitação da envolvente

Para o estudo é necessário definir o conjunto de elementos de construção da instalação ou da moradia, compreendendo as paredes, pavimentos, coberturas e vãos, que separam o espaço interior útil do ambiente exterior, dos espaços não úteis e do solo, denominadas por envolventes, para que se possam assegurar o cumprimento dos requisitos impostos pela legislação em vigor.

Assim, as envolventes definidas no REH, o que permite identificar os espaços úteis da fração, conforme se ilustra na figura 3.5.

- Envolventes interiores, definidas pela cor amarela;
- Envolventes exteriores, representadas na cor vermelha;
- Envolventes sem requisitos, designadas pela cor verde;
- Envolventes em contacto com o solo, identificadas pela cor azul;
- Pavimentos, que em assumem a cor do tipo de envolvente, mas são representadas por um preenchimento quadriculado;
- Coberturas, idênticas aos pavimentos, mas definida por um preenchimento diagonal;
- Pontes Térmicas Planas;
- Pontes Térmicas Lineares.



Figura 3. 5 Imagem das cores para a delimitação da envolvente

### 3.6. Cálculo da energia útil necessária para a preparação de AQS

Para o cálculo da energia útil necessária para preparação de AQS durante o ano, usamos as expressões 1 e 2. Estas expressões foram obtidas do Despacho nº 15793-I/2013 - ponto 3.4 preparação de AQS.

$$Qa = (Maqs. 4187. \Delta T. \eta d) / 3600000 \quad (1)$$

Em que:

*Maqs*- Litros de água para AQS (consumo médio diário);

$\Delta T$ - Aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS e que, para efeitos do presente cálculo, toma o valor de referência de 35 °C;

$\eta d$  - Número anual de dias de consumo de AQS de edifícios residenciais que, para efeitos do presente cálculo (considera-se os 365 dias);

*Qa*- Energia útil necessária para a preparação de AQS (ano);

Nos edifícios de habitação, o consumo médio diário de referência será calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$Maqs = 40 \cdot \eta \cdot feh \quad (2)$$

Em que:

$\eta$ - Número convencional de ocupantes de cada fração autónoma, definido em função da tipologia da fração;

$Feh$ - Fator de eficiência hídrica, aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica.

Efetuando os cálculos obtém-se

$$Qa = 1782,96 \frac{kWh}{ano}$$

### 3.7. Determinação do zonamento climático

Antes de iniciar as simulações no *Software CYPE* precisamos de determinar o zonamento climático para saber as características mínimas requeridas pelo REH para a instalação. O zonamento climático do país baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, cuja composição por municípios tem por base o Decreto-Lei n.º 68/2008 de 14 de abril de 2008, entretanto alterado pelo Decreto-Lei n.º 85/2009, de 3 de abril e pela Lei n.º 21/2010 de 23 de agosto, e está detalhado na Tabela 01 do Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013

Os cálculos foram realizados com recurso à folha de Excel, disponibilizada pelo LNEG, sendo que os valores calculados foram confirmados, conforme se ilustra na figura 3.6. No anexo 1, apresenta-se o modelo de cálculo realizado (LNEG, 2016).

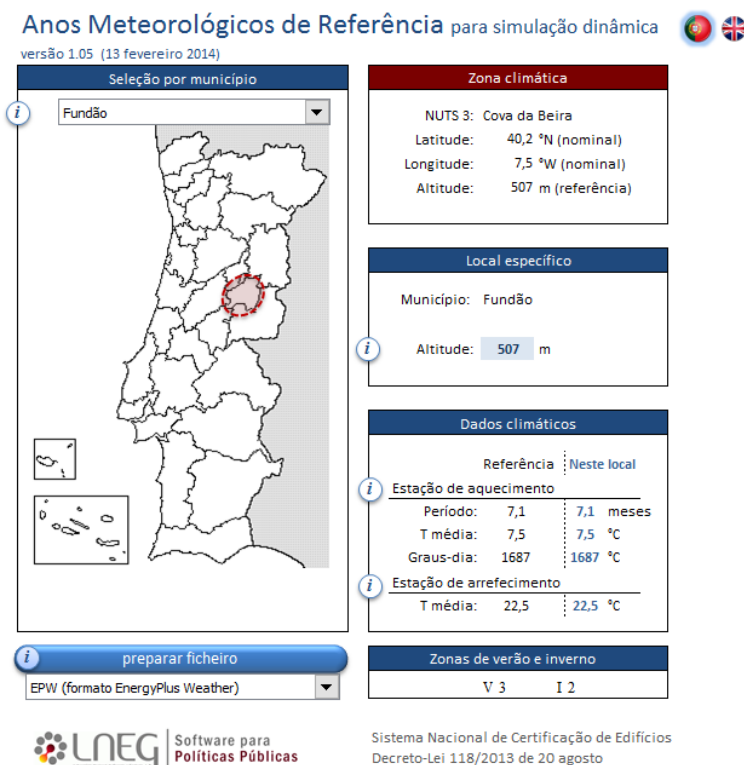


Figura 3. 6 Imagem da simulação com folha de cálculo do LNEG (LNEG, 2016)

### 3.8. Orientação da instalação

A fachada da instalação encontra-se orientada ao sul geográfico, esta orientação apresenta vantagem em áreas como a cozinha e sala, por permitir ter maior incidência solar nas janelas.

Relativamente a orientação dos coletores solares, serão instalados com orientação ao sul geográfico por ser a orientação que maximiza a quantidade de radiação recebida. Na figura 3.7, apresenta-se a orientação da instalação.

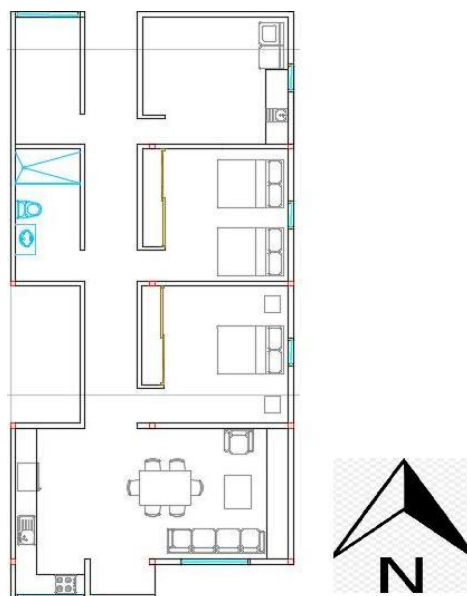


Figura 3. 7 Imagem Ilustrativa da Orientação da Instalação (Software CYPE ingenieros)

### 3.9. Sombreamento da instalação

Relativamente à instalação e, especificamente, à cobertura onde serão instalados os coletores solares, não temos elementos como edifícios, árvores ou muros que possam limitar ou impedir a captação. Sendo a cobertura de tipologia horizontal e sem chaminé, descarta-se qualquer incidência de sombra nos coletores.

### 3.10. Ângulo de inclinação

Tomando em conta a situação geográfica da instalação (latitude  $40^\circ$ ), os coletores solares do circuito de AQS foram configurados com um ângulo de inclinação de  $35^\circ$  (dado que o regime de utilização para produção de AQS é anual). No caso dos coletores do circuito de pavimento radiantes (com a finalidade de aquecimento) foram configurados com um ângulo de inclinação de  $55^\circ$ , porque é o ângulo de inclinação recomendado para uma instalação para produção de água quente para aquecimento central com um perfil de utilização para o inverno.

### 3.11. Definição de elementos construtivos da moradia

É de grande importância para o desenvolvimento do projeto que o caso proposto esteja em conformidade com a legislação portuguesa referente ao comportamento térmico de edifícios habitacionais (REH) e é por esta mesma razão que os seguintes elementos foram escolhidos cumprindo os critérios tais como coeficiente máximo de transmissão térmica, espessura de isolamento, entre outros.

### 3.11.1. Envoltente exterior

Para a envoltente exterior o sistema escolhido foi o *Wall-Term REVETON*. É um sistema de isolamento térmico exterior em fachadas (do tipo ETICS), baseado em placas de poliestireno expandido moldado (EPS).

A envoltente exterior consegue cumprir com os termos do REH estabelecidos na tabela I.05 da Portaria n.º 349-B/2013 (Alterada pela Portaria n.º 379-A/2015). Na Figura 3.8 ilustra-se a composição da parede exterior.

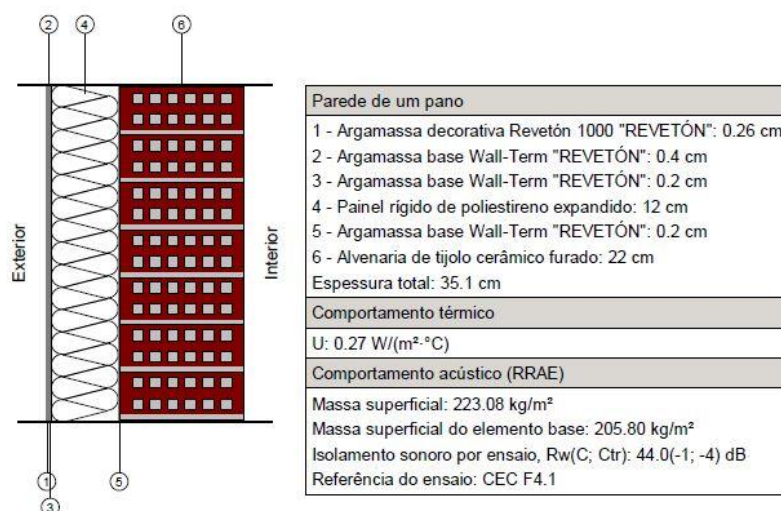


Figura 3. 8 Modelo da Envoltente Exterior (Adaptado do Software CYPE Ingenieros)

### 3.11.2. Paredes interiores

As paredes interiores de divisão dos compartimentos, estão compostas por um revestimento de cada fase em gesso e tijolo furado normal (cerâmico) com acabamento em tinta plástica. Na Figura 3.9 ilustra-se a composição da parede interior.

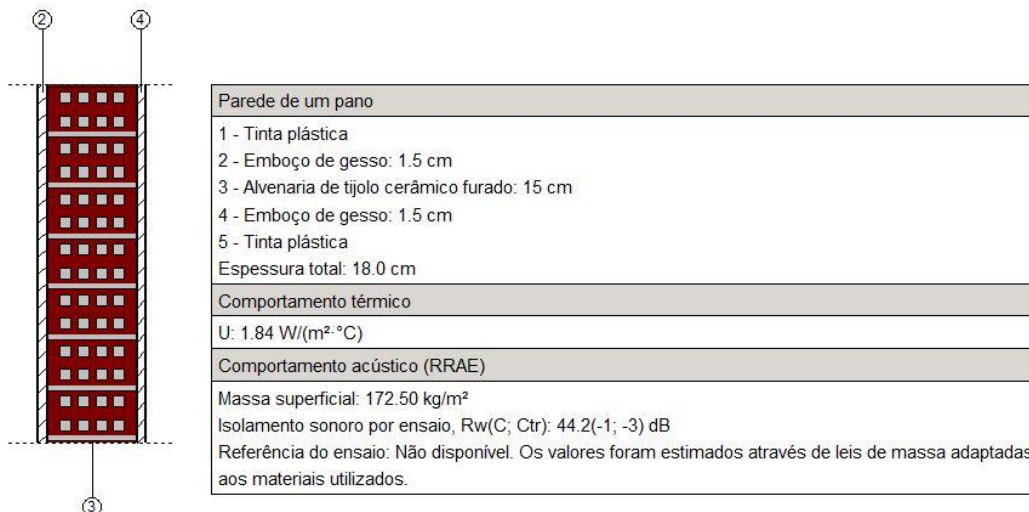


Figura 3. 9 Modelo da parede interior (Adaptado do Software CYPE Ingenieros)

### 3.11.3. Cobertura horizontal

A cobertura horizontal é o principal elemento construtivo horizontal, composto principalmente por uma laje aligeirada e placas pré-formadas de argila expandida, integrando também, outros elementos para o isolamento e proteção como uma camada de lã mineral.

Esta cobertura consegue cumprir com os termos do REH estabelecidos na Tabela I.05 da Portaria nº 349-B/2013 Alterada pela Portaria n.º 379-A/2015. Na Figura 3.10 ilustra-se a composição da cobertura.

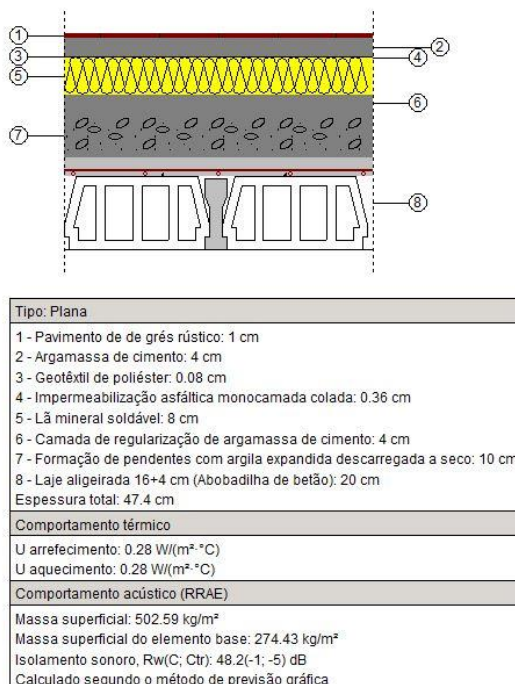


Figura 3. 10 Modelo da Cobertura (Adaptado do Software CYPE Ingenieros)

### 3.11.4. Pavimento térreo

O pavimento térreo usado está composto por 10 cm de espessura de betão e um painel de isolamento horizontal de polietileno reticulado de 40 mm de espessura, conforme se ilustra na figura 3.11.

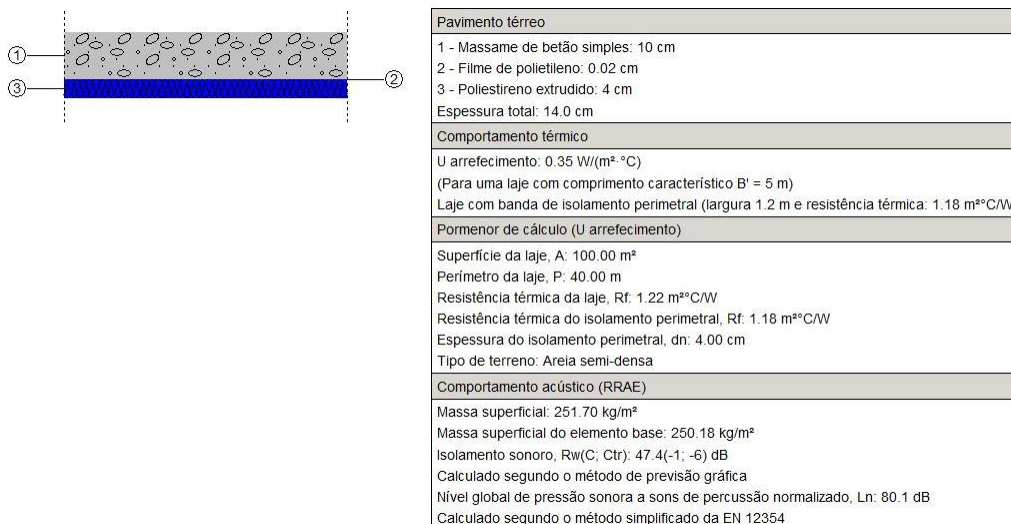


Figura 3. 11 Modelo do pavimento térreo (Adaptado do Software CYPE Ingenieros)

### 3.11.5. Lajes térreas

As lajes estão compostas por várias camadas de elementos estruturais e de isolamento, integrando também os elementos do sistema de aquecimento por piso radiante "UPONOR IBERIA", composto por banda de espuma de polietileno (PE), de 150x10 mm, modelo Multi Auto-fixação e tubos EP-Xa de 16 mm de diâmetro.

No anexo 2, mostra-se a descrição estrutural de todos os elementos que conformam as lajes térreas.



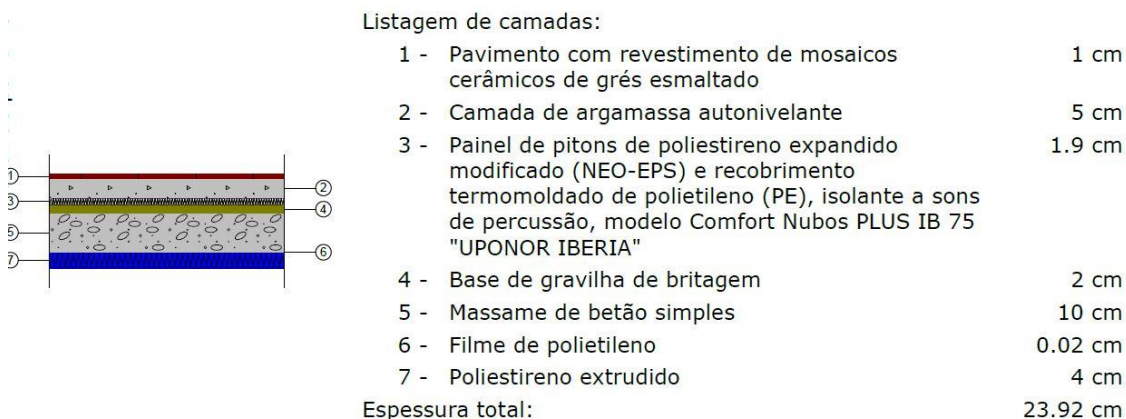


Figura 3. 12 Modelo das lajes térreas (Adaptado do *Software CYPE Ingenieros*)

### 3.11.6. Janelas

Na instalação temos um total de cinco janelas de vidro duplo *standard* 6/6/6. Constituída por um conjunto de vidro exterior float incolor, caixa de ar com perfil separador de alumínio, dupla vedação perimetral e vidro interior float incolor. Na tabela 3.2, apresentam-se as dimensões das janelas.

Tabela 3. 2 Dimensões de janelas da Instalação (*Software CYPE ingenieros*)

Janela	Dimensões [largura x altura]
1	81,6 x 102 cm
2	158,4 x 102 cm
3	176 x 102 cm
4	194,5 x 102 cm
5	190,3 x 102 cm

### 3.11.7. Pontes térmicas lineares

As pontes térmicas lineares (PTL) desenvolvem-se nos pontos de transmissão de calor entre a ligação dos elementos e são definidas por unidade de comprimento. No Anexo 3, disponibiliza-se o resumo de todas as pontes térmicas lineares.

## 3.12. Dimensionamento com o *Software CYPE Ingenieros*

Depois de ter definido todos os elementos construtivos, efetua-se a simulação da instalação no *Software CYPE Ingenieros*. Introduzem-se *inputs* como são: localização; elementos construtivos e plantas. Seguidamente são definidas as normativas a seguir nesta instalação, tipologia e compartimentos. Na figura 3.13, podemos observar a representação em 3D da instalação. Na tabela 3.3 apresentam-se os parâmetros gerais da localização.

Para o nosso projeto o objetivo da simulação com o *Software CYPE Ingenieros* é obter os valores das cargas térmicas (aquecimento e arrefecimento) e efetuar o dimensionamento hidráulico dos sistemas de pavimento radiante e de produção de AQS.

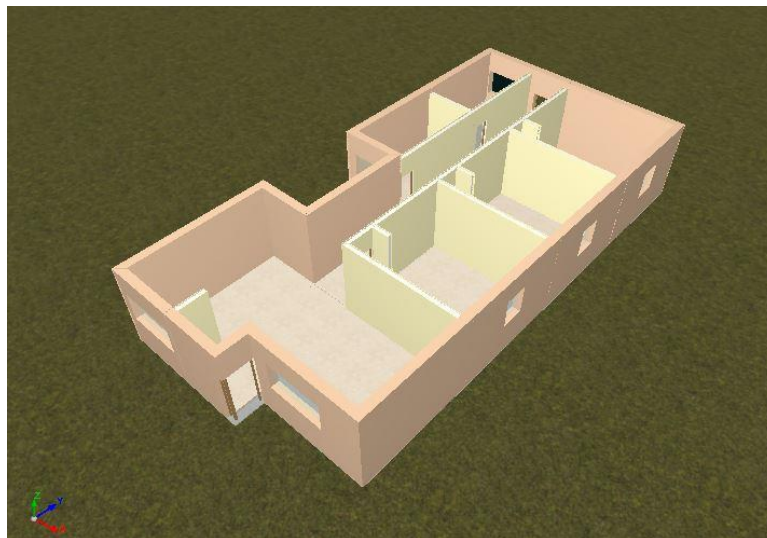


Figura 3. 13 Imagem da vista 3D da instalação (*Software CYPE Ingenieros*)

Tabela 3. 3 Parâmetros Gerais (*Software CYPE Ingenieros*)

<b>Parâmetros Gerais</b>	
Localização	Fundão
Latitude	40,14 Graus
Altitude sobre o nível do mar	600 m
Temperatura seca verão	34 °C
Temperatura húmida verão	20°C
Oscilação média diária	14°C
Oscilação média anual	30°C
Temperatura seca de inverno	5°C
Humidade relativa de inverno	90%
Velocidade do vento	1 m/s
Temperatura do terreno	5°C
Percentagem de majoração devida à orientação N	20%
Percentagem de majoração devida à orientação S	0%
Percentagem de majoração devida à orientação E	10%
Percentagem de majoração devida à orientação W	10%
Suplemento de intermitência para aquecimento	5%
Percentagem de cargas devido à própria instalação	3%

### 3.12.1. Cálculo das cargas térmicas para climatização

Para o cálculo das necessidades energéticas para climatização da moradia, foi usado o módulo *CYPECADMEP*. Nas tabelas 3.4 e 3.5 são apresentados os resultados do cálculo.

### 3.12.2. Cálculo das cargas térmicas para aquecimento

O resumo dos cálculos das cargas para aquecimento por compartimentos do *Software CYPE ingenieros* apresentam-se na tabela 3.4.

Tabela 3. 4 Resumo dos cálculos das cargas para aquecimento por compartimentos (*Software CYPE ingenieros*)

Compartimento	Por superfície [W/m <sup>2</sup> ]	Carga interna sensível [W]	Carga total [W]	Máxima [W]
<b>Quarto 1</b>	51,94	512,18	338,37	850,54
<b>Quarto 2</b>	70,24	778,35	324,42	1102,77
<b>I.S</b>	115,56	598,87	206,64	805,51
<b>Sala</b>	64,23	1019,53	495,93	1520,87
<b>Cozinha</b>	96,49	681,24	272,25	953,49
<b>Hall</b>	72,70	1092,72	181,03	1279,72
<b>Total</b>				6512,9

Tabela 3. 5 Resumo dos cálculos das cargas para aquecimento por conjunto (*Software CYPE ingenieros*)

Aquecimento	Potência por superfície [W/m <sup>2</sup> ]	Potencia Total [W]
<b>Conjunto Total</b>	58,2	6512,9

### 3.12.3. Cálculo das térmicas para arrefecimento

O resumo dos cálculos das cargas para arrefecimento por compartimentos do *Software CYPE ingenieros* apresentam-se na tabela 3.6.

Tabela 3. 6 Resumo dos cálculos das cargas para arrefecimento por compartimentos (*Software CYPE ingenieros*)

<b>Compartimento</b>	<b>Por superfície [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Máxima[W]</b>
Quarto 1	38,69	633,54
Quarto 2	39,36	617,90
Sala	64,92	1531,96
Cozinha	120,71	1192,86
Hall	22,92	401,58
Total		3505,4

Tabela 3. 7 Resumo dos cálculos das cargas para arrefecimento por conjunto (*Software CYPE ingenieros*)

<b>Aquecimento</b>	<b>Potencia por superfície[W/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Potencia Total [W]</b>
<b>Conjunto Total</b>	31,3	3505,4

### 3.13. Dimensionamento do sistema para produção de AQS

#### 3.13.1 Dimensionamento do circuito primário

Para o desenho do sistema para produção de AQS foi usado o *software CYPE Ingenieros*. Foi definido o tipo de consumo e o regime de ocupação por mês. O *software* permitiu definir também selecionar o tipo de sistema de produção de AQS. Escolheu-se um sistema de produção com uma bateria de dois coletores solares, um depósito de acumulação e como apoio uma caldeira a gás natural. Na figura 3.14 podemos observar o esquema do sistema e na figura 3.15 mostra-se uma imagem da vista 3D da instalação. No anexo 11, estão disponibilizados todos os desenhos e esquemas do sistema de produção de AQS.

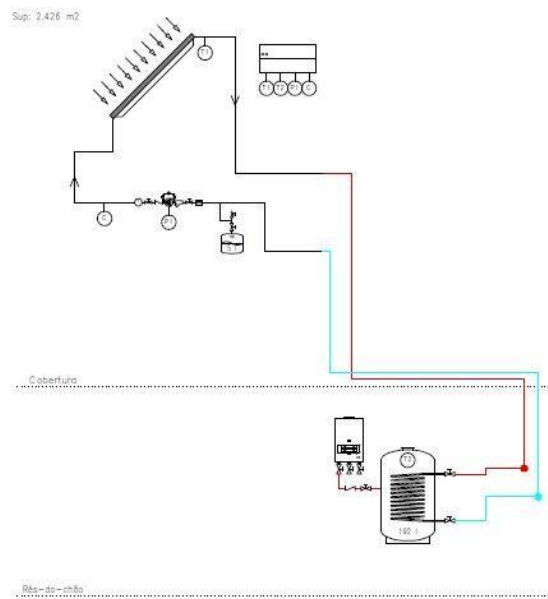


Figura 3. 14 Esquema do circuito primário para Produção de AQS (*Software CYPE Ingenieros*)



Figura 3. 15 Imagem da vista 3D da instalação com sistema de produção de AQS (*Software CYPE Ingenieros*)

### 3.13.2. Cálculo do diâmetro das tubagens

Para o circuito primário da instalação, vão-se utilizar tubagens de cobre, dado que o cobre apresenta vantagens térmicas (maior coeficiente de transferência de calor) e permite uma montagem mais fácil (material muito maleável e com facilidade de soldadura). O diâmetro

das tubagens seleciona-se de forma que a velocidade de circulação do fluido seja inferior a 2 m/s.

### 3.13.3. Cálculo de perda de carga no circuito primário

São contabilizadas as perdas de carga no coletor solar, tubagem e permutador do depósito. Para o cálculo da perda de carga nas tubagens, utilizaremos a fórmula de *Darcy-Weisbach* (Expressões e cálculos definidos pelo *Software CYPE Ingenieros*, Anexo 14).

$$\Delta P = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g} \quad (3)$$

Em que:

$\Delta P$ - Perda de carga [m.c.a];

$\lambda$ - Coeficiente de atrito [adimensional];

L- Comprimento da tubagem [m];

D- Diâmetro da tubagem [m];

V- Velocidade do fluido [m/s].

Para calcular as perdas de carga, soma-se ao comprimento real da tubagem o comprimento equivalente correspondente às singularidades do circuito (curvas, tês, válvulas, etc.). Este comprimento equivalente corresponde ao comprimento de tubagem que provocaria uma perda de carga igual à produzida pelas ditas singularidades.

O coeficiente de atrito, depende do número de *Reynolds* (Expressões e cálculos definidos pelo *Software CYPE Ingenieros*).

$$Re = \frac{\rho.v.D}{\mu} \quad (4)$$

Em que:

Re- Valor do número de *Reynolds* [adimensional];

$\rho$ - Densidade do fluido [kg/m<sup>3</sup>];

V- Velocidade do fluido [m/s];

D- Diâmetro da tubagem [m];

$\mu$ - Viscosidade do fluido [N.s/m<sup>2</sup>].

### 3.13.4. Seleção da bomba de circulação

A bomba de circulação necessária no circuito primário deve-se dimensionar para uma pressão disponível igual às perdas totais do circuito (tubagens, coletores e permutadores). O caudal de circulação possui um valor de 100,0 l/h, uma vez que foi considerado o valor do caudal nominal fornecido pelo fabricante (Junkers, 2015). Os materiais que constituem a bomba no circuito primário são compatíveis com a mistura anticongelante.

A perda de pressão no conjunto de captação calcula-se mediante a seguinte expressão para um sistema em paralelo (Expressões e cálculos definidos pelo *Software CYPE Ingenieros*);

$$\Delta P_t = \frac{\Delta P * N * (N + 1)}{4} \quad (5)$$

Em que:

$\Delta P_t$ - Perda de pressão no conjunto de captação [m.c.a];

$\Delta P$ - Perda de pressão para um coletor [m.c.a];

N- Número total de coletores [adimensional].

Tabela 3. 8 Dados para escolha da bomba circuladora (*Software CYPE ingenieros*)

Caudal [l/h]	Pressão [Pa]
100,0	2101,2

A perda de pressão no permutador é desprezável. Portanto, a perda de pressão total no circuito primário apresenta um valor de 2101,2 kPa.

A potência da bomba de é dada pela seguinte expressão:

$$P = C * \Delta P \quad (6)$$

A potência da bomba de circulação terá um valor de 0,07 kW.

(Expressões e cálculos definidos pelo *Software CYPE Ingenieros*, Anexo 14)

Em que:

P- Potência hidráulica [Kw];

C- Caudal [l/s];

$\Delta P$ - Perda total de pressão da instalação [Pa].

### 3.13.5. Seleção do vaso de expansão

Para calcular o volume necessário foi utilizada a seguinte expressão

$$V_t = V * C_e * C_p \quad (7)$$

Em que:

V<sub>t</sub>- Volume útil necessário [l];

V- Volume total de fluido de trabalho no circuito [l];

C<sub>e</sub>- Coeficiente de expansão do fluido [adimensional];

C<sub>p</sub>- Coeficiente de pressão [adimensional].

Obtém-se que o volume do vaso de expansão selecionado será de 5 litros.

### 3.13.6. Seleção do fluido térmico

Para a instalação foi escolhido um fluido térmico que incorpora 30 % de anticongelante, para evitar riscos de congelação. É uma mistura comercial de água e propilengicol com as propriedades que se apresentam na Tabela 3.9.

Tabela 3. 9 Propriedades de Fluido Térmico (*Software CYPE ingenieros*)

Densidade	1050,00 kg/m <sup>3</sup>
Calor específico	3,642 kJ/kg.k
Viscosidade	2,99 mPa.s

### 3.13.7. Dimensionamento do circuito secundário – rede de distribuição de AQS

Para efetuar o dimensionamento da rede de distribuição de AQS seguimos o algoritmo de cálculos da APTA. Consideramos que este algoritmo e as folhas de cálculos são os mais adequados para o cálculo de instalações hidráulicas no contexto nacional.

### 3.13.8. Cálculo do caudal acumulado

Define-se caudal acumulado como o resultante do somatório do valor de todos os pontos de consumos. Entende-se, então, que será necessário contabilizar cada um deles. Na nossa instalação temos seis pontos de consumo que são representados na Tabela 3.10, onde se apresentam os valores mínimos de caudais (APTA, 2017).



Tabela 3. 10 Valores mínimos de caudais para o caudal acumulado

Descrição	Valor [l/s]	Símbolo
Lavatório individual misturadora	0,2	Lvm
Banheira tipo misturadora	0,5	Bam
Autoclismo de bacia de retrete	0,1	Br
Máquina de lavar roupa	0,2	Mr
Pia lava-louça tipo misturadora	0,4	Llm
Tanque simples	0,2	Tn
Caudal Acumulado	1,6	

Para calcular o caudal acumulado usa-se a expressão 8. Esta expressão foi obtida da tabela de curvas de consumo – coeficiente de simultaneidade da APTA (Anexo 4).

$$Q_c = 0,5099 * Q_{acum}^{0,5092} \quad (8)$$

Em que:

$Q_c$ - Caudal calculado [l/s];

$Q_{acum}$ - Caudal acumulado [l/s].

Efetuada uma análise troço a troço da tubagem de abastecimento de água fria. Obtém-se o comprimento que corresponde a cada troço e continuamos com o cálculo do diâmetro interior com a expressão 9.

$$D_i = 35,68\sqrt{Q_{troço}} \quad (9)$$

Em que:

$Q_{troço}$ - Caudal do troço [l/s];

$D_i$ - Diâmetro interior do troço [mm].

Com a tabela de Tubos em aço da Série Média conformes NP EN 10255, fazemos a escolha de cada um dos diâmetros comerciais. De seguida, corrigimos a velocidade no troço.

$$V = 1273 * Q_{troço}/D_i^2 \quad (10)$$

Em que:

$Q_{troço}$ - Caudal do troço [l/s];

$V$ - Velocidade de escoamento [m/s];

$D_i$ - Diâmetro interior do troço [mm].

Na tabela 3.11 são apresentados os resultados dos diâmetros e a correção das velocidades em cada um dos troços. É importante destacar que nenhuma das velocidades deve ultrapassar o valor de 1,5 m/s porque entraríamos no limite da zona ruidosa (APTA, 2017).

Tabela 3. 11 Tabela e cálculo dos Di comerciais e velocidade corrigida (Rede Fria)

Troço	L [m]	Caudal acumulado [l/s]	Caudal cálculo [l/s]	Diâmetro interior Cálculo [mm]	Tubagem	Diâmetro interior Comercial [mm]	Velocidade corrigida [m/s]
F1	0,5	1,6	0,647	28,71	DN 25	27,3	0,968
F2	0,3	0,2	0,22	16,73	DN 15	16,1	1,001
F3	3	1,4	0,605	27,75	DN 25	27,3	1,033
F4	0,6	0,2	0,22	16,73	DN 15	16,1	1,001
F5	8,95	1,2	0,559	26,68	DN 25	27,3	0,928
F6	0,5	0,5	0,358	21,34	DN 20	21,7	0,967
F7	1,24	0,7	0,425	21,34	DN 20	21,7	1,152
F8	0,8	0,1	0,157	14,17	DN 15	16,1	0,771
F9	0,75	0,6	0,393	22,37	DN 20	21,7	1,032
F10	0,3	0,2	0,22	16,73	DN 15	16,1	1,001
F11	12,7	0,4	0,319	20,17	DN 20	21,7	0,969

Tabela 3. 12 Tabela e cálculo dos Di comerciais e velocidade corrigida (Rede AQS)

Troço	L [m]	Caudal acumulado [l/s]	Caudal cálculo [l/s]	Diâmetro interior Cálculo [mm]	Tubagem	Diâmetro interior Comercial [mm]	Velocidade corrigida [m/s]
Q1	10,35	1,1 **	0,535	26,1	DN 25	27,3	0,888
Q2	0,5	0,5	0,626	21,35	DN 20	21,7	0,94
Q3	2,01	0,6	0,393	22,36	DN 20	21,7	1,032
Q4	0,3	0,2	0,22	16,73	DN 15	16,1	1,001
Q5	12,7	0,4	0,319	20,15	DN 20	21,7	0,837

\*\* Caudal acumulado inicial é 1,1 l/s para rede de Distribuição de AQS (são desprezados os ponto de consumo maq lav, sanita)

Para o cálculo das perdas de cargas usamos a Fórmula de *Flamant*:

$$J = 220666 * b * \frac{V^{1,75}}{Di^{1,25}} \quad (11)$$

Com as expressões 12,13, e 14 conseguimos obter o valor da pressão no troço final:

$$\Delta P = J * L_{eq} \quad (12)$$

$$P_f = P_i - J * L_{eq} \quad (13)$$

$$P_{fc} = P_i - J * L_{eq} - 9,81 * h \quad (14)$$

Em que:

J- Perdas de cargas unitárias [kPa/m];

L<sub>eq</sub>- Comprimento equivalente da tubagem [m];

P<sub>f</sub>- Pressão Final (Troço final) [kPa];

P<sub>fc</sub>- Pressão final corrigida [kPa];

P<sub>mín. A</sub>- Pressão mínima de abastecimento [kPa];

D<sub>i</sub>- Diâmetro Interior do troço [mm];

P<sub>i</sub>- Pressão no início do troço da tubagem [kPa];

V- Velocidade de escoamento [m/s];

h- Desnível do troço da tubagem [m].

A fórmula de *Flamant* é adaptada da original pela APTA. A adaptação que fazem no algoritmo de cálculo da APTA é para simplificar as unidades. Na tabela 3.13 apresentam-se os resultados dos cálculos para a rede de água fria e de AQS. Tomando em conta que a pressão final no troço final (ponto mais desfavorável da instalação) se encontra no intervalo de 150-300 kPa, não será necessário um elemento de impulsão para a rede de distribuição de água (APTA, 2017).

Tabela 3. 13 Resumo dos cálculos para a rede de água fria e de AQS

Parâmetro	Unidade	AQS	Fria
Comprimento Real	m	19,86	23,64
Comprimento Equival.	m	23,832	28,36
Perda de carga no troço	kPa/m	4,125	10,57
Perda de carga ( $\Delta p$ )	kPa	210,07	97,51
Pressão no troço final	kPa	252,48	189,92

### 3.14. Dimensionamento do sistema de água quente para pavimento radiante

#### 3.14.1. Coletor solar

O coletor solar selecionado para as duas instalações será o JUNKERS F1/200/FKT-2 conforme se ilustra na figura 3.16. Na Tabela 3.14 apresentam-se os dados técnicos e características do coletor e da sua instalação. O sistema para produção de AQS tem dois coletores e o de produção de água para aquecimento tem seis. A curva de rendimento do coletor é definida pela seguinte expressão;

$$\eta = \eta_0 - a_1 \left( \frac{t_e - t_a}{I} \right) \quad (15)$$

$\eta_0$  = Rendimento óptico [0,79]

$a_1$  = Coeficiente de perda [3,86]

$t_e$  = Temperatura média [°C]

$t_a$  = Temperatura ambiente [°C]

$I$  = Irradiação solar [W/m<sup>2</sup>]



Figura 3. 16 Imagem do coletor JUNKERS F1/200/FKT-2 (Junkers, 2017)

Tabela 3. 14 Dados técnicos e características do Coletor solar (Junkers, 2013)

Equipamento	JUNKERS F1/200/FKT-2	JUNKERS F1/200/FKT-2
Disposição	JUNKERS F1/200/FKT-2	JUNKERS F1/200/FKT-2
Número de coletores	2	6
Número total de baterias	1	2
Sup. Captação [m <sup>2</sup> ]	4,5	13,6
Orientação	S(180°)	S(180°)
Inclinação	35°	55°

### 3.14.2. Cálculo de distância entre os coletores

Para o dimensionamento e a disposição dos coletores devemos definir a distância que devemos ter entre as baterias de coletores para não causar sombreamentos. Para a latitude de Portugal podemos calcular a distância com as expressões apresentadas na figura 3.17. É importante destacar que se houver falta de espaço na cobertura a distância entre coletores pode ser reduzida até 25% (Caleffi, 2006).

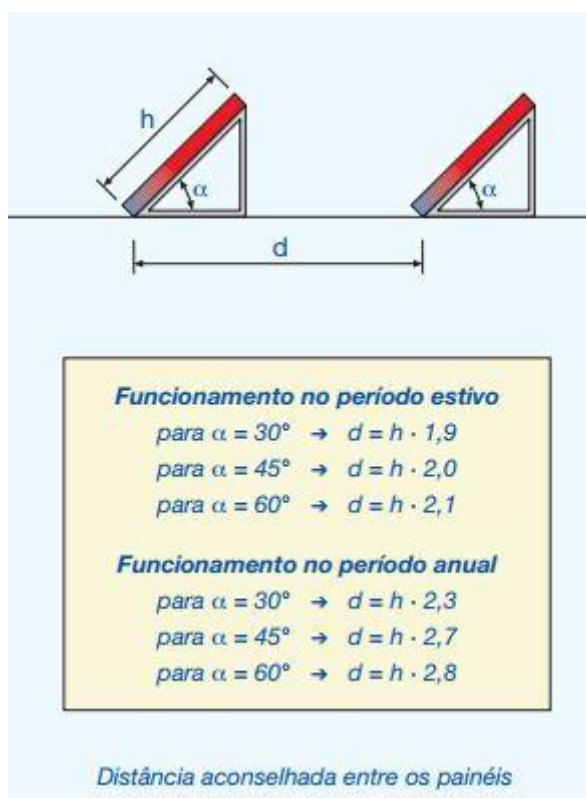


Figura 3. 17 Distância aconselhada entre painéis (Caleffi, 2006)

Como no projeto temos baterias com diferentes ângulos de inclinação e em diferentes regimes de uso, a expressão 16 foi usada para o circuito de produção de AQS que tem uma inclinação de  $35^\circ$  e um regime de uso anual e a expressão 17 para o cálculo do circuito de produção de água quente para pavimento radiante.

$$d = h \cdot 2,3 \quad (16)$$

$$d = h \cdot 2,7 \quad (17)$$

em que:

d- Distância aconselhada entre coletores [m];

h- Comprimento do coletor [m].

A distância entre coletores será 4,62 m para o circuito de AQS e 5,40 m para circuito de produção de água quente.

### 3.14.3. Modo de ligação dos coletores

O tipo de ligação usada para o dimensionamento do circuito, será uma ligação bilateral paralelo de coletores solares, onde temos uma bateria de três coletores solares ligada em paralelo e duas destas baterias em paralelo, para um total de seis coletores em paralelo. Este tipo de ligação é usado em instalações com necessidades energéticas elevadas. Na figura 3.18, conseguimos ver um exemplo desta ligação.

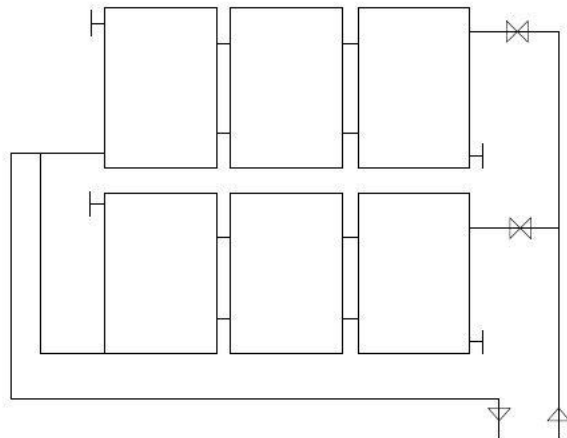


Figura 3. 18 Ligação mista de coletores solares (*Software AutoCAD*)

Existem duas metodologias para garantir que os caudais são equilibrados neste tipo de ligação. Uma é com a inserção de perdas de carga (por válvulas de equilibragem) na entrada das baterias outra é igualar a distância entre o retorno e o avanço da instalação (retorno invertido ou sistemas *Tichelmann* com o objetivo de ter a mesma perda de carga. Para o dimensionamento no nosso projeto foi usado princípio do retorno invertido, este tipo de ligação permite até 5 coletores em cada linha.

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n \quad (18)$$

Nas baterias os coletores estão ligados em paralelo e o caudal total do circuito será o somatório dos caudais de cada uma das baterias. O caudal total da instalação será de 300 l/h, produto do somatório dos caudais dos coletores.

### 3.14.4. Cálculo das perdas de carga

### 3.14.5. Perdas de cargas na serpentina do depósito

Para o cálculo das perdas de carga produzida pela serpentina do depósito de acumulação é usado o gráfico de perda de pressão do equipamento selecionado. Este gráfico apresenta as linhas em função dos números de coletores e o caudal para obter a perda de carga.

O valor mínimo admissível para definir a perda de carga com seis coletores neste gráfico seria  $0,7 \text{ m}^3/\text{h}$ . Então, considerando que nosso caudal ( $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$ ) é inferior que o valor mínimo, consideramos que a perda de carga da serpentina do depósito é desprezável. No anexo 5, encontra-se o gráfico completo das perdas de carga na serpentina.

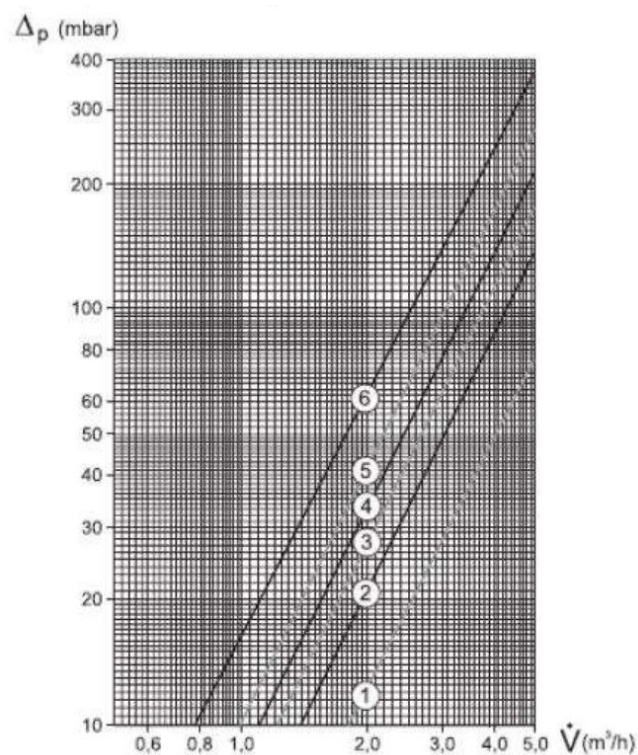


Figura 3. 19 Gráfica de perda de carga do Depósito S750 ZB-Solar (Vulcano, 2014)

### 3.14.6. Perdas de carga nos coletores solares

O valor das perdas de carga provocadas por estes equipamentos é obtido a partir do gráfico de perdas de pressão nos coletores fornecido pelo fabricante na ficha técnica do WarmSun FKC-2S. Para um caudal de  $300 \text{ l/h}$ , as perdas de carga induzidas pelos coletores seis são  $400 \text{ mbar}$ . No anexo 6 encontra-se o gráfico das perdas de cargas nos coletores.

### 3.14.7. Perdas de carga na tubagem

Para o cálculo das perdas de cargas na tubagem inicialmente é calculado o diâmetro, sendo considerados a velocidade média fornecida pelo fabricante e o caudal calculado anteriormente. O diâmetro obtido no cálculo é de 13,25 mm. Os cálculos encontram-se no anexo 7.

Adaptamos os dados para um diâmetro que seja comercializado, o diâmetro exterior comercializado será de 15,88 mm. Com este novo valor é recalculada a velocidade média do fluido.

Seguidamente, são calculadas as perdas de carga localizadas e contínuas no circuito primário. Na tabela 3.15 e 3.16 apresenta-se o resumo de acessórios que tem a tubagem do circuito primário e os dados gerais considerados para o cálculo das perdas. Com as seguintes expressões (*Darcy-Weisbach*) podemos definir as perdas de carga.

$$\Delta l = \Sigma K * \frac{v^2}{2 * g} \quad (19)$$

em que:

$\Delta l$  = Perdas de localizadas [m.c.a];

$\lambda$  = Coeficiente de atrito [adimensional];

L= Comprimento da tubagem [m];

D= Diâmetro da tubagem [m];

V= Velocidade do fluido [m/s].

Tabela 3. 15 Tabela de dados geral do circuito primário da instalação

Dados	Unidade	Valor
Caudal	l/h	300
Área	m <sup>2</sup>	1,619x10 <sup>-4</sup>
Velocidade	m/s	0,512
Diâmetro Interior	mm	15,88
<i>Nº Reynolds</i>	Adimensional	14864, 49
Coeficiente de Atrito	Adimensional	0,0474
Rugosidade do Cobre	mm	0,0015
Comprimento	m	25,01

Tabela 3. 16 Tabela de acessórios da tubagem do circuito primário



<b>Acessórios</b>	<b>Nº</b>	<b>K</b>
Curva de 90°	16	0,7
Válvula de corte	2	1,0
Entrada do depósito	1	0,5
Tê	2	1,3
Redução	4	0,4

Para totalizar as perdas de carga na tubagem somamos as perdas de carga contínuas localizadas, na serpentina do depósito e a perda induzida pelos coletores. Na tabela 3.17 apresenta-se o resumo dos cálculos.

Tabela 3. 17 Tabela dos resultados das perdas de carga no circuito primário

<b>Perda de carga</b>	<b>m.c.a</b>	<b>mbar</b>
Localizadas	0,349	34,90
Contínuas	0,998	99,80
Serpentina do depósito	0	0
Coletor	4	400
<b>Total</b>	<b>5,347</b>	<b>534,7</b>

### 3.14.8. Escolha do grupo de circulação hidráulico

Sabendo o valor total das perdas de carga no circuito primário podemos proceder à escolha do grupo de circulação hidráulico. Com o gráfico fornecido pela ficha técnica dos grupos de circulação hidráulico e sabendo o valor do caudal e das perdas de cargas totais no circuito primário podemos seleccionar um grupo de AGS Vulcano para a instalação. O grupo de circulação que se adapta melhor à nossa instalação é o AGS 10. Na Figura 3.20 apresenta-se o gráfico do grupo de circulação.

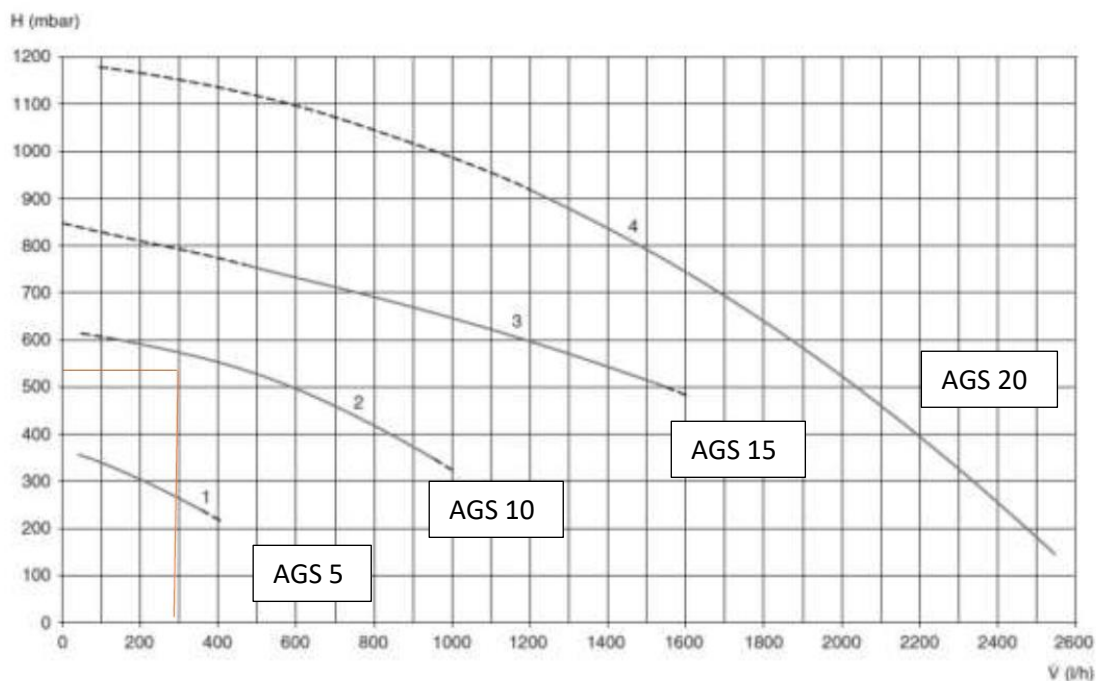


Figura 3. 20 Gráfico para escolha do grupo de circulação hidráulico (Vulcano, 2015)

### 3.14.9. Dimensionamento do circuito de pavimento radiante

Para o dimensionamento hidráulico do circuito secundário que corresponde à distribuição da água pelo pavimento radiante, voltamos a usar o *Software* CYPE. Neste dimensionamento, o *software* modela um sistema de climatização por pavimento radiante consoante as necessidades da instalação e também fornece as opções dos equipamentos mais adequados para a instalação.

Previamente ao dimensionamento, devemos definir as tipologias de compartimentos que temos na instalação e as temperaturas máxima que devem ter as superfície do pavimento radiante. Na tabela 3.18, apresentam-se estes dados.

Tabela 3. 18 Dados de temperatura para as tipologias dos compartimentos (*Software* CYPE)

Tipo de compartimento	Temperatura Max-Pavimento [°C]	Temperatura do compartimento [°C]
Zona de permanência	29	20
Casas de banho	33	24
Zona periférica	35	20

Também será necessário calcular a densidade de fluxo térmico para aquecimento. As cargas térmicas para aquecimento que previamente tinham sido calculadas, dividem-se pela área do compartimento. Na tabela 3.19 apresenta-se o resumo dos cálculos.

Tabela 3. 19 Dados de temperatura para as tipologias de compartimentos

Compartimento	Carga térmica de aquecimento [W]	Área [m <sup>2</sup> ]	Q aquec. [W/m <sup>2</sup> ]
Quarto 1	1102,77	15,70	70,2
Quarto 2	850,54	16,37	51,9
I.S	1520,87	23,60	64,5
Sala	953,49	9,88	96,5
Cozinha	805,51	6,97	115,6
Hall	1279,72	17,52	73,0

### 3.14.10. Localização dos coletores e instalação

Para a instalação foram desenhados seis circuitos para cobrir todas as áreas que se pretende aquecer. Cada um dos coletores dispõe de um avanço e retorno que se comunicam entre o piso radiante e o equipamento produtor. Todos os coletores estão centrados nos compartimentos e o tipo de traçado foi escolhido segundo o compartimento. Na figura 3.22 ilustra-se a localização dos circuitos da instalação.

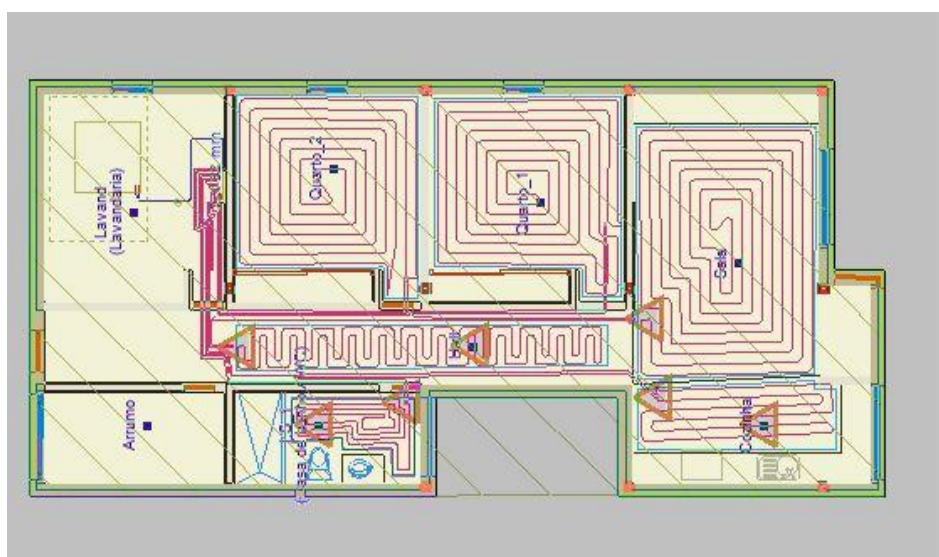


Figura 3. 21 Ilustração da instalação do pavimento radiante (*Software CYPE Ingenieros*)

### 3.14.11. Cálculo do comprimento dos circuitos

O cálculo do comprimento em cada um dos dos circuitos é realizado com a seguinte expressão, definida pelo *Software CYPE* no cálculo deste tipo de instalações:

$$L = \frac{A}{e} + 2 * l \quad (20)$$

em que:

A- Área a climatizar coberta pelo circuito [m<sup>2</sup>];

e- Separação entre tubagens [m];

l- Distância entre o coletor e a área a climatizar [m].

### 3.14.12. Cálculo da temperatura de impulsão da água

Para o cálculo da temperatura impulsão da água foi usada a seguinte expressão, definida pelo *Software CYPE* no cálculo deste tipo de instalações.

$$q = Kh * \Delta\theta h \quad (21)$$

em que:

q- Densidade de fluxo térmico [W/ m<sup>2</sup>];

Kh -Constante que depende das seguintes variáveis;

- Pavimento (espessura do revestimento e condutibilidade)
- Laje (espessura e condutibilidade)
- Tubagem (diâmetro exterior, incluindo o revestimento, espessura e condutibilidade) [adimensional]

$\Delta\theta$ - Desvio médio da temperatura ar-água, que depende das seguintes variáveis;

- Temperatura de impulsão [°C]
- Temperatura de retorno [°C]
- Temperatura do compartimento[°C]

Para calcular a temperatura de impulsão a partir da máxima densidade de fluxo térmico, será considerado um salto térmico da água de 5°C (*Software CYPE*).

### 3.14.13. Cálculo do caudal de água para cada circuito

Para o cálculo do caudal de água para cada um dos circuitos no pavimento radiante foi usada a expressão 22, definida pelo *Software CYPE* no cálculo deste tipo de instalações.

$$mH = \frac{Af*q}{\sigma*Cw} * \left( 1 + \frac{Ro}{Ru} + \frac{\theta i - \theta u}{q * Ru} \right) \quad (22)$$

em que:

Af- Superfície coberta pelo circuito de piso radiante [m<sup>2</sup>];

q- Densidade de fluxo térmico [W/ m<sup>2</sup>];

$\sigma$ - Salto de temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$C_w$ - Calor específico da água [ $\text{kJ/K.kg}$ ];

$R_o$ - Resistência térmica parcial ascendente do pavimento [ $\text{m}^2.\text{K/W}$ ];

$R_u$ - Resistência térmica parcial descendente do pavimento [ $\text{m}^2.\text{K/W}$ ];

$\theta_u$ - Temperatura do compartimento inferior [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$\theta_i$ - Temperatura do compartimento [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$mH$ - Caudal de água por circuito [ $\text{l/h}$ ]

Os valores das resistências térmicas, tanto ascendente como descendente são calculadas através das seguintes expressões (cálculos *Software CYPE*):

$$R_o = \frac{1}{\alpha} + R_{\lambda, B} + \frac{S_u}{\lambda_u} \quad (23)$$

Efetuada os cálculos obtém-se

$$\frac{1}{\alpha} = 0,093 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_u = R_{\lambda, 1} + R_{\lambda, 2} + R_{\lambda, 3} + R_{\lambda, 4} \quad (24)$$

Efetuada os cálculos obtém-se

$$R_{\lambda, 4} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

onde,

$R_{\lambda, B}$ = Resistência térmica do revestimento do pavimento [ $\text{m}^2.\text{K/W}$ ]

$S_u$ = Espessura (por cima do tubo) [ $\text{m}$ ]

$\lambda_u$  = Condutibilidade térmica da camada de suporte da carga e da difusão térmica [ $\text{K}\cdot\text{m/W}$ ]

$R_{\lambda, 1}$ = Resistência térmica do isolante [ $\text{m}^2.\text{K/W}$ ]

$R_{\lambda, 2}$ = Resistência térmica da laje [ $\text{m}^2.\text{K/W}$ ]

$R_{\lambda, 3}$ = Resistência térmica do teto falso [ $\text{m}^2.\text{K/W}$ ]

$R_{\alpha, 4}$ = Resistência térmica do teto [ $\text{m}^2.\text{K/W}$ ]

### 3.14.14. Resumos dos cálculos do dimensionamento hidráulico do sistema de pavimento radiante

São apresentadas as tabelas 3.20 e 3.21 que correspondem ao resumo dos cálculos do circuito de pavimento radiante, no que respeita a características hidráulicas e energéticas.

Tabela 3. 20 Resumos das características físicas dos circuitos hidráulicos

Compartimento	Circuito	Tipo de Traçado	Separação [cm]	Área Coberta [m <sup>2</sup> ]	Comprimento Max [m]	Comprimento real [m]
Quarto 1	C1	Espiral	20	13,66	240	83,2
Quarto 2	C2	Espiral	20	14,00	240	95,9
Sala	C3	Espiral	20	18,69	240	118,1
Cozinha	C4	Duplo	20	5,58	240	56,5
I.S	C5	Espiral	10	2,95	240	49,0
Hall	C6	Duplo	15	6,98	240	56,2

Tabela 3. 21 Resumos dos cálculos energético e hidráulico dos circuitos

Circuito	Temp. Impulsão [°C]	Temp. Retorno [°C]	Potencia Inst. [W]	Potencia requ. [W]	Ø interno [mm]	Caudal [l/s]
C1	40,9	33,1	1088,8	1102,8	16	162,03
C2	40,9	27,7	861,9	850,5	16	77,4
C3	40,9	33,4	1503,9	1520,9	16	231,14
C4	40,9	35,9	489,8	489,8	16	113,08
C5	40,9	37,9	370,8	479,5	16	139,67
C6	40,9	37,9	754,4	1134,7	16	286,48

### 3.15. Equipamentos da instalação

#### 3.15.1. Vaso de expansão (Solar)

Com base nos cálculos do volume útil dos vasos de expansão obtidos anteriormente, foram selecionados vasos de expansão para circuito primário de instalações solares com membrana em diafragma da marca Caleffi para um volume comercial. O circuito de produção de AQS tem um vaso de expansão de 5 litros e o circuito de água para aquecimento de 35 litros (Caleffi, 2006). Na figura 3.22 apresenta-se um vaso expansão para instalações solares.



Figura 3. 22 Imagem ilustrativa do vaso expansão para instalações solares com membrana em diafragma da marca Caleffi (Caleffi, 2006)

### 3.15.2. Depósito de acumulação

Na instalação serão necessários dois depósitos de acumulação. Dado que as duas necessidades têm uma diferença de 20 °C nas temperaturas pretendidas e que a primeira prioridade (AQS) tem um volume relativamente pequeno em comparação com a produção de água quente para aquecimento, foi entendido que não era uma solução eficiente aquecer um grande volume de água a 60 °C para usar menos do 20% do volume para AQS. Por esta razão foi tomada a decisão de aplicar um depósito de acumulação para cada circuito.

Para os circuitos de foram selecionados os depósitos Vulcano da Gama S ZB-Solar. Na tabela 3.22, apresentam-se as características técnicas dos depósitos de acumulação.

Tabela 3. 22 Tabela de especificações técnicas dos depósitos de acumulação (Vulcano, 2014)

<b>Características</b>	<b>AQS</b>	<b>Aquecimento</b>
Modelo	ZB-SOLAR 200	ZB-SOLAR 750
Diâmetro [mm]	540	950
Espessura de isolamento [mm]	50	100
Tipo de permutador	Serpentina	Serpentina
Nº Permutador	1	1
Volume útil [l]	192	736
Perdas de energia [kWh/24h]	2,2	3,3

### 3.15.3. Grupo de circulação hidráulico

Para o circuito de produção de água quente para aquecimento foi selecionado o grupo AGS 10 da Vulcano. Este equipamento incorpora todos os elementos necessários ao circuito primário

de captação solar: bomba, válvulas de corte, termómetros, válvulas anti-retorno, caudalímetro, válvula de segurança e ligação de saída para o vaso de expansão (Vulcano, 2015). Para o circuito primário de produção de AQS a circulação realizada por uma bomba de circulação solar e não por um grupo de circulação. Na figura 3.23 apresenta-se o grupo AGS 10 Vulcano.



Figura 3. 23 Imagem ilustrativa do grupo AGS 10 Vulcano (Vulcano,2015)

#### 3.15.4. Caldeira de condensação

O equipamento selecionado para a instalação foi uma caldeira de condensação a gás ZSB 22-3C 23 da Vulcano. Esta caldeira tem tecnologia de condensação com elevado rendimento em aquecimento de 92% e tem a versatilidade de aplicação para águas quentes instantâneas e produção de água quente para aquecimento (por acumulação). Sendo assim uma das melhores opções do fabricante para a adaptação com sistema solar térmico. As caldeiras ZSB possuem 22 kW de potência máxima em aquecimento central e na produção de águas quentes sanitárias por acumulação (Vulcano, 2011). Na figura 3.24, mostra-se a caldeira Vulcano ZSB 22-3C 23.





Figura 3. 24 Caldeira Vulcano ZSB 22-3C 23 (Vulcano, 2011)

A Vulcano ZSB 22-3C 23 incorpora um sistema de controlo da bomba circuladora para a gestão do funcionamento do circuito primário e de apoio para aquecimento e AQS. O sistema de controlo é o responsável por ajustar a temperatura da água quente para o consumo, medição de temperatura de acumulação, definir regimes de funcionamento (Funcionamento de verão/ inverno), desinfeção térmica, proteção anti gelo e outros. Na figura 3.25 apresenta-se o sistema de controlo Vulcano.



Figura 3. 25 Sistema de controlo Vulcano ZSB 22-3C 23 (Vulcano,2011)

### 3.15.5. Tubagem

Os tubos para os dois sistemas primários serão de cobre, dado que o cobre apresenta vantagens térmicas (maior coeficiente de transferência de calor) e permite uma montagem mais fácil (material muito maleável). A tubagem será equipada com um isolamento de

espuma elastomérica, para diminuir as perdas térmicas na tubagem conforme se ilustra na figura 3.26.



Figura 3. 26 Tubo de cobre com isolamento de espuma (Istock, 2016)

### 3.15.6. Elementos de segurança

Foram incorporados elementos de segurança, válvula de corte, purgadores de ar automáticos, válvula anti retorno, filtros, vaso de expansão, válvula de segurança com esgoto sifonado e outros elementos de segurança que vêm incorporados no grupo de AGS 10 da Vulcano.

### 3.15.7. Pavimento radiante

### 3.15.8. Coletor modular

O Coletor usado na instalação é de tipologia modular plástico de 1" de diâmetro, modelo Vario Plus "UPONOR IBERIA", composto de 2 válvulas de passagem de 1", 2 termómetros, 2 purgadores automáticos, válvula de enchimento, válvula de esvaziamento, caudalímetros, 2 tampões terminais e suportes conforme se ilustra na figura 3.27 (UPONOR, 2013).



Figura 3. 27 Coletor Vario Plus UPONOR IBÉRIA (UPONOR, 2013)

### 3.15.9. Tubos de polietileno reticulado

Para a instalação foi escolhido o tubo de EP-Xa da marca UPONOR com placa base ou termoplaca do mesmo fabricante. As especificações técnicas do conjunto de placa e tubos são apresentadas na tabela 3.23.

Tabela 3. 23 Especificações técnicas do conjunto UPONOR (UPONOR, 2013)

<b>Fabricante</b>	UPONOR
<b>Sistema</b>	Convencional, camada de argamassa
<b>Placa porta tubos</b>	1450x850 mm
<b>Tubos EPX</b>	Polietileno reticulado EP-Xa / diâmetro 16 mm

### 3.15.10. Bomba de circulação

Foi selecionada uma bomba de circulação modelo Ego T Easy 32/100 "EBARA", de tipologia dupla composta de um rotor húmido, equipada com variadores de frequência incorporada, com quatro modos de funcionamento selecionáveis desde o painel de controlo (modo automático, pressão proporcional, pressão constante e velocidade constante).

As ligações da bomba são roscadas de 2" de diâmetro, com uma pressão máxima de trabalho 10 bar e um intervalo de temperatura do líquido conduzido de 2 a 110°C (EBARA,2014). Na figura 3.28 ilustra-se a bomba de circulação.



Figura 3. 28 Bomba de circulação modelo Ego T Easy 32/100 "EBARA" (EBARA,2014)

### 3.15.11. Unidade de controlo

A instalação tem uma unidade de controlo com comunicação via rádio e ecrã tátil retroiluminado, modelo Smatrix Wave PLUS I-167 "UPONOR IBERIA" conforme se ilustra na figura 3.29. Esta unidade central, serve para um máximo de 6 termóstatos de controlo e 8 cabeças eletrotérmicas, com comunicação bidirecional via rádio com os termóstatos e as sondas. Na figura 3.30 se ilustra a cabeça eletrotérmica.



Figura 3. 29 Unidade de controlo Smatrix Wave PLUS I-167, "UPONOR IBERIA"  
(UPONOR, 2013)



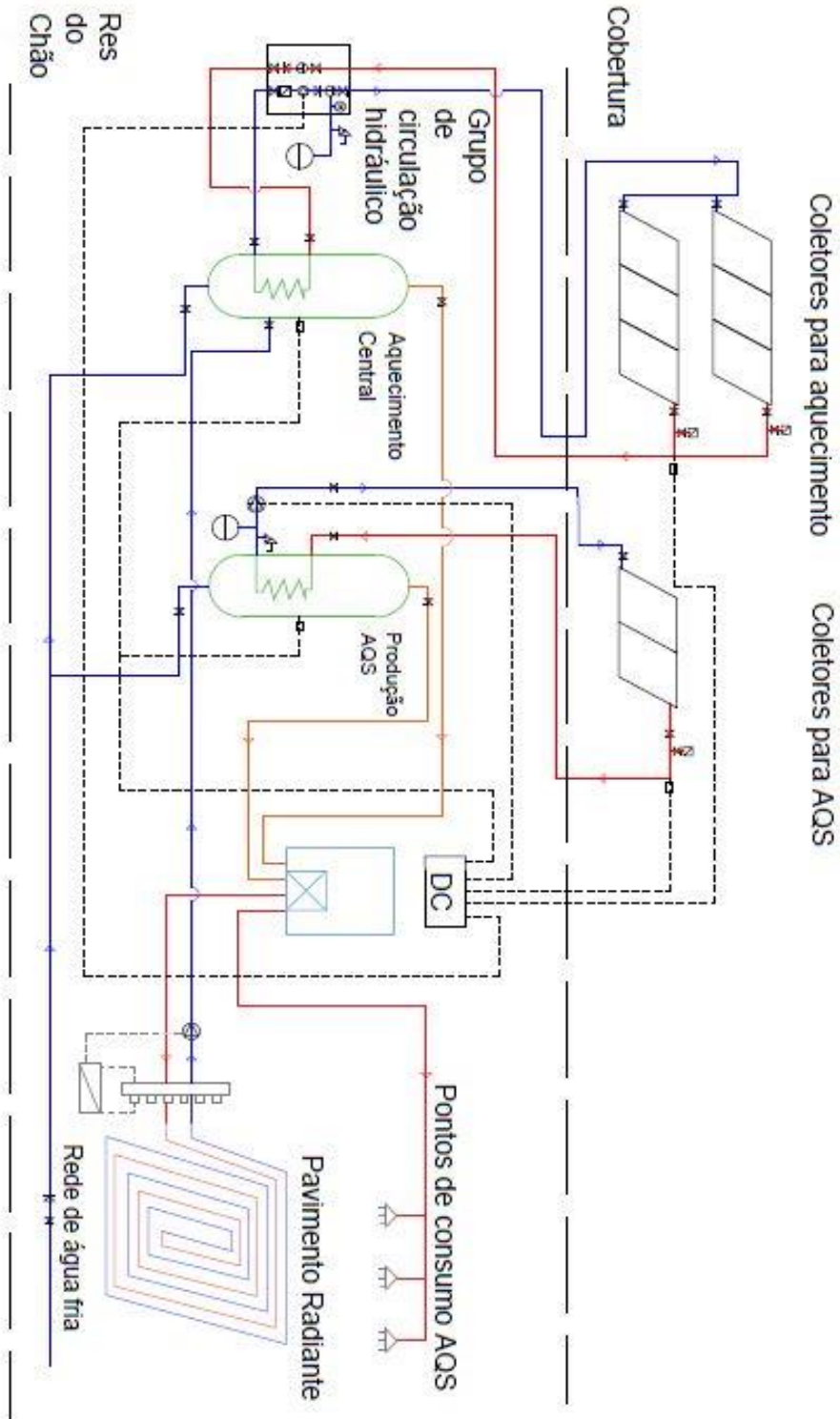
Figura 3. 30 Cabeça eletrotérmica Vario Plus 24V UPN (UPONOR, 2013)

#### 3.15.14. Elementos de segurança

Também foram incorporados elementos de segurança como filtro de retenção de resíduos de latão, uniões anti-vibração de borracha, válvula de esfera de latão niquelado para enroscar, válvula de retenção de latão para enroscar e manómetro com banho de glicerina.

### **3.16 Fluxograma Geral da Instalação**

Para o melhor entendimento da instalação é apresentado o fluxograma geral da instalação. É um desenho esquemático, não escalado que contém todos os equipamentos e sistemas da instalação e pretende permitir perceber o funcionamento geral. A versão completa do fluxograma encontra-se no Anexo 11.



## 4 - ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÓMICA

No estudo e análise energética do projeto, foram considerados separadamente os dois sistemas (produção de AQS e produção de água quente para aquecimento). Nesta análise foram usados os *Software Solterm* e o *Software SCE.ER* que, a partir de 21 de março de 2016 passou a ser o único programa para o cálculo energia produzida por sistemas solares térmicos ou fotovoltaicos (Despacho DGEG nº 3156/2016). No entanto, decidimos usar os dois *softwares* e fazer uma comparação entre os resultados. O *Software SCE.ER* está concebido em formato de folha de cálculo de Microsoft Excel com marcos predefinidos e não tem todas as ferramentas que tem o *Solterm*, para além de não conseguir simular o estudo energético no caso do sistema de produção de água quente para aquecimento.

### 4.1. Análise energética do Sistema de produção de AQS

#### 4.1.1 Simulação com *Software Solterm*

Com o módulo de análise energética do programa *Solterm*, conseguimos obter a simulação da distribuição energética para o sistema de produção de AQS e os valores de radiação. Nas tabelas 4.1 a 4.3 são apresentados os resultados.

Tabela 4. 1 Resumo da distribuição energética para sistema Produção de AQS (*Software Solterm*)

Mês do Ano	Necessidade Energética [kWh]	Energia Térmica fornecida [kWh]	Apoio Energético [kWh]
Janeiro	219	135	85
Fevereiro	197	137	60
Março	214	164	50
Abril	202	170	32
Maiο	202	186	16
Junho	187	174	13
Julho	186	183	3
Agosto	186	186	1
Setembro	185	170	16
Outubro	202	168	34
Novembro	206	146	60
Dezembro	218	129	89
Total Anual	2404	1947	458

Tabela 4. 2 Resumo dos índices de radiação (*Software Solterm*)

	Anual	Diária
<b>Rad. Horizontal [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	1592	4,36
<b>Rad. Inclina. [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	1826	5,00

Tabela 4. 3 Resumo dos dados técnicos da instalação (*Software Solterm*)

<b>Coletor</b>	Junkers FKT-2S
<b>Fração Solar</b>	79 %
<b>Rendimento Global do Sistema</b>	24 %
<b>Produtividade</b>	659 kWh/ m <sup>2</sup>
<b>Área de captação</b>	4,5 m <sup>2</sup>
<b>Consumo</b>	120 l/dia
<b>Temperatura pretendida</b>	60 °C

#### 4.1.2. Simulação com *Software SCE.ER*.

Com o marco predefinido de “Produção de AQS” do programa *SCE.ER*, conseguimos obter a simulação da distribuição energética para o sistema de produção de AQS e os valores de radiação. Nas tabelas 4.4 e 4.5 são apresentados os resultados.

Tabela 4. 4 Resumo da distribuição energética para sistema Produção de AQS (*Software SCE.ER*)

<b>Mês do Ano</b>	<b>Necessidade Energética [kWh]</b>	<b>Energia Térmica fornecida [kWh]</b>	<b>Apoio Energético [kWh]</b>
Janeiro	219	136	84
Fevereiro	197	137	60
Março	214	167	47
Abril	202	172	30
Maio	202	187	15
Junho	187	175	12
Julho	186	184	2
Agosto	186	186	0
Setembro	185	172	13
Outubro	202	169	33
Novembro	206	147	37
Dezembro	218	131	87
<b>Total Anual</b>	<b>2404</b>	<b>1963</b>	<b>420</b>



Tabela 4. 5 Resumo dos dados técnicos da instalação (*Software SCE.ER*)

<b>Coletor</b>	Junkers FKT-2S
<b>Fração Solar</b>	72 %
<b>Rendimento Global do Sistema</b>	21%
<b>Produtividade</b>	687 kWh/ m <sup>2</sup>
<b>Perdas</b>	29%
<b>Área de captação</b>	4,92 m <sup>2</sup>
<b>Consumo</b>	120 l/dia
<b>Temperatura pretendida</b>	60 °C

#### 4.2. Análise energética do sistema de produção de água quente - Aquecimento

Para a análise energética do Sistema de produção de água quente só usamos o *Software Solterm*, devido a que o *Software SCE.ER* não permitiu fazer a configuração deste sistema separadamente. Da mesma forma que nos casos anteriores conseguimos obter a simulação da distribuição energética para o sistema de aquecimento. Na tabela 4.6 são apresentados os resultados.

Tabela 4. 6 Resumo da distribuição energética para sistema de Produção água quente para aquecimento (*Software Solterm*)

	<b>Necessidade Energética [kWh]</b>	<b>Energia Térmica fornecida [kWh]</b>	<b>Apoio Energético [kWh]</b>
Setembro	1406	821	585
Outubro	3322	574	2748
Novembro	3818	425	3393
Dezembro	3945	311	3634
Janeiro	4153	345	3807
Fevereiro	3938	399	3539
Março	3114	465	2649
Abril	2210	566	1644
Mai	1038	661	377
Total Anual	26944	4567	22376

Para simular o comportamento energético da instalação foi determinado um perfil de consumo nos meses de inverno, neste perfil de consumo foi definida uma temperatura de consumo (41 °C) e uma estimativa da temperatura de retorno (35 °C). Por último foram introduzidas em

unidades de energia as cargas necessárias para cada hora. Na figura 4.1 apresenta-se o perfil de horas de funcionamento.



Figura 4. 1 Horas de funcionamento em função dos meses do inverno

Inicialmente tínhamos definido que a inclinação dos coletores do sistema de produção água quente para aquecimento seriam instalados com uma inclinação de  $55^\circ$ , mas quando fizemos o estudo energético na fase de otimização da instalação o *Software* aconselhou modificar a inclinação até  $48^\circ$ . Foram feitas as duas simulações para verificar qual era a melhor inclinação. Chegou-se a conclusão de que a inclinação de  $48^\circ$  fornece mais energia térmica. Na figura 4.2 apresentam-se os resultados das duas simulações.

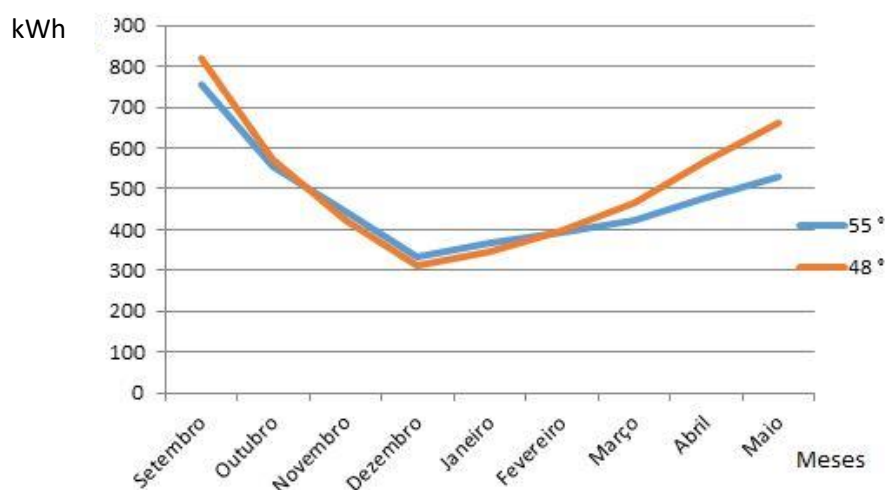


Figura 4. 2 Gráfico de comparação da energia térmica fornecida com a variação do angulo de inclinação

### 4.3. Estimativa orçamental

Para realizar a estimativa orçamental do projeto foi usado o editor de orçamentos do *Software Cype Ingenieros*. Esta ferramenta permite calcular o orçamento geral da instalação, detalhando cada um dos pontos como estruturas, obras, transporte entre outros. O *software* usa uma base de dados para dos fornecedores nacionais e regionais para calcular o melhor orçamento. Na tabela 4.7 apresenta-se a estimativa geral do orçamento. Claramente no nosso projeto o item mais importante é o nº 4, que corresponde as instalações de aquecimento e produção de AQS. No Anexo 9, disponibiliza-se a estimativa detalhada deste item.

Tabela 4. 7 Estimativa Orçamental (Adaptado do *Software CYPE ingenieros*)

Nº	Conceito	Valor [€]
1	ACONDICIONAMENTO DO TERRENO	3.034,46
2	ESTRUTURAS	6.178,08
3	FACHADAS, DIVISÕES E PROTEÇÕES	3.351,74
4	INSTALAÇÕES	8766,05
5	VÃOS	1.998,26
6	ISOLAMENTOS E IMPERMEABILIZAÇÕES	13.266,89
7	COBERTURAS	9.650,55
8	REVESTIMENTOS	3.257,27
Orçamento de execução material		53.339,26
IVA: 23.00 %		12.268,03
Orçamento de concurso		61771,33

### 4.4. Análise económica

Para a análise económica dos sistemas foi usado o módulo de análise económica do *Software SolTerm*. Na tabela 4.8 são apresentadas as características técnicas e parâmetros operacionais que foram considerados para o estudo económico dos sistemas. O objetivo desta análise económica é saber qual será a estimativa de retorno de investimento para cada um dos sistemas. É importante destacar que esta análise somente considera os sistemas solares e não o conjunto. Nas tabelas 4.9 e 4.10 apresentam-se as sínteses dos resultados obtidos. O estudo completo disponibiliza-se nos anexos 16 e 17.

Tabela 4. 8 Características técnicas do Sistema de produção de AQS e o Sistema de produção água quente para aquecimento (*Software Solterm*)

<b>Características Técnicas</b>	<b>Sistema Aquecimento</b>	<b>Sistema de AQS</b>
Área de captação	13,6 m <sup>2</sup>	4,92 m <sup>2</sup>
Tempo de vida da instalação	20 anos	20 anos
Renovação de componentes	11 <sup>o</sup> ano	11 <sup>o</sup> ano
Preço total do sistema	6.780,00 €	2.255,00 €
Capital disponível	6.780,00 €	2.255,00 €
Empréstimo Bancário	0 €	0 €
Fonte de energia apoio	Gás Natural	Gás Natural
Preço Energia de apoio	0,026 €/MJ	0,026 €/MJ

Tabela 4. 9 Síntese dos resultados para o Sistema de produção água quente para aquecimento (*Software Solterm*)

<b>Conceito</b>	<b>Valor [€]</b>
Investimento	2.255,00
Manutenção	501,00
Reparações	25,00
Valor residual	22,00
Gastos com energia	5.645,00
Vantagem Total	1.485,00

Tabela 4. 10 Síntese dos resultados para o Sistema de produção água quente para aquecimento (*Software Solterm*)

<b>Conceito</b>	<b>Valor [€]</b>
Investimento	6.780,00
Manutenção	1.508,00
Reparações	76,00
Valor residual	66,00
Gastos de energia (em 20 anos)	60.229,00
Vantagem Total	700,00

A análise económica considerou um cenário de vinte anos, pelo que os valores de vantagem total que foram obtidos correspondem aos custos evitados ao fim dos vinte anos. Para o sistema de produção de AQS temos uma vantagem total de € 1.485,00 e estima-se que se

consiga recuperar o capital investido a partir do 14º ano. Para o Sistema de produção água quente para aquecimento, a vantagem total é de € 700,00 e estima-se que se consiga recuperar o capital investido a partir do 17º ano.



## 5 – CONCLUSÕES

No contexto energético europeu atual é notório que as políticas dos estados membros devem orientar-se cada vez mais em implementar e promover as energias renováveis. Para usos domésticos, a energia solar térmica segue entre as melhores opções por apresentar algumas vantagens, nomeadamente por ser um recurso inesgotável e completamente renovável e pela facilidade de aplicação e versatilidade. É por este motivo que a investigação e desenvolvimento desta energia são sempre relevantes.

No decorrer do projeto conseguimos efetuar a avaliação térmica do caso de estudo no *Software CYPE Ingenieros*, definindo os elementos construtivos da instalação e obtendo as cargas térmicas para a climatização da instalação.

Na fase do dimensionamento foram estudados e dimensionados os sistemas de produção de AQS e produção de água quente para aquecimento, como também os sistemas de distribuição de AQS e o pavimento radiante. A principal limitação nesta fase foi que o *software CYPE Ingenieros* não permitiu a configuração de um sistema de pavimentos radiante com fonte de energia solar. No entanto, o *Software* possibilitou analisar os sistemas separadamente e considerar outra fonte de energia para obter todas as especificações do projeto.

A análise energética do projeto foi possível pelos *softwares Solterm* e *SCE.ER*. Estes dois *softwares* permitiram ter o contexto real da instalação em termos de energia, analisando a energia fornecida pelos sistemas primários e requerida para o apoio aos sistemas de AQS e pavimento radiante. Na realização das simulações do comportamento energético tivemos muitas dificuldades, já que o *software SCE.ER* não tem todos os módulos de análise.

Cumprindo com o último objetivo estipulado no capítulo 1, foi efetuada uma análise técnico económica do projeto, para avaliação da sua viabilidade. O módulo financeiro do *software Solterm* permitiu fazer esta análise. O resultado desta análise é que num cenário de vinte anos, o sistema de produção de AQS consegue atingir uma vantagem total de €1.485,00 e estima-se que se consiga recuperar o capital investido a partir do 14º ano. Para o sistema de produção de água quente para aquecimento, a vantagem total é de €700,00 e estima-se que se consiga recuperar o capital investido a partir do 17º ano.

Para ambos os sistemas foi considerado a opção de um *investimento próprio* e para comparar a sua viabilidade, foi simulada a metodologia do custo de oportunidade de investimento com ajuda do módulo financeiro. Este ensaio comparou o que poderia acontecer ao fim dos vinte anos no caso de que se invista no sistema solar ou em outra aplicação financeira segura, como uma retenção de capital a prazo fixo. Em qualquer dos dois casos o *software* demonstrou que o investimento nos sistemas solares seria viável.

Também conseguimos comprovar os benefícios ambientais que representa a aplicação dos sistemas solares nesta instalação. Com o módulo de benefícios ambientais do *Software Solterm* foi possível determinar a redução do consumo de energia primária e a redução de emissões com efeito de gases de estufa.

No que concerne a um possível desenvolvimento futuro e otimização do projeto, poderíamos tornar o sistema mais eficiente através do aproveitamento da energia térmica fornecida nos sistemas solares térmicos durante o verão para, por exemplo, aquecimento de água de uma piscina.



---

## BIBLIOGRAFIA

### Referência de Manuais Técnicos

Aldifrio Sociedade de Equipamentos de Frio e Ar Condicionado, Lda (2017) Catálogo de produtos de refrigeração e ar condicionado 2017, Portugal.

Barbi España (2014) *Suelo Raidante- Manual Técnico*, Espanha.

Junkers Grupo Bosch (2013) *Instrucciones de mantenimiento y de instalación -Colector plano FKT-2 CTE*, Espanha.

Junkers Grupo Bosch (2015) Manual de Produto 2015, Portugal.

LNEG (2007) Guia do Instalador, Portugal.

Pumps Europe S.p.A. (2014) *Ego HIGH EFFICIENCY ELECTRONIC CIRCULATORS*, EBARA Italia.

SolarFocus (2013) *Solarfocus CPC -Der Kollektor der neuesten Generation*, Alemanha.

### Referência de Fichas Técnicas

Uponor Hispania, S.A.U. (2013) *Manual técnico de Climatización Invisible*, Espanha.

Vulcano Portugal (2015) FICHA TÉCNICA-Grupos de Circulação AGS, Portugal.

Vulcano Portugal (2014) FICHA TÉCNICA- Depósitos Gama S ZB-Solar, Portugal.

Vulcano Portugal (2015) FICHA TÉCNICA- Caldeira de condensação a gás ZSB 22-3C 23, Portugal.

Wilo (2015) Manual Técnico Wilo-Star-Z 15TT- Espanha.

### Referência de Revista

ADENE (2016), 10 Soluções -EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Caleffi (2006). *As instalações solares. Revista Hidráulica*, nº 25.

IEA- U.S.Energy (2014). *Information Administration International* (2016), *INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK 2016, United States of America*.

### Referência de Sítio da Internet

Ahorraclima (2017) <https://ahorraclima.es/calderas-de-pellets-44>, Espanha.

APTA (2017) <http://www.apta.pt/conteudos.php?idConteudo=245> FOLHA DE CÁLCULO REDE ÁGUAS- Associação de Produtores de Tubos e Acessórios, Portugal.

Archi Expo (2015) <http://www.archiexpo.de/prod/viessmann/product-789-23160.html>, Alemanha.

- DGEG (2017) <http://www.dgeg.pt/pagina.aspx?js=0&codigono=636364428839AAAAAAAAAAAA>  
Direcção-Geral de Energia e Geologia, Portugal.
- DPM Especialidades S.L. (2016) <http://dpmespecialidades.es/las-estufas-de-pellets/> DPM Especialidades S.L , Espanha.
- Giacomini (2015) [http://www.apj.pt/prod\\_pisoradiante.html](http://www.apj.pt/prod_pisoradiante.html) APJ Energy Lda, Portugal.
- Honeywell (2014) [http://m.products.ecc.emea.honeywell.com/spain/catalogue.html?pg\\_e125s](http://m.products.ecc.emea.honeywell.com/spain/catalogue.html?pg_e125s), Espanha.
- House Roof (2015) <http://roof.kolor.us/pv-panels-roof-pitch/> ,United States of America.
- IDECA (2017) <https://www.fau.ucv.ve/idec/racionalidad/Paginas/Manualimplanta.html> - Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción- Universidad Central de Venezuela, Venezuela.
- Istock (2016) <http://www.istockphoto.com/br/foto/tubo-de-cobre-com-isolamento-de-espuma-gm184963238-18590154>, Brasil.
- LNEG (2016) <http://www.lneg.pt/servicos/35/2172/> - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Portugal.
- Macolis FR (2016) <https://www.macolis.pt/pt/detalhe-solucao/-11> , Portugal.
- SolarWaters (2016) <http://www.solarwaters.pt/caldeiras-condensacao> SolarWaters, Portugal.
- Tectonica(2015) [http://www.tectonica-online.com/productos/2075/seido\\_vacio\\_tubo\\_colectores\\_apollo/#](http://www.tectonica-online.com/productos/2075/seido_vacio_tubo_colectores_apollo/#) , Alemanha.
- ZETKAMA (2016) <http://www.directindustry.com/pt/prod/zetkama-sp-z-oo/product-126243-1559515.html> , Brasil.

## Legislação

**Decreto-Lei n.º 194/2015 D.R. n.º 179, Série I.** Procede à segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, relativo ao desempenho energético dos edifícios.

**Decreto-Lei n.º 251/2015 D.R. n.º 231, Série I .** Procede à terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, que aprovou o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços.

**Decreto Lei 118/2013 D.R. n.º. 159, Série I.** Aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços.

**Decreto-Lei n.º 68/2008 de 14 de abril de 2008.** Estabelece a definição das Unidades Territoriais para efeitos de organização territorial das Associações de Municípios e Áreas

Metropolitanas, para a participação em estruturas administrativas do Estado e nas estruturas de governação do Quadro de Referência Estratégico Nacional 2007-2013.

**Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013.** Procede à publicação dos parâmetros para o zonamento climático e respetivos dados.

**Despacho DGEG nº 3156/2016, de 1 de março.** Implementa metodologias oficiais do Sistema de Certificação de Energética dos Edifícios (SCE).

**Diretiva 2009/28/CE** Estabelece a meta de 31% de renováveis no consumo final de energia em 2020.

### **Referência de Manual de Software**

DGEG (2016), Guia de Utilização do *software* SCE.ER- Versão 2, Portugal.

Top Informática, Lda (2016) CYPE- Solar Térmica, Manual do Utilizador, Portugal.

Top-Informática, Lda (2014). Novo Cypeterm. Versão 1, Portugal.

### **Referência de Tese / Dissertação**

Iglesias, D. (2016). *Proyecto para la Instalación de Suelo Radiante y Captadores Solares para ACS en un piso. Departamento de Ingeniería Mecánica Universitat de Lleida, Espanha.*

### **Referência de Livros**

Roriz, L., Rosendo (2010). *Energia solar em edifícios*, Edições ORION, Portugal.

### **Outros**

Grade, A. (2017) Apontamentos de Equipamentos e Processos Térmicos, ISEC, Coimbra.



## ANEXOS

Anexo 1. Modelo de cálculo do zonamento climático

Anexo 2. Descrição de materiais e elementos construtivos (*Software CYPE Ingenieros*)

Anexo 3. Descrição das pontes térmicas lineares (*Software CYPE Ingenieros*)

Anexo 4. Tabela dos consumos por dispositivo adaptado do Manual da APTA para cálculo de rede de águas sanitárias

Anexo 5. Gráfico de perda de carga do depósito S750 ZB-Solar

Anexo 6. Gráfico de perda de carga do coletor

Anexo 7. Modelo de cálculo de diâmetro de tubagem

Anexo 8. Gráfico para escolha do grupo AGS (Vulcano, 2015)

Anexo 9. Estimativa orçamental (adaptado do *Software CYPE ingenieros*)

Anexo 10. Tabela de coeficiente de simultaneidade (adaptado do Manual da APTA para cálculo de rede de águas sanitárias)

Anexo 11. Esquema do sistema de geral da instalação

Anexo 12. Tabela de tubos em aço da série média conforme NP EN 10255

Anexo 13. Cálculo da instalação pavimento radiante (*Software CYPE Ingenieros*)

Anexo 14. Cálculo da instalação de AQS (*Software CYPE Ingenieros*)

Anexo 15. Resume das cargas térmicas (*Software CYPE Ingenieros*)

Anexo 16. Análise económica da produção de água quente para aquecimento (*Software Solterm*)

Anexo 17. Análise económica para produção de AQS (*Software Solterm*)

Anexo 18. Plano da instalação do pavimento radiante (*Software CYPE Ingenieros*)

Anexo 19. Plano em planta da moradia (*Software CYPE Ingenieros*)

Anexo 20. Plano da instalação para produção de AQS (*Software CYPE Ingenieros*)