

# **Sistema de Aquecimento Solar das Piscinas da C. M. de Penacova e Respetivas I.S.**

*Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em  
Equipamentos e Sistemas Mecânicos*

**Autor**

**Mário Jorge Simões Oliveira**

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

**Orientador**

**António Manuel de Morais Grade**

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

**Supervisor**

**José Santos Figueiredo**

Câmara Municipal de Penacova

**Coimbra, dezembro 2014**



***“O sorriso é a mecânica aplicada ao ser vivo”***



## AGRADECIMENTOS

Como não podia deixar de ser, guardo esta página para agradecer a todos aqueles que, ao longo destes cinco anos de estudos no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, me incentivaram a lutar por este sonho.

Começo estes agradecimentos aos meus pais e minha irmã, por estarem sempre presentes e me proporcionarem a oportunidade de poder estudar e concretizar o objetivo de poder exercer a arte que é a Engenharia Mecânica.

Seguidamente gostaria de agradecer à Câmara Municipal de Penacova, mais concretamente ao seu Presidente, Humberto Oliveira e ao Vereador Ricardo Simões que, desde o início, mostraram-se recetivos à realização deste trabalho. Por fim, e em especial, ao meu Supervisor de estágio, Eng.º José Figueiredo, que se mostrou sempre recetivo e disponível para me aconselhar e facultar dados necessários à realização deste projeto.

Ao meu Professor Orientador e amigo, Mestre António Grade, gostaria, primeiramente de agradecer a disponibilidade prontamente demonstrada de me orientar neste trabalho, bem como o ensinamento de várias temáticas ao longo destes cinco anos de estudos.

Ao Professor e amigo Luís Santos por se mostrar sempre disponível e por dispensar algum do seu tempo para me dar diversos conselhos técnicos e práticos relativos a esta temática.

À Publindústria e, em particular, ao seu Diretor-Geral, António Malheiro, gostaria de agradecer a disponibilização de diversos conteúdos do livro *Manual de Instalação de Sistemas Solares Térmicos*.

A todos os Professores com quem tive o prazer de aprender e assimilar diversos conhecimentos ao longo de cinco anos.

Por fim, a todos os meus restantes familiares, colegas e amigos que me incentivaram e acompanharam nesta aventura.

***A todos, o meu muito obrigado!***



## **RESUMO**

Apesar dos sucessivos programas de apoio que têm vindo a ser disponibilizados para a instalação de sistemas de aquecimento solar, muitas piscinas municipais aquecidas não possuem este tipo de aproveitamento de energia solar. Assim sendo, verificam-se elevados custos de exploração, resultantes, em grande parte, de exagerados consumos de energia. Estes gastos podem ser minimizados com a adoção de diversas medidas de redução energética, nomeadamente a inclusão de um sistema de aquecimento solar, a substituição do atual grupo térmico do sistema, atualmente constituído por caldeiras, por bombas de calor, bem como a inclusão de coberturas para o plano de água das piscinas.

Esta dissertação teve como objetivo avaliar o sistema térmico existente nas Piscinas Municipais de Penacova, com o intuito de otimizá-lo, tendo-se verificado, para o efeito, a existência de soluções mais rentáveis e ecológicas, existentes no mercado. No caso em apreço, seria recomendável a substituição das caldeiras por duas bombas de calor, aliada à adição de um sistema de aquecimento solar e cobertura para o plano de água das piscinas.

### **Palavras-chave:**

- Piscina;
- Energia;
- Solar térmico.



## ABSTRACT

Despite successive support programs that have been made available for the installation of solar heating systems, many heated municipal swimming pools do not yet have this type of systems. Thus, there are high operating costs, largely caused by exaggerated energy consumption. These expenses can be minimized with the inclusion of solar heating systems, but also with the adoption of other energy reduction measures, such as the replacement of conventional heating boilers by thermal support groups with greater efficiency and the application of pool covers to reduce, to the minimum, the evaporation of water.

This work aimed to evaluate the existing thermal system in the Municipal Pool of Penacova, in order to optimize it. It was found, for this purpose, the existence of more profitable and ecological solutions on the market. In this case, it would be advisable the addition of a solar heating system, the replacement of the boilers by two heat pumps and the coverage of the pool's water level.

### Keywords:

- Pool;
- Energy;
- Solar Thermal.



## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1.	Fundamentação do Tema Escolhido .....	1
1.2.	Enquadramento e Objetivos do Estágio.....	2
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1.	Enquadramento Legal.....	5
2.1.1.	Norma Europeia 15288-1 e 2:2009.....	5
2.1.2.	Diretiva CNQ 23/93.....	5
2.1.3.	Decreto-Lei n.º 65/97.....	6
2.1.4.	Decreto-Lei n.º 5/97.....	6
2.1.5.	Decreto-Lei 306/2007.....	7
2.1.6.	Circular Normativa n.º 14/DA.....	7
2.1.7.	Decretos-Lei 118/2013, Portaria 349-D e Portaria 353-A.....	7
2.2.	A Gestão de Piscinas Coletivas.....	8
2.2.1.	Conceitos Gerais.....	8
2.2.2.	Gestão de Instalações Desportivas.....	9
2.2.3.	Operação e Manutenção.....	10
2.2.4.	Gestão Energética.....	13
2.3.	Fontes de Energia Usadas em Piscinas. Eficiência Energética.....	15
2.3.1.	Energias Não Renováveis.....	15
2.3.2.	Energias Renováveis.....	15
2.3.3.	Eficiência Energética.....	18
2.4.	Fundamentos Teóricos.....	20
2.4.1.	Energia Solar e Seu Aproveitamento.....	20
2.4.2.	Componentes do Sistema Solar Térmico.....	27
2.4.3.	Perdas de Energia numa Piscina.....	50
<b>3.</b>	<b>CARATERIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS EXISTENTES</b>	<b>55</b>
3.1.	Descrição do Edifício Existente.....	55
3.2.	Descrição Detalhada dos Espaços Úteis e Não Úteis.....	56
3.3.	Caraterização dos Parâmetros Térmicos.....	58
3.3.1.	Vãos Envidraçados.....	58
3.4.	Descrição e Constituição do Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado.....	60

3.4.1.	Sistema de Aquecimento.....	60
3.4.2.	Unidade de Tratamento de Ar .....	62
3.4.3.	Unidade de Termoventilação .....	63
3.4.4.	Unidade de Climatização Roof Top .....	63
3.4.5.	Climatizador Autónomo do Tipo Split-System.....	64
3.4.6.	Equipamentos e Acessórios.....	64
<b>4.</b>	<b>CONDIÇÕES DE PROJETO DA INSTALAÇÃO .....</b>	<b>71</b>
4.1.	Condições Exteriores .....	71
4.2.	Condições Interiores .....	75
<b>5.</b>	<b>CÁLCULO DE NECESSIDADES DE AQUECIMENTO DE ÁGUA DAS PISCINAS.....</b>	<b>77</b>
5.1.	Caraterização das Necessidades Energéticas .....	77
5.2.	Carga Térmica de Aquecimento da Piscina .....	77
5.2.1.	Perdas por Evaporação .....	77
5.2.2.	Taxa de Evaporação de Água da Piscina.....	79
5.2.3.	Perdas por Convecção .....	79
5.2.4.	Perdas por Radiação .....	80
5.2.5.	Perdas devido à renovação e compensação de água.....	80
5.2.6.	Perdas térmicas pelas envolventes dos tanques.....	81
5.3.	Resultados.....	82
5.3.1.	Perdas Térmicas pelo Plano de Água .....	82
<b>6.</b>	<b>CÁLCULO DOS CONSUMOS ASSOCIADOS À CLIMATIZAÇÃO DA NAVE DA PISCINA .....</b>	<b>87</b>
6.1.	Carga Térmica da Nave da Piscina .....	87
6.1.1.	Ocupação.....	87
6.1.2.	Iluminação.....	92
6.1.3.	Ventilação .....	93
6.1.4.	Perdas ou Ganhos Térmicos pela Envolvente .....	94
6.1.5.	Perdas Térmicas pela Envolvente Exterior Opaca .....	95
6.1.6.	Perdas Térmicas pelos Envidraçados Exteriores .....	96
6.1.7.	Perdas Térmicas pelas Paredes, Envidraçados, Cobertura e Pavimentos em contato com locais não aquecidos .....	97
6.1.8.	Perdas Térmicas pelas Paredes e Pavimentos em contato com o solo .....	98

6.1.9.	Perdas Térmicas pelas Pontes Térmicas Planas e Lineares.....	98
6.1.10.	Coeficientes Globais de Transmissão de Calor dos Elementos Construtivos .....	98
6.1.11.	Inércia Térmica.....	100
<b>7.</b>	<b>CÁLCULO DAS NECESSIDADES DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS.....</b>	<b>103</b>
<b>8.</b>	<b>CONSUMO DA INSTALAÇÃO EXISTENTE .....</b>	<b>107</b>
<b>9.</b>	<b>SISTEMA PROPOSTO.....</b>	<b>109</b>
9.1.	Esquema Geral do Sistema Proposto.....	109
9.2.	Consumo do Sistema Proposto.....	111
9.3.	Constituintes Principais do Sistema Proposto .....	114
9.3.1.	Coletores Solares Térmicos .....	114
9.3.2.	Grupo térmico .....	121
9.4.	Seleção de Equipamentos.....	121
9.4.1.	Coletores Solares Térmicos .....	121
9.4.2.	Tubagens.....	123
9.4.3.	Circulador Solar.....	124
9.4.4.	Vaso de Expansão Solar.....	124
9.4.5.	Válvula de Segurança .....	125
9.4.6.	Purgador de Ar Automático .....	126
9.4.7.	Grupo Térmico – Bomba de Calor.....	126
9.4.8.	Cobertura do plano de água .....	127
9.5.	Princípio de Funcionamento.....	128
<b>10.</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>131</b>
10.1.	Conclusões .....	131
10.2.	Trabalhos Futuros.....	133
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>135</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>139</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Concelho de Penacova .....	2
Figura 2 – Evolução da instalação de painéis solares.....	17
Figura 3 – Fenómeno de condução.....	20
Figura 4 – Fenómeno de convecção .....	20
Figura 5 – Fenómeno de radiação .....	21
Figura 6 – Movimento Terra-Sol.....	21
Figura 7 – Trajetória terrestre.....	22
Figura 8 – Declinação solar.....	22
Figura 9 – Curvas de penalização.....	23
Figura 10 – Irradiação média anual-Lisboa.....	24
Figura 11 – Projeção estereográfica esférica.....	25
Figura 12 – Espaçamento entre coletores de forma a evita o sombreamento (horizontal).....	25
Figura 13 – Espaçamento entre coletores de forma a evitar o sombreamento (inclinado).....	26
Figura 14 – Projeção estereográfica cilíndrica .....	27
Figura 15 – Coletor plano com cobertura.....	29
Figura 16 – Constituição coletor plano com cobertura .....	30
Figura 17– Superfície não seletiva <i>versus</i> superfície seletiva.....	30
Figura 18 – Perdas de energia num coletor solar plano.....	32
Figura 19 – Curva Caraterística de um coletor.....	34
Figura 20 – Curvas típicas de coletores solares.....	35
Figura 21 – Transferência de calor em permutadores com fluxos postos.....	37
Figura 22 – Bomba circuladora e respetiva curva caraterística de funcionamento.....	38
Figura 23 – Bomba circuladora solar .....	39
Figura 24 – Purgador de ar automático .....	40
Figura 25 – Válvula de segurança .....	40
Figura 26 – Vaso de expansão fechado .....	41
Figura 27 – Fases de funcionamento do vaso de expansão .....	42
Figura 28 – Isolamento das tubagens .....	44
Figura 29 – Caldeira a gás .....	48

---

Figura 30 – Diagrama de um ciclo de compressão de vapor ideal .....	49
Figura 31 – Bomba de calor .....	49
Figura 32 – Energia associada às piscinas .....	50
Figura 33 – Coordenas geográficas Piscinas Municipais de Penacova .....	55
Figura 34 – Períodos de sombreamento .....	74
Figura 35 – Perdas térmicas pelo plano de água sem cobertura .....	83
Figura 36 – Perdas térmicas pelo plano de água com cobertura .....	84
Figura 37 – Médias mensais de ocupação .....	92
Figura 38 – Influência da inércia térmica e das cargas internas na temperatura interior .....	100
Figura 39 – Perfil mensal de necessidades de AQS .....	104
Figura 40 – Perfil mensal horário de necessidades de AQS .....	105
Figura 41 – Princípio de funcionamento de aquecimento de piscinas .....	109
Figura 42 – Simulação <i>Solterm 5.1</i> do sistema proposto .....	116
Figura 43 – Perda de carga coletores solares .....	122
Figura 44 – Caraterísticas tubagem circuito primário .....	123

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Caraterização do concelho de Penacova.....	3
Tabela 2 – Critérios de classificação das piscinas-Diretiva CNQ 23/93.....	10
Tabela 3 – Classificação das piscinas-NP 15288-2:2009.....	11
Tabela 4 – Relação tipologia-temperatura.....	12
Tabela 5 – Requisitos de conforto-Diretiva CNQ 23/93.....	13
Tabela 6 – Inclinação dos coletores segundo tipologia de utilização.....	23
Tabela 7 – Ângulos solares.....	24
Tabela 8 – Tipos de coletores solares.....	28
Tabela 9 – Utilização de coletores solares de acordo com a aplicação.....	29
Tabela 10 – Vantagens e desvantagens dos diversos absorsores.....	31
Tabela 11 – Caraterísticas dos coletores solares.....	34
Tabela 12 – Eficácia típica de permutadores de calor.....	37
Tabela 13 – Temperaturas típicas de permutadores de calor.....	38
Tabela 14 – Materiais típicos de tubagens.....	43
Tabela 15 – Espessuras mínimas de isolamento-fluido interior quente.....	44
Tabela 16 – Espessuras mínimas de isolamento-fluido interior frio.....	45
Tabela 17 – Caraterísticas de misturas de anticongelante.....	46
Tabela 18 – Tipologia de coberturas.....	53
Tabela 19 – Coordenadas geográficas das Piscinas Municipais de Penacova.....	55
Tabela 20 – Composição do piso -1 do complexo.....	56
Tabela 21 – Composição do piso 0 do complexo.....	57
Tabela 22 – Composição do piso 1 do complexo.....	58
Tabela 23 – Caraterísticas dos vãos envidraçados.....	59
Tabela 24 – Conduatas de secção retangular.....	68
Tabela 25 – Conduatas de secção circular.....	69
Tabela 26 – Condições exteriores 1 de Janeiro-Penacova.....	72
Tabela 27 – Altura e azimute solares em 1 de Janeiro - Penacova.....	73
Tabela 28 – Condições de conforto interior.....	75
Tabela 29 – Incremento de agravamento.....	78

Tabela 30 – Perdas térmicas pelo plano de água .....	85
Tabela 31 – Percentagem de ocupação .....	87
Tabela 32 – Lotação máxima diária .....	88
Tabela 33 – Perfil ocupacional.....	89
Tabela 34 – Estatística ocupacional-ano 2013 .....	90
Tabela 35 – Condições de cálculo das AQS .....	103
Tabela 36 – Consumo da instalação existente .....	107
Tabela 37 – Consumo da instalação proposta.....	111
Tabela 38 – Distribuição dos consumo da instalação proposta .....	112
Tabela 39 – Custo energético.....	113
Tabela 40 – Tipologias de montagem de coletores solares.....	115
Tabela 41 – Caraterísticas do coletor solar selecionado .....	117
Tabela 42 – Perfil horário da necessidade energética média horária de AQS .....	118
Tabela 43 – Perfil horário da necessidade energética média para manter a temperatura da água .....	119
Tabela 44 – Análise energética <i>Solterm 5.1</i> .....	120
Tabela 45 – Potência requerida no grupo térmico .....	121
Tabela 46 – Tubagem para a instalação solar .....	123
Tabela 47 – Dados de seleção do circulador solar .....	124
Tabela 48 – Dados de seleção do vaso de expansão solar .....	125
Tabela 49 – Caraterísticas principais da bomba de calor.....	126
Tabela 50 – Caraterísticas principais do depósito de inércia .....	127
Tabela 51 – Temperaturas de funcionamento .....	128

## SIMBOLOGIA

A	Área
A	Área total de vão envidraçado
$A_C$	Área da superfície absorvente do coletor
$A_{CS}$	Área de captação solar
$A_{ext}$	Área da superfície
$A_i$	Área da superfície interior em contato com o espaço não aquecido
$A_p$	Área do plano de água
$A_p$	Área do plano de água da piscina
$A_S$	Área efetiva coletora da radiação solar do envidraçado
$B'$	Caraterística dimensional do elemento construtivo
c	Coefficiente (manual <i>Caleffi</i> )
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
$C_p$	Calor específico médio da água
$C_p$	Calor específico médio do ar a pressão constante
D	Diâmetro exterior
D	Débito médio dos chuveiros
$d_t$	Espessura total equivalente
$F_g$	Fração envidraçada
$F_S$	Fator de obstrução
$F_w$	Fator de correção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar
G	Intensidade da radiação solar incidente em cada orientação

---

$g$	Fator solar do vão envidraçado para a radiação incidente na perpendicular ao envidraçado e que tem em conta eventuais dispositivos de proteção solar
$h$	Coeficiente de convecção
$h_0$	Altura mínima do Sol
$h_{\text{conv}}$	Coeficiente convectivo de transmissão de calor
$h_e$	Coeficiente de transferência de massa
$h_{\text{ext}}$	Coeficiente de convecção exterior
$h_f$	Entalpia específica da água da rede
$h_{fg}$	Calor latente de evaporação da água
$h_{\text{int}}$	Coeficiente de convecção interior
$h_m$	Entalpia específica da água à temperatura dos banhos
$H_m$	Altura manométrica
$h_q$	Entalpia específica da água à temperatura de acumulação
$h_w$	Calor latente médio de vaporização
$k$	Condutibilidade térmica de um corpo
$m$	Quantidade de água necessária à temperatura dos banhos
$\dot{m}$	Caudal mássico de água
$m_{\text{eva}}$	Taxa de evaporação de água da piscina
$m_{\text{H}_2\text{O}}$	Caudal mássico de água nova
$\dot{m}_m$	Caudal mássico de água à temperatura dos banhos
$\dot{m}_q$	Caudal mássico de água à temperatura de acumulação
$m_w$	Caudal mássico de evaporação da água da piscina
$n$	Número de utilizadores
$n$	Número de banhos (perfil ocupacional)
$N$	Número de coletores

---

$P$	Perímetro do elemento construtivo em contato com o ar ambiente
$P$	Potência por luminária
$P_a$	Pressão estática do circuito a frio
$P_{abs}$	Potência absorvida
$P_c$	Percentagem de área de plano de água coberto
$P_c$	Potência calorífica humana libertada
$P_e$	Pressão máxima de trabalho do circuito
$P_i$	Potência incidente
$P_p$	Potência perdida
$P_u$	Potência útil
$P_{v,amb}$	Pressão de vapor saturado do ar
$P_{v,sat}$	Pressão de vapor saturado à temperatura da água da piscina
$P_{v\u00e1lvula\ de\ segurna\u00e7a}$	Pressão máxima da válvula de segurança
$Q$	Quantidade de calor transferida
$Q_{conv}$	Perdas térmicas por convecção
$Q_{env}$	Carga térmica associada à envolvente
$Q_{evac,cc}$	Perdas térmicas por evaporação, com cobertura sobre o plano de água
$Q_{evac,sc}$	Perdas térmicas por evaporação, sem cobertura sobre o plano de água
$Q_{ext}$	Perdas térmicas pelas paredes, envidraçados, cobertura e pavimentos em contato com o exterior
$Q_{ext\ envidra\u00e7ado}$	Perdas térmicas pelos envidraçados exteriores
$Q_{ext\ opaca}$	Perdas térmicas pela envolvente exterior opaca
$Q_{ganhos,solares}$	Ganhos térmicos solares devido à radiação solar incidente na envolvente construtiva
$Q_{H2O}$	Perdas térmicas devido à renovação de água

---

$Q_{ilum}$	Carga térmica associada à iluminação
$Q_L$	Carga térmica latente
$Q_{lna}$	Perdas térmicas pelas paredes, envidraçados, coberturas e pavimentos em contato com locais não aquecidos
$q_{max}$	Taxa de transferência de calor máxima
$Q_{ocup}$	Carga térmica de ocupação
$Q_{pe}$	Perdas térmicas pelas paredes e pavimentos em contato com o solo
$Q_{perdas}$	Carga térmica perdida pelas envolventes
$Q_{ptl}$	Perdas térmicas pelas pontes térmicas lineares
$Q_{ptp}$	Perdas térmicas pelas pontes térmicas planas
$Q_{rad,cc}$	Perdas por radiação, com cobertura do plano de água
$Q_{rad,sc}$	Perdas por radiação, sem cobertura do plano de água
$Q_S$	Carga térmica sensível
$Q_{solar}$	Ganhos térmicos solares
$q_x''$	Fluxo de calor
$R$	Perda de carga
$R_j$	Resistência térmica dos constituintes do elemento construtivo
$R_{se}$	Resistência térmica superficial exterior
$R_{si}$	Resistência térmica superficial interior
$T$	Temperatura absoluta
$T$	Tempo médio em cada duche
$T_\infty$	Temperatura do fluido
$T_a$	Temperatura do ar ambiente dentro da nave da piscina
$T_a$	Temperatura do ar do local não aquecido
$T_{ar,ext}$	Temperatura do ar exterior

---

$T_{ar-sol}$	Temperatura ar-sol
$T_e$	Temperatura ambiente exterior
$T_{f,sai}$	Temperatura de saída do fluido quente
$T_i$	Temperatura ambiente interior
$T_p$	Temperatura da água da piscina
$T_{q,ent}$	Temperatura de entrada do fluido quente
$T_{si}$	Temperatura superficial interior
$T_{sup}$	Temperatura da superfície
$T_{sup,ext}$	Temperatura da superfície exterior da envolvente construtiva
$U$	Coefficiente global de transmissão térmica
$U_{fundo}$	Coefficiente global de transmissão térmica pelo pavimento dos tanques
$U_{lateral}$	Coefficiente global de transmissão térmica pela zona lateral dos tanques
$U_{pilaresl}$	Coefficiente global de transmissão térmica pelos pilares
$V$	Velocidade do ar acima do plano de água
$V$	Caudal volúmico de ar
$V$	Velocidade no interior da tubagem
$V_A$	Volume total da instalação
$V_{col}$	Volume dos coletores
$V_D$	Volume de expansão total
$V_f$	Volume do vaso de expansão
$V_r$	Volume da ligação hidráulica
$V_V$	Volume de proteção contra sub-pressurização
$w$	Espessura da parede exterior
$x_e$	Humidade específica do ar exterior

---

$x_i$	Humidade específica do ar interior
$\alpha$	Azimute superficial
$\alpha$	Coefficiente de absorção da superfície exterior das envolventes
$\alpha_s$	Azimute solar
$\beta$	Inclinação superficial
$\Gamma_s$	Altura solar
$\Delta h$	Varição de entalpia entre a água da piscina e a entalpia da água da rede
$\Delta p$	Perda de carga (diferença de pressão)
$\Delta T$	Diferencial de temperatura
$\Delta x$	Varição de humidade específica
$E$	Eficiência do permutador de calor
$\varepsilon_c$	Emissividade da cobertura do plano de água
$\varepsilon_w$	Emissividade da água
$\sigma$	Constante de <i>Stefan-Boltzmann</i>
$\eta$	Rendimento
$\lambda$	Propriedade térmica do solo
$\rho$	Massa volúmica do ar

## ABREVIATURAS

ADENE	Agência para a Energia
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
AQS	Águas Quentes Sanitárias
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado
CEN	Comité Europeu de Normalização
CFC	Clorofluorcarbonetos
CN	Circular Normativa
CNQ	Conselho Nacional de Qualidade
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
CPC	Coletor Parabólico Composto
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DGS	Direção Geral de Saúde
DIN	<i>Deutsche Industrie Norm</i>
DL	Decreto-Lei
DN	Diâmetro Nominal
DR	Decreto-Regulamentar
EN	Norma Europeia
EPDM	<i>Ethylene-Propylene Diene Monomer</i>
IC	Itinerário Complementar
IP	Itinerário Principal
IPQ	Instituto Português da Qualidade
IS	Instalações Sanitárias

ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MNEL	Materiais Não Ecologicamente Limpos
NP	Norma Portuguesa
NPSH	<i>Net Positive Suction Head</i>
NUTS	Nomenclatura de Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
PE	Polietileno
PEX	Polietileno Reticulado
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de Vinilo
PVSP	Programa de Vigilância Sanitária de Piscinas
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE	Sistema de Certificação Energética
ST	Aço
UE	União Europeia
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
UV	Ultravioleta

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Fundamentação do Tema Escolhido

À medida que a sociedade se desenvolve, o consumo de energia tende a aumentar drasticamente, quase sempre de um modo muito pouco eficiente. O Mundo avança tecnologicamente de forma exorbitante, tornando os países cada vez mais competitivos à medida que aumentam a sua eficiência energética, ou seja, consomem menos energia por unidade de produto realizado ou serviço prestado. No setor dos edifícios, esta vertente ainda é pouco visível, uma vez que não têm aumentado a eficiência energética como desejável. O consumo energético por parte dos edifícios, maioritariamente os do setor terciário, onde se incluem as piscinas, tem aumentado levando a repensar acerca da gestão das mesmas.

As piscinas correspondem a um tipo de instalação desportiva com um elevado grau de complexidade ao nível da sua gestão e funcionamento, mas também grandes consumidoras de energia, essencialmente as piscinas cobertas (Sarmento, in prefácio de Beleza, Santos, & Pinto, 2007). Sendo as piscinas instalações dispendiosas a nível energético, há que investir em soluções que possam reduzir os custos, sem nunca deixar de ter em conta a saúde pública dos utilizadores que a frequentam (Beleza, 2009). Analisando o lado ambiental, é de grande relevância salvaguardar a saúde do planeta em que habitamos. Atendendo a que o consumo de energia a partir de energia fóssil necessita de um processo de combustão, o caso específico das piscinas, é realizado através de um equipamento térmico: a caldeira. O uso deste tipo de energia é responsável pela maioria das emissões de CO<sub>2</sub>, o principal motivador do efeito de estufa, e da emissão de outros gases e partículas poluentes que prejudicam a saúde.

Face ao exposto, Portugal, juntamente com os restantes Estados Membros da EU (*União Europeia*), e no âmbito do Protocolo de Quioto, foram assumidos deveres quanto ao controlo de emissões de gases de efeito de estufa. Para fazer face a esta situação os Estados Membros têm vindo a fomentar um conjunto de medidas que visam aumentar a eficiência energética e as condições de conforto dos edifícios.

A atual legislação acerca da eficiência energética e a qualidade do ar interior dos edifícios surgiu, fundamentalmente devido ao aumento do consumo de energia pelos edifícios. Esta inflação nos consumos energéticos deve-se ao crescimento da procura de sistemas de climatização, como resposta à melhoria do nível de vida das populações e do seu maior grau de exigência em termos de conforto. Sendo assim, e de uma forma geral, os objetivos das legislações implementadas em Portugal são limitar o consumo energético máximo dos edifícios e incentivar a introdução de energias renováveis, melhorar a eficiência energética e controlar a qualidade do ar interior dos edifícios abrangidos, e atribuir a certificação energética.

Estando a maioria das piscinas de uso público abrangidos por esta legislação, será fundamental garantir a sua sustentabilidade através da redução dos custos e da utilização racional de energia e de água. Sendo assim, pretende-se com este estudo apresentar uma solução menos dispendiosa e mais ecológica para as Piscinas Municipais de Penacova.

## 1.2. Enquadramento e Objetivos do Estágio

Penacova é uma vila portuguesa situada no distrito de Coimbra, região Centro e sub-região do Baixo Mondego, com cerca de 3 200 habitantes.

É sede de um município com 217,69 km<sup>2</sup> de área e 15 251 habitantes (2011), subdividido em 8 freguesias. O concelho conta com três localidades com estatuto de vila: Penacova, Lorzão e São Pedro de Alva.

O concelho de Penacova, que dista sensivelmente 20 km de Coimbra, conforme pode ser analisado na figura que se segue, confronta a norte com os concelhos da Mealhada, distrito de Aveiro, Mortágua e Santa Comba Dão, distrito de Viseu, a nascente com os concelhos de Tábua e Arganil, a sul com o de Vila Nova de Poiares e a poente com o de Coimbra.

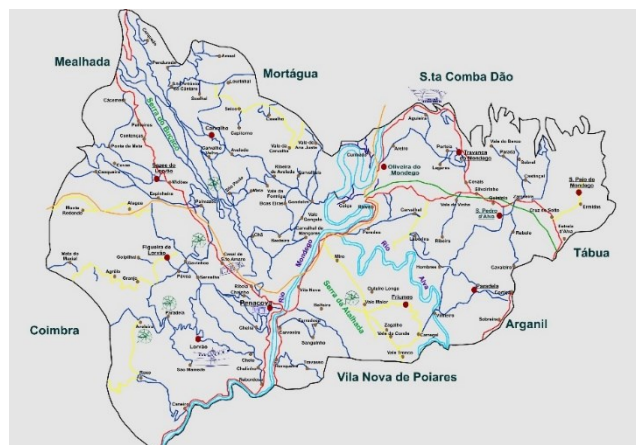


Figura 1 – Concelho de Penacova

Penacova beneficia de uma acessibilidade privilegiada, já que é rasgado por duas importantes vias rodoviárias: o IP3 (*Itinerário Principal*) e o IC6 (*Itinerário Complementar*) que, por si só, proporcionam uma grande facilidade de acesso ao concelho.

**Tabela 1 – Caracterização do concelho de Penacova**

<i>Densidade Populacional</i>	70,06 hab/km <sup>2</sup>
<i>Presidente da Câmara Municipal</i>	Humberto Oliveira
<i>Fundação do Município</i>	1192
<i>Região (NUTS II)</i>	Centro
<i>Sub-Região (NUTS III)</i>	Baixo Mondego
<i>Distrito</i>	Coimbra
<i>Antiga Província</i>	Beira Litoral
<i>Feriado Municipal</i>	17 de Julho
<i>Código Postal</i>	3360 – Penacova
<i>Site Oficial</i>	<a href="http://www.cm-penacova.pt">www.cm-penacova.pt</a>

O concelho de Penacova possui diversas infraestruturas em diversas áreas, tais como: Educação, Desporto e Lazer e Serviços.

Este projeto tem como seu objeto de estudo as Piscinas Municipais de Penacova.

Pelo facto de esta infraestruturas albergar largos custos energéticos anuais, consequentemente traduzidos em elevados custos monetários, é de todo o interesse estudarem-se alternativas viáveis à redução destes dois parâmetros.

Este complexo foi inaugurado a 17 de Julho de 2004, tendo sido contruído para a prática de desporto/natação por parte de cidadãos de todas as faixas etárias, desde bebés a adultos. É utilizada por várias entidades do concelho: Câmara Municipal, Agrupamento de Escolas de Penacova, Escola Profissional, entre outras. O complexo dispõe de um Tanque Desportivo (25 × 12,5), um Tanque de Aprendizagem (12,5 × 6) e um Chapinheiro (5 × 5).

Com este estágio/projeto, é pretendido elaborar um estudo energético relativamente ao aquecimento de água das piscinas e respetivas águas quentes sanitárias, por forma a proceder-se ao dimensionamento de um sistema solar térmico, bem como encontrar soluções mais rentáveis e ecológicas face ao sistema já existente.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Enquadramento Legal

#### 2.1.1. Norma Europeia 15288-1 e 2:2009

O *Comité Européu de Normalização* (CEN) comprovou em 25 de Julho de 2008 a *Norma Europeia* (EN) 15288 “*swimming pools*”. Esta norma subdivide-se em duas partes: a primeira está relacionada com os requisitos de segurança para a conceção e a segunda aos requisitos de segurança para o funcionamento.

Esta norma tem como principal objetivo especificar os requisitos de segurança relativamente à conceção e funcionamento das piscinas, sendo dirigida a todos os responsáveis pelo funcionamento e gestão das mesmas. Nela estão descritas recomendações construtivas, de planeamento e operação, bem como recomendações sobre riscos para o pessoal e utilizadores das piscinas públicas.

Desta feita, a *Norma Portuguesa* (NP) EN 15288-1 e 2:2009 vem substituir a diretiva do *Conselho Nacional de Qualidade* (CNQ) 23/93 relativa à Qualidade nas Piscinas de Uso Público. Contudo, é possível verificar que a diretiva CNQ 23/93 continua bastante atual pelo facto de existirem insuficiências na NP EN 15288-1 e 2:2009 em diversos aspetos.

Também é de ter em conta que questões energéticas nos edifícios que incorporam piscinas não são salientadas em nenhum dos pontos desta norma, deixando assim um vazio normativo neste documento. É um ponto que deve ter uma grande relevância uma vez que, relativamente às energias, a conjuntura atual é bastante relevante. Pelo facto também de ser uma norma relativamente recente, exigia-se uma reflexão mais profunda nesta matéria e mais propriamente nestes documentos legais que irão orientar o processo de construção e manutenção de futuros equipamentos.

Sendo assim, e atendendo a questões energéticas nos edifícios desportivos, mais concretamente as piscinas, tem de se optar por outros documentos legais que serão salientados mais à frente.

#### 2.1.2. Diretiva CNQ 23/93

Conforme referido anteriormente, esta norma foi substituída pela norma europeia EN 15288 e 2:2009. Contudo, será feita ma referência neste trabalho à diretiva publicada pelo CNQ em 1993 sobre “*A Qualidade nas Piscinas de Uso Público*”, uma vez que regulou, durante longos anos, a construção e manutenção das piscinas em Portugal.

Esta diretiva faz referência a uma panóplia de recomendações e cuidados relativamente à segurança, higiene, funcionalidade e aos fatores responsáveis pela qualidade nas piscinas de uso público, não familiares. Desta forma, a diretiva CNQ 23/93 tem como objetivo a “*fixação das disposições de segurança, higiénico-sanitárias e técnico-funcionais que devem ser observadas nas piscinas e nos estabelecimentos dedicados a atividades recreativas aquáticas de uso público*”. No capítulo I da mesma, são expostos aspetos quanto à localização e implementação das piscinas, que devem possuir recursos para que as soluções construtivas adotadas não se traduzam em impactos negativos e devem reunir boas condições de exposição aos raios solares, de proteção contra os ventos dominantes e de proteção relativamente a fontes de poluição atmosférica, hídrica e sonora. É referido, ainda, que aquando da instalação das piscinas, devem estar reunidas condições de acesso às diferentes infraestruturas e serviços urbanos, mais concretamente às redes de abastecimento e distribuição de água potável, condução de esgotos pluviais e domésticos, distribuição de energia elétrica, distribuição de gás e de serviços de resíduos.

Na diretiva CNQ 23/93 são referenciados aspetos importantes para a instalação e funcionamento das piscinas. No entanto é inexistente o foco à situação energética neste tipo de instalações desportivas, não sendo destacado nenhum ponto ou capítulo esta temática.

### **2.1.3. Decreto-Lei n.º 65/97**

Este *Decreto-Lei* (DL) surge a 31 de Março com o intuito de efetuar a regulação da instalação e funcionamento dos recintos com diversões aquáticas. Nela são feitas recomendações no que diz respeito a vistorias, licenças de funcionamento e fiscalização, vindo assim, reforçar o aspeto legal relativamente à segurança e à instalação destes equipamentos em Portugal.

Porém, e como referido no Capítulo I, artigo 2º da mesma, retira do seu âmbito as piscinas públicas, em particular aquelas que são destinadas à prática de natação, de competição, de lazer ou recreação. Verifica-se, assim, que as piscinas de uso público não se enquadram neste documento.

Contudo, é evidenciado no presente DL, artigo 3º - Regulamentação, que posteriormente serão aprovadas as normas para a regulamentação técnica e de segurança. Assim, como complemento do DL n.º 65/97 de 31 de Março, surge o *Decreto Regulamentar* (DR) n.º 5/97 de 31 de Março.

### **2.1.4. Decreto-Lei n.º 5/97**

Um grupo de entidades colaborou na elaboração do DR n.º 5/97, de 31 de Março, estando convictos de que as questões de segurança eram prioritárias, dando especial atenção a aspetos técnicos e à articulação de todas as entidades competentes nesta matéria.

Sendo assim, é então aprovado o Regulamento das Condições Técnicas e de Segurança dos Recintos com Diversões Aquáticas, que traduz especificações ao nível de segurança nos tanques, requisitos da qualidade e tratamento de água, condições hígio-sanitárias, funcionamento dos recintos e registos. É ainda contemplado, nos seus anexos, a classificação e

a caracterização dos espaços das atividades aquáticas, os parâmetros de controlo sanitário da água, os requisitos das instalações de filtração de água e a sinalização indicadora do uso das atividades, das suas proibições e limitações.

Tal como no DL n.º 65/97, não são evidenciados aspetos relacionados com a energia a utilizar neste tipo de instalações desportivas.

### **2.1.5. Decreto-Lei 306/2007**

De acordo com este o capítulo III, secção I, artigo 30º, n.º1 – água para consumo humano do presente DL, as águas a utilizar em piscinas devem ser potáveis e estar de acordo com a legislação em vigor.

Assim, o DL 236/98, de 1 de Agosto, no seu âmbito estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. Então, o referido decreto define, entre outros aspetos, os requisitos de utilização de água para consumo humano, sendo mais tarde definidos pelo DL 306/2007.

### **2.1.6. Circular Normativa n.º 14/DA**

Devido ao enorme crescimento da procura de piscinas para a realização de atividades físicas, a *Direção Geral de Saúde* (DGS), desenvolveu a Circular Normativa n.º 14/DA de 21 de Agosto de 2009, criando assim o Programa de Vigilância Sanitária de Piscinas (PVSP).

A presente *Circular Normativa* (CN) tem como objetivos gerais: “*uniformizar procedimentos relativos à vigilância sanitária de piscinas, a adotar pelos serviços de saúde pública, apresentando esquematicamente as várias ações a empreender no âmbito desse programa*”, como também, “*indicar os parâmetros microbiológicos e físico-químicos a analisar, os valores de referência máximos (ou indicativos) e as técnicas de amostragem no âmbito das ações de monitorização da qualidade da água da piscina e o ar, quando necessário*”.

No seu âmbito de segurança estão incluídas as piscinas de tipo 1, públicas, as de tipo 2, semi-públicas, excluindo as de tipo 3, uso privado, uma vez que têm um funcionamento reduzido.

### **2.1.7. Decretos-Lei 118/2013, Portaria 349-D e Portaria 353-A**

No que toca a desempenhos energéticos dos edifícios, no ano de 2013, a *Agência para a Energia* (ADENE) em articulação com a entidade fiscalizadora *Sistema de Certificação Energética dos Edifícios* (SCE), transportaram para o direito nacional da diretiva n.º 2010/31/EU, dando origem ao DL 118/2013. Este inclui, num único diploma, o SCE, o *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação* (REH) e o *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços* (RECS). Esta nova legislação veio trazer várias alterações, nomeadamente no que diz respeito ao REH, antigo *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios* (RCCTE). Assim sendo, e pelo

edifício em estudo se tratar de um edifício de serviços, muitos parâmetros de estudo são tendo em conta a os DL 78,79, 80/2006 – RCCTE e *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios* (RSECE).

Desta forma, e assegurando um desempenho energético com eficiência energética, os três decretos-lei pretendem que as inspeções no âmbito da certificação assegurem uma boa qualidade do ar interior, de modo a que não sejam causados danos de saúde pública e assegurar a adequada manutenção do ar interior reduzindo os riscos de problemas. Sendo assim, são garantidos indicadores de confiança nos ambientes interiores tratados com os sistemas de climatização.

No que toca às piscinas aquecidas cobertas até 500 m<sup>2</sup>, e de encontro no que se refere no capítulo IX, artigo 27º, n.º 7 do DL 79/2006, as mesmas devem estar abrangidas com a certificação energética. Neste mesmo regulamento, no capítulo IX, artigo 33º - Requisitos da manutenção da qualidade do ar interior, é referido que com a periodicidade de 2 anos, os edifícios que alberguem instituições de ensino ou espaços desportivos, devem ser providos de uma auditoria. É citado, ainda, que as caldeiras e equipamentos de climatização, de acordo com a potência e tipo de energia utilizada, devem realizar inspeções periódicas.

Em termos de construção de novos edifícios, o decreto-lei 79/2006, capítulo IX, artigo 32º, n.º2, refere que esses devem ser dotados obrigatoriamente de sistemas de energias alternativas, destacando-se os coletores solares para *Águas Quentes Sanitárias* (AQS), sistemas de aproveitamento de biomassa e energia geotérmica e sistemas combinados de solar térmico, fotovoltaico e eólico.

De salientar que neste projeto foi contemplada bastante informação inexistente nos REH e RECS, mas descrita nos DL 78, 79, 80/2006.

## **2.2. A Gestão de Piscinas Coletivas**

### **2.2.1. Conceitos Gerais**

Decorridos todos estes anos, o conceito de gestão teve uma evolução drástica, não sendo ainda possível achar uma definição que seja unânime. Todavia, ao longo do séc. XXI, o conceito de Gestão sofreu uma evolução bastante acentuada e, atualmente, consegue reunir algum consenso entre diversos autores.

Para autores como Ferreira *et al.* (2001) e Rodrigues (2002) consideram *Fayol*<sup>1</sup> como um dos pioneiros da gestão. Para Rodrigues (2002) a definição simples de que “gerir era prever e planear, organizar, comandar, coordenar e controlar”, deve-se a *Henri Fayol*.

---

<sup>1</sup>Jules Henri Fayol (Istambul, 29 de Julho de 1841 - Paris, 19 de Novembro de 1925) foi um engenheiro de minas francês e um dos teóricos clássicos da Ciência da Administração, sendo o fundador da Teoria Clássica da Administração e autor de *Administração Industrial*.

Por outro lado, Rodrigues (2002) e Cardoso e Rodrigues (2006) referem-se a *Peter Drucker*<sup>2</sup> como o “pai” da disciplina de Gestão, em que definia a Gestão Moderna como “a ciência que trata sobre pessoas nas organizações”.

Para Oliveira (2005), a Gestão enquadra-se com a execução e definição de uma estratégia que projetará a organização na aquisição e mobilização de recursos necessários para o seu funcionamento.

De acordo com Nunes (2006), é à Gestão que compete a otimização do funcionamento das organizações, através de decisões lógicas apoiadas na recolha de informação e dados.

### **2.2.2. Gestão de Instalações Desportivas**

O conceito de instalação desportiva pode ser compreendido de diferentes modos, sendo que o mais comum é considerar uma instalação desportiva como aquela que foi construída ou está destinada à prática do desporto.

Dada a natureza deste trabalho, o foco principal está na instalação desportiva construída especificamente para a prática do desporto.

No que toca às instalações desportivas, por diversas vezes, parece não haver necessidade de corresponder a uma determinada procura nem de justificar os investimentos, isto é, assiste-se a um crescimento, por vezes desorganizado do número de instalações desportivas existente em Portugal (Pinto *et al.*, 2009).

Sendo assim, Sarmiento (2005) refere que no planeamento e organização de estruturas, deve apostar-se em segmentos de mercado específicos, assim como no aumento de qualidades dos serviços e na redução do seu custo.

Assim, Beleza *et al.* (2000) referem que se torna imperativo reduzir os custos de manutenção e operação das instalações desportivas, procurando investir na procura de soluções mais eficientes e integradas, capazes de diminuir o impacto financeiro nos orçamentos.

Segundo Pinto *et al.* (2009), o Atlas Desportivo Nacional, sendo um programa desenvolvido pela Administração Pública Desportiva e que tem como objetivos sistematizar o levantamento e a análise da situação desportiva nacional, estabelecendo a seguinte classificação para as instalações desportivas: Piscinas: descobertas, cobertas, de competição, de formação, de lazer ou multifuncionais; Grandes Campos: Instalação de ar livre que possuem dimensões sempre superiores a 90 × 45 metros; Pequenos Campos: Instalação de ar livre com dimensões que rondam os 40 × 20 metros e pisos muito diversificados; Salas de Desporto: Instalação coberta para prática de diversas modalidades, com dimensões idênticas às dos pequenos campos; Pavilhões: instalação destinada a multiuso, polivalente ou monodisciplinar e pistas de atletismo.

---

<sup>2</sup>*Peter Ferdinand Drucker* (19 de novembro de 1909, em Viena, Áustria - 11 de novembro de 2005, em Claremont, Califórnia, EUA) foi um escritor, professor e consultor administrativo de origem austríaca, considerado como o pai da administração moderna.

### 2.2.3. Operação e Manutenção

Conforme a Diretiva 23/93, do CNQ, “piscina” é definida como “*uma parte ou um conjunto de construções e instalações que inclua um ou mais tanques artificiais apetrechados para fins balneares e atividades recreativas, formativas ou desportivas aquáticas*”. Em norma mais atual, a NP EN 15288-2-2009, do Instituto Português da Qualidade (IPQ), refere-se ao termo “piscina/tanque” como uma “*instalação dotada de um ou vários planos de água, destinada à prática de natação, atividades recreativas ou outras atividades físicas em meio aquático*”.

A Diretiva CNQ 23/93 faz a distinção entre a definição de “piscina” e a definição de “piscinas de uso público”, abrangendo, a última, “*as piscinas e os estabelecimentos de recreação aquática que podem ser utilizados pelo público em geral, independentemente da sua titularidade ou forma de ingresso, e estejam ou não integradas em espaços públicos municipais, clubes desportivos, escolas, parques de campismo, hotéis, complexos turísticos*”.

De acordo com esta norma, as piscinas podem ser classificadas de acordo com vários parâmetros, desde a índole ambiental às características morfológicas e funcionais dos tanques, como descreve a seguinte tabela.

**Tabela 2 – Critérios de classificação das piscinas-Diretiva CNQ 23/93**

<i>Ambiente ou Tipologia Construtiva</i>	Ar Livre
	Cobertas
	Combinadas
	Convertíveis
	Desportivos
<i>Valência ou Tipologia Funcional</i>	Desportivos para saltos
	Aprendizagem e recreio
	Infantis ou Chapinheiros
	Recreio e diversão
	Polifuncionais

A “piscina coberta”, conforme a Diretiva CNQ 23/93, é considerada uma instalação que abrange “*um ou mais tanques artificiais confinados em ambientes constituídos por estruturas fixas e permanentes*”. De igual modo, a NP EN 15288-2:2009, define-a como uma “*instalação compreendendo um ou mais planos de água para banhos, integrada num edifício e coberta por uma estrutura (fixa ou móvel)*”.

De acordo com a NP EN 15288-2:2009, e num outro tipo de classificação, as piscinas dividem-se em três tipos, sendo os dois primeiros referentes a piscinas de uso público, consideradas como aquelas que estão acessíveis ao público em geral, independentemente do modo de pagamento de acesso.

**Tabela 3 – Classificação das piscinas-NP 15288-2:2009**

<b>Tipo 1</b>	Piscinas onde as atividades aquáticas se constituem como a atividade principal, como exemplo, as piscinas municipais, piscinas de recreio e lazer parques aquáticos, sendo o seu uso considerado público
<b>Tipo 2</b>	Destinadas a proporcionar serviços complementares à atividade principal de empreendimentos, como exemplo, piscinas de hotéis, piscinas de parques de campismo, piscinas de clubes e piscinas terapêuticas, sendo de igual modo o seu uso considerado público
<b>Tipo 3</b>	Todas as piscinas com exceção das piscinas do tipo 1 e 2

A Diretiva CNQ 23/93 refere que, no que toca à condução e ao controlo do funcionamento das piscinas e dos estabelecimentos aquáticos, os proprietários devem dispor de pessoal técnico devidamente habilitado para o exercício das suas atribuições específicas.

Para Beleza *et al.* (2007), as piscinas são os tipos de instalações desportivas mais complexas de gerir. Sendo assim, compete ao diretor da piscina zelar pelo bom funcionamento das instalações e dos serviços, garantindo o cumprimento das normas de utilização e de manutenção das condições de qualidade do estabelecimento.

Uma piscina municipal é uma infraestrutura bastante exigente em diversos níveis, sendo importante salvaguardar todos os aspetos técnicos e normativos desde o momento da sua projeção até à sua gestão propriamente dita (Barbosa, 2007). A elevada complexidade que lhe é atribuída resulta de um conjunto de fatores como são os técnicos, a diversidade e especificidade de equipamentos utilizados e a elevada exigência colocada ao nível de parâmetros de funcionamento de qualidade (Soares, 2004). Deste modo, é de extrema importância ter-se em consideração um vasto número de varáveis, desde o perfil dos utilizadores, às práticas decorrentes na instalação, até toda uma componente económica.

No que toca ao funcionamento, e no que se refere à gestão de uma piscina propriamente dita, deverá haver a capacidade e formação que garantam o uso dos equipamentos técnicos de acordo com as suas normas, bem como assegurar a manutenção periódica do edifício (Barbosa, 2007). Desse modo, é permitido oferecer-se serviços de qualidade e reduzir os custos da gestão da própria instalação (Gallardo *et al.*, 2004).

Nas piscinas cobertas, as relações que o utilizador experimenta com as instalações e os equipamentos são determinadas pelos aspetos da temperatura da água, dos espaços e sua higiene

(Costa, 2000). Segundo Soares (2004) é necessário assegurar o conforto dos utentes, garantir a conservação do edifício e otimizar os montantes de exploração, sendo a temperatura, a humidade e a taxa de renovação de ar, os fatores que maior efeito sobre eles.

Os programas aquáticos para os diferentes grupos populacionais (bebés, crianças e jovens, adultos que praticam natação com fins recreativos, nadadores que treinam e competem e pessoas que procuram, na natação, um fim terapêutico) têm necessidades diferentes relativamente à temperatura da água dos tanques (Vellejo *et al.*, 2008), sendo sobretudo crianças e idosos que preferem temperaturas da água mais elevadas, cifrando-se entre os 30 e os 35 °C (Beleza *et al.*, 2007).

Vallejo *et al.* (2008), defendem que os tanques com pouca profundidade, normalmente os de aprendizagem, apresentam temperaturas da água um pouco mais elevadas do que os tanques mais profundos. Segundo a Diretiva CNQ 23/93 são aconselhados os valores de temperatura da água, de acordo com a tipologia do tanque, como se pode visualizar na tabela.

**Tabela 4 – Relação tipologia-temperatura**

<b>Tipologia do Tanque</b>	<b>Temperatura [°C]</b>
<i>Desportivos</i>	24 a 26
<i>Desportivos para saltos</i>	26 a 28
<i>Aprendizagem e recreio</i>	26 a 28
<i>Infantis ou Chapinheiros</i>	28 a 30
<i>Recreio e diversão</i>	26 a 28
<i>Polifuncionais</i>	26 a 28

É de salientar que a temperatura da água está diretamente relacionada com a sua contaminação, ou seja, quanto mais elevada estiver a temperatura maior será a estimulação da atividade bacteriológica (Beleza *et al.*, 2007). Contudo, e segundo refere Beleza *et al.* (2007), ajustando-se corretamente a concentração de desinfetante à temperatura, pode-se garantir o mesmo, ou maior, grau de proteção, tanto a 26°C como a 34 °C. Por outro lado, elevadas temperaturas da água refletem um aumento da taxa de evaporação e perdas de calor, sendo que quando o ar não é devidamente tratado poderá ser uma situação adverso para a saúde dos utilizadores e dos funcionários (Griffiths *et al.*, 2005).

O odor característico, existente nas piscinas, deriva da presença de compostos químicos, tais como cloro, cloraminas, entre outros, no ar, tornando-o incómodo e gerando mal-estar (Beleza *et al.*, 2007). O nível de concentração desses constituintes depende do tamanho da construção, da qualidade de ar fresco introduzido no sistema, da circulação do ar e da ventilação, mas também da pressão de vapor da substância, da sua concentração e solubilidade na água, da área de contato ar/água, da temperatura da água, da velocidade do ar à superfície da água, da

turbulência provocada pelo movimento dos banhistas, e sobretudo, da renovação de ar da piscina (Beleza *et al.*, 2007).

No que refere ao ar interior da nave, a Diretiva CNQ 23/93 apresenta requisitos de conforto termo-higrométrico, conforme pode ser observado na tabela 5.

**Tabela 5 – Requisitos de conforto-Diretiva CNQ 23/93**

Requisitos	Valores
<i>Humidade Relativa do Ar</i>	55 a 75%
<i>Temperatura Seca do Ar</i>	Superior ou igual à da água do tanque com a temperatura mais baixa, com mínimo de 24 °C
<i>Temperatura de Bolbo Húmido</i>	Mínima de 23 °C
<i>Caudal de Ar Renovado por Banhista</i>	6 l/s
<i>Velocidade do Ar Insuflado</i>	Inferior a 0,2 m/s

A humidade do ar é um parâmetro bastante importante na medida em que, valores muito baixos tornam o ambiente menos confortável para o banhista molhado, que devido à rápida evaporação da água do corpo provoca uma sensação de frio. Valores altos de humidade provocam, também, desconforto, a nível de respiração dos usuários, bem como condensações nas superfícies mais frias que deteriorarão os materiais (Beleza *et al.*, 2007). A temperatura do ar, também é um parâmetro a considerar, situando-se, habitualmente, a dois graus acima da temperatura da água (Chivetta, 2004), nunca devendo ultrapassar os 30°C (Beleza *et al.*, 2007).

## 2.2.4. Gestão Energética

A gestão de energia é um segmento fundamental do planeamento e da gestão, não podendo ser subestimada, especialmente com desportos que consomem grandes quantidades de energia, sendo que esse consumo difere consoante a sua localização, o tipo e o uso que lhe é dado. As piscinas são um tipo de instalação com um elevado grau de consumo energético, principalmente as cobertas (Beleza *et al.*, 2007).

Os principais consumos energéticos são apontados para o aquecimento da água da piscina e para o acondicionamento de ar da nave, que exigem gastos tanto a nível de energia elétrica como de combustível (Beleza *et al.*, 2007). Tendo em conta esta linha de pensamento, é necessário racionalizar a utilização da energia e da água, considerando os seus custos na gestão da piscina, de modo a garantir a sua sustentabilidade.

Aos consumos energéticos estão associadas as perdas de energia, sob a forma de calor. São um problema significativo nas piscinas aquecidas, sendo vários os fatores associados: diferença de temperatura entre a água e o ar ambiente, a área do plano de água, os níveis de humidade relativa, a velocidade do ar e a localização geográfica da instalação. Estas perdas podem ocorrer de quatro modos distintos: radiação, condução, convecção e evaporação.

As perdas de calor por radiação ocorrem quando dois corpos apresentam temperaturas diferentes, mesmo sem a existência de meio físico entre eles, que no caso específico das piscinas refere-se à transmissão de calor, por radiação, do plano de água para o teto, que por sua vez fará idêntica transmissão – a designada radiação térmica (Beleza *et al.*, 2007). De uma outra forma, o calor poderá perder-se através do contato com um objeto frio, isto é, através de fenómenos de condução, ou ainda através de fenómenos de convecção, que ocorre quando a temperatura do ar da nave for maior do que a temperatura da água da piscina, havendo transferência de calor (Beleza *et al.*, 2007). Por último, as perdas de calor por evaporação da água da piscina abarcam a maior parte das perdas de calor totais.

Devido a todas as razões anteriormente enumeradas, o autor Beleza (2009) propõe um conjunto de medidas para a redução dos custos energéticos, destacando-se a arquitetura do projeto, a diminuição das temperaturas da água e do ar, a recuperação do calor do ar rejeitado, a recuperação do calor da água quente sanitária e a instalação de equipamentos mais eficientes.

É de extrema relevância manter um equilíbrio entre a temperatura da água e do ar, estando sempre a segunda um grau acima da primeira, preferencialmente, tal como é referido na Diretiva CNQ 93/23, na medida em que, quanto mais baixa é a humidade mais dispendiosa se torna a instalação.

Outro dos parâmetros a avaliar na poupança energética é a utilização de energia proveniente de fontes renováveis, em particular a energia solar térmica para aquecimento de águas das piscinas e respetivas instalações sanitárias (Beleza, 2009; Beleza *et al.*, 2007; Souza *et al.*, 2007; Teixeira, 1994). Esse tipo de energia é uma das fontes absolutas do planeta e pode substituir uma parte significativa dos sistemas convencionais, com a grande vantagem de não ser maléfica para o meio ambiente e ser renovável (Souza e Guerra, 2007).

De acordo com diversos autores, nomeadamente Beleza (2009), Souza *et al.* (2007) e Teixeira (1994), a colocação de coberturas no plano de água pode ser uma mais-valia para a redução dos custos de aquecimento, os gastos de manutenção, o consumo de produtos químicos, as necessidades de ventilação e a deterioração dos materiais e estruturas envolventes.

## 2.3. Fontes de Energia Usadas em Piscinas. Eficiência Energética

### 2.3.1. Energias Não Renováveis

Designam-se de recursos não renováveis aqueles que não podem ser repostos pela natureza dentro de um prazo útil, isto é, depois de obtidos da fonte perlongam séculos a restabelecer-se. Assim sendo, os recursos energéticos não renováveis obtêm-se através de fontes fósseis, tal como o petróleo, o carvão e o gás natural. Desta forma, os recursos energéticos naturais esgotáveis são também considerados como energias primárias, uma vez que são as mais utilizadas pela humanidade. Dentro deste domínio de energias estão o petróleo e o gás natural e, para Marques (2007) estão entre as reservas com mais energia por unidade de volume. São de fácil armazenamento e manuseamento.

No que toca a instalações desportivas e, mais concretamente as piscinas, de um modo geral, recorrem às energias não renováveis, tal como o gás natural. Nos dias de hoje o uso de energias renováveis em detrimento das energias não renováveis revela-se um fator bastante relevante.

### 2.3.2. Energias Renováveis

De acordo com a Diretiva Europeia 2001/77, as fontes de energias renováveis são definidas como “*as fontes de energia não fósseis renováveis (energia eólica, solar, geotérmica, das ondas, das marés, hidráulica, de biomassa, de gases de aterros, de gases das instalações de tratamento de lixo e do biogás)*”.

Para Filipe *et al.* (2007), os recursos renováveis podem reproduzir-se de um modo infinito podendo ser explorados até à exaustão. Com isto, ao longo dos anos, têm sido desenvolvidos modelos que têm em vista a otimização da obtenção dos recursos renováveis. As energias renováveis são tidas, atualmente, como fontes de energias limpas ou energias verdes e assumem um papel de extrema relevância no contexto económico. Esta sua designação deve-se ao facto de não poluírem a atmosfera com os gases com efeito de estufa.

A utilização de energias renováveis tem um impacto reduzido no meio ambiente, uma vez que contribui para a diminuição da poluição e da emissão de gases de efeito de estufa e promove o aumento da oferta de energia a longo prazo (Álvares *et al.*, 2005).

De acordo com a Diretiva Europeia 2001/77 ficou definido que até 2010 os estados membros devem atingir uma quota de 12 % de contributo final das energias renováveis em relação ao consumo de energia primária. Em termos globais, pretende-se que até 2010, 22 % da energia elétrica utilizada de origem renovável (Álvares *et al.*, 2005).

De uma forma geral, e devido aos apoios financeiros por parte dos respetivos governos, tem-se notado uma maior preocupação no investimento de energias renováveis. Com esta nova realidade, espera-se que os investimentos nesta área promovam uma nova economia sustentável (Filipe *et al.*, 2007).

Deste modo, a utilização de energias renováveis nas piscinas, irá ter um papel fundamental na contribuição para a diminuição do consumo de energia primária, uma vez que se tratam de instalações que consomem bastantes recursos energéticos. Espera-se que em Portugal o número de instalações desportivas aumente nos próximos anos e que possam recorrer a energias alternativas para o seu funcionamento.

Assim, procede-se seguidamente ao enquadramento da energia solar, tanto num contexto geral como aplicado às instalações desportivas.

### **2.3.2.1 Energia Solar**

A Energia Solar é uma das principais energias existentes na Terra. Esta energia consiste no aproveitamento da radiação solar emitida pelo Sol que chega à atmosfera da Terra. Parte significativa dessa energia não tem a capacidade de chegar até ela, ficando-se pela superfície terrestre. Deste modo, esta energia, ao atingir a atmosfera terrestre é dividida em três componentes da radiação: a radiação direta, que é aquela que atinge diretamente a superfície, a radiação difusa, que é a radiação que antes de atingir a superfície terrestre desvia em diversos componentes da atmosfera e, por último, a radiação refletida, proveniente da reflexão no solo e objetos circundantes (DGEG, 2014).

De acordo com a *Direção Geral de Energia e Geologia* (DGEG) o Sol fornece, atualmente para a atmosfera terrestre, uma quantidade de energia na ordem dos  $1,5 \times 10^{18}$  kW·h, necessitando apenas de vinte minutos para que chegue à terra energia solar para o consumo anual mundial. Contudo esta fonte é considerada bastante dispersa, com vantagens e inconvenientes.

Assim, as inúmeras vantagens da energia solar, residem, fundamentalmente, nas utilizações finais diretas, em aplicações distribuídas e nas disponibilidades geográficas, sobretudo em locais onde outras fontes de energia são escassas (DGEG, 2014).

Em termos de utilização, a energia solar, pode ser utilizada diretamente para aquecer e iluminar edifícios, para aquecer água de piscinas e para fornecer água quente sanitária nos setores doméstico, serviços, indústria e agropecuária. Outra das suas possibilidades de uso é a produção de elevadas temperaturas para produção de vapor de processo ou geração de eletricidade, por meio de tecnologias de concentração de radiação (DGEG, 2014).

Segundo o autor Filipe *et al.* (2007) um dos modos de receber a energia proveniente do Sol é através de dispositivos preparados para esse fim, tal como os coletores solares, sendo que a energia por eles recebida poderá ser utilizada em processos térmicos ou fotovoltaicos. Posto isto, os coletores solares constituem, atualmente, uma importante tecnologia para a produção de energia elétrica e uma das metas mundiais dos diversos países passa pela instalação de 100 mil MW até ao ano de 2025 (DGEG, 2014).

Para a DGEG (2014) a energia solar é uma tecnologia dominada. No ano de 2002 já existia uma área de coletores solares térmicos na ordem dos 12,3 milhões de m<sup>2</sup>. Destes, cerca de 60 % distribuem-se por Alemanha, Grécia e Áustria. O Chipre é líder mundial em termos de áreas de

coletor instalado. Nesses países é existente aquecimento solar em 50 % dos hotéis e em 92 % das habitações particulares.

Portugal é um dos países com maior número de horas de Sol. Apesar disso, é ainda um dos países que menos usufrui de grande disponibilidade de radiação solar de que dispõe. Este facto acontece devido à má reputação que a energia solar térmica ganhou na década de oitenta, época com enorme, mas desadequada implementação deste tipo de sistemas, imperando a falta de controlo de qualidade dos mesmos.

Segundo a DGEG (2014), Portugal, tem um grande potencial disponível de aproveitamento deste recurso natural, sendo que a sua utilização atual está longe de corresponder a esse potencial. O nosso país dispõe entre 2200 e 3000 horas no continente, e entre 1700 e 2200 horas, nos arquipélagos dos Açores e da Madeira. Comparativamente, na Alemanha, este indicador cifra-se entre as 1200 e as 1700 horas. Em 2003, Portugal tinha apenas 2 MW de sistemas solares fotovoltaicos de capacidade instalada.

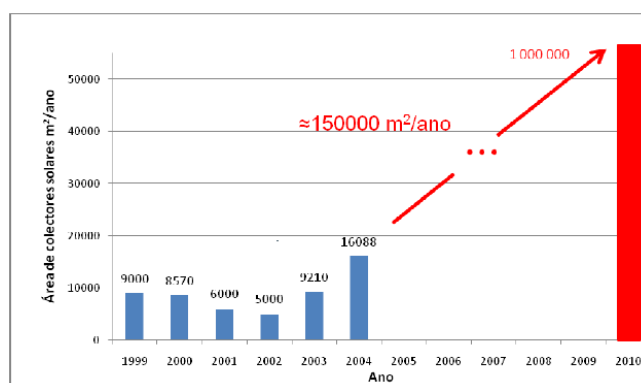


Figura 2 – Evolução da instalação de painéis solares

A utilização de energia solar para o aquecimento de água já não é uma novidade. Se recuarmos aproximadamente cem anos no tempo, eram utilizados tanques pintados de preto, num número considerável de países, com o intuito de aquecerem água de uma forma simples (RETScreen, 2004). Sendo assim, para Filipe *et al.* (2007) existem duas formas distintas de aproveitar a energia solar, sendo uma a forma ativa, em que os raios solares são convertidos noutras formas de energia, térmica ou elétrica, outra é a forma passiva, onde se faz o aproveitamento para climatização dos edifícios através de conceções construtivas apropriadas. A instalação de coletores solares nos edifícios pode reduzir em cerca de 80% o consumo de energia convencional para o aquecimento de águas.

No caso das piscinas, inseridas no âmbito deste projeto, a energia solar mais indicada é a energia solar térmica que consiste, basicamente, na captação de energia solar para armazenamento em depósitos para posterior utilização.

### 2.3.3. Eficiência Energética

A intensidade energética traduz-se na relação entre o consumo de energia *per capita* e o consumo interno bruto *per capita*. Assim, para se conseguir uma intensidade energética com qualidade devem-se reduzir todas as formas de energia que levem ao consumo desnecessário (Paiva, 2009). Deve-se utilizar a energia de uma forma racional e contribuir para uma redução substancial nos custos energéticos. Sendo assim, é necessário que as sociedades, de um modo geral, procurem esforçar-se para reduzirem os consumos energéticos nas suas habitações, empresas, escolas, indústrias e transportes (Neto, 2009).

De acordo com a DGEG, no início da década de 2000, em Portugal existiam mais de 3,3 milhões de edifícios, que representavam 22% do consumo de energia final, sendo 13% referente ao setor residencial e 9% ao setor de serviços. Na última década o setor dos edifícios de serviços foi um dos que mais cresceu em consumos de energia, sendo ele um dos principais responsáveis pelo acentuado crescimento do consumo em energia elétrica, que entre os anos de 1980 e 1999 aumento de 19% para 31%.

No que diz respeito ao setor dos serviços, existe uma grande diversidade nos consumos energéticos. Posto isto, este setor deverá ser separado em diferentes tipos de edifícios, destacando-se os mais significativos em termos de consumos específicos: restaurantes, hotéis, hipermercados, supermercados, piscinas e escritórios. Destes, o tipo de edifício que apresenta um maior consumo energético são os restaurantes, com valores aproximados de  $800 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ , sendo que as piscinas assumem valores próximos de  $460 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$  seguindo-se os hipermercados com  $320 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ .

Face a isto, seguidamente serão apresentadas algumas áreas energéticas específicas de utilização de energia nas piscinas e que podem representar uma redução nos custos associados a estes edifícios e uma utilização mais racional da energia.

#### 2.3.3.1 Iluminação Natural

Os vãos envidraçados são os elementos mais vulneráveis da envolvente nos edifícios, sendo responsáveis pela maior parte da energia térmica trocada com o interior. Mas como se sabe, estes elementos além de permitirem a iluminação natural, permitem, também, o contato visual com o exterior e a ventilação dos espaços interiores quando necessário. Por estas razões, o caixilho é um elemento essencial para aumentar a eficiência energética devendo possuir uma baixa condutividade térmica (Álvares *et al.*, 2005).

#### 2.3.3.2 Sistemas de Iluminação Artificial

A iluminação representa 10 a 20% nos consumos de eletricidade dos países industrializados. Por este facto, a utilização de equipamentos eficientes de iluminação, para uma maior racionalização de energia, torna-se uma prioridade. No uso eficiente de iluminação, pretende-se que, no edifício, seja integrada otimamente a iluminação natural com o sistema de iluminação

artificial. A instalação deste equipamento eficiente implica a utilização de lâmpadas de alto rendimento, balastros eletrônicos, armaduras com reflexão elevada e equipamento de controlo. (Álvares *et al.*, 2005).

### **2.3.3.3 Vidros e Janelas**

No que diz respeito à construção de edifícios com piscinas, torna-se importante ter uma boa exposição solar, contudo, pode-se otimizar a exposição solar nas piscinas para ganhos de calor no interior do edifício. Devido a este facto, existem janelas que apresentam uma elevada resistência térmica através da combinação de vidros duplos. Nos dias de hoje, existem vãos envidraçados que têm a capacidade de adaptação às frequentes alterações das necessidades de luz, aquecimento ou arrefecimento dos edifícios podendo classificar-se em duas categorias: envidraçados passivos, que são aqueles que variam a transmissão de luz de acordo com as alterações na luz solar e as transmissões de calor de acordo com as alterações da temperatura ambiente, e envidraçados ativos, que usam apoio elétrico para alterar as propriedades de transmissão de luz (Álvares *et al.*, 2005).

### **2.3.3.4 Isolamento Térmico**

A aplicação de materiais isolantes na construção de edifícios torna-se fundamental para corresponderem aos altos padrões de qualidade impostos pelos utilizadores e às normas em vigor. Posto isto, a economia energética torna-se uma evidência, sendo o conforto térmico e acústico, juntamente com a qualidade do ar, fatores para assegurar um ambiente melhor (Álvares *et al.*, 2005).

### **2.3.3.5 Recuperação de Energia Térmica - Ventilação**

Os edifícios, que usufruem de piscinas, tendem a possuir temperaturas elevadas, sendo, por esse facto, primordial recuperar o calor uma vez que trará vantagens a nível energético e ambiental. Essa ação desenvolve-se através a partir da transferência de parte da energia calorífica do ar de exaustão para o ar que entra no edifício. Este método poderá, também, ser utilizado no arrefecimento do ambiente a partir da energia calorífica do ar que entra no edifício para o ar de exaustão, reduzindo-se, assim, a carga de arrefecimento, a potência e o número de horas de funcionamento do sistema de climatização. Nos processos de recuperação de frio e calor os dispositivos mais utilizados são os permutadores de placas, de serpentinas, os rotativos e os tubulares (*heat-pipes*) (Álvares *et al.*, 2005).

## 2.4. Fundamentos Teóricos

### 2.4.1. Energia Solar e Seu Aproveitamento

Neste subcapítulo é feita uma ligação à energia solar térmica, que é referida no Enquadramento Energético, do Capítulo Dois do presente relatório. Serão abordados conceitos de enorme relevância no que toca à conceção, cálculo e dimensionamento do sistema solar térmico.

A energia associada ao Sol pode propagar-se de três formas distintas, sendo elas a condução, a convecção e a radiação térmica.

A condução ocorre através do contato físico entre dois corpos sólidos a diferentes temperaturas. O corpo com menor temperatura vai absorver a temperatura do corpo que está a uma temperatura mais elevada até atingir o equilíbrio térmico.

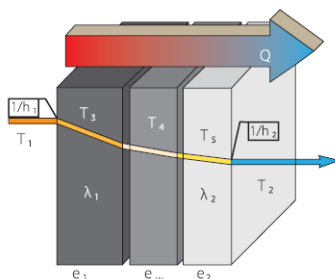


Figura 3 – Fenómeno de condução

A este mecanismo está associada uma fórmula de cálculo, a designada *Lei de Fourier*.

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Outro do mecanismo associado à energia solar é a convecção. Este fenómeno está relacionado com um fenómeno de transporte de massa que se caracteriza pela movimentação de um fluido devido à sua diferença de densidade, como se ilustra na imagem que se segue.

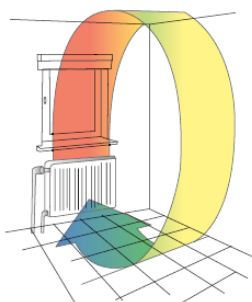
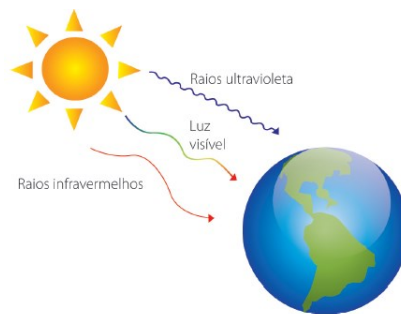


Figura 4 – Fenómeno de convecção

Tal como na condução, a convecção também possui uma lei fundamental para o cálculo do seu fluxo de calor – a *Lei de Newton*.

$$q''_x = h \times (T_{sup} - T_{\infty}) \quad (2)$$

Por fim, temos o mecanismo da radiação térmica, sendo a radiação eletromagnética emitida por um corpo em equilíbrio térmico causado pelo seu diferencial térmico. Neste fenómeno, a transferência de energia ocorre sem que seja necessário um meio material, pois as ondas eletromagnéticas propagam-se no vazio. Como se pode visualizar na imagem que se segue, um exemplo para este fenómeno é a transmissão de energia entre o Sol e a Terra.



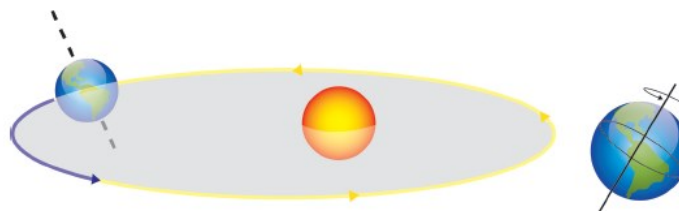
**Figura 5 – Fenómeno de radiação**

Em termos de cálculo, está associado este fenómeno a *Lei de Stefan-Boltzmann*, dada pela seguinte expressão:

$$q''_x = \sigma \times T_{sup}^4 \quad (3)$$

#### 2.4.1.1 Movimento Terra - Sol

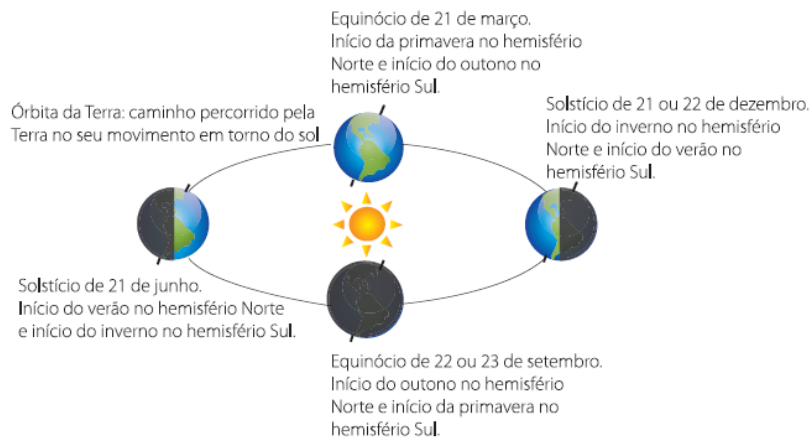
O planeta Terra gira em torno de um eixo imaginário que liga o Polo Norte ao Polo Sul, designado de eixo polar. Esse eixo descreve uma forma elíptica em torno do Sol, sendo quase perpendicular ao plano dessa elíptica, formando um ângulo com a normal ao plano da órbita de  $23^{\circ}27'$ . Após 24 horas dá uma volta completa sobre si própria, o que origina os dias e as noites.



**Figura 6 – Movimento Terra-Sol**

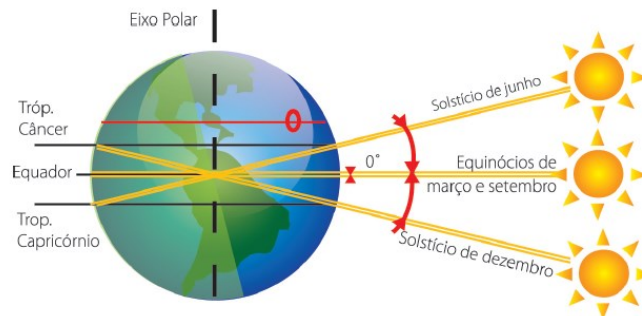
Existe um dia em que a Terra está mais próxima do Sol: o dia 4 de Janeiro. Tal facto acontece devido à trajetória do movimento da Terra em torno do Sol ser aproximadamente circular.

Quando a declinação solar, isto é, o ângulo formado entre a direção da radiação e o plano do equador é igual a zero, a duração dos dias é igual à duração das noites. Esses dias designam-se de equinócios de Primavera e de Outono.



**Figura 7 – Trajetória terrestre**

Sendo assim, a declinação, durante o solstício de Verão é de  $+23^{\circ}27'$ , em que o período diurno é maior que o período noturno. Contrariamente, a declinação no solstício de Inverno é de  $-23^{\circ}27'$  sendo o período diurno menor que o período noturno. A declinação solar é apresentada na imagem que se segue.



**Figura 8 – Declinação solar**

#### 2.4.1.2 Curvas de Penalização

As curvas de penalização são utensílios gráficos que auxiliam a deteção de penalizações energéticas associadas às inclinações dos coletores solares, indicando a energia disponível face ao posicionamento ótimo. Sendo assim, têm origem no parâmetro da energia dividida pela energia para a inclinação ótima de acordo com o período de utilização para as diversas aplicações.

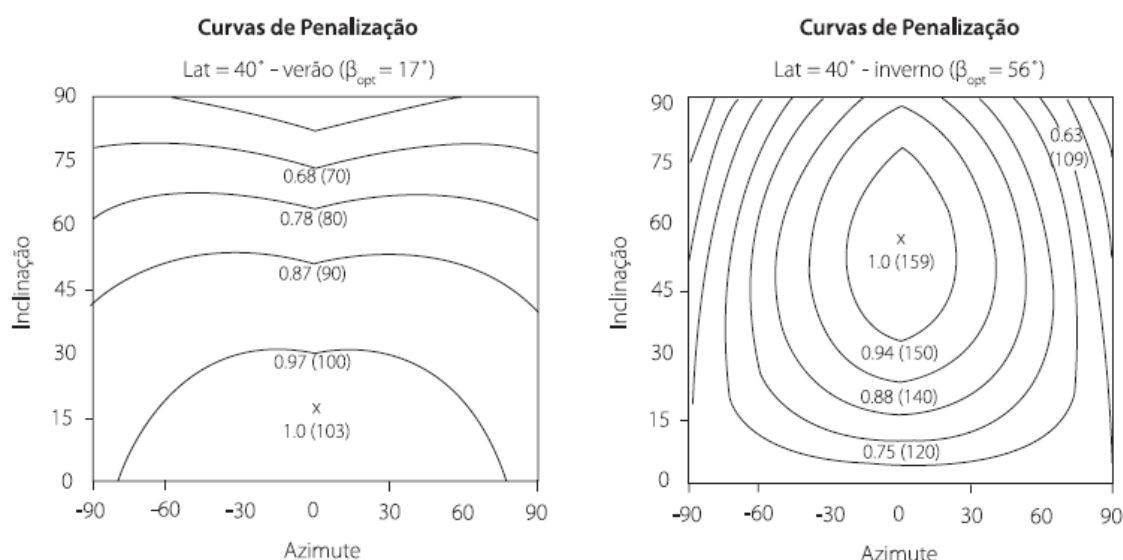
Devido a esse facto, os coletores devem ser instalados de tal modo, que ao longo do período anual de utilização se maximize o aproveitamento de radiação solar. No que toca a Portugal, os coletores solares devem estar orientados a Sul geográfico.

De salientar que são admissíveis pequenos desvios ao posicionamento ótimo dos coletores, por motivos meramente estruturais ou estéticos. Contudo, não devem provocar grandes penalizações na radiação solar a utilizar. Na tabela que se segue, são apresentadas as inclinações que normalmente se devem utilizar em função da época e tipo de utilização.

**Tabela 6 – Inclinação dos coletores segundo tipologia de utilização**

Utilização	Ângulo
<i>Todo o ano (AQS)</i>	Latitude do local – 5°
<i>Inverno (AQS e aquecimento)</i>	Latitude do local + 15°
<i>Verão (Piscina/hotelaria de temporada)</i>	Latitude do local – 15°

Na figura 9 apresentam-se um exemplo de curvas de penalização para uma latitude de 40°, no caso de Verão e Inverno.



**Figura 9 – Curvas de penalização**

### 2.4.1.3 Angulação Solar

De acordo com a latitude do local em estudo associada aos diferentes ângulos de incidência solar ao longo do ano, existe um valor máximo de radiação produzida que poderá ser obtido se a superfície recetora estiver inclinada a um determinado ângulo, designado como ângulo de inclinação ótimo. Este ângulo tem valor superior nos meses de Inverno, devido à menor altura solar (GREENPRO, 2004).

De acordo com a tabela 7, para o cálculo de sistemas solares, os ângulos utilizados são os seguintes:

Tabela 7 – Ângulos solares

<i>Altura Solar</i>	$\gamma_s$
<i>Azimute Solar</i>	$\alpha_s$
<i>Inclinação Superficial</i>	$\beta$
<i>Azimute Superficial</i>	$\alpha$

Na figura 10 podem observar-se os valores medidos em Lisboa para o cálculo da média anual e semi-anual para a irradiação solar global em qualquer orientação. As isolinhas de irradiação global são dadas em  $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$  por ano ou por semestre. No eixo horizontal está representado o alinhamento e no eixo vertical está exibida a inclinação.

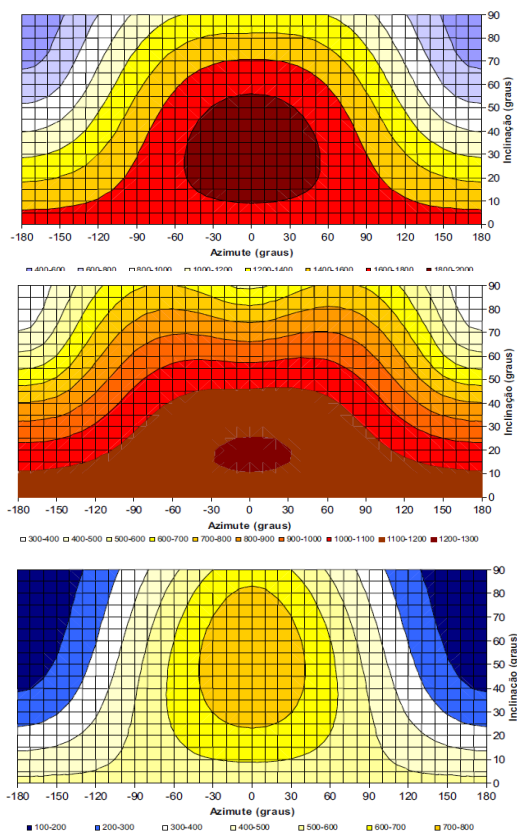


Figura 10 – Irradiação média anual-Lisboa

### 2.4.1.4 Sombreamentos

De acordo com a média anual, a irradiação ótima encontra-se no alinhamento meridional ( $\alpha = 0^\circ$ ) e tendo uma inclinação de  $\beta = 30^\circ$ . De prever que os valores mais elevados de irradiação estão disponíveis no semestre de Verão, meses de Abril a Setembro. O ângulo ótimo para o semestre de Inverno (Outubro a Março) é de  $50^\circ$ , sendo que desvios à direção de alinhamento sul podem provocar perdas de radiação muito rápidas (GREENPRO, 2004).

Por vezes as instalações com coletores solares são instaladas em zonas onde pode haver influência de sombras. Nessas situações é bastante conveniente conhecer as sombras que podem afetar a resposta energética dos coletores. De forma a determinar as penalizações que uma determinada sombra terá, utilizam-se as projeções estereográficas. Na figura 11 é apresentada uma projeção estereográfica esférica.

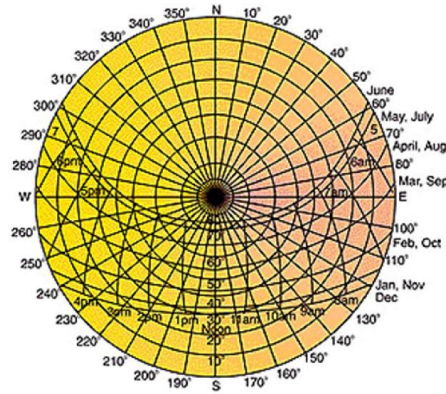


Figura 11 – Projeção estereográfica esférica

A distância entre as linhas de coletores também é um parâmetro a ter-se em conta na instalação de coletores solares. Esse distanciamento define-se para que às doze horas solares do dia desfavorável, a sombra da aresta superior da fila da frente, tem de se projetar, no máximo, sobre a aresta inferior da fila que fica imediatamente atrás, como se pode visualizar na figura 12.

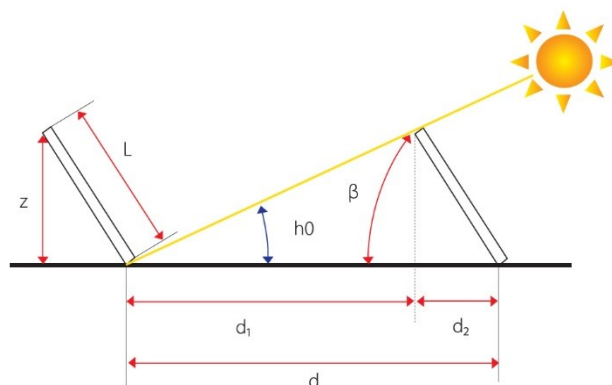


Figura 12 – Espaçamento entre coletores de forma a evita o sombreamento (horizontal)

Da imagem acima, chega-se à distância mínima entre fileiras de coletores através da seguinte equação:

$$d = d_1 + d_2 = \frac{Z}{\tan h_0} + \frac{Z}{\tan h_0} \quad (4)$$

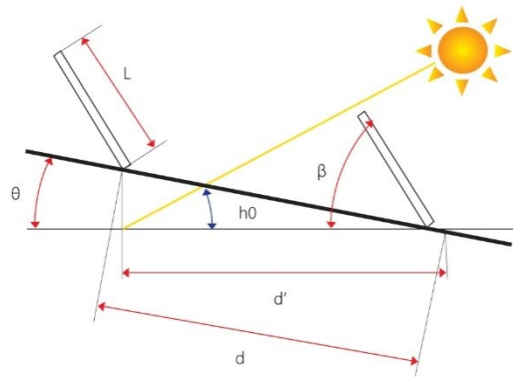
$$d = L \times \left( \frac{\sin \beta}{\tan h_0} + \cos \beta \right) \quad (5)$$

Em que a altura mínima do Sol ( $h_0$ ) é dada por:

$$h_0 = (90^\circ - \text{Latitude do Local}) - 23,5^\circ \quad (6)$$

Em que  $23,5^\circ$  corresponde à declinação mínima do solstício de Inverno, ou seja, do dia do ano mais desfavorável em termos de sombreamento.

Em diversos casos os coletores estão colocados numa superfície inclinada, como mostra a seguinte figura.



**Figura 13 – Espaçamento entre coletores de forma a evitar o sombreamento (inclinado)**

Sendo assim, deve usar-se a equação que se segue:

$$d' = L \times \left[ \left( \frac{\sin(\beta - \theta)}{\tan(h_0 - \theta)} + \cos(\beta - \theta) \right) \right] \quad (7)$$

$$d = \frac{d'}{\cos \theta} \quad (8)$$

Regra geral, considerando a latitude de Portugal Continental, para instalações em superfícies planas horizontais, pode-se recorrer a um método expedito, considerando-se um afastamento igual ou superior a duas vezes a altura do obstáculo. Como salientado anteriormente, as projeções estereográficas permitem determinar as zonas de sombreamento a que um coletor está sujeito durante um ano.

A figura 14 apresenta a trajetória solar para uma latitude de 40° durante os 365 dias do ano.

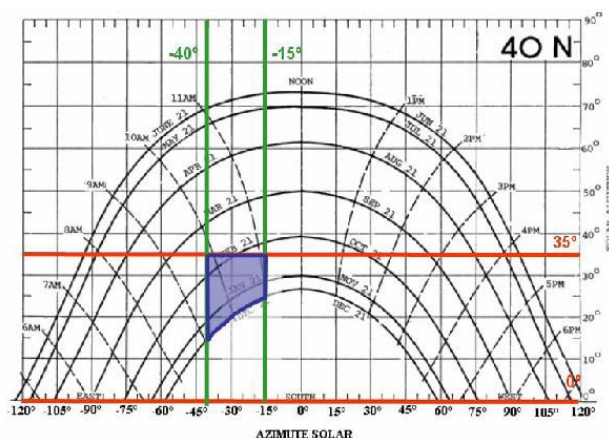


Figura 14 – Projeção estereográfica cilíndrica

## 2.4.2. Componentes do Sistema Solar Térmico






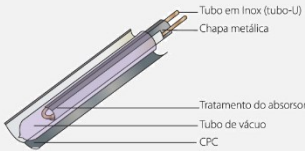

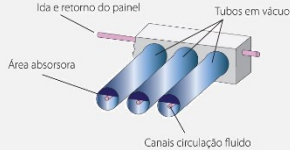

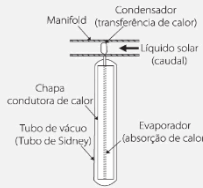
A captação da energia solar é conseguida através de coletores solares que convertem a luz em calor. “O calor é gerado pela absorção dos raios solares através de uma placa metálica que se comporta como um corpo negro – a placa absorvora”. Neste componente está incorporado um sistema de tubos que transfere o calor gerado para o fluido de transferência térmica, que por sua vez flui para o tanque de armazenamento de água quente. Depois de arrefecido, o fluido de transferência retorna ao coletor e a água aquecida fica armazenada para posterior utilização. Para uma forma mais eficiente deste sistema, muitos estudiosos desta matéria defendem que devem existir dois reservatórios distintos. Um onde se dá a transferência de calor entre o fluido de transferência térmica e a água e um outro onde essa água, já aquecida se mistura com a água existente no tanque, criando uma estratificação térmica, na qual a água aquecida, como é menos densa, está no topo (local onde está localizada a tomada de água quente), enquanto no fundo se encontra a água fria (onde se encontra localizado o abastecimento de água para o aquecimento). O sistema de comando diferencial é utilizado por forma a ativar a bomba do circuito solar, quando o diferencial de temperatura, entre o coletor e o tanque de armazenamento, atingir um valor pré-estabelecido. (GREENPRO, 2004).

### 2.4.2.1 Coletores

De acordo com a NP 4448:2007, um coletor solar é um “dispositivo concebido desenhado para absorver radiação solar e para transferir a energia térmica produzida para um fluido que o atravessa”. Sendo assim, estes dispositivos têm o objetivo de converter a maior quantidade possível de radiação solar disponível e transferir este calor com o mínimo de perdas possível, sendo considerado o componente central e de maior relevância económica numa instalação de captação de energia solar para o aquecimento de água. Para tal existem diversas tipologias de coletores solares para as diversas aplicações existentes no mercado (AQSsP, 2003).

Na tabela 8, que se segue, ilustram-se os diversos tipos de coletores solares térmicos existentes no mercado.

**Tabela 8 – Tipos de coletores solares**

<p><i>Planos sem cobertura</i></p>		
<p><i>Planos com cobertura</i></p>		
<p><i>CPC (Tubo de Vácuo)</i></p>		
<p><i>Tubos de Vácuo</i></p>		
<p><i>Heat Pipe (Tubo de Vácuo)</i></p>		

Para a seleção do coletor mais adequado para as diversas aplicações, a temperatura de utilização é um fator de extrema relevância. Sendo assim, na tabela 9, são apresentados os tipos de coletores de acordo com o tipo de instalação e temperatura de utilização, possuindo um rendimento sempre superior a 40%.

Tabela 9 – Utilização de coletores solares de acordo com a aplicação

Tipo de Instalação	Temperatura de Utilização [°C]	Tipo de Coletor
<i>Piscinas e Estufas</i>	Menor que 30	Plano sem Cobertura
		Plano (preto baço)
		Plano (seletivo)
<i>Águas Sanitárias e Pré-Aquecimento Industrial</i>	Menor que 60	Plano (preto baço)
		Plano (seletivo)
		CPC (baixa concentração)
<i>Pré-Aquecimento Industrial</i>	Maior que 60	CPC (baixa concentração)
		CPC (alta concentração)
		Tubos de Vácuo
		Outros Concentradores

#### 2.4.2.1.1 Coletores Planos com Cobertura

As Piscinas Municipais de Penacova têm um funcionamento anual, por esse motivo, devem optar-se por coletores planos com cobertura. Ainda assim, garante-se uma eficiência regular por parte dos mesmos. Sendo assim, de seguida, irá ser analisado de uma forma aprofundada este tipo de coletores solares térmicos.

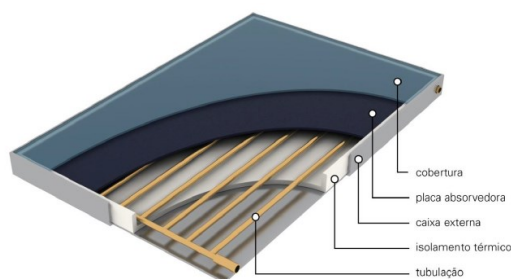


Figura 15 – Coletor plano com cobertura

Estes coletores são constituídos por um absorvedor metálico que está inserido numa caixa retangular plana, isolados - inferior e lateralmente - e com uma cobertura transparente na parte superior. Para se proceder à alimentação e retorno do fluido de transferência térmica existe uma ligação de dois tubos na parte lateral. Este tipo de coletor possui massas entre 15 a 20 kg/m<sup>2</sup> sendo fabricados em diversos tamanhos, que variam entre 1,5 a 12,5 m<sup>2</sup>. Os tamanhos mais comuns são de 2 m<sup>2</sup>, o que perfaz uma massa de cerca de 40 kg. De acordo com a figura 16, pode visualizar-se a constituição de um coletor solar plano.

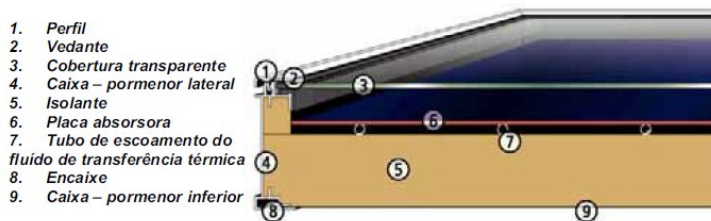


Figura 16 – Constituição coletor plano com cobertura

O componente fundamental de um coletor plano é a placa absorvora. Este elemento composto por uma chapa metálica que possui uma elevada absorção, ou seja, apresenta boas características de absorção de calor com revestimento preto-baço ou com revestimento seletivo e tubos de transferência de calor ligados ao coletor. Deste modo, ao atingir o absorvora, a radiação, é parcialmente absorvida e parcialmente refletida. O calor é então gerado através da absorção da radiação, calor esse que é transferido da chapa metálica para os tubos ou canais de escoamento, que têm o objetivo de conduzir o fluido de transferência térmica, que transporta o calor, para o tanque de armazenamento.

Com o intuito de se absorver a maior quantidade possível de energia, o absorvora está otimizado para ter a maior absorção possível e a menor emissividade térmica possível. Sendo assim a chapa metálica é tratada superficialmente com um revestimento de pintura preto-baço ou seletivo, como se pode visualizar na figura apresentada abaixo.

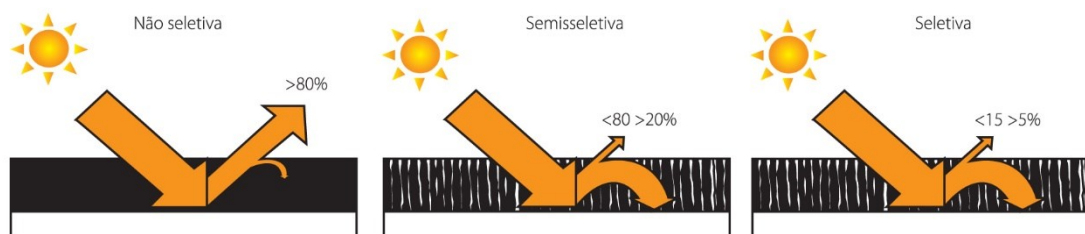


Figura 17– Superfície não seletiva *versus* superfície seletiva

Geralmente os revestimentos seletivos mais usados são de tratamento eletroquímico, como por exemplo o cromo-preto e o níquel-preto. Contudo, atualmente, está a ser desenvolvido o uso do TiNOx. Trata-se de um revestimento por deposição física do tipo “sputtering”. O processo produtivo deste tipo de revestimento implica um baixo consumo de energia e menor impacto ambiental. Este revestimento, por deposição física apresentam, comparativamente com os outros, um aumento de absorção de energia para temperaturas elevadas ou baixos níveis de irradiação solar.

Na tabela 10 podem ser comparados todos os tipos de absorsores em termos de vantagens e desvantagens.

**Tabela 10 – Vantagens e desvantagens dos diversos absorsores**

Modelo do Absoridor	Vantagens	Desvantagens	Ilustração
<i>Absoridor Roll-Bond</i>	Boas propriedades térmicas, separação de materiais – reciclagem simplificada	Sujeito a corrosão do alumínio em contacto com o tubo de cobre	
<i>Faixa Absoridora com Tubo de Cobre Soldado</i>	Tamanho flexível e barato	Muitos pontos de soldadura	
<i>Absoridor com Sistema de Tubo Pressado entre duas folhas de metal</i>	Separação de materiais – reciclagem simplificada	Custo elevado de produção devido às ligações	
<i>Absoridor com Sistema de Tubos "Clipados"</i>	Tamanho flexível – taxa de escoamento flexível	Baixa otimização de transferência de calor	
<i>Absoridor de Escoamento Total em Aço Inoxidável</i>	Otimização óptima de calor para o líquido	Peso elevado e inércia térmica	
<i>Absoridor em Serpentina</i>	Dois pontos soldados no sistema de tubos	Elevadas perdas de pressão em relação ao absorvedor de superfície total	
<i>Absoridor de Superfície Total</i>	Baixas perdas de pressão em relação ao absorvedor em serpentina	Muitos pontos de soldadura no sistema de tubos e preço elevado	

De modo a reduzir as perdas de calor para o meio ambiente, o coletor possui uma camada de isolamento entre a caixa e a placa absorvedora. O material constituinte do isolamento deve ser tido em conta consoante as temperaturas máximas que estes podem atingir (150 a 200 °C), por forma a não derreter, encolher ou libertar gases. Nestes constituintes, os materiais mais usuais são: o poliuretano, o poliuretano isento de *Clorofluorcarbonetos* (CFC), a lã de rocha e a lã de vidro. De referir que o poliuretano isento de CFC's além de ser um bom isolante térmico, ajuda a melhorar estruturalmente a caixa do coletor aumentando a sua massa, nomeadamente para uma área coletora grande. Por escassez de resistência a temperaturas superiores a 130 °C, estes

estão protegidos por uma camada de fibra mineral de isolamento, na superfície virada para a placa absorvora, designada de camada-gémea de insolação.

Nos coletores solares planos, a placa absorvora e o isolamento térmico estão inseridos numa caixa e protegidos através de uma cobertura transparente. Essa proteção provoca o efeito de estufa reduzindo-se, assim, as perdas de calor. Geralmente, as caixas são produzidas em plástico ou alumínio, no entanto, existem algumas concebidas em aço ou madeira envernizada. A cobertura transparente é usualmente feita em vidro com baixo teor em ferro, o que lhe garante uma maior transparência. A espessura tende a situar-se entre os 3 e os 4 mm por questões de segurança. Esta cobertura tem como principais funções maximizar a transmissão da radiação solar e reduzir a reflexão durante a vida útil do coletor, garantir a estanquidade do coletor à água e ao ar, resistir ao impacto do vento e de quaisquer outros objetos que o possam atingir e amplitudes térmicas.

Por forma a melhorar o funcionamento da cobertura transparente, é comum usar-se vidro duplo. Essa ação também garante um melhor desempenho em locais com condições climáticas adversas, como baixas temperaturas ou altas velocidades do vento, conseguindo otimizar o efeito de estufa e aumentar a temperatura do fluido térmico. Outra das formas de tratamento é através da utilização de tratamentos térmicos antirreflexo da superfície exterior, de modo a reduzir as perdas por reflexão, ou tratamento da superfície interior, de modo a melhorar a passagem da radiação de onda curta e refletir as de elevado comprimento de onda, conduzindo, assim, a uma diminuição das perdas por radiação.

#### 2.4.2.1.2 Estudo Energético do Coletor

Considerando a hipótese de condições estacionárias, é possível efetuar-se um estudo simplificado aos coletores solares térmicos. Este tipo de estudo permite chegar às curvas características dos diferentes tipos deste equipamento.

Parte da energia que incide no coletor solar é perdida por radiação, absorção, condução e convecção, como se ilustra na figura seguinte.

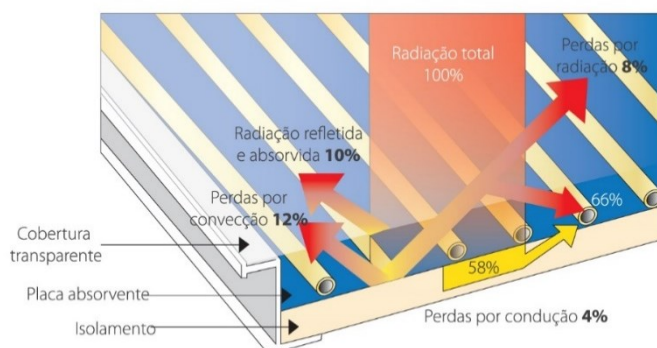


Figura 18 – Perdas de energia num coletor solar plano

Partindo-se do cálculo da potência incidente e potência absorvida do coletor, tem-se:

$$P_i = A \cdot I_g \quad (9)$$

$$P_{abs} = P_i \cdot \tau \cdot \alpha \quad (10)$$

Sendo a potência útil a diferença entre a potência absorvida e a potência perdida por dissipação para o exterior, vem:

$$P_u = P_{abs} - P_p \quad (11)$$

Onde:

$$P_{abs} = A \cdot I_g \cdot \tau \cdot \alpha \quad (12)$$

$$P_p = A \cdot U_L \cdot (t_c - t_a) \quad (13)$$

Chega-se então à forma simplificada de potência útil, designada de *Equação de Bliss*:

$$P_u = A \cdot [I_g \cdot \tau \cdot \alpha - U_L \cdot (t_c - t_a)] \quad (14)$$

$$P_u = F' \cdot A \cdot [I_g \cdot \tau \cdot \alpha - U_L \cdot (t_f - t_a)] \quad (15)$$

Fazendo o quociente da potência útil e a potência incidente total, chega-se ao valor de rendimento do coletor:

$$\eta = \frac{P_u}{P_i} \quad (16)$$

Logo:

$$\eta = \frac{F' \cdot \tau \cdot \alpha - F' \cdot U_L \cdot (t_f - t_a)}{I_g} \quad (17)$$

Onde  $F \cdot (\tau \cdot \alpha)$  representa o rendimento ótico do coletor e  $F' \cdot U_L$  as perdas térmicas associadas ao coletor.

Deste modo, é possível, finalmente chegar à curva característica de um dado coletor. Na ilustração que se segue poderá visualizar-se um exemplo de uma dessas curvas.

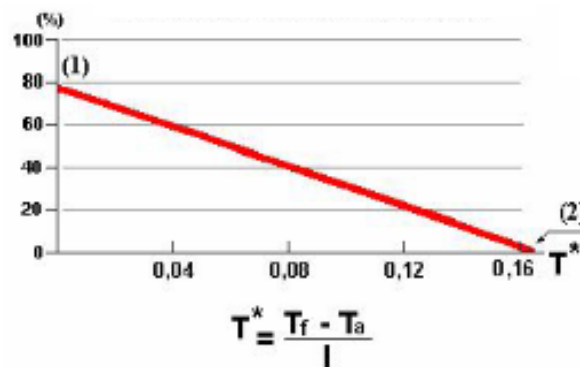


Figura 19 – Curva característica de um coletor

Analisando este exemplo, para um dado caudal de fluido e sendo  $(\tau \cdot \alpha)$  e  $U_L$  constantes, esta equação é aproximadamente uma reta em que quando a temperatura média do fluido,  $t_f$ , aumenta o rendimento,  $\eta$ , tende a diminuir. Quando  $T^*$  é igual a zero, ou seja, a temperatura média do fluido é igual à temperatura ambiente o rendimento é igual ao rendimento ótico (1). O rendimento é nulo quando o fluido atinge a temperatura de estagnação (2).

Na tabela 11 são apresentadas as características, relativas à área de abertura para os diversos coletores.

Tabela 11 – Características dos coletores solares

Tipo de Coletor	$F' \cdot (\tau \cdot \alpha)$	$F' \cdot U_L$ [W/m <sup>2</sup> ·°C]
<i>Não Seletivo sem Vidro</i>	0,8 – 0,9	20
<i>Não Seletivo</i>	0,7 – 0,8	8 – 9
<i>Seletivo</i>	0,7 – 0,8	3 – 6
<i>CPC</i>	0,7 – 0,75	3,7 (NS) / 4,2 (EW)
<i>Tubos de Vácuo</i>	0,7 – 0,78	1,8 - 3

Apresentam-se, na figura 20, as curvas típicas para diferentes tipos de coletores, tais como: absorvedor para piscina de natação, coletor plano e coletor de tubos de vácuo. Neste exemplo de estudo as condições dos três tipos de coletores são as mesmas, isto é, possuem a mesma irradiação solar global, bem como a área de aplicação.

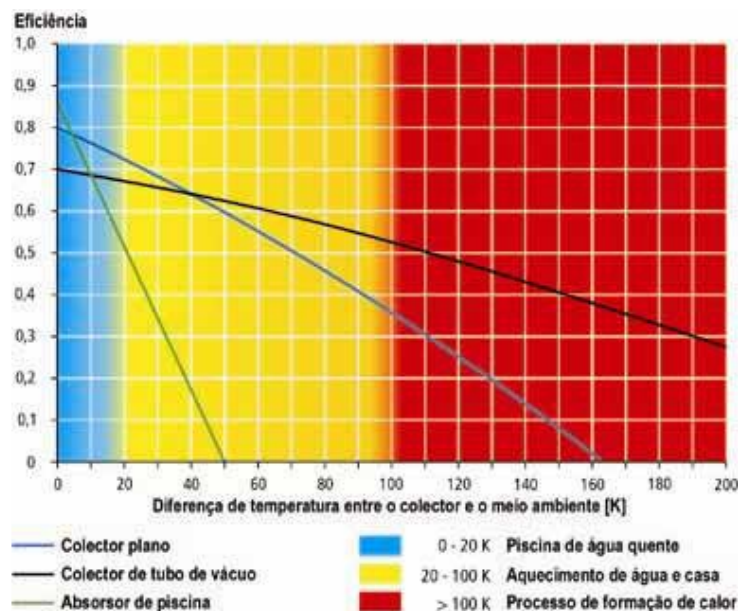


Figura 20 – Curvas típicas de coletores solares

Analisando este caso, os três coletores apresentam a maior eficiência quando a diferença de temperatura é igual a zero. Como referido anteriormente, para a temperatura máxima, isto é, quando o coletor atinge a sua temperatura de estagnação a sua eficiência é igual a zero.

A temperatura de estagnação pode ser atingida se, por exemplo, a bomba de recirculação falhar ou, se a água quente não é consumida. Sendo assim, o tanque de armazenamento atinge facilmente temperaturas na ordem do 70-80 °C, desligando-se o sistema, não sendo retirado mais calor do coletor. Nesta situação o absorvedor aquece até que as perdas de calor associadas (condução, convecção e radiação) atinjam o valor de *output* térmico do coletor. Para maximizar a temperatura de estagnação, uma das possíveis soluções é o aumento do isolamento térmico. No caso dos coletores planos, que possuam um bom isolamento, a temperatura de estagnação máxima tende para os 160-200 °C.

#### 2.4.2.2 Tanques de Armazenamento de Calor

Como a energia fornecida pelo Sol não pode ser controlada e raramente coincide com a variação das necessidades de energia térmica, tem de se arranjar um modo para armazenar o calor solar gerado, para posteriormente ser utilizado. Dessa forma, existem os tanques de armazenamento de calor.

Este constituinte do sistema solar térmico tem como objetivo servir de reservatório de armazenamento da água quente. Existem tipologias distintas de depósitos: os depósitos de câmara interna, que contém, lateralmente, uma câmara onde circula o líquido proveniente dos

painéis; depósitos com serpentina, podendo eles ser simples, duplos ou triplos, dependendo da aplicação a que se destinam; depósitos combinados, que têm como prioridade satisfazer mais do que uma necessidade de água quente; ou apenas depósito de armazenamento de águas.

Em termos construtivos, devem ser concebidos num material que resista bem a grandes variações de pressão e de temperatura, bem como, resistente à corrosão. De modo a reduzirem-se as perdas, este componente deve ser munido de um isolante térmico. Geralmente é utilizado poliuretano ou lã de rocha, sendo a sua espessura diretamente dependente do seu tamanho.

Favorecer a estratificação da temperatura ao longo do reservatório traduz-se numa redução direta de custos associados, bem como no aumento do rendimento dos coletores solares, através da redução da temperatura de entrada. Normalmente, num bom acumulador é possível retirar 90% da energia nele contida, devido a existir pouca mistura. Para que tal não aconteça, é fundamental que existam mecanismos que impeçam essa ação, tais como a bengala. Esse dispositivo impede a projeção de água da rede que entra em direção à saída. A estratificação também garante que, caso haja mais do que um depósito de acumulação, a água à temperatura mais elevada esteja sempre no ponto mais elevado do acumulador, local onde é feita a extração para o consumo sanitário, visto ser da parte superior do primeiro reservatório que se extrai a água para o segundo.

Outro aspeto diretamente influente à eficiência do acumulador é o seu isolamento térmico. Geralmente, o tanque de armazenamento deve conter uma espessura na ordem dos 10 cm nos lados e uma espessura de 15 cm no seu topo e base. De modo às perdas por convecção minimizadas, este constituinte deve estar bem ajustado ao acumulador. Em termos construtivos, o isolamento deve ser feito em materiais que não contenham CFC's e *Polícloretos de Vinilo* (PVC), como é o caso da fibra de vidro ou o *Polietileno* (PE), com condutividades térmicas na ordem dos 0,035 W/m·K (CENFIM, 2008).

### **2.4.2.3 Permutadores de Calor**

Num sistema solar térmico onde existem dois circuitos é necessária a implementação de um componente que faça a permuta entre o calor ganho pelo Sol e a água potável – os permutadores de calor. Estes podem diferenciar-se em permutadores de calor internos e externos.

Os permutadores de calor internos mais usuais são os tubulares com alhetas e os tubulares lisos, sendo que o segundo possui uma maior capacidade de transferência de calor por metro quadrado de superfície de troca de calor. De salientar que a instalação vertical dos permutadores promove o efeito de estratificação térmica no tanque de armazenamento.

No caso do sistema de aquecimento de águas das Piscinas Municipais de Penacova, o permutador de calor mais indicado será o externo. Estes permutadores podem ser de dois tipos: de placas ou tubulares, sendo que para esta instalação se opta pelos primeiros. O princípio de funcionamento assenta na passagem em contracorrente entre o fluido de transferência de calor e a água para o aquecimento. Em termos de vantagens, os permutadores de calor externos possuem uma capacidade de transferência de calor comparativamente aos permutadores de

calor internos, não existe redução de performance devido ao calcário e vários tanques de armazenamento podem ser carregados apenas por um permutador de calor. Por outro lado, são mais caros que os permutadores de calor internos e é necessária a implementação de uma bomba na parte secundária do permutador de calor (CENFIM, 2008).

As eficácias típicas para cada permutador estão refletidas na tabela 12 (Carvalho *et al.*, 2012):

Tabela 12 – Eficácia típica de permutadores de calor

Tipo de Permutador	Eficácia
<i>Permutador de Camisa</i>	0,35
<i>Permutador de Serpentina</i>	0,55
<i>Permutador de Placas</i>	0,75

Para um funcionamento ótimo deste componente, ele deverá operar com os fluxos opostos, como indica a seguinte figura.

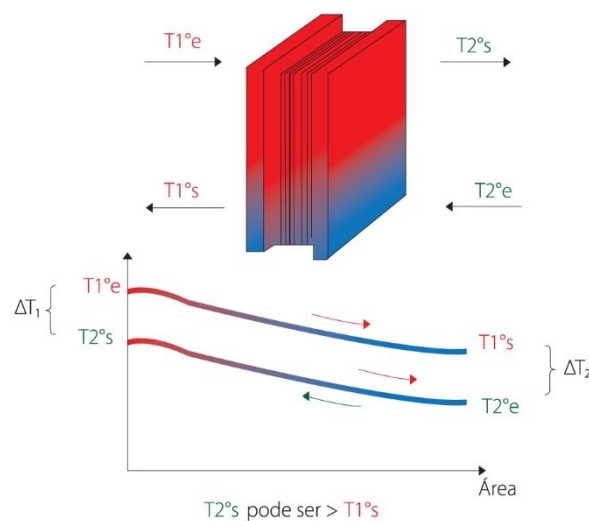


Figura 21 – Transferência de calor em permutadores com fluxos opostos

A quantidade de calor transferida pelo permutador representado em cima é dada pelas seguintes expressões:

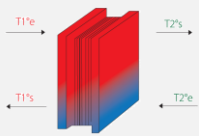
$$\dot{Q} = A \cdot K \cdot \Delta T_m \quad (18)$$

Onde:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (19)$$

Na tabela 13 são apresentadas as temperaturas adequadas para três opções de utilização distintas.

Tabela 13 – Temperaturas típicas de permutadores de calor

	Temperatura de Entrada 1° $T1^e$ [°C]	Temperatura de Saída 2° $T2^s$ [°C]	Temperatura de Entrada 2° $T2^e$ [°C]
<i>Piscinas</i>	50	28	24
<i>AQS</i>	60	50	45
<i>Aquecimento baixa temperatura</i>	60	50	45

#### 2.4.2.4 Circulador Solar

O circulador solar é um componente essencial no sistema solar térmico, neste caso de circulação forçada. Este componente do sistema tem como objetivo vencer as resistências provocadas pelo circuito de tubagens e, assim, assegurar a circulação do fluido térmico e da água nos circuitos primário e secundário. Sendo assim, o seu dimensionamento tem em conta o caudal dos circuitos, bem como as perdas de cargas, que se traduzem numa altura manométrica.

Sendo assim, cada bomba circuladora possui uma curva característica de diferença de pressão em função do caudal. A figura 22 ilustra a curva característica de um circulador solar (em azul). Para uma instalação (em circuito fechado) com uma perda de carga de 3 m.c.a., o caudal será aproximadamente de 750 litros/hora, ponto esse designado de ponto de funcionamento da bomba que, neste caso é o ponto de intersecção entre a curva característica da bomba e a curva característica da instalação (em vermelho).

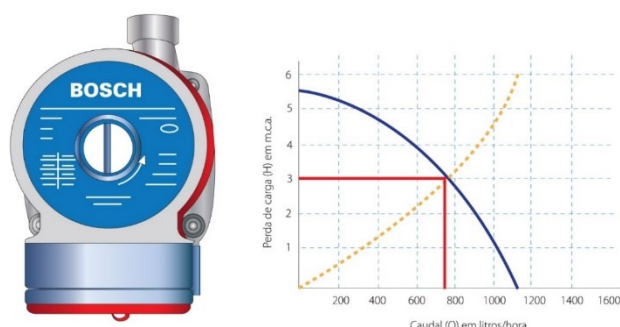


Figura 22 – Bomba circuladora e respetiva curva característica de funcionamento

O circulador deve ser selecionado para que o ponto de funcionamento se situe na zona de maior rendimento da sua curva característica (Carvalho *et al.*, 2012).

É necessário garantir-se que o equipamento selecionado seja um circulador solar, pois em termos construtivos, garantem uma boa resistência às altas temperaturas a que são sujeitos, sendo este um dos principais erros de projeto de sistemas solares térmicos.



**Figura 23 – Bomba circuladora solar**

Uma vez que os circuladores solares são acionados por um motor que funciona através da energia elétrica, é importante garantir que o seu funcionamento seja o mais baixo possível. Sendo assim, deve evitar-se o sobredimensionamento, o que se traduz numa menor potência nominal de consumo (GREENPRO, 2004).

Os circuladores devem sempre ser instalados com o eixo principal na posição horizontal, garantindo-se assim, que os rolamentos do motor sejam adequadamente lubrificados e refrigerados, favorecendo-se, conseqüentemente, o aumento do seu ciclo de vida.

Neste constituinte do sistema solar é primordial evitar o fenómeno da cavitação. Trata-se de um fenómeno hidráulico associado à formação de bolhas de vapor ou ar no líquido, o que levará à degradação de alguns dos componentes das bombas circuladoras. Essas bolhas formam-se quando a pressão estática local do líquido em movimento diminui até atingir o valor igual ou inferior ao da pressão de vapor desse mesmo líquido a uma determinada temperatura.

Sabendo que, normalmente, a temperatura normal de funcionamento das bombas circuladoras existentes no mercado é de 110 °C, é necessário garantir-se que a pressão na aspiração da bomba é superior à tensão de vaporização do fluido, a fim de evitar a cavitação.

Esse fenómeno é evitado garantindo uma pressão mínima na aspiração, que seja pelo menos igual à tensão de vapor mais um coeficiente de segurança, designado de *Net Positive Suction Head* (NPSH), que traduzido significa: margem de carga na aspiração ou carga útil de aspiração (Carvalho *et al.*, 2012).

#### **2.4.2.5 Acessórios Antirretorno**

Existem dispositivos que evitam o arrefecimento do tanque de armazenamento, geralmente no período noturno, quando o circulador solar não se encontra em funcionamento – as válvulas antirretorno e os freios de gravidade. Devido a este facto, é necessário que num sistema solar térmico exista este mecanismo no fluxo de retorno entre a bomba e o coletor. Este componente deve ser dimensionado para que a pressão do fluido de transferência térmica não seja suficiente para atuar a válvula (GREENPRO, 2004).

### 2.4.2.6 Purgador de Ar

De modo a drenar o ar do circuito solar, depois de preenchido com fluido térmico, deve ser instalado no ponto mais alto de qualquer sistema de energia solar um purgador automático de ar com válvula de fecho total ou um purgador de ar manual. Tendo em conta as altas temperaturas que se fazem notar nos coletores solares e devido ao facto de neles circular, normalmente glicol, este componente deve ser resistente a esse composto e a temperaturas na ordem dos 150 °C (GREENPRO, 2004).

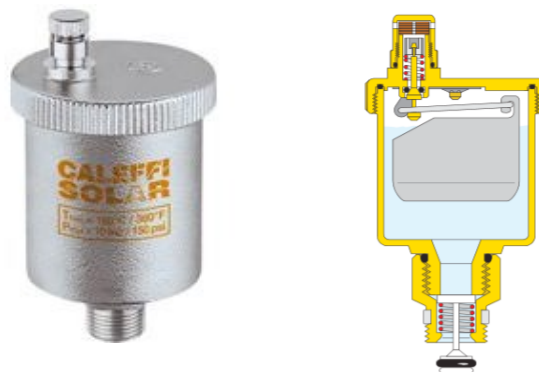


Figura 24 – Purgador de ar automático

### 2.4.2.7 Dispositivos de segurança

De concordância com a EN 12975, os sistemas de energia solar devem apresentar um sistema de segurança intrínseca. Este sistema deve garantir que o sistema solar não atinja a sua rutura aquando a acumulação contínua de calor quando não existe consumo de energia. Deste modo, existem dois dispositivos de segurança que garantem o normal funcionamento dos sistemas solares térmicos.

#### 2.4.2.7.1 Válvula de Segurança

Face ao que reporta a EN 12975 os sistemas de energia solar têm que estar munidos com uma válvula de segurança com um *Diâmetro Nominal* (DN) mínimo DN 15, na secção de entrada. Esta válvula é regulada em termos de pressão, em que quando a pressão é excedida a válvula abre permitindo o escoamento do fluido de transferência térmica para um tanque coletor (GREENPRO, 2004).

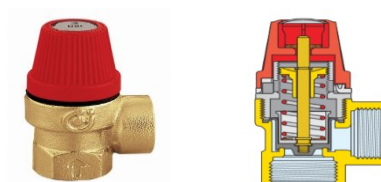


Figura 25 – Válvula de segurança

### 2.4.2.7.2 Vaso de Expansão

Este dispositivo de segurança tem como principal objetivo absorver as dilatações que se fazem assinalar nas tubagens devido à elevada temperatura do fluido de transferência térmica. Este deve ser suficiente para suportar a expansão do fluido.

Trata-se de um recipiente em metal fechado onde existem na sua parte central uma membrana flexível que separa dois meios: o azoto a uma pressão pré-estabelecida e o fluido de transferência térmica que entra no vaso de expansão quando aquecido. Em termos de instalação, este dispositivo deve estar situado no circuito de retorno do sistema solar, visto que nele as temperaturas são manifestamente mais reduzidas que no circuito primário (GREENPRO, 2004).



Figura 26 – Vaso de expansão fechado

Para um correto dimensionamento de um vaso de expansão é necessário ter em consideração os seguintes parâmetros (Carvalho *et al.*, 2012):

- Volume da instalação;
- Na eventualidade de evaporação de fluido é necessário um sobredimensionamento deste constituinte (deverá ser capaz de absorver mais 10 % do volume de toda a instalação);
- Temperatura mínima e máxima que a água possa atingir durante o período de funcionamento;
- Pressão mínima e máxima de serviço;
- Pressão máxima a frio será superior a  $1,5 \text{ kg/cm}^2$  e em quente inferior à tara dos componentes.

Esse correto dimensionamento garante que o vaso de expansão irá absorver o volume de expansão do fluido. Quando esse fenómeno ocorre sem que seja absorvido o excesso de volume, perde-se líquido solar pela válvula de segurança do sistema. Na montagem deste elemento deve ser garantida a inexistência de acessórios que dificultem o escoamento do fluido na direção dos mesmos. O volume do vaso de expansão depende de cinco aspetos fundamentais: a pressão do sistema, a área de coletores, o volume da instalação, a temperatura de estagnação e a pressão de pré-carga (Carvalho *et al.*, 2012).

Na figura 27 podem ver-se as diferentes fases de funcionamento deste dispositivo.

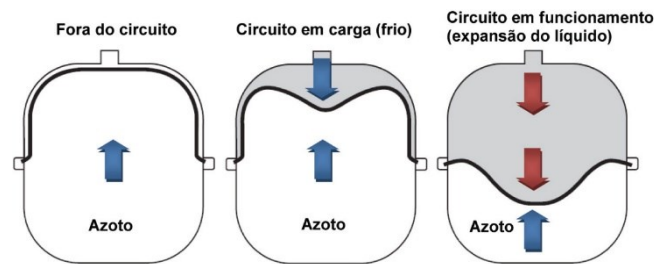


Figura 27 – Fases de funcionamento do vaso de expansão

### 2.4.2.8 Circuito Solar

A energia gerada através dos coletores solares é transportada para os tanques de armazenamento solar através do circuito solar que, fundamentalmente é constituído por tubagens, que permitem a ligação dos coletores aos tanques de armazenamento; o fluido de transferência térmica, que transporta o calor para o acumulador; a bomba solar, que faz circular o fluido de transferência térmica; o permutador de calor do circuito solar, que transfere calor para a água potável no tanque de armazenamento; o equipamento de segurança, que protege o sistema de danos devido à expansão do fluido térmico; e os equipamentos e acessórios que asseguram o enchimento, esvaziamento drenagem do sistema.

#### 2.4.2.8.1 Tubagens

Como referido anteriormente, as tubagens têm como função o transporte do fluido térmico em todo o sistema solar térmico. Devido a existirem dois circuitos independentes, o primário e o secundário, o tipo de material em cada um deles deve ser selecionado mediante as temperaturas que lá se fazem notar.

Na seleção dos materiais da tubagem do sistema solar térmico é de enorme importância a compatibilidade da mesma com o fluido utilizado e devem suportar temperaturas na ordem dos 160 °C (Carvalho *et al.*, 2012).

De um modo geral, os materiais mais utilizados em instalações solares térmicas são o aço inox, o cobre, o aço negro. Na seguinte tabela são descritas as principais características destes três materiais.

**Tabela 14 – Materiais típicos de tubagens**

<i>Aço Inox</i>	Possui uma boa resistência à corrosão, grande facilidade de corte, apresenta uma vasta gama de acessórios para montagem rápida (bicone) e possui perdas de carga lineares bastante baixas. Contrariamente, não é aconselhável fazer curvas por dobragem, não permite soldadura, apresenta diferentes coeficientes de dilatação e os bicones não são adequados para elevadas temperaturas.
<i>Cobre</i>	É o material mais utilizado nos sistemas solares térmicos. Possui boa resistência à corrosão, facilmente maleável e maquinável. A grande facilidade com que se deixa curvar permite evitar o uso de acessórios.
<i>Aço Negro</i>	Só pode ser utilizado em circuitos fechados, devido ao facto de ser bastante sensível às oxidações. Aconselhável, apenas, para grandes caudais. A sua manipulação e montagem são mais complicadas que no caso do cobre carecendo de uma pintura na sua parte exterior para proteção à corrosão

No circuito primário o material mais utilizado é o cobre devido a ser tecnicamente adequado e economicamente competitivo. Além disso, este material resiste bastante bem à corrosão, tanto dos líquidos que circulam no seu interior com dos agentes exteriores. Graças à sua maleabilidade e ductilidade, o cobre é um material fácil de manusear, adequando-se assim a traçados de tubagem mais complexos. Contudo, este material deve ser devidamente isolado para se reduzirem as perdas de temperatura ao longo do tubo e para proteger do frio que se faça sentir nos dias e nas noites de Inverno, em que possa ocorrer congelamento.

No circuito secundário, devido às temperaturas serem bastante mais reduzidas, existem variadas opções de escolha, sendo que a multicamada de *Polietileno Reticulado* (PEX) está a ser cada vez mais utilizada. Este tipo de tubagem tem a vantagem de combinar as propriedades dos metais com as dos plásticos.

No que toca aos tubos de aço inox, têm uma utilização crescente nestes últimos anos, devida em parte à sua boa resistência à corrosão, facilidade de corte e gama completa de acessórios para uma montagem rápida. Apresenta a vantagem de possuir menos perdas de carga, o que permite o uso de diâmetros menores. Em relação ao cobre, tem a desvantagem de não ser aconselhável efetuar dobragens, o que implica a adição de tubagens, o que vai fazer com que as perdas de carga localizadas aumentem significativamente (GREENPRO, 2004).

### 2.4.2.8.2 Isolamento das Tubagens

É um constituinte de extrema relevância em todo o circuito térmico, sendo fundamental para o seu bom funcionamento. O isolamento deve ser de baixa condutividade térmica e deve conseguir suportar a temperatura de funcionamento mais elevada possível. No caso de ser aplicado no exterior, deve ser protegido mecanicamente, contra a radiação *Ultravioleta* (UV), às intempéries e à corrosão da água, através de uma cobertura metálica (GREENPRO, 2004).



Figura 28 – Isolamento das tubagens

De acordo com o Anexo III do DL n.º 79/2006 de 4 de Abril, são especificadas as espessuras mínimas de isolamento de tubagens para fluido interior quente e para o fluido interior frio, apresentadas nas seguintes tabelas:

Tabela 15 – Espessuras mínimas de isolamento-fluido interior quente

Diâmetro exterior (em milímetros)	Temperatura do fluido (em graus centígrados)			
	40 a 65	66 a 100	101 a 150	151 a 200
$D \leq 35$	20	20	30	40
$35 < D \leq 60$	20	30	40	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40	50
$90 < D \leq 140$	30	40	50	50
$140 < D$	30	40	50	60

Analogamente, para o fluido interior frio:

**Tabela 16 – Espessuras mínimas de isolamento-fluido interior frio**

Diâmetro exterior (em milímetros)	Temperatura do fluido (em graus centígrados)			
	-20 a -10	-9,9 a 0	0,1 a 10	> 10
$D \leq 35$	40	30	20	20
$35 < D \leq 60$	50	40	30	20
$60 < D \leq 90$	50	40	30	30
$90 < D \leq 140$	60	50	40	30
$140 < D$	60	50	40	30

#### **2.4.2.8.3 Fluido de transferência térmica**

O fluido de transferência térmica transporta o calor produzido no coletor para o acumulador. O fluido que se utiliza é a água devido a apresentar as seguintes características: elevada capacidade térmica e alta condutividade térmica. Ainda assim, a água é um fluido bastante barato não tóxico e que não entra em combustão.

Usualmente por forma a se aumentar o intervalo em que a água se apresenta no seu estado líquido é adicionado glicol (anticongelante). Desta forma baixa-se o ponto de congelamento e eleva-se a temperatura de ebulição da mistura. Contudo, a adição deste composto na água aumenta o seu efeito corrosivo. Por essa razão, é necessária a adição de inibidores de acordo com as suas características para os materiais específicos da instalação. Para além disso há um decréscimo nas capacidades térmicas do fluido de transferência, uma redução da sua condutividade térmica, um aumento da viscosidade e um aumento de fricção (GREENPRO, 2004).

A fração da mistura de água e anticongelante deve ser feita tendo em conta as temperaturas mínimas históricas da zona onde se situa a instalação. O teor em anticongelante pode ser determinado a partir do índice de refração (valor fornecido pelos diversos fabricantes) (Carvalho *et al.*, 2012).

**Tabela 17 – Características de misturas de anticongelante**

Volume anti-gel [%]	Densidade solução	Temperatura Congelação [°C]	Temperatura Ebulição [°C]	Contração em volume
5	1,004	-1		0,998
10	1,008	-3		0,996
15	1,012	-5		0,994
20	1,016	-8	101	0,992
25	1,021	-11		0,991
30	1,025	-15	102	0,990
35	1,030	-20		0,998
40	1,034	-25	103	0,987
50	1,042	-35	105	0,984

No caso do anticongelante devem ser tidos em conta os seguintes parâmetros: a toxicidade, sendo o anticongelante tóxico não se deve misturar na água de consumo; a viscosidade, sendo maior que a da água é necessário ser tida em conta no cálculo das perdas de carga; a dilatação, que, normalmente é maior que a da água, o que altera o dimensionamento do vaso de expansão; a corrosão, devido aos anticongelantes se degradarem a altas temperaturas podem provocar este fenómeno no circuito; o calor específico, que sendo inferior ao da água é necessário tê-lo em conta na seleção no cálculo do caudal, tubagens e bomba; e a temperatura de congelação, que deve ser bastante inferior àquela que se verifica onde se insere a instalação (Carvalho *et al.*, 2012).

#### **2.4.2.9 Controlador**

O controlador é o componente que gere o sistema solar térmico, mais concretamente o arranque e a paragem do circulador solar e a gestão de energia, tornando-a mais eficiente.

O controlo é estabelecido através dos diferenciais de temperatura entre os coletores e o tanque de armazenamento.

Cada vez mais controladores têm a aptidão de controlar diferentes sistemas de circuitos com um único dispositivo.

### **2.4.2.9.1 Princípio para o controlo diferencial de temperatura**

Para ser feito o controlo diferencial de temperatura são necessários dois sensores. O primeiro mede a temperatura na zona do circuito solar, onde é atingida a maior temperatura, antes do fornecimento de calor e depois do coletor. O segundo mede a temperatura no tanque à altura do permutador de calor. Sendo assim, o circulador solar é acionado quando o diferencial de temperatura é atingido. O diferencial de temperatura depende de vários fatores. Os valores típicos situam-se entre os 5 e os 8 K. Tratando-se as Piscinas Municipais de Penacova de um complexo consideravelmente grande, possui um grande circuito solar térmico, vai haver um maior diferencial de temperatura.

A bomba desliga-se, quando o diferencial, normalmente atinge os 3 K.

O controlador ainda tem a função de cessar todo o sistema quando é atingida a temperatura máxima do tanque de armazenamento (GREENPRO, 2004).

### **2.4.2.10 Sistema de Apoio Energético**

Não havendo energia solar necessária para todas as necessidades energéticas, é necessário complementar a falta desse recurso. Hoje em dia, estão a ser adotadas, maioritariamente, o uso de bombas de calor em detrimento das convencionais caldeiras.

#### **2.4.2.10.1 Caldeira**

As caldeiras são equipamentos térmicos cuja função é elevar a temperatura de um determinado fluido, podendo ou não realizar a mudança de fase (ebulição) do fluido que o atravessa (Roriz, 2007).

Em termos de utilização, as caldeiras são agrupadas em três tipos distintos: caldeiras para cogeração, caldeiras para recuperação de calor de processos industriais ou outras fontes e caldeiras e caldeiras para aquecimento. No presente estudo, as caldeiras que mais se adequam são do terceiro tipo. Estes equipamentos destinam-se a transferir o calor resultante da queima de um combustível para um fluido que é transportado até aos locais onde é pretendido o aquecimento (Roriz, 2007).

A energia utilizada nas caldeiras pode ser elétrica ou química, resultante da queima de um combustível sólido, líquido ou gasoso. Por ser bastante mais vantajoso em termos de condução e menores emissões poluentes, o combustível gasoso é, hoje em dia o combustível mais usual. Comparativamente com as caldeiras queimando fuelóleo, as caldeiras a gás têm menores custos de investimento que se devem essencialmente a:

- Menor custo na aquisição de um queimador a gás, pois é menos complexo do que um equipamento equivalente para um a fuelóleo;
- Inexistência de equipamentos auxiliares necessários com o fuelóleo (armazenagem, aquecimento, bombagem e filtragem);
- Menores restrições regulamentares.

Nas caldeiras a gás, também os custos de manutenção são mais reduzidos quando comparados com os das caldeiras a fuelóleo, devido principalmente a:

- Menores custos de manutenção nos queimadores a gás;
- Menores custos de manutenção das próprias caldeiras devido à combustão do gás ser um processo bastante limpo;
- Inexistência de custos de manutenção com os equipamentos auxiliares evitados.

No que diz respeito à conceção, as caldeiras são distinguidas em três grupos: as caldeiras de ferro-fundido (caldeiras antigas), tubulares ou de tubos de fogo ou de fumo (caldeiras gastubulares ou piro-tubulares) e de tubos de água (caldeiras aquatubulares). Para sistemas de climatização e AQS as caldeiras mais adequadas são as gastubulares (Roriz, 2007).

De modo a tornar o funcionamento mais eficaz, atualmente as caldeiras, vê equipadas com sistema de controlo e segurança. Assim, é garantida uma regulação que torna a queima mais eficiente para as diferentes cargas do equipamento (Roriz, 2007).

No que toca à seleção da caldeira, deve garantir-se que a potência da mesma não seja demasiado superior à potência necessária, por forma a evitar a resposta errática da caldeira. Sendo as necessidades anuais de aquecimento bastante mais baixas que as necessidades nominais, é geralmente considerado a instalação de mais uma caldeira, repartindo-se, assim, as potências (Roriz., 2007).



**Figura 29 – Caldeira a gás**

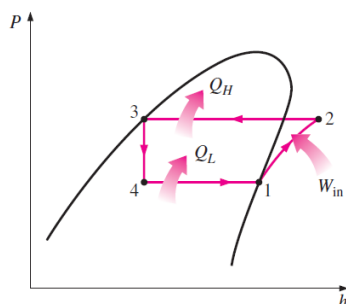
#### **2.4.2.10.2 Bomba de Calor**

Hoje em dia, nos sistemas de aquecimento de águas de piscinas, o sistema térmico a adotar passa pela inclusão de bombas de calor para garantir as necessidades de aquecimento.

O princípio de funcionamento da bomba de calor assemelha-se ao princípio de um sistema frigorífico, sendo o aproveitamento gerado na fonte quente, ou seja, é aproveitado o calor rejeitado no condensador (Roriz, 2007).

Igualmente ao que ocorre com os sistemas de produção de frio, os sistemas de bomba de calor, podem operar segundo dois princípios: a absorção ou a compressão de vapor. O mais usual é o princípio que se rege pelo ciclo de compressão de vapor (Roriz, 2007).

Sendo o princípio mais usual, o ciclo de compressão de vapor é, normalmente, representado segundo um diagrama Pressão-Entalpia, como se pode visualizar na imagem que se segue.



**Figura 30 – Diagrama de um ciclo de compressão de vapor ideal**

Para este ciclo ocorrer são necessários quatro equipamentos fundamentais: um compressor (1 – 2), um condensador (2 – 3), um dispositivo de expansão (3 – 4) e um evaporador (4 – 1).

O compressor pode ser de diversos tipos: rotativos (tipo *scroll* ou *swing*), alternativo, de parafuso.

O condensador pode ser arrefecido a ar ou a água, dependendo das potências de funcionamento.

O evaporador pode ser do tipo seco ou inundado. No caso deste componente deve ter-se em conta o tipo de utilização. A bomba de calor pode ser utilizada para o aquecimento de ar ou de água. No primeiro caso, as bombas de calor são sistemas reversíveis, isto é, permitem tanto aquecimento como arrefecimento de ar. No aquecimento de água, o sistema pode possuir um evaporador a ar, sendo que a situação mais usual, para potência consideráveis, é a inclusão de um evaporador com circulação de água (Roriz, 2007).



**Figura 31 – Bomba de calor**

### 2.4.3. Perdas de Energia numa Piscina

Como referido anteriormente, os complexos desportivos que possuam piscinas, em termos energéticos são bastante dispendiosos. Sendo assim, e para se poderem fazer análises energéticas devem ter-se em conta os ganhos e as perdas associadas às piscinas, como se pode observar na figura 32.

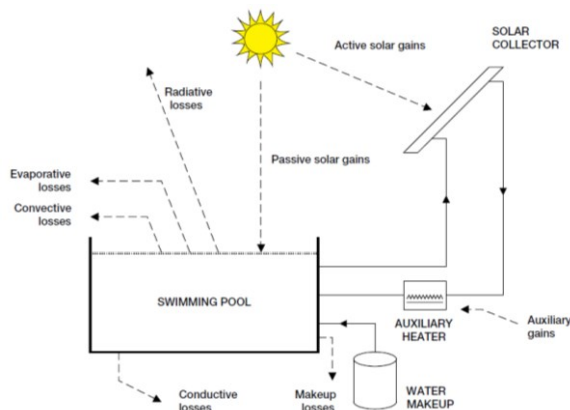


Figura 32 – Energia associada às piscinas

Nas piscinas e, indo de encontro à imagem representada em cima, estão a elas associadas quatro perdas energéticas: as perdas por convecção, as perdas por condução, as perdas por evaporação e as perdas por radiação. Destas quatro componentes energéticas, a evaporação é a forma mais significativa de perda de calor da água das piscinas. Sendo assim, no sub-capítulo seguinte é feita a referência a este fenómeno energético.

#### 2.4.3.1 Perdas de Energia Térmica por Evaporação

Como referido anteriormente, a evaporação da água leva a um grande consumo de calor, sendo, por isso, uma das parcelas mais influentes na fatura energética, isto porque este fenómeno provoca o arrefecimento da água dos tanques, tornando-se, assim, necessária a reposição da água fria da rede a esses tanques, para compensar a fração de água evaporada, bem como o aumento da humidade relativa do ar ambiente, obrigando à permanente desumificação na nave da piscina (Beleza *et al.* 2007; Soares, 2004).

Há vários parâmetros que influenciam a evaporação da água, tais como a temperatura da água, a temperatura do ar, a humidade relativa do ar, a velocidade do ar e o número e ripo de atividades dos ocupantes.

Segundo Chivetta (2004), a humidade do ar aumenta estando a água em movimento, devido ao fluxo de ar existente à superfície da água. Assim, a presença de ondas à superfície da água, o cais molhado, o corpo molhado dos ocupantes e os salpicos de água provocados pelas diversas atividades aquáticas são fenómenos físicos que aumenta a taxa de evaporação. A taxa de evaporação é maior quando a piscina está ocupada, já que aumentando o número de banhistas, conseqüentemente aumenta a atividade e a área de contato entre o ar e a água. Por outro lado,

quanto mais rápido se move o ar através de toda a superfície da água, maior é a taxa de evaporação (Chivetta, 2004).

Outro fator relevante, no fenómeno da evaporação, é a temperatura (Chivetta, 2004), sendo que elevadas temperaturas fazem aumentar a quantidade de água evaporada (Griffiths *et al.*, 2005). Contrariamente, também, a evaporação da água pode levar a um aumento da temperatura do ar ambiente, podendo causar desconforto nos utentes da piscina, um aumento dos níveis de humidade, que precisam de ser controlados por maiores taxas de ventilação, aumentando-se, assim, o consumo energético por meio a aquecer o ar à temperatura desejada. Em termos numéricos, uma mudança na humidade relativa de aproximadamente 10% leva a um acréscimo das necessidades de climatização em 30% (Chivetta, 2004).

Segundo Chivetta (2004) a humidade relativa tem uma relevância bastante significativa na taxa de evaporação e, como tal, deve ser mantida entre os 50 e os 60%. Quando esse parâmetro se encontra abaixo dos 50%, os utilizadores sentem frio, porque a água evapora muito rápido da sua pele, por outro lado, ou seja, quando se encontra superior a 60%, o ar parece muito abafado, causando dificuldades respiratórias nos banhistas.

Posto isto, é de fácil conclusão que a avaliação da evaporação da água em piscinas cobertas é um parâmetro de interesse no que diz respeito ao consumo energético associada à instalação, mas também, à correta conceção do sistema de climatização da nave da piscina, já que a evaporação da água eleva as necessidades de aquecimento da água para equiponderar as consequências do arrefecimento causadas pela perda de calor. É então, de extrema importância implementar mecanismos que possibilitam a poupança de energia associada às perdas de evaporação.

#### **2.4.3.1.1 Coberturas**

O uso de uma cobertura sobre o plano de água poderá levar a uma diminuição expressiva das perdas por evaporação (Boavida, 2006) e, como tal, levando a um equilíbrio de custos (Lourenço, 2007).

O uso deste componente é uma medida sob o ponto de vista económico, sendo a redução do consumo energético um fator substancial para a instalação deste tipo de equipamentos. A colocação de uma cobertura sobre o plano de água nas horas de não utilização é uma das ações prioritárias para economizar energia, bloqueando a evaporação da água (Souza e Guerra, 2007; Teixeira, 1994).

A avaliação da poupança energética está afeta à porção de água evaporada do tanque da piscina, sendo que a uma menor evaporação corresponderá a um conjunto de vantagens resultantes da aplicação da cobertura durante o tempo de inatividade, tais como: a redução dos gastos de manutenção dos equipamentos e do edifício, o menor consumo de combustíveis, a menor humidade, a redução das necessidades de reposição de água, a utilização mais racional dos aditivos químicos nos processos de tratamento e a redução do trabalho dos equipamentos existentes.

São vastos os tipos de coberturas a aplicar no plano de água de uma piscina. A informação que se segue mostra as características dos diferentes tipos de cobertura.

Em termos de colocação e recolha, as coberturas, podem ser manuais, semi-automáticas e automáticas, sendo esta escolha feita mediante a área de plano de água a cobrir, tendo em consideração que planos de água de pequena dimensão facilitam a montagem manual (Beleza *et al.*, 2007). A montagem semi-automática para a colocação e recolha é conseguida através da energia elétrica, no entanto, exigindo que alguém puxe a cobertura quando esta está a ser desenrolada (US Department of Energy, 2009). A montagem automática, e tal como o nome indica, cobre o plano de água da piscina com um simples acionamento através de um botão. Torna-se, no entanto, uma das opções mais caras, mas das mais convenientes (US Department of Energy, 2009).

Para Beleza *et al.* (2007), as coberturas, podem ser construídas com três tipos de materiais: o PE, o *Polipropileno* (PP) e o PVC.

As coberturas de bolhas são as mais baratas, contudo, menos resistentes e duráveis no tempo pela rutura das bolhas, o que levará a perder a capacidade de flutuação. Habitualmente são concebidas em polietileno alveolado com uma espessura aproximada de 400  $\mu\text{m}$  (US Department of Energy, 2009).

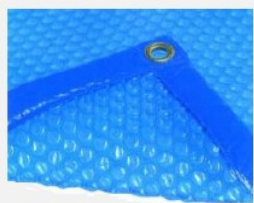

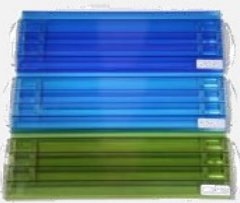
As coberturas em espuma de polietileno apresentam uma espessura de 5 ou 7 mm, sendo a sua recolha, tipicamente, manual.

As coberturas de lâminas são fabricadas em PVC, sendo de recolha automática, não exigindo recursos humanos para a sua colocação e recolha. Cobrem o plano de água na sua totalidade.

Outro tipo de coberturas são as de vinil. Consistem numa “sanduíche” de uma camada isolante entre duas lâminas de vinil, sendo as mais resistentes e duradouras (Beleza *et al.*, 2007; US Department of Energy, 2009).

Na tabela 18, poderão ser visualizadas as características de vários tipos de coberturas.

**Tabela 18 – Tipologia de coberturas**

	<b>Bolhas</b>	<b>Espuma</b>	<b>Estores/Lâminas</b>
<i>Material</i>	Polietileno Alveolado PVC	Espuma de Polietileno	PVC
<i>Tipo de Operação</i>	Manual Automática	Manual Automática	Automática
<i>Custo Económico</i>	-	+/-	+
			

De salientar que, independentemente das características das coberturas, todas exigem limpeza e desinfeção periódicas e, na maior parte dos casos, a necessidade de pessoal para precederem à sua colocação, devido aos inconvenientes do tamanho, do peso, do tipo de coberturas ou mesmo da presença de pistas que impeçam o seu deslizamento sobre o plano de água.



## 3. CARATERIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS EXISTENTES

### 3.1. Descrição do Edifício Existente

No edifício em estudo, Piscinas Municipais de Penacova, desenvolve-se a prática de desporto no meio aquático. Esta infraestrutura localiza-se no concelho de Penacova, distrito de Coimbra, cujas zonas climáticas de Inverno e Verão são, respetivamente, I<sub>2</sub> e V<sub>2</sub>. O edifício é localizado, mais precisamente, na Rua da Eirinha, Penacova.

As coordenadas geográficas, de acordo com a 33, são as seguintes:

Tabela 19 – Coordenadas geográficas das Piscinas Municipais de Penacova

<i>Latitude</i>	40° 16' 16.4'' N
<i>Longitude</i>	8° 17' 4.4'' W

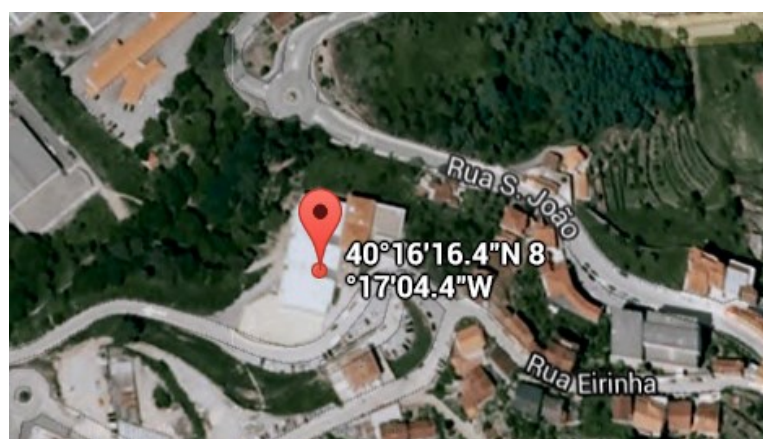


Figura 33 – Coordenadas geográficas Piscinas Municipais de Penacova

O edifício possui fachadas orientadas a Norte, Sul, Este e Oeste, sendo que a mesma tem uma grande área de cobertura bem como de vãos envidraçados. A fração desenvolve-se ao longo de três pisos. No piso -1, encontra-se a central técnica que possui todos os equipamentos que têm como função o aquecimento das águas quentes, tanto para as piscinas como para águas quentes sanitárias, ventilação e termoventilação do edifício. No piso 0 é onde estão localizados os três tanques: o tanque desportivo, o tanque de aprendizagem e o chapinheiro. No piso superior encontra-se a entrada que dá acesso a todo o complexo desportivo. Neste piso existe, também, um restaurante.

### 3.2. Descrição Detalhada dos Espaços Úteis e Não Úteis

De acordo com o Anexo II do DL n.º 79/2006, a área útil é definida como “a soma das áreas, medidas em planta pelo perímetro interior das paredes, de todos os compartimentos de uma fração autónoma de um edifício, incluindo vestíbulos, circulações internas, instalações sanitárias, arrumos interiores e outros compartimentos de função similar e armários nas paredes”.

Áreas não úteis são espaços, normalmente não ocupados, com aberturas diretas para o exterior.

Nas tabelas 20, 21 e 22, apresentam-se os diferentes espaços que constituem o edifício.

**Tabela 20 – Composição do piso -1 do complexo**

<b>Espaço</b>	<b>Piso</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Pé Direito [m]</b>
<i>Arrumo</i>	<b>-1</b>	33,50	2,70
<i>Central Técnica</i>		138,50	2,70
<i>I.S./Vestíbulos Pessoal</i>		18,00	2,70
<i>I.S./Vestíbulos Pessoal</i>		18,00	2,70
<i>Posto de Transformação</i>		22,50	2,70

Tabela 21 – Composição do piso 0 do complexo

Espaço	Piso	Área [m <sup>2</sup> ]	Pé Direito [m]
<i>Arrecadação/Arrumo</i>	0	67,00	4,00
<i>Arrumo</i>		18,35	4,00
<i>Arrumos</i>		35,50	4,00
<i>Átrio</i>		49,00	4,00
<i>Duches Coletivos e Individuais</i>		27,70	4,00
<i>Duches Coletivos e Individuais</i>		27,70	4,00
<i>Gabinete do Vigilante Primeiros Socorros</i>		33,00	4,00
<i>I. S.</i>		24,50	4,00
<i>I. S</i>		24,50	4,00
<i>I. S Femininos</i>		14,00	4,00
<i>I. S Masculinos</i>		14,00	4,00
<i>Lavabos</i>		15,20	4,00
<i>Lavabos</i>		15,20	4,00
<i>Vestiários Coletivos</i>		76,00	4,00
<i>Vestiários Coletivos</i>		41,50	4,00
<i>Vestiários Individuais</i>		41,50	4,00
<i>Vestiários/I. S./Lavabos</i>		67,70	4,00
<i>Vestiários Monitores Feminino</i>		12,50	4,00
<i>Vestiários Monitores Masculino</i>		16,20	4,00

Tabela 22 – Composição do piso 1 do complexo

Espaço	Piso	Área [m <sup>2</sup> ]	Pé Direito [m]
<i>Bar</i>	1	8,00	3,50
<i>Desp. Dia</i>		7,10	3,50
<i>Espaço de Apoio Bar</i>		78,00	3,50
<i>Esplanada/Terraço</i>		207,00	-
<i>Gabinete</i>		22,00	3,50
<i>I. S. Deficientes</i>		4,80	3,50
<i>I. S. Feminina</i>		8,70	3,50
<i>I. S. Feminina</i>		3,75	3,50
<i>I. S. Masculina</i>		6,30	3,50
<i>I. S. Masculina</i>		5,00	3,50
<i>Receção</i>		23,40	3,50
<i>Restaurante</i>		114,00	3,50
<i>Terraço/Miradouro</i>		332,00	-
<i>Zona Armazém</i>		5,40	3,50

### 3.3. Caracterização dos Parâmetros Térmicos

Embora não tenha muita relevância, no caso deste projeto, é importante que se verifiquem os requisitos mínimos de cumprimento da legislação em vigor. Contudo, e tratando-se as Piscinas Municipais de Penacova de uma infraestrutura já existente, a aplicação dos regulamentos, neste caso, é apenas dirigida para cálculos de cargas térmicas a ela associadas.

#### 3.3.1. Vãos Envidraçados

É de extrema relevância determinar o coeficiente global de transmissão de calor e do fator solar, nos vãos envidraçados, que vão ser associados aos cálculos térmicos. Haverá ainda a necessidade de verificar o cumprimento do fator solar dos vãos envidraçados não orientados para o quadrante Norte. Para a zona climática de Verão do local em análise, os vãos envidraçados terão de possuir valores de fator solar inferiores ou iguais aos máximos admissíveis indicados no REH.

No caso das Piscinas Municipais de Penacova, são aplicados vãos envidraçados com vidro duplo (vidro duplo incolor + incolor e lâmina de ar de 10 mm de espessura). A caixilharia é em alumínio do tipo *Arkial* com quadrícula e possui corte térmico. Não existem quaisquer tipos de proteção nos vãos envidraçados.

Segue-se, na tabela 23, a enumeração com as caraterísticas principais dos vãos envidraçados.

Tabela 23 – Caraterísticas dos vãos envidraçados

Vão	Nº de Vãos	Orientação	Largura [m]	Altura [m]	$U_{\text{vidro}}$ [W/m <sup>2</sup> ·°C]
<i>Ve2</i>	30	N	0,80	0,80	2,86
<i>Ve4</i>	1	O	1,00	2,00	2,86
<i>Ve5</i>	4	N	5,37	6,40	2,86
<i>Ve6</i>	2	O	5,18	6,40	2,86
<i>Ve7</i>	2	O	5,00	6,40	2,86
<i>Ve8</i>	4	S	5,37	6,40	2,86
<i>Ve9</i>	1	S	1,38	2,00	2,86
<i>Ve10</i>	1	E	5,18	2,00	2,86
<i>Ve11</i>	1	E	5,00	2,00	2,86
<i>Ve12</i>	1	E	2,00	2,00	2,86
	1	O			
<i>Ve13</i>	1	S	4,80	2,00	2,86
<i>Ve14</i>	1	N	3,70	4,20	2,86
<i>Ve15</i>	1	E	4,80	2,00	2,86
<i>Ve16</i>	1	E	0,90	2,00	2,86
<i>Ve17</i>	6	N	0,80	2,00	2,86

### 3.3.1.1 Envolvente Opaca

No que toca à envolvente opaca é necessário terem-se em conta duas questões:

- Influência da envolvente na qualidade do ar interior – Nos dias de hoje existe uma grande preocupação com a existência de materiais que constituem a envolvente interior dos edifícios, ou seja, a existência ou não de *Materiais Não Ecologicamente Limpos* (MNEL). A existência destes materiais causa a libertação para o ambiente, no interior do edifício, de componentes tóxicos, sendo portanto, imposto por lei um agravamento m 50 % do caudal de ar novo a introduzir nos espaços interiores. Devido

a este facto é de extrema importância a não utilização deste tipo de materiais, condição que poderá ser apenas confirmada por um arquiteto que venha a tratar do novo arranjo estético da instalação, com apresentação de uma declaração de ausência de MNEL.

- Cumprimento dos requisitos de transmissão térmica – neste projeto, uma vez que se trata de um edifício existente e não sendo possível conhecer todos os elementos que constituem a envolvente sem tomar medidas invasivas, serão utilizadas constituições de envolvente exterior e interior que permitem o cumprimento dos requisitos, a nível de coeficientes de transmissão térmica, impostos por lei.

### **3.4. Descrição e Constituição do Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado**

#### **3.4.1. Sistema de Aquecimento**

Atualmente, as Piscinas Municipais de Penacova são munidas de um grupo térmico composto por duas caldeiras, cuja potência útil se cifra nos 232,6 kW e rendimento térmico de 93,1%.

As caldeiras são do tipo modular com a sua envolvente em chapa de aço tratado contra a corrosão e pintado. As superfícies de permuta de calor são em ferro fundido de modo a ser garantido um rendimento constante em qualquer regime de funcionamento. A câmara de combustão é totalmente rodeada de água de aquecimento para o máximo aproveitamento de calor produzido. De modo a minimizar as perdas, o corpo da caldeira é isolado com uma camada de lã mineral. Possui diversos acessórios tais como as ligações de ida e retorno, no coletor interno da caldeira, uma ligação de descarga, uma ligação de segurança, um seletor de funcionamento, um termostato de regulação e um de segurança de rearme manual, termómetros, uma válvula de borboleta de interceção, uma torneira de descarga, um hidrómetro de quadrante completa com torneira de três vias tipo esfera com flanges e dispositivos de regulação e controlo (programadores).

O queimador, de cada uma das caldeiras, é do tipo atmosférico e preparado para a queima de gás natural e gás propano, sendo que nestas instalações se adota a segunda opção. O sistema é de duas chamas e, tanto o arranque de ignição como o controlo da modulação de chama, são totalmente automáticos. O queimador existente permite uma limpeza automática da câmara de combustão antes de acender a chama sendo a pressão do ar controlada através de um pressostato regulável. Para a regulação automática do ar, para cada nível de potência, este equipamento está dotado de um servomotor. Existe uma sonda de ionização com dois propósitos, um deles é controlar a chama, o outro é dar ordem de paragem automática em caso de falha ou perturbação do funcionamento. Em termos de combustão os valores de CO não devem ultrapassar os 0,01 % enquanto os de CO<sub>2</sub> se devem cifrar entre os 11 e os 14 %. Em termos de acessórios, o queimador possui um dispositivo de segurança por falta de ar para a combustão, um regulador de pressão, uma eletroválvula para regulação de caudal de gás, um manómetro de gás, um filtro

de gás, uma válvula de fecho manual, um pressostato de gás, uma eletroválvula de escape atmosférico, um termostato de funcionamento e um termostato de rearme manual.

A ligação do circuito de entrada de gás é roscada com junta mecânica de guarnição e junta mecânica em aço *American Iron and Steel Institute* (AISI) 312 com um comprimento total de 225 mm.

Na central térmica deste complexo existe um conjunto de condutas de fumos e chaminé, circulares em aço inoxidável AISI 304. São de parede dupla, com isolamento interior e lã de rocha de modo a suportar temperaturas na ordem dos 700°C. As chaminés são modulares, sendo compostas por módulos retos, módulo de teste, regulador de tiragem manual, coletor de fuligem, adaptador para a caldeira, módulo de saída em chapéu e braçadeiras de suporte e de fixação.

O sistema de aquecimento possui dois reservatórios contruídos em Aço (ST) 3.2 e isolados termicamente com lã mineral de 50 kg/m<sup>3</sup> com uma espessura de 50 mm, revestida exteriormente com chapa de alumínio com 1 mm de espessura. Têm uma capacidade nominal de 2000 l cada. Um deles é de alta temperatura (85 °C) e destina-se ao aquecimento das águas das piscinas e alimentação dos sistemas de desumificação e termoventilação. O outro tem como objetivo a acumulação de águas a uma temperatura de armazenamento mais baixa (60 °C) que tem como destino o sistema de AQS. A temperatura dessa água é corrigida para a temperatura dos duches, através de uma válvula misturadora termostática para uma temperatura que ronda o 38 ±2°. Neste reservatório a transferência de energia para o sistema dá-se através de um permutador do tipo placas com uma potência de 65 kW. Ambos os reservatórios estão equipados com um termómetro, um manómetro, válvulas de segurança e válvulas de dreno.

No sistema de AQS, além do reservatório de inércia e do permutador de calor de placas existem outros componentes constituintes, entre eles, duas bombas circuladoras, uma para o circuito primário e outra para o circuito secundário, uma válvula de três vias motorizada, uma válvula de segurança de 7 bar, uma válvula antirretorno, um purgador de ar e um termostato de segurança. De modo a serem absorvidas as variações de volume de água contido nos circuitos fechados, provocados pela variação de temperatura está colocado um vaso de expansão construídos em aço ST 37.2 *Deutsche Industrie Norm* (DIN) 17100. É do tipo fechado, com duas câmaras separadas por uma membrana elástica, sendo que um dos compartimentos contém azoto ou ar e o outro serve de depósito de água.

Para se garantir a conservação da temperatura da água das piscinas, estas piscinas possuem três permutadores de calor do tipo placas, um para cada tanque. O permutador do tanque desportivo possui uma potência de 78 kW, o do tanque de aprendizagem uma potência de 38 kW e o do chapinheiro uma potência que se cifra nos 10 kW. O controlo da energia a permutar entre as piscinas é realizado através de uma válvula de três vias motorizada. Esse dispositivo controla o caudal de escoamento no circuito primário do permutador em relação à leitura da temperatura da piscina no seu circuito de ida.

### 3.4.2. Unidade de Tratamento de Ar

Este sistema permite realizar a desumificação, a ventilação, o aquecimento integral do ar, arrefecimento efetivo do ar da nave em condições de Verão e recuperação de calor para a água e para o ar pelo método de *variheat*. Esse método permite manter constante a capacidade de desumificação, independentemente das necessidades de energia da água e/ou do ar da nave da piscina. A recuperação para a água tem prioridade uma vez que garante uma maior eficiência do sistema.

As baterias da *Unidade de Tratamento de Ar* (UTA) são alhetadas e totalmente revestidas com película protetora *polyester*, de modo a haver uma boa proteção num ambiente rico em cloro, sendo elas, por esse motivo, sobredimensionadas.

Possui dois circuitos frigoríficos, com controlo *variheat*. Um deles é pré-arrefecimento do ar e outro de desumificação. Não possui uma unidade com circuitos independentes de recuperação para o ar e para a água, na qual a capacidade de desumificação é afetada quando, sobretudo em condições de Verão, a água da piscina atinge a temperatura desejado por paragem do circuito correspondente. Ainda nestas condições, além da diminuição da capacidade de desumificação, a unidade com circuitos independentes continua a recuperar calor para o ar enquanto desumifica quando, na realidade, o ar da nave necessita de ser arrefecido.

Existem dois ventiladores centrífugos inter-relacionados. Um para a insuflação/recirculação e outro para a extração com duas velocidades. O seu funcionamento é feito de modo a ser criado no *hall* de entrada uma ligeira depressão, evitando-se assim ao máximo as condensações na envolvente e a propagação do ambiente da piscina e odores a outras zonas circundantes. Estes ventiladores possuem uma pressão estática mínima suficiente para o sistema de condutas e para uma movimentação efetiva e integral do ar no interior da nave da piscina.

A UTA possui um permutador ar-água, em que o fluido primário é água quente produzida no grupo térmico, composto pelas duas caldeiras. Este dispositivo fornece a energia necessária para manter a temperatura do ar estável, em qualquer regime de funcionamento e independentemente da recuperação. O controlo é feito através de sensores e válvulas de três vias modulantes de quatro portas.

O controlo desta unidade é feito através de um sistema de registos com motorização modulante e duas velocidades de ventilação. Esse controlo é feito proporcionalmente e a cada instante, com a introdução de ar novo, garantindo-se assim a permanente qualidade do ar. Estes registos possuem também atuação manual para situações de emergência.

O controlo de todo o sistema é incorporado, sendo a gestão assegurada por controladores eletrónicos, havendo displays para a leitura fácil da humidade, da temperatura do ar e da temperatura da água da piscina. Existem sinalizadores para modos de funcionamento de descongelação, avaria genérica e presença de fases.

O quadro da unidade possui um interruptor relógio com reserva de energia para 100 horas, que permite set-points para períodos de inocupação permitindo assim uma poupança de energia e arranques mais rápidos do sistema.

### 3.4.3. Unidade de Termoventilação

Esta unidade tem como objetivo a renovação contínua do ar interior através da sua filtragem e ventilação.

No caso deste edifício está instalada uma unidade de termoventilação de baixa pressão do tipo package modular. Possuem isoladores de vibrações, sendo que em cada ponto de ligação às unidades de tratamento de ar às condutas de ar, são usadas ligações flexíveis.

No que toca à filtragem, os filtros são do tipo EU40, possuindo elemento filtrante renovável. O meio filtrante é da classe M1, adequado para uma temperatura máxima de ar de 40 °C. Cada unidade possui um pressostato diferencial para indicação da colmatagem dos filtros.

O módulo de aquecimento é constituído por uma bateria de resistências elétricas, protegidas através de um termostato regulado para uma temperatura máxima de 70 °C, munido de rearme manual.

A unidade possui um ventilador centrífugo, de dupla aspiração com caixa espiral própria. Este é acionado através de um motor, que se situa no interior desta secção, através de correias trapezoidais.

O controlo é feito por intermédio de uma sonda de temperatura, colocada na conduta de extração e um termostato eletrónico no quadro elétrico dos sistemas de *Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado* (AVAC).

### 3.4.4. Unidade de Climatização Roof Top

Este tipo de unidades é ideal para a climatização de grandes espaços. O sistema existente é constituído por uma unidade de tratamento de ar do tipo bomba de calor ar/ar, colocada no exterior do edifício sendo os seus climatizadores bastante compactos. O móvel dessa unidade é isolado térmica e acusticamente estando no seu interior a bateria de expansão direta e os ventiladores de insuflação, possuindo um tabuleiro para a recolha dos condensados.

A serpentina de expansão direta do fluido frigorigéneo é constituída em tudo de cobre sem costura expandido em alhetas de alumínio.

A unidade exterior é composta por um grupo compressor hermético, cujo funcionamento é silencioso e munido contra sobreintensidades de corrente elétrica. A serpentina de expansão direta é feita em tudo de cobre sem costura com alhetas de alumínio. Esta unidade contém ainda um ventilador, acionado por um motor elétrico, uma válvula de inversão de ciclo, um dispositivo de expansão, um filtro desidratador e uma resistência de cárter.

O seu comando é gerado por meio de um interruptor horário bem como de um botão manual *on/off*. O controlo é garantido através de uma sonda de temperatura ambiente interligada a um termostato no quadro elétrico.

### **3.4.5. Climatizador Autónomo do Tipo Split-System**

Trata-se de um sistema de refrigeração usado em equipamentos que condicionam o ar. São divididos em dois módulos: uma unidade interna (evaporadora) e uma unidade ar/ar externa (condensadora), que está preparada para operar à intempérie.

O móvel desta unidade de tratamento é isolado térmica e acusticamente, estando colocadas no seu interior a bateria de expansão direta e os ventiladores de insuflação. As grelhas de expansão são múltiplas, por forma a serem orientáveis nas direções requeridas.

A serpentina de expansão direta do fluido frigorigéneo é constituída em tudo de cobre sem costura expandido em alhetas de alumínio.

A unidade interior está equipada com ventiladores centrífugos de baixa rotação, o que garante um baixo ruído, sendo possível, no entanto, a seleção de caudal de ar de recirculação. Esta unidade possui, também, um tabuleiro de recolha de condensados com ligação à rede de esgotos.

A unidade exterior é composta por um grupo compressor hermético, de funcionamento silencioso e protegido contra sobreintensidades de corrente elétrica. A sua serpentina de expansão direta é produzida em tubo de cobre sem costura com alhetas de alumínio. Contém ainda um ventilador, acionado através de um motor elétrico, uma válvula de inversão de ciclo, um dispositivo de expansão, um filtro desidratador e uma resistência de aquecimento de cárter.

A unidade exterior está ligada à unidade interior através de uma tubagem frigorífica em cobre, desoxidado e desidratado, com uma espessura de 0,8 mm.

De salientar que a linha de líquido e a linha de aspiração são isoladas termicamente e protegidas com barreira de vapor com tubo esponjoso *Armaflex*, do tipo A/F com uma espessura de 13 mm.

Em termos de controlo, tanto a unidade interior como a unidade exterior possuem um termostato, um seletor de modo de funcionamento e um seletor de velocidade de rotação. As unidades interiores são do tipo mural e possuem comandos remotos.

### **3.4.6. Equipamentos e Acessórios**

#### **3.4.6.1 Grupo Eletrobomba Duplas In-Line**

Existem três equipamentos deste género nas instalações. Dois deles são destinados ao sistema de AQS, mais concretamente ao circulador primário e secundário. O outro destina-se à circulação das águas das piscinas.

Em termos de descrição, trata-se de eletrobombas in-line, monobloco dupla, com pé de apoio independente, com bocas de aspiração e impulsão do mesmo tamanho. Possui isolamento de classe F, veio prolongado, alto rendimento e baixo nível de ruído. Estão preparadas para funcionar alternadamente, sendo que, excepcionalmente podem operar ao mesmo tempo. Estão munidas de uma válvula direcional no corpo, que se encontra junto à boca de impulsão. Podem operar a uma pressão máxima de 10 bar a 20 °C e num diferencial de temperatura de -15 °C a 120 °C.

No que toca à construção, o seu corpo é de duas volutas, fundido numa só peça. A estanquicidade do corpo com a tampa é feita através de uma junta tórica. O impulsor é fechado, fundido numa só peça, contendo furos de compensação axial, por forma a ser equilibrado hidráulica e dinamicamente. Este equipamento possui um retentor mecânico.

#### **3.4.6.2 Grupo Eletrobomba Simples In-Line**

Existem dois equipamentos deste género nas instalações. Um deles é o circulador referente ao grupo térmico o outro é o circulador de retorno do AQS.

Trata-se de bombas centrífugas de construção vertical in-line com aspiração e impulsão em linha. De modo a ser minimizado o esforço radial, nestas bombas, o rolamento intermédio entre o veio do motor e o veio da bomba é colocado dentro de uma caixa própria fundida numa só peça de suporte do motor. Tem uma temperatura e pressão máxima de operação de 140 °C e 10 bar, respetivamente.

O impulsor é do tipo fechado com furos de compensação axial, possuindo anéis de desgaste no corpo e na tampa da bomba. O retentor é do tipo mecânico.

#### **3.4.6.3 Ventilador Centrífugo Simples In-Line**

No complexo existem seis ventiladores centrífugos in-line.

Estes equipamentos são utilizados para pequenos caudais e pressão estática elevada.

Em termos de construção, estes dispositivos, possuem uma caixa composta por duas peças em poliamida reforçada com fibra de vidro, unindo-se através de parafusos.

A turbina é do tipo centrífugo e é constituída em alumínio.

Este tipo de equipamento está preparado para funcionar com ar húmido e com temperatura máxima de 40 °C. São alimentados por motores monofásicos de 220 V e 50 Hz. Esse motor é à prova de humidade e possui rolamentos de esferas com lubrificação permanente.

Cada ventilador está ligado às condutas através de braçadeiras em aço inox e possuem um registo de caudal antirretorno, do tipo borboleta, construído em aço galvanizado.

#### **3.4.6.4 Registo de Caudal para Conduatas**

Este tipo de registo é utilizado com o intuito de regular o caudal ou corte do mesmo. No caso desta infraestrutura são controlados por ação manual.

Em termos construtivos, estes registos, consistem num caixilho de aço galvanizado e um conjunto de lâminas paralelas de perfil em losango, que rodam em torno de eixos paralelos. Os eixos, alavancas e hastes são em aço, sendo este mecanismo de comando instalado fora das conduatas para que o seu acesso seja facilitado para ações de manutenção. Os eixos das lâminas são articulados em casquilhos auto-lubrificantes, sendo essas articulações estanques por meio de vedantes intercalados entre o caixilho e as rodas de comando das lâminas. Numa das arestas de cada lâmina existe uma reentrância, onde uma fita em neoprene assegura a estanquicidade entre lâminas na posição de fecho.

É um conjunto que apresenta uma baixa perda de carga quando aberto e reduzidos caudais de fuga quando se encontra fechado, sendo apropriado para intercalar no interior de conduatas.

#### **3.4.6.5 Registo Corta-Fogo**

Estes registos são contruídos em chapa de aço galvanizado, sendo a sua construção soldada com chapa dupla. Estes registos foram dimensionados para resistir ao fogo durante duas horas.

Em termos de acionamento, estes registos, serão acionados por falta de tensão através de uma mola de eletroímã, possuindo, também, rearme motorizado. Este equipamento possui um fusível térmico regulado para 70 °C.

#### **3.4.6.6 Difusores de Insuflação de Ar**

Este tipo de equipamento é propício para a montagem junto de tetos falsos e, bastante adequados para salas onde o pé direito ao teto varie entre os 2,4 e os 4 metros.

Possuem um elevado poder de indução, para rápido decréscimo da temperatura de insuflação;

No que toca à construção, são fabricados em perfis de alumínio extrudido.

O conjunto existente assegura uma distribuição uniforme do caudal de ar em cada um dos locais e, também, para que a velocidade na zona de ocupação não ultrapasse os 0,25 m/s.

A ligação do pleno às conduatas de insuflação é feita por intermédio de troços de secção circular de conduatas flexíveis.

#### **3.4.6.7 Grelhas de Insuflação de Ar de Simples ou de Dupla Fiada de Lâminas Orientáveis com Registo**

As grelhas de insuflação do ar nos locais climatizados, termoventilados ou simplesmente ventilados são de simples ou dupla fiada de alhetas orientáveis e permitem a regulação do ângulo de divergência do ar primário bem como o seu alcance.

As alhetas possuem uma configuração que permite defletir o ar de 0 a 60 graus quer na posição horizontal, quer na posição vertical. A sua separação é feita de modo a que a perda de pressão, no fluxo de ar que por elas passam, seja mínima, bem como restringir as velocidades de passagem até 3 m/s.

#### **3.4.6.8 Grelhas de Extração de Ar de Dupla Fiada com Retícula Fixa com Registo**

Este tipo de acessório é utilizado nos sistemas de climatização e ventilação de modo a assegurar a extração do ar através de condutas em chapa galvanizada. Estas grelhas são do tipo de alhetas fixas em retícula quadrada.

Este dispositivo dispõe de um sistema de fixação oculta através de parafusos que não são visíveis no exterior.

A regulação do registo de caudal é feita a partir do exterior da grelha por meio de uma chave de fendas.

#### **3.4.6.9 Grelhas de Exterior**

Estas grelhas de captação ou expulsão do ar são, estão geralmente, instaladas em paredes, na extremidade de troços de conduta.

Dado que estão em contacto com o ar exterior, estes acessórios, são construídos e tratados superficialmente para resistirem à ação da intempérie e à salinidade que se faz sentir em Penacova.

São construídas por simples fiadas de lâminas horizontais de modo a impedir a entrada de água da chuva e com rede metálica anti-pássaro.

#### **3.4.6.10 Válvulas de Extração de Ar**

Estas válvulas são utilizadas para a extração do ar das instalações sanitárias ou outros locais onde é feita a exaustão de ar corrosivo aos metais.

São constituídas por um aro cilíndrico provido de uma flange com furação para a ligação direta a condutas e um braço em aço inoxidável, que contém um casquilho roscado.

Estes acessórios possuem um disco que faz variar a área de passagem de ar e permite, assim, regular a válvula para o caudal de extração desejado.

#### **3.4.6.11 Permutadores de Calor do Tipo Placas**

No sistema de aquecimento, como referido anteriormente, existem quatro permutadores de calor do tipo placas. Três deles têm a função de fazer a permuta de calor com a água das piscinas, o outro está inserido no módulo para produção de águas quentes.

Os permutadores existentes são constituídos por um conjunto de placas em aço inoxidável AISI (304/316). Essas placas possuem corrugações que garantem, assim, uma elevada rigidez mecânica e induzem forte turbulência no escoamento, o que implica uma maior eficiência da transferência de calor entre os dois fluidos.

As placas de estrutura e de pressão, que comprimem o conjunto de placas por intermédio de parafusos de aperto, possuem uma pintura epóxida e uma boa resistência à flexão. A vedação dos canais e condução dos fluidos é garantida através de juntas em nitrilo/*Ethylene-Propylene Diene Monomer* (EPDM).

### 3.4.6.12 Condutas de Ar

#### 3.4.6.12.1 Condutas de Secção Retangular

As condutas de secção retangular existentes são construídas em aço galvanizado com as seguintes espessuras:

Tabela 24 – Condutas de secção retangular

Lado Maior da Secção [mm]	BG	Espessura da Chapa [mm]
Até 400	24	0,63
De 402 a 650	22	0,80
De 651 a 900	20	1,00
De 901 a 1500	20	1,00
De 1501 a 2000	18	1,25
De 2001 a 2500	16	1,50

De salientar que as saídas do ar, para ramais ou grelhas, derivações em Tê a 90° ou 45° e ainda outras adversidades que provoquem grande turbulência, isto é, elevada perda de carga, são munidas de defletores. Esses são compostos por lâminas curvas dispostas em persiana, com um mecanismo de ajustamento e fixação, localizado no exterior da conduta e facilmente acessível.

### 3.4.6.12.2 Condutas de Secção Circular

Neste tipo de secção, as espessuras são as seguintes:

Tabela 25 – Condutas de secção circular

Perímetro da Conduta [mm]	Espessura da Chapa [mm]
Até 2230	0,40
De 2512 a 2826	0,50
De 3520 a 3925	1,60
De 4400	1,00

De notar, que este tipo de condutas possui uma construção reforçada.

### 3.4.6.12.3 Vedantes

Todas as juntas, nas condutas de ar, são vedadas com mástique líquido, sendo que nas uniões transversais por meio de cantoneiras ou barras de ferro são utilizadas juntas em borracha ou neoprene.

Nas condutas de secção circular, as uniões dos troços são vedadas por meio de fitas refrateis, por ação do calor, à base de polietileno.

### 3.4.6.12.4 Isolamento Térmico

De um modo geral, as redes de condutas de ar desta instalação são providas de isolamento térmico e barreira de vapor. Pelo contrário, as condutas de extração dos sistemas de climatização instaladas por cima dos tetos falsos e dentro dos espaços climatizados não possuem qualquer tipo de isolamento térmico.

O material isolante utilizado é a manta de lã de rocha aglomerada com resinas e coladas a papel Kraft de alumínio com 25 ou 40 mm de espessura, uma condutividade térmica na ordem dos 0,040 W/m·K. A espessura de 25 mm é utilizada nas condutas de insuflação e retorno instaladas na parte interior do edifício. Nas condutas de insuflação localizadas no exterior é utilizada a espessura de 40 mm e ainda uma forra metálica executada em chapa galvanizada.

A instalação possui barreira de vapor nas condutas que cruzam tubagens de fluidos a temperaturas inferiores às do ambiente. Essa barreira é executada de modo a formar uma camada contínua sobre o isolamento térmico.



## 4. CONDIÇÕES DE PROJETO DA INSTALAÇÃO

### 4.1. Condições Exteriores

Para se poder efetuar alguns dos cálculos, referentes à análise dinâmica, para este projeto tem de se ter em consideração diversos parâmetros exteriores, para o concelho de Penacova. Para tal recorreu-se à base de dados existente no *software Solterm 5.1*. Posto isso, e para o concelho em questão, foram retiradas três propriedades exteriores: temperatura, humidade relativa e intensidade de radiação solar. De salientar que se recorreu a esta forma de dados devido à análise dinâmica ser feita em termos diários de hora a hora. Na tabela 26, pode-se ver as condições exteriores, tomando como exemplo o dia 1 de Janeiro.

Tabela 26 – Condições exteriores 1 de Janeiro-Penacova

Hora	Temperatura Exterior [°C]	Humidade Relativa Exterior [%]	Radiação Solar na Horizontal [W/m <sup>2</sup> ]	
			Global	Difusa
1	7,5	81	0	0
2	7,0	82	0	0
3	6,4	84	0	0
4	5,9	85	0	0
5	5,3	87	0	0
6	4,8	88	0	0
7	4,2	90	0	0
8	4,5	89	24	9
9	5,5	87	137	56
10	7,1	82	264	80
11	9,3	77	331	115
12	11,4	71	298	170
13	13,2	67	315	163
14	14,4	63	285	144
15	14,6	63	246	94
16	13,8	65	56	39
17	12,4	69	22	10
18	11,0	72	0	0
19	9,8	75	0	0
20	8,9	78	0	0
21	8,1	80	0	0
22	7,4	81	0	0
23	6,9	83	0	0
24	6,4	84	0	0

Na tabela 27, que se segue, são apresentados os valores da altura solar e do azimute solar correspondentes a cada hora do dia 1 de Janeiro, para o concelho de Penacova.

**Tabela 27 – Altura e azimute solares em 1 de Janeiro - Penacova**

<i>Hora Legal</i>	<i>Hora Solar</i>	<i>B</i>	<i>ET</i>	<i>Ts</i>	<i>hs-<math>\omega</math></i>	$\delta$	<i>Altura Solar</i> [°]	$\beta$	<i>Azimute</i>	<i>Duração do Dia</i>
1,37	1	-1,381	-0,060	0,387885	-165	-22,986	0,00	-40,69	SLEEP	-9,189
2,37	2			1,387885	-150		0,00	-64,69	SLEEP	
3,37	3			2,387885	-135		0,00	-79,29	SLEEP	
4,37	4			3,387885	-120		0,00	-89,98	SLEEP	
5,37	5			4,387885	-105		0,00	-80,81	SLEEP	
6,37	6			5,387885	-90		0,00	-72,07	SLEEP	
7,37	7			6,387885	-75		0,00	-63,06	SLEEP	
8,37	8			7,387885	-60		5,66	-53,24	SE	
9,37	9			8,387885	-45		14,12	-42,16	SE	
10,37	10			9,387885	-30		20,83	-29,50	SE	
11,37	11			10,387885	-15		25,20	-15,27	Sul	
12,37	12			11,387885	0		26,72	0,00	Sul	
13,37	13			12,387885	15		25,20	15,27	Sul	
14,37	14			13,387885	30		20,83	29,50	SO	
15,37	15			14,387885	45		14,12	42,16	SO	
16,37	16			15,387885	60		5,66	53,24	SO	
17,37	17			16,387885	75		0,00	63,06	SLEEP	
18,37	18			17,387885	90		0,00	72,07	SLEEP	
19,37	19			18,387885	105		0,00	80,81	SLEEP	
20,37	20			19,387885	120		0,00	89,98	SLEEP	
21,37	21			20,387885	135		0,00	79,29	SLEEP	
22,37	22			21,387885	150		0,00	64,69	SLEEP	
23,37	23			22,387885	165		0,00	40,69	SLEEP	
24,37	24			23,387885	180		0,00	0,00	SLEEP	

Como referido anteriormente, estes cálculos são realizados de acordo com as coordenadas geográficas do concelho em estudo, que neste caso, em graus decimais, a latitude e longitude, são, respetivamente, 40,29° e 8,28°.

Analisando os valores da tabela anterior conclui-se que para o dia em questão existe, aproximadamente 9 horas de radiação solar. O Sol nasce a Sudeste entre as 7 e as 8 horas solares. Às 12 horas solares ocorre a altura solar máxima, atingindo os 26,72°, encontrando-se o Sol no quadrante Sul. O Pôr-do-Sol ocorre entre as 16 e as 17 horas solares, encontrando-se o Sol no quadrante Sudoeste.

Sendo assim, e com os valores obtidos na tabela, apresentam-se, graficamente, os períodos de sombreamento da área de captação de energia solar térmica, feita através dos coletores solares térmicos.

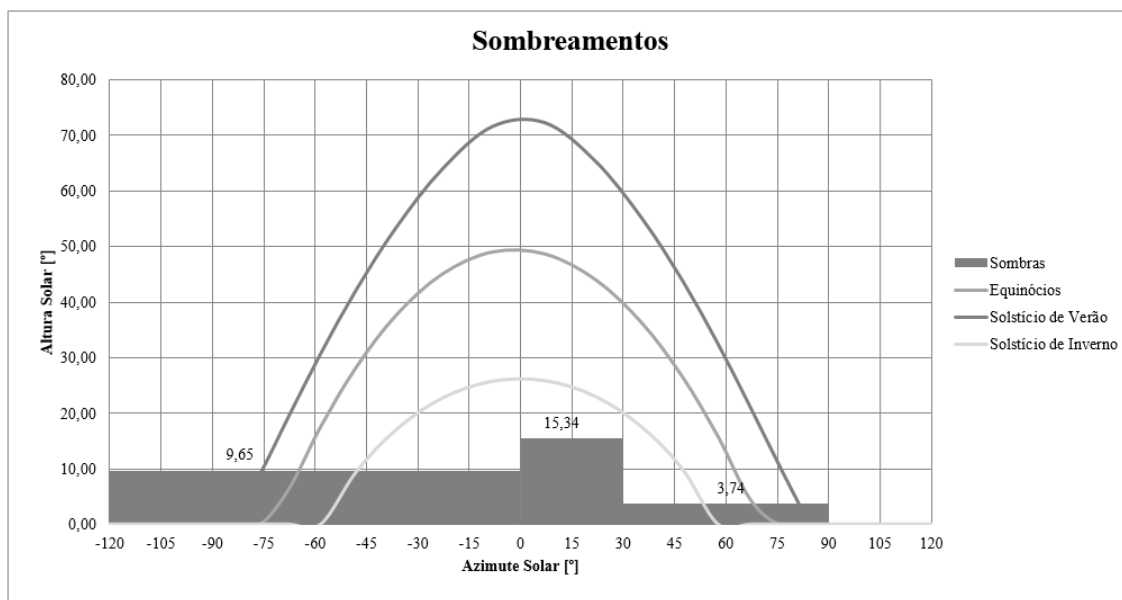


Figura 34 – Períodos de sombreamento

## 4.2. Condições Interiores

As condições interiores de projeto para este estudo estão de acordo com o indicado na *American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) (1995), bem como no Capítulo 10 da Diretiva CNQ 23/93.

Os parâmetros fundamentais a ter em conta são dois: a temperatura de bolbo seco e a humidade relativa interior. A velocidade do ar é outra das condições de projeto para o cálculo das cargas térmicas.

Na tabela seguinte são apresentadas as condições interiores de projeto para as Piscinas Municipais de Penacova.

**Tabela 28 – Condições de conforto interior**

<i>Temperatura de Bolbo Seco (<math>T_{db}</math>) [°C]</i>	27
<i>Humidade Relativa (HR) [%]</i>	65
<i>Velocidade do Ar [m/s]</i>	0,1

De salientar que a temperatura de bolbo seco deve estar 2 °C acima da temperatura da água da piscina. A humidade relativa deve variar entre os 55 e os 75 %.



## 5. CÁLCULO DE NECESSIDADES DE AQUECIMENTO DE ÁGUA DAS PISCINAS

### 5.1. Caracterização das Necessidades Energéticas

Para a determinação das necessidades reais de energia e desempenho energético das Piscinas Municipais de Penacova foi feita uma simulação dinâmica. Foram efetuadas quatro simulações tendo-se em conta o perfil de funcionamento considerado:

- Piscinas sem cobertura dos planos de água mantendo as condições higrotérmicas;
- Piscinas com cobertura dos planos de água mantendo as condições higrotérmicas;
- Piscinas sem cobertura dos planos de água com variação natural das condições higrotérmicas;
- Piscinas com cobertura dos planos de água com variação natural das condições higrotérmicas.

A manutenção das condições higrotérmicas consiste em manter os valores desejados de temperatura e humidade no interior da nave, mesmo nos períodos de não utilização. Contrariamente, a variação natural destes parâmetros tem como diferença o não fornecimento de energia nos horários em que as piscinas não são utilizadas.

### 5.2. Carga Térmica de Aquecimento da Água da Piscina

A carga térmica é calculada segundo a norma portuguesa NP 4448:2007, o manual da *RETSCREEN Internacional - Clean Project Analysis* e o *ASHRAE Handbook*. Seguidamente são apresentadas as expressões de cálculo para as diversas parcelas da carga térmica de aquecimento associadas à piscina.

#### 5.2.1. Perdas por Evaporação

Como referido anteriormente, as perdas por evaporação, representam a maior percentagem de perdas energéticas associadas a uma piscina coberta. Devido a esse facto e, de modo a minimizar essa parcela, um dos pontos de interesse deste estudo é a inclusão de uma cobertura no plano de água das piscinas.

A expressão para calcular as perdas associadas à evaporação é a seguinte:

$$\dot{Q}_{eva,sc} = A_p \times h_e \times (P_{v,sat} - P_{v,amb}) \quad (20)$$

Onde:

$Q_{eva,sc}$  – Perdas térmicas por evaporação, sem cobertura sobre o plano de água [W]

$A_p$  – Área do plano de água [m<sup>2</sup>]

$h_e$  – Coeficiente de transferência de massa [(W/m<sup>2</sup>)/Pa]

$P_{v,sat}$  – Pressão de vapor saturado à temperatura da água da piscina [Pa]

$P_{v,amb}$  – Pressão de vapor saturado do ar [Pa]

Em que o coeficiente de transferência de massa é obtido através da seguinte fórmula:

$$h_e = 0,05058 + (0,0669 \times V) \quad (21)$$

Onde:

$V$  – Velocidade do ar acima do plano de água [m/s]

Esta expressão é referente a um plano de água em repouso e sem cobertura. Quando a piscina está a ser usufruída por um determinado número de utilizadores devem agravar-se as perdas em 25 a 50 %, no caso de 5 nadadores por cada 100 m<sup>2</sup>; e 70 a 100 % no caso de 20 a 25 nadadores por 100 m<sup>2</sup>. Desta forma, na tabela que se segue são apresentados os incrementos de agravamento utilizados neste cálculo.

**Tabela 29 – Incremento de agravamento**

Nadadores por 100 m <sup>2</sup>	Incremento [%]
≤ 5	25
6 a 13	50
14 a 20	75
21 a 25	80
> 25	100

No caso de a piscina possuir um plano de cobertura nas horas de não utilização, as perdas por convecção são reduzidas na proporção da percentagem de área de plano de água que esteja coberto. Sendo assim, a expressão será:

$$\dot{Q}_{eva,cc} = A_p \times h_e \times (P_{v,sat} - P_{v,amb}) \times P_c \quad (22)$$

Onde:

$Q_{eva,cc}$  – Perdas térmicas por evaporação, com cobertura sobre o plano de água [W]

$P_c$  – Relação entre a área de plano de água coberto e a área total

### 5.2.2. Taxa de Evaporação de Água da Piscina

O caudal mássico associado à taxa de evaporação é obtido através do quociente entre as perdas térmicas por evaporação e o calor latente de evaporação da água. Tal como acontece nas perdas por evaporação, com a colocação da cobertura no plano de água, também a taxa de evaporação é minimizada. Desse modo, a expressão para o seu cálculo é a que se segue:

$$\dot{m}_{eva} = \frac{\dot{Q}_{eva}}{h_{fg}} \quad (23)$$

Onde:

$\dot{m}_{eva}$  – Taxa de evaporação de água da piscina [kg/s]

$h_{fg}$  – Calor latente de evaporação da água [J/kg]

### 5.2.3. Perdas por Convecção

As perdas por convecção através do plano de água são obtidas através da seguinte equação:

$$\dot{Q}_{conv} = A_p \times h_{conv} \times (T_p - T_a) \quad (24)$$

Onde:

$Q_{conv}$  – Perdas térmicas por convecção [W]

$A_p$  – Área do plano de água [m<sup>2</sup>]

$h_{conv}$  – Coeficiente convectivo de transmissão de calor [W/m<sup>2</sup>·°C]

$T_p$  – Temperatura da água da piscina [°C]

$T_a$  – Temperatura do ar ambiente dentro da nave da piscina [°C]

Em que o coeficiente convectivo de transmissão de calor está diretamente relacionado com a velocidade de ar no plano de água, sendo dado pela seguinte expressão:

$$h_{conv} = 3,1 + (4,1 \times V) \quad (25)$$

Onde:

V – Velocidade do ar acima do plano de água [m/s]

#### 5.2.4. Perdas por Radiação

Estas perdas de energia podem ser reduzidas do mesmo modo que as perdas por evaporação, isto é, com a colocação da cobertura no plano de água das piscinas. Deste modo, a fórmula para obtê-las, sem colocação de cobertura no plano de água, é a seguinte:

$$\dot{Q}_{rad,sc} = A_p \times \varepsilon_w \times \sigma \times (T_p^4 - T_{sup}^4) \quad (26)$$

Onde:

$Q_{rad,sc}$  – Perdas por radiação, sem cobertura do plano de água [W]

$\varepsilon_w$  – Emissividade da água

$\sigma$  – Constante de *Stefan-Boltzmann* [W/m<sup>2</sup>·K<sup>4</sup>]

$T_p$  – Temperatura da água da piscina [K]

$T_{sup}$  – Temperatura da superfície das envolventes construtivas da nave da piscina [K]

Do mesmo modo, com cobertura do plano de água da piscina:

$$\dot{Q}_{rad,cc} = A_p \times (0,1\varepsilon_w + 0,9\varepsilon_c) \times \sigma \times (T_p^4 - T_{sup}^4) \quad (27)$$

Onde:

$Q_{rad,sc}$  – Perdas por radiação, com cobertura do plano de água [W]

$\varepsilon_c$  – Emissividade da cobertura do plano de água

A temperatura da superfície das envolventes construtivas é dada pela seguinte expressão:

$$T_{si} = T_i - \frac{K}{h_i} (T_i - T_e) \quad (28)$$

Onde:

$T_{si}$  – Temperatura da superfície interior [°C]

### 5.2.5. Perdas devido à renovação e compensação de água

De modo a ser mantida a qualidade da água, é imposta por lei, uma renovação à mesma. Dessa forma, existem perdas associadas a essa ação bem como à compensação da água evaporada. O cálculo para as duas perdas referidas acima é a que se segue:

$$\dot{Q}_{H_2O} = \dot{m}_{H_2O} \times \Delta h \quad (29)$$

Onde:

$\dot{Q}_{H_2O}$  – Perdas térmicas devido à renovação da água [W]

$\dot{m}_{H_2O}$  – Caudal mássico de água nova [kg/s]

$\Delta h$  – Variação de entalpia entre a água da piscina e a entalpia da água da rede [J/kg]

De acordo com o Capítulo 9.5 da Diretiva CNQ 23/93 é imposta uma renovação de água diária numa relação mínima de 30 litros de água por dia, por cada banhista que tenha usufruído da instalação, com um mínimo absoluto de 2 % do volume da piscina.

### 5.2.6. Perdas térmicas pelas envolventes dos tanques

Para o cálculo destas perdas recorre-se ao modo de cálculo das perdas pelas paredes e pavimentos em contato com o ar. Neste caso, existe a particularidade de os tanques não estarem enterrados. Assim, neste cálculo estão implícitas duas parcelas de cálculo: as perdas através do plano de água e as perdas pelo ar, que circunda a envolvente dos tanques.

$$\dot{Q} = [A_{pilares} \times U_{pilares} + (A_{fundo} - A_{pilares}) \times U_{fundo} + A_{lateral} \times U_{lateral}] \times (t_{ag} - t_{ar}) \quad (30)$$

Onde:

$A_{pilares}$  – Área dos pilares [m<sup>2</sup>]

$A_{fundo}$  – Área de fundo dos tanques [m<sup>2</sup>]

$A_{lateral}$  – Área lateral dos tanques [m<sup>2</sup>]

$U_{pilares}$  – Coeficiente global de transmissão térmica pelos pilares [W/m<sup>2</sup>·°C]

$U_{fundo}$  – Coeficiente global de transmissão térmica pelo pavimento dos tanques [W/m<sup>2</sup>·°C]

$U_{lateral}$  – Coeficiente global de transmissão térmica pela zona lateral dos tanques [W/m<sup>2</sup>·°C]

Para a realização deste cálculo, é considerada que a temperatura a que se encontram os pilares é igual à temperatura do ar interior<sup>3</sup>, assim:

<sup>3</sup>  $t_{ar} = 18$  °C – Temperatura de referência na estação de aquecimento - REH

$$U_{pilares} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_{bet\tilde{a}o}}{k_{bet\tilde{a}o}}} \quad (31)$$

$$U_{fundo} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_{bet\tilde{a}o}}{k_{bet\tilde{a}o}} + \frac{e_{isol}}{k_{isol}} + \frac{1}{h_{evd}}} \quad (32)$$

$$U_{lateral} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_{bet\tilde{a}o}}{k_{bet\tilde{a}o}} + \frac{e_{isol}}{k_{isol}} + \frac{1}{h_{eh}}} \quad (33)$$

Onde:

$h_i$  – Coeficiente de transmissão de calor por convecção do lado interior (água) [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]<sup>4</sup>

$h_{evd}$  – Coeficiente de transmissão de calor por convecção do lado externo vertical descendente (ar) [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]<sup>5</sup>

$h_{eh}$  – Coeficiente de transmissão de calor por convecção do lado externo horizontal (ar) [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]<sup>6</sup>

$e_{bet\tilde{a}o}$  – Espessura do betão [m]

$k_{bet\tilde{a}o}$  – Condutibilidade térmica do betão [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]

$e_{isolante}$  – Espessura do isolante [m]

$k_{bet\tilde{a}o}$  – Condutibilidade térmica do isolante [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]

## 5.3. Resultados

Neste subcapítulo são apresentados os resultados referentes às perdas energéticas das piscinas, com e sem cobertura do plano de água, bem como a apresentação do consumo energético do sistema de aquecimento atual.

### 5.3.1. Perdas Térmicas pelo Plano de Água

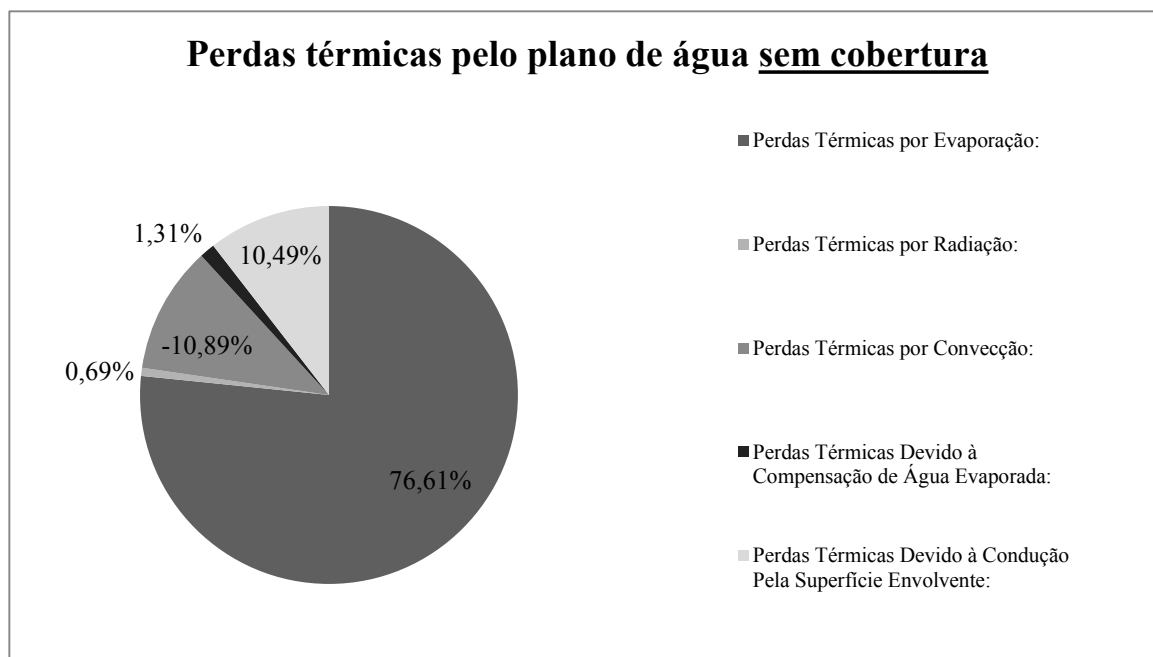
Um dos objetivos de estudo traçados para este projeto estava diretamente relacionado com as perdas térmicas associadas ao plano de água. Como referido anteriormente, é expectável que a maior parcela de perdas de energia se deva à evaporação, como destacado anteriormente.

<sup>4</sup>  $h_i = 500 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (valor típico médio – *In Incopera*)

<sup>5</sup>  $h_{evd} = 1/0,17 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (*In EN ISO 6946:1996*)

<sup>6</sup>  $h_{evd} = 1/0,13 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  (*In EN ISO 6946:1996*)

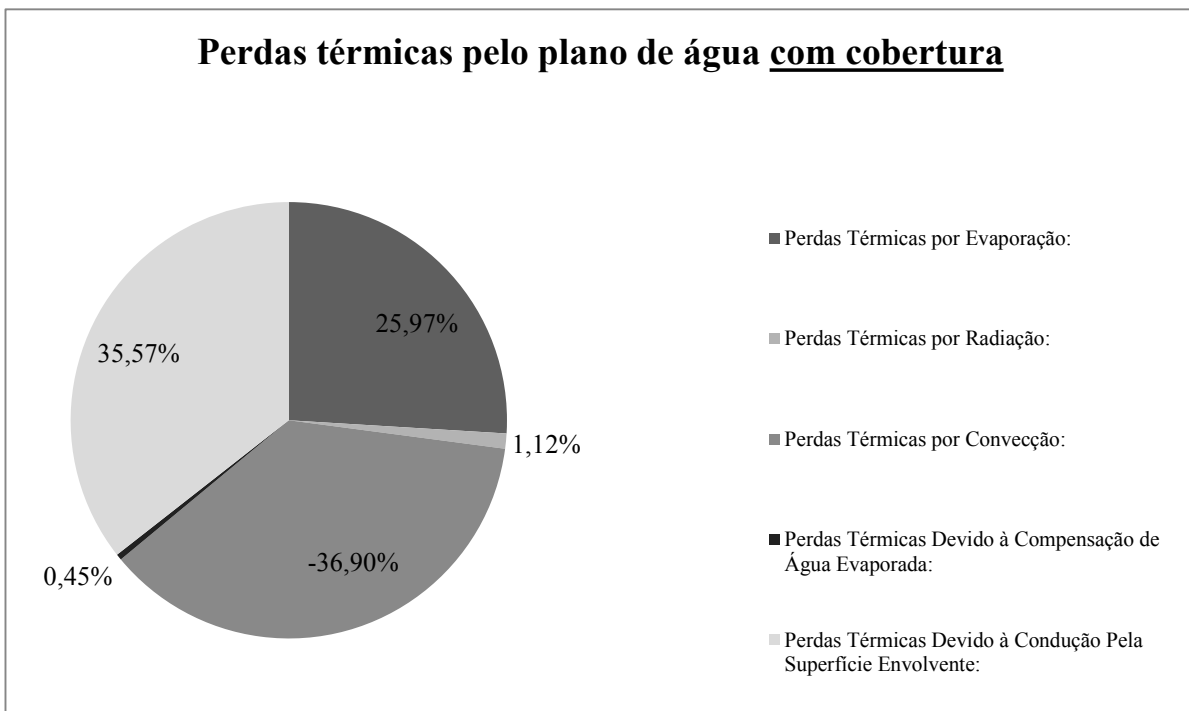
Sendo assim, seguidamente são apresentados os resultados relativos às perdas de térmicas pelo plano de água sem uso e com uso de cobertura nos períodos de não utilização das piscinas.



**Figura 35 – Perdas térmicas pelo plano de água sem cobertura**

Do gráfico acima apresentado pode-se concluir que as perdas térmicas por evaporação representam cerca de 80% das perdas térmicas totais, tal como era esperado. Por esse facto, é esperada uma redução de perdas térmicas com a inclusão da cobertura do plano de água. No que toca a outras perdas energéticas, constata-se que as perdas térmicas devido à condução pela superfície envolvente representam cerca de 10% das perdas totais, tratando-se da segunda componente de perdas mais relevante.

Do mesmo modo, com a aplicação da cobertura no plano de água chegam-se às seguintes percentagens de perdas térmicas:



**Figura 36 – Perdas térmicas pelo plano de água com cobertura**

Como era expectável, com a inclusão de uma cobertura no plano de água das piscinas, a taxa de perdas térmicas associadas à evaporação da água decresce drasticamente. De salientar que, deste modo, as perdas térmicas associadas à condução passam a ser a parcela de perdas energéticas mais significativas.

Sendo assim, na tabela seguinte, apresentam-se os resultados das perdas térmicas associadas aos planos de água sem e com cobertura.

**Tabela 30 – Perdas térmicas pelo plano de água**

	Sem Cobertura		Com Cobertura	
	[kW·h]	[%]	[kW·h]	[%]
<i>Perdas Térmicas por Evaporação</i>	18,47	85,97	1,85	41,15
<i>Perdas Térmicas por Radiação</i>	0,17	0,77	0,08	1,78
<i>Perdas Térmicas por Convecção</i>	-2,63	0,00	-2,63	0,00
<i>Perdas Térmicas devido à Compensação de Água Evaporada</i>	0,32	1,47	0,03	0,71
<i>Perdas Térmicas devido à Condução Pela Superfície Envolvente</i>	2,53	11,78	2,53	56,37
<b>TOTAL</b>	21,49	100,00	4,49	100,00

Em suma, quando se coloca uma cobertura do plano de água, nos períodos de não utilização das piscinas e, com os resultados da tabela, as perdas térmicas associadas ao plano de água sofrem uma redução de 79,11 %, um valor bastante considerável.



## 6. CÁLCULO DOS CONSUMOS ASSOCIADOS À CLIMATIZAÇÃO DA NAVE DA PISCINA

### 6.1. Carga Térmica da Nave da Piscina

As cargas térmicas associadas à conceção das instalações (iluminação, ventilação e envolvente), bem como da própria ocupação, têm grande efeito nos consumos finais de energia calorífica. Assim sendo, serão contabilizadas, em estudo, todas parcelas energéticas acima enumeradas.

#### 6.1.1. Ocupação

De acordo com o anexo XV do Decreto-Lei 79/2006, presentemente definido como RECS, estão definidos os diversos padrões de utilização para cada uma das tipologias definidas no n.º 1 do artigo 31.º desse mesmo regulamento. Para o caso do complexo em estudo deve-se ter em conta a seguinte percentagem de ocupação, referente aos Clubes Desportivos com Piscina.

Tabela 31 – Percentagem de ocupação

Horas	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
<i>0h às 1h</i>	0	0	0
<i>1h às 2h</i>	0	0	0
<i>2h às 3h</i>	0	0	0
<i>3h às 4h</i>	0	0	0
<i>4h às 5h</i>	0	0	0
<i>5h às 6h</i>	0	0	0
<i>6h às 7h</i>	0	0	0
<i>7h às 8h</i>	25	25	0
<i>8h às 9h</i>	75	75	0
<i>9h às 10h</i>	75	75	0
<i>10h às 11h</i>	100	100	0

<i>11h às 12h</i>	100	100	0
<i>12h às 13h</i>	100	100	0
<i>13h às 14h</i>	100	100	0
<i>14h às 15h</i>	100	100	0
<i>15h às 16h</i>	100	100	0
<i>16h às 17h</i>	100	100	0
<i>17h às 18h</i>	100	100	0
<i>18h às 19h</i>	100	100	0
<i>19h às 20h</i>	100	100	0
<i>20h às 21h</i>	50	50	0
<i>21h às 22h</i>	0	0	0
<i>22h às 23h</i>	0	0	0
<i>23h às 24h</i>	0	0	0

Segundo o Capítulo 3 – Lotação, da Diretiva CNQ n.º 32/93, “o número máximo de banhistas que poderão ser admitidos em simultâneo numa piscina, define-se como lotação máxima instantânea ou utência de ponta, que será calculada com base na área total de superfícies de plano de água de todos os tanques que a constituam a instalação”, com a seguinte relação para as piscinas cobertas: 1 banhista por cada 2 m<sup>2</sup> de plano de água. Sendo assim, se apenas fosse respeitada esta diretiva, o número de lotação máxima instantânea seria de 207 ocupantes, associados aos três tanques, o que na prática não se irá verificar.

Para cada um dos três tanques existente nas Piscinas Municipais de Penacova, a lotação máxima diária é a seguinte:

**Tabela 32 – Lotação máxima diária**

	<b>Tanque Desportivo</b>	<b>Tanque de Aprendizagem</b>	<b>Chapinheiro</b>
<i>Área de Superfície [m<sup>2</sup>]</i>	312,5	75	25
<i>Lotação Máxima</i>	252	40	15

Sendo assim, e tendo em conta o perfil ocupacional para os centros desportivos definido no RSECE/RECS, obtém-se o seguinte perfil para os dias semanais dos três tanques existentes nas Piscinas Municipais de Penacova.

Tabela 33 – Perfil ocupacional

Horas	Tanque Desportivo	Tanque de Aprendizagem	Chapinheiro
<i>0h às 1h</i>	0	0	0
<i>1h às 2h</i>	0	0	0
<i>2h às 3h</i>	0	0	0
<i>3h às 4h</i>	0	0	0
<i>4h às 5h</i>	0	0	0
<i>5h às 6h</i>	0	0	0
<i>6h às 7h</i>	5	1	1
<i>7h às 8h</i>	14	2	1
<i>8h às 9h</i>	14	2	1
<i>9h às 10h</i>	19	3	1
<i>10h às 11h</i>	19	3	1
<i>11h às 12h</i>	19	3	1
<i>12h às 13h</i>	19	3	1
<i>13h às 14h</i>	19	3	1
<i>14h às 15h</i>	19	3	1
<i>15h às 16h</i>	19	3	1
<i>16h às 17h</i>	19	3	1
<i>17h às 18h</i>	19	3	1
<i>18h às 19h</i>	19	3	1
<i>19h às 20h</i>	19	3	1
<i>20h às 21h</i>	10	2	1
<i>21h às 22h</i>	0	0	0
<i>22h às 23h</i>	0	0	0
<i>23h às 24h</i>	0	0	0

Dos dados apresentados em cima pode-se verificar que temos uma lotação máxima diária de 307 ocupantes associados aos três tanques existentes no complexo. Na realidade os três tanques teriam a capacidade de receberem 825 ocupantes, sendo que, no entanto, deve ser cumprido o perfil definido no RSECE para os centros desportivos com piscina.

Tendo em conta, uma vez mais, a Diretiva CNQ n.º 32/93, a capacidade diária de operação que é definida como “*lotação máxima diária ou utência diária, que corresponde ao número máximo de banhistas que poderão frequentar a instalação ao longo de cada dia de funcionamento, e que não deverá ser 4 vezes superior à lotação máxima instantânea*”.

Em termos reais, as Piscinas Municipais de Penacova, de acordo com o seu Sistema de Gestão apresentaram as seguintes estatísticas de utilização para o ano de 2013.

**Tabela 34 – Estatística ocupacional-ano 2013**

<b>Dia</b>	<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Maió</b>	<b>Junho</b>	<b>Julho</b>	<b>Agosto</b>	<b>Setembro</b>	<b>Outubro</b>	<b>Novembro</b>	<b>Dezembro</b>
<b>1</b>		186	210			154	31	51		105	170	
<b>2</b>	75	94	105	167	331		46	17		134	125	107
<b>3</b>	141			166	227	173	71	24		94		164
<b>4</b>	159	189	169	142	125	215	72			92	130	170
<b>5</b>	93	186	211	176		167	42	31		115	144	110
<b>6</b>		92	176	136	179	101	92	79			156	167
<b>7</b>	155	109	129		229	150		35		92	128	108
<b>8</b>	200	86	173	148	163	105	68	26		142		
<b>9</b>	176	143	109	217	191		66	20	8	135	143	122
<b>10</b>	134			167	151		50	16	16	99		161
<b>11</b>	202	28	131	182	147	197	63		4	92	169	155
<b>12</b>	111		184	203		136	46	11	9	138	150	98
<b>13</b>		55	210	142	161	126	78	28	4		178	13
<b>14</b>	162	138	135		230	69		26	7	145	141	
<b>15</b>	259	207	175	149	158	86	19			163	202	
<b>16</b>	225	109	112	186	155		81	27	16	164	225	
<b>17</b>	116			195	167	55		18	14	157		
<b>18</b>	167	154	68	177	185	109	127		38	174	119	

<b>19</b>		216	125	176		66	43	7	21	111	167	
<b>20</b>		161	78	117	163	86	19	13	29		182	
<b>21</b>		130	56		239	54		21	20	186	103	
<b>22</b>		146	130	146	167	129	18	12		142	142	
<b>23</b>	33	71	141	190	166		92		52	234	114	
<b>24</b>				190	151	99	29		53	124		
<b>25</b>		150	28		100	145	69		78	171	134	
<b>26</b>		246	73	187		57	36		68	146	235	
<b>27</b>		169	101	136	107	93	14		45		172	
<b>28</b>	113	160	67		223	52			7	166	135	
<b>29</b>	201			160	139	95	19			164	154	
<b>30</b>	68		90	229	170		69		68	186	110	
<b>31</b>	242				141		26			136		
<b>Total</b>	3032	3225	3186	4084	4565	2722	1386	499	557	3807	3828	1375

Analisando a tabela acima pode-se concluir que, na realidade, os números de ocupantes máximos diários estão próximos dos de projeto. O máximo de número de ocupantes, para o ano de 2013, ocorreu no dia 2 de Maio, com um valor de 331 ocupantes, bastante próximo do estabelecido para o dimensionamento do sistema solar térmico, que se situa nos 307 ocupantes. Em termos médios mensais, o mês mais lotado foi o de Maio, contrariamente, o mês com menor média ocupacional foi o de Agosto, devido à paragem para manutenção das piscinas, paragem do período escolar e por ser considerada uma época de férias. De notar que nos meses de Julho, Agosto e Setembro as médias ocupacionais decrescem acentuadamente devido a não haver período escolar e a ser um período, normalmente, estabelecido para férias. No gráfico apresentado em baixo podem-se verificar as médias ocupacionais mensais para os 12 meses do ano de 2013.

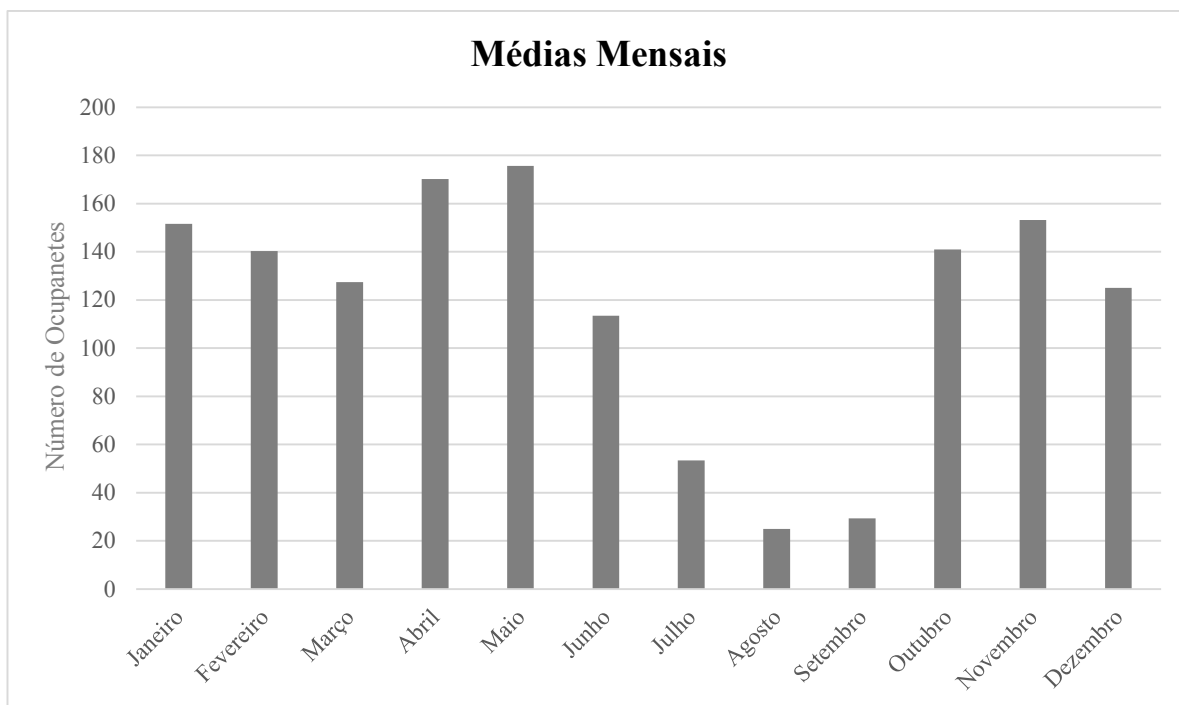


Figura 37 – Médias mensais de ocupação

Após estes dados, é plausível que, para o perfil de ocupação definido, os consumos energéticos sejam inflacionados uma vez que, para cada um dos dias do ano se esteja a considerar uma lotação de 307 ocupantes, o que na realidade não se verifica.

Para efeitos de cálculo da carga térmica associada à ocupação considerou-se 80 W de libertação calorífica humana por pessoa. Neste valor estão associadas a componente sensível e latente. Sendo grande percentagem desta energia transferida diretamente para a água da piscina, o valor desta componente energética é muito reduzido. Devido a esse facto, não contribui diretamente para o aumento do ar interior da nave da piscina.

Assim, a potência térmica associada à ocupação da nave da piscina é obtida através da seguinte expressão:

$$Q_{ocup} = n \times P_c \quad (34)$$

Onde:

$Q_{ocup}$  – Carga térmica de ocupação [W]

$n$  – Número de utilizadores

$P_c$  – Potência calorífica humana libertada [W]

### 6.1.2. Iluminação

Nesta carga térmica estão associadas a potência das luminárias existentes na nave da piscina. No complexo desta piscina existem aproximadamente 50 luminárias constituídas por 2

lâmpadas fluorescentes de 60 W. Devido às luminárias serem desse tipo a potência total foi afetada em 25 %, devido à carga térmica libertada pelo balastro.

Para determinação da carga térmica referente à iluminação é utilizada a seguinte equação:

$$Q_{itum} = 1,25 \times n \times P \quad (35)$$

Onde:

$Q_{itum}$  – Carga térmica associada à iluminação [W]

$n$  – Número de ocupantes

$P$  – Potência por luminária [W]

### 6.1.3. Ventilação

A esta carga térmica estão associadas duas componentes: a componente latente e a componente sensível. O primeiro passo é calcular o caudal volúmico de ar a renovar na nave da piscina, que é obtido pela seguinte expressão, adaptada do *Manual de Sistema de Desumificação Dantherm (2011)*.

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}_w}{(x_i - x_e) \times \rho} \quad (36)$$

Onde:

$\dot{V}$  – Caudal volúmico de ar [m<sup>3</sup>/h]

$\dot{m}_w$  – Caudal mássico de evaporação da água da piscina [kg/h]

$x_i$  – Humidade específica do ar interior [kg<sub>v</sub>/kg<sub>a</sub>]

$x_e$  – Humidade específica do ar exterior [kg<sub>v</sub>/kg<sub>a</sub>]

$\rho$  – Massa volúmica do ar [kg/m<sup>3</sup>]

A componente latente da carga térmica associada à renovação de ar é dada pela equação:

$$\dot{Q}_L = \dot{V} \times \bar{\rho} \times \bar{h}_w \times \Delta x \quad (37)$$

Onde:

$\dot{Q}_L$  – Carga térmica latente [W]

$\dot{V}$  – Caudal volúmico de ar [m<sup>3</sup>/h]

$\rho$  – Massa volúmica do ar [kg/m<sup>3</sup>]

$h_w$  – Calor latente médio de vaporização [kJ/kg]

$\Delta x$  – Variação de humidade específica [kg<sub>v</sub>/kg<sub>a</sub>]

A carga sensível é calculada através de:

$$\dot{Q}_S = \dot{V} \times \bar{\rho} \times \bar{c}_p \times \Delta T \quad (38)$$

Onde:

$Q_S$  – Carga térmica sensível [W]

$V$  – Caudal volúmico de ar [ $m^3/h$ ]

$\rho$  – Massa volúmica do ar [ $kg/m^3$ ]

$c_p$  – Calor específico médio do ar a pressão constante [ $kJ/kg \cdot K$ ]

$\Delta T$  – Variação de temperatura [ $^{\circ}C$ ]

Para efeito de cálculo, o fenómeno de infiltrações de ar pela envolvente bem como os efeitos do fator de *by-pass* da bateria de correção térmica do ar foram desprezados.

#### 6.1.4. Perdas ou Ganhos Térmicos pela Envolvente

Este cálculo é realizado segundo o que está expresso no Anexo IV do DL n.º 80/2006 de 4 de Abril.

Sendo assim, a carga térmica associada à envolvente não é nada mais que a diferença entre o somatório de todas as perdas pelas envolventes interiores e os ganhos solares referentes ao concelho em estudo.

A equação dependente a este cálculo é a seguinte:

$$Q_{env} = \sum Q_{perdas} - Q_{solar} \quad (39)$$

Onde:

$Q_{env}$  – Carga térmica associada à envolvente [W]

$Q_{perdas}$  – Carga térmica perdida pelas envolventes [W]

$Q_{solar}$  – Ganhos térmicos solares [W]

Em que a carga associada às perdas é dada pela seguinte expressão:

$$Q_{perdas} = Q_{ext} + Q_{lna} + Q_{pe} + Q_{ptp} + Q_{ptl} \quad (40)$$

Onde:

$Q_{ext}$  – Perdas térmicas pelas paredes, envidraçados, cobertura e pavimentos em contato com o exterior [W]

$Q_{lna}$  – Perdas térmicas pelas paredes, envidraçados, cobertura e pavimentos em contato com locais não aquecidos [W]

$Q_{pe}$  – Perdas térmicas pelas paredes e pavimentos em contato com o solo [W]

$Q_{ptp}$  – Perdas térmicas pelas pontes térmicas planas [W]

$Q_{ptl}$  – Perdas térmicas pelas pontes térmicas lineares [W]

### 6.1.5. Perdas Térmicas pela Envolvente Exterior Opaca

Para o cálculo desta componente é usada a seguinte equação:

$$Q_{ext\ opaca} = U \times A \times (T_i - T_{ar-sol}) = U \times A \times \left[ T_i - \left( T_{ext} + \frac{\alpha \times G}{h_e} \right) \right] \quad (41)$$

Onde:

$U$  – Coeficiente global de transmissão térmica [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]

$A$  – Área da superfície de transferência [ $m^2$ ]

$T_{ar-sol}$  – Temperatura ar-sol [ $^\circ C$ ]

$T_i$  – Temperatura ambiente interior [ $^\circ C$ ]

$T_{ext}$  – Temperatura do ar exterior [ $^\circ C$ ]

$\alpha$  – Coeficiente de absorção da superfície exterior das envolventes

$G$  – Intensidade da radiação solar incidente em cada orientação [ $W/m^2$ ]

$h_e$  – Coeficiente de convecção exterior [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]

### 6.1.6. Perdas Térmicas pelos Envidraçados Exteriores

Como referido anteriormente, os envidraçados das Piscinas Municipais de Penacova são em vidro duplo (vidro duplo incolor + incolor e lâmina de ar de 10 mm de espessura). A caixilharia é em alumínio do tipo *Arkial* com quadrícula e possui corte térmico sem quaisquer tipos de proteção nos vãos envidraçados.

Para efeitos de cálculo utiliza-se a seguinte equação:

$$Q_{ext\ envidraçado} = U \times A \times (T_i - T_{ext}) \quad (42)$$

Tendo em conta o DL n. 80/2006 de 4 de Abril, a carga térmica associada aos ganhos térmicos pelos envidraçados é obtida pela seguinte expressão:

$$Q_{solar} = G \times A_s \quad (43)$$

Onde:

$A_s$  – Área efetiva coletora da radiação solar do envidraçado [m<sup>2</sup>]

Em que a área efetiva coletora da radiação solar do envidraçado é calculada através da seguinte fórmula:

$$A_s = A \times F_s \times F_g \times F_w \times g \quad (44)$$

Onde:

$A$  – Área total do vão envidraçado [m<sup>2</sup>]

$F_s$  – Fator de obstrução

$F_g$  – Fração envidraçada

$F_w$  – Fator de correção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar

$g$  – Fator solar do vão envidraçado para radiação incidente na perpendicular ao envidraçado e que tem em conta eventuais dispositivos de proteção solar

### 6.1.7. Perdas Térmicas pelas Paredes, Envidraçados, Cobertura e Pavimentos em contato com locais não aquecidos

Esta carga térmica é dada pela seguinte expressão:

$$Q_{\text{Ina}} = U \times A \times \Delta T \quad (45)$$

Onde:

$U$  – Coeficiente global de transmissão térmica [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]

$A$  – Área da superfície de transferência [ $\text{m}^2$ ]

$\Delta T$  – Variação da temperatura entre o espaço aquecido e do espaço não aquecido ( $T_i - T_a$ ) [ $^\circ\text{C}$ ]

Sendo a temperatura do ar no local não aquecido dada pela expressão que se segue:

$$T_a = T_{\text{ext}} + (1 - \tau) \times (T_i - T_{\text{ext}}) \quad (46)$$

Onde:

$\tau$  – Coeficiente  $\tau$

$T_i$  – Temperatura ambiente interior [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_a$  – Temperatura do ar do local não aquecido [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_{\text{ext}}$  – Temperatura do ar exterior [ $^\circ\text{C}$ ]

Em que o coeficiente  $\tau$  é dado por:

$$\tau = \frac{A_i}{A_{\text{ext}}} \quad (47)$$

Onde:

$A_i$  – Área da superfície interior em contato com o espaço não aquecido [ $\text{m}^2$ ]

$A_{\text{ext}}$  – Área da superfície [ $\text{m}^2$ ]

### 6.1.8. Perdas Térmicas pelas Paredes e Pavimentos em contato com o solo

Através da expressão que se segue, calcula-se o valor desta carga térmica:

$$Q_{pe} = U \times A \times \Delta T \quad (48)$$

Onde:

U – Coeficiente global de transmissão térmica [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]

A – Área da superfície de transferência [ $\text{m}^2$ ]

$\Delta T$  – Variação da temperatura entre o ar do espaço aquecido e do terreno ( $T_i - T_t$ ) [ $^\circ\text{C}$ ]

### 6.1.9. Perdas Térmicas pelas Pontes Térmicas Planas e Lineares

Por forma a simplificar o cálculo desta componente de perdas térmicas e por não ser um elemento prioritário neste estudo, foram consideradas para as perdas térmicas pelas pontes térmicas planas e lineares 5 % das perdas totais associadas às Piscinas Municipais de Penacova.

### 6.1.10. Coeficientes Globais de Transmissão de Calor dos Elementos Construtivos

Para o cálculo das cargas térmicas associadas aos elementos construtivos, é preponderante possuir a memória descritiva com todos os elementos construtivos constituintes do edifício.

Sendo assim a expressão geral para o cálculo do coeficiente global de transmissão de calor é a que se segue:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (49)$$

Onde:

U – Coeficiente global de transmissão térmica [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]

$R_j$  – Resistência térmica dos constituintes do elemento construtivo [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ]

$R_{si}$  – Resistência térmica superficial interior [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ]

$R_{se}$  – Resistência térmica superficial exterior [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ]

O coeficiente global de transmissão térmica para os elementos construtivos em contato com o pavimento é dado pela seguinte equação:

$$U = \frac{2 \times \lambda}{\pi \times B' + d_t} \times \ln \left( \frac{\pi \times B' + d_t}{d_t} + 1 \right) \quad (50)$$

Onde:

$\lambda$  – Propriedade térmica do solo [W/m. °C]

$B'$  – Caraterística dimensional do elemento construtivo [m]

$d_t$  – Espessura total equivalente [m]

Onde a caraterística dimensional do elemento construtivo é calculado através da seguinte expressão:

$$B' = \frac{A}{0,5 \times P} \quad (51)$$

Onde:

$A$  – Área da superfície de transferência [m<sup>2</sup>]

$P$  – Perímetro do elemento construtivo em contato com o ar ambiente exterior [m]

E a espessura total equivalente é dada por:

$$d_t = w + \lambda \times (R_{si} + R_p + R_{se}) \quad (52)$$

Onde:

$w$  – Espessura da parede exterior [m]

### 6.1.11. Inércia Térmica

A inércia térmica é, fundamentalmente, a resistência oferecida pelos sistemas térmicos à tentativa de alterar o seu estado termodinâmico. Este conceito está diretamente relacionado com a tipologia construtiva do edifício, pois a inércia térmica tem origem na capacidade que os materiais possuem de armazenar energia calorífica. Quanto maior for essa capacidade mais facilmente os sistemas térmico complementam as solicitações a que são submetidos sem alterarem o seu estado termodinâmico.

Sendo assim, a quantidade de energia armazenada pela envolvente é determinada através da seguinte equação:

$$\dot{Q}_{arm} = m \times \bar{c}_p \times \Delta T \tag{53}$$

Onde:

$Q_{arm}$  – Quantidade de energia armazenada [W]

$m$  – massa dos elementos constituintes da envolvente [kg]

$c_p$  – Calor específico médio da envolvente [kJ/kg · K]

$\Delta T$  – Variação da temperatura entre a envolvente e o ar ambiente [°C]

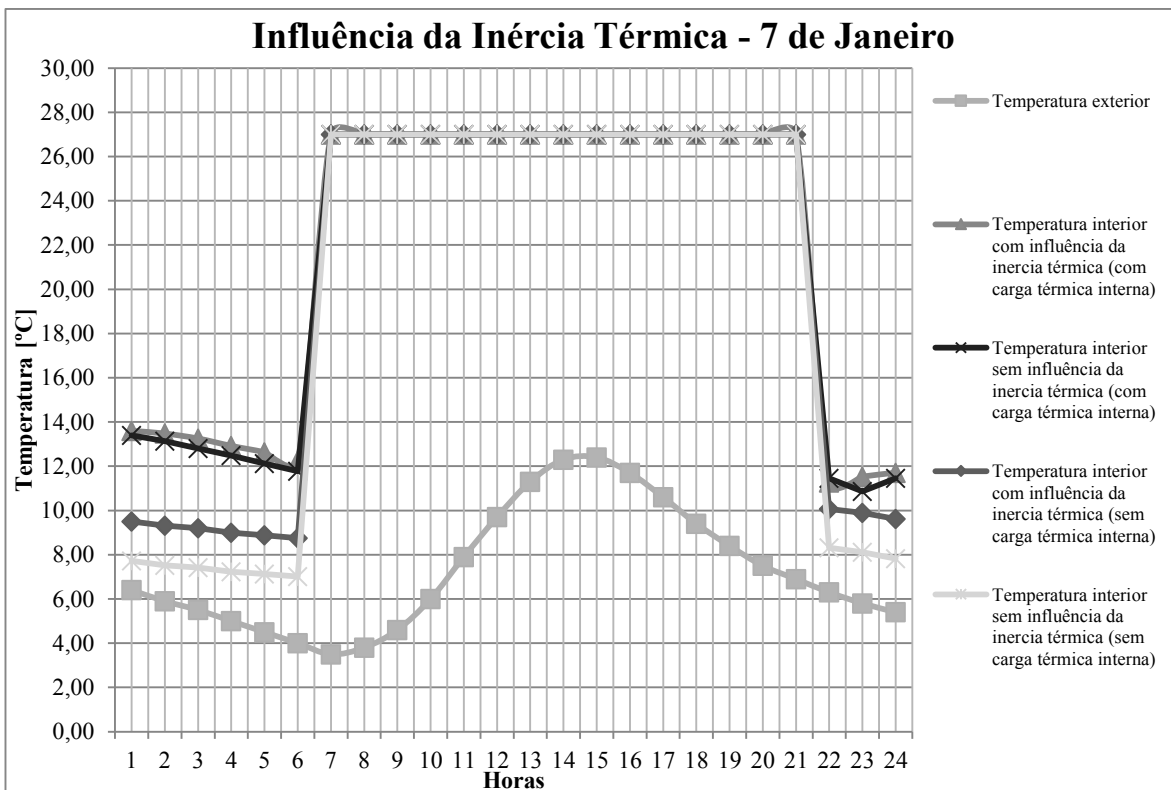


Figura 38 – Influência da inércia térmica e das cargas internas na temperatura interior

Da figura 38, apresentada em cima, pode concluir-se que o efeito da inércia térmica tende a atrasar a descida da temperatura interior do complexo. Este fenómeno faz-se notar quando há inexistência de cargas térmicas interiores. Na ausência do efeito da inércia térmica e de cargas internas, nota-se que a temperatura interior tende a aproximar-se, rapidamente, da temperatura exterior. Por outro lado, com a existência de cargas térmicas interiores, o efeito da inércia térmica é mínimo. Isso deve-se ao baixo diferencial térmico entre a temperatura do ar interior e a temperatura da envolvente.



## 7. CÁLCULO DAS NECESSIDADES DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS

Para a determinação das necessidades de AQS, tiveram-se em conta diversas condições de funcionamento, apresentadas na tabela 35.

Tabela 35 – Condições de cálculo das AQS

<i>Tempo Médio de Banho [min]</i>	5
<i>Temperatura Água dos Banhos [°C]</i>	38
<i>Temperatura da Água no Termoacumulador [°C]</i>	60
<i>Temperatura Média da Água da Rede [°C]</i>	15
<i>Caudal do Chuveiro [l/h]</i>	600

Inicialmente, calcula-se a quantidade de água necessária aos banhos, através da expressão que se segue.

$$m = n \times D \times t \quad (54)$$

Onde:

- m - Quantidade de água necessária, à temperatura dos banhos [kg]
- n – Número de banhos (perfil ocupacional)
- D – Débito médio dos chuveiros [kg/s]
- t – tempo médio de cada duche [s]

Aplicando um balanço na válvula misturadora termostática vem:

$$\dot{m}_m \times h_m = \dot{m}_q \times h_q + \dot{m}_f h_f \quad (55)$$

$$\dot{m}_q = \frac{\dot{m}_m \times h_m - \dot{m}_f \times h_f}{h_q} \quad (56)$$

Onde:

$\dot{m}_q$  - Caudal mássico de água à temperatura de acumulação [kg/s]

$\dot{m}_m$  - Caudal mássico de água à temperatura dos banhos [kg/s]

$h_f$  - Entalpia específica da água da rede [kJ/kg]

$h_m$  - Entalpia específica da água à temperatura dos banhos [kJ/kg]

$h_m$  - Entalpia específica da água à temperatura dos banhos [kJ/kg]

$h_q$  - Entalpia específica da água à temperatura de acumulação [kJ/kg]

Deste modo, podemos calcular a energia necessária para elevar essa quantidade de água, desde a temperatura da água da rede até à temperatura de acumulação. A equação utilizada é a que se segue:

$$Q = \dot{m}_q \times (h_q - h_f) \quad (54)$$

Assim, chegou-se às necessidades energéticas mensais como se pode visualizar, graficamente.

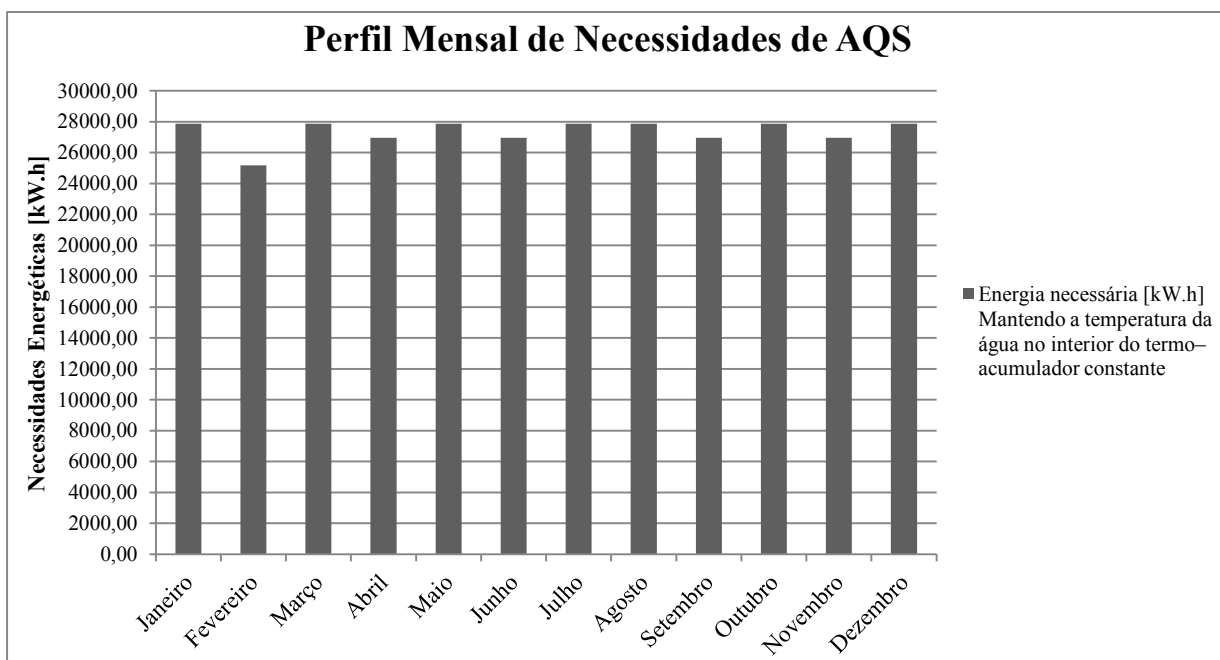
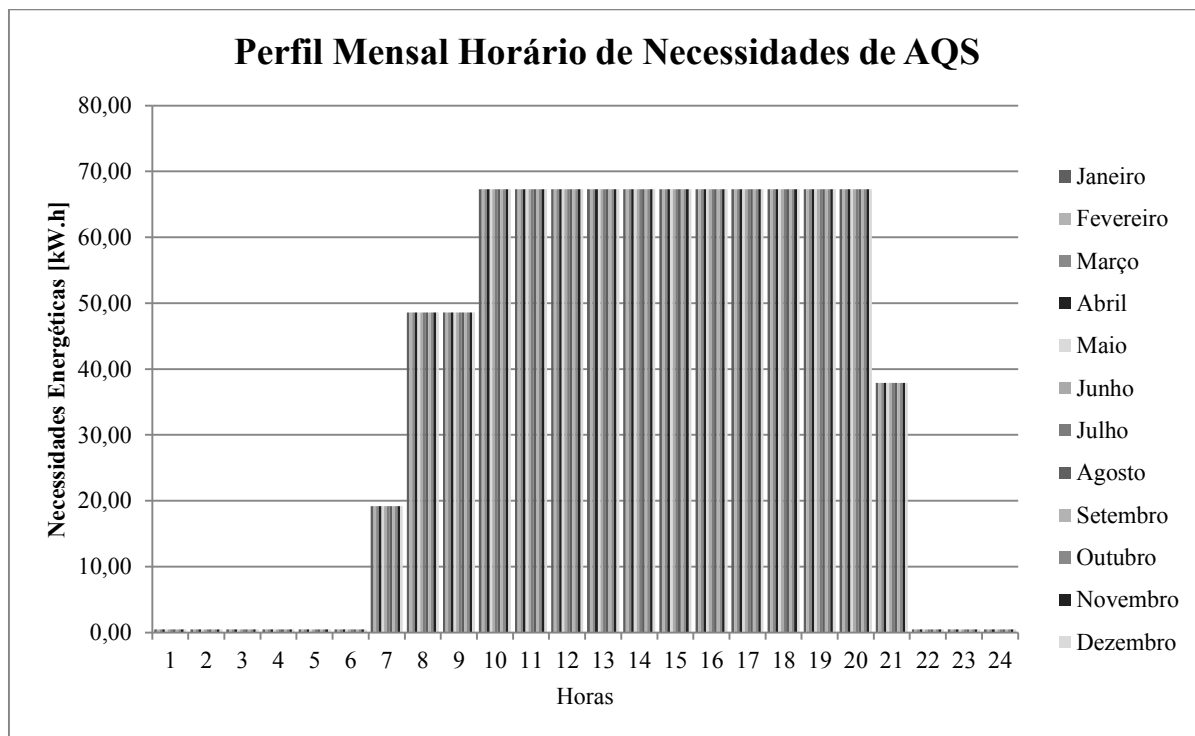


Figura 39 – Perfil mensal de necessidades de AQS

Seguidamente, apresenta-se, graficamente, o perfil mensal de necessidade energética horária de AQS mantendo a temperatura no interior do termoacumulador.



**Figura 40 – Perfil mensal horário de necessidades de AQS**

O perfil de necessidades energéticas para AQS era o esperado visto que está diretamente relacionado com o número de utentes a utilizar a infraestrutura, isto é, com o perfil ocupacional. Sendo assim, era expectável que, entre as 10 e as 20 horas as necessidades energéticas fossem máximas, visto que existe uma maior afluência à utilização das piscinas.



## 8. CONSUMO DA INSTALAÇÃO EXISTENTE

No que toca à instalação existente, foi feita uma análise dinâmica, de modo a serem obtidos os seus consumos energéticos para, posteriormente, se poderem relacionar com os consumos da instalação a propor. É previsto que os valores não sejam próximos dos valores de consumos reais. Contudo, desta forma, é possível fazer-se uma comparação entre os dois tipos de sistemas com as mesmas condições de projeto.

Sendo assim, na tabela 36, são apresentados os consumos típicos para a instalação existente nas Piscinas Municipais de Penacova para as condições de projeto e perfil ocupacional definidos anteriormente.

Tabela 36 – Consumo da instalação existente

Mês	Energia Térmica a Fornecer [kW · h]			
	Carga Térmica	Piscinas	AQS	Total
<i>Janeiro</i>	33.941,70	32.929,17	27.734,67	94.605,54
<i>Fevereiro</i>	21.938,50	29.718,14	25.050,67	76.707,31
<i>Março</i>	22.898,23	32.798,55	27.734,67	83.431,45
<i>Abril</i>	19.754,55	31.563,12	26.840,00	78.157,67
<i>Maio</i>	17.342,54	32.379,54	27.734,67	77.456,75
<i>Junho</i>	13.460,43	31.074,34	26.840,00	71.374,78
<i>Julho</i>	11.164,96	31.879,26	27.734,67	70.778,89
<i>Agosto</i>	11.201,22	31.772,58	27.734,67	70.708,47
<i>Setembro</i>	12.417,07	30.630,89	26.840,00	69.887,98
<i>Outubro</i>	16.890,13	32.342,57	27.734,67	76.967,37
<i>Novembro</i>	21.225,25	31.671,17	26.840,00	79.736,43
<i>Dezembro</i>	24.766,94	32.937,08	27.734,67	85.438,59
<b>TOTAL</b>	227.001,53	381.696,41	326.553,39	935.251,33

Como era expectável, os valores obtidos por simulação numérica, estão um pouco distantes dos valores reais. Um das razões para tal prende-se com o desconhecimento das condições climáticas (temperatura exterior e humidade relativa exteriores diárias) para o ano em questão. Por sua vez, o perfil de ocupação considerado foi aplicado de acordo com a legislação afeta a esse ponto. Sendo assim, os valores obtidos, tanto para o atual sistema como para o sistema a propor estão de certa forma inflacionados.

## 9. SISTEMA PROPOSTO

Como já referido anteriormente, o objetivo geral deste projeto é encontrar soluções reais para aumentar a eficiência energética das Piscinas Municipais de Penacova. Sendo as instalações existentes projetadas em meados do ano 2000, é de todo expectável que não estejam nelas implícitas as soluções energéticas mais rentáveis do mercado atual.

### 9.1. Esquema Geral do Sistema Proposto

Na figura 41 está representado um esquema simplificado do funcionamento de um sistema de aquecimento de piscinas dotado de sistema solar térmico.

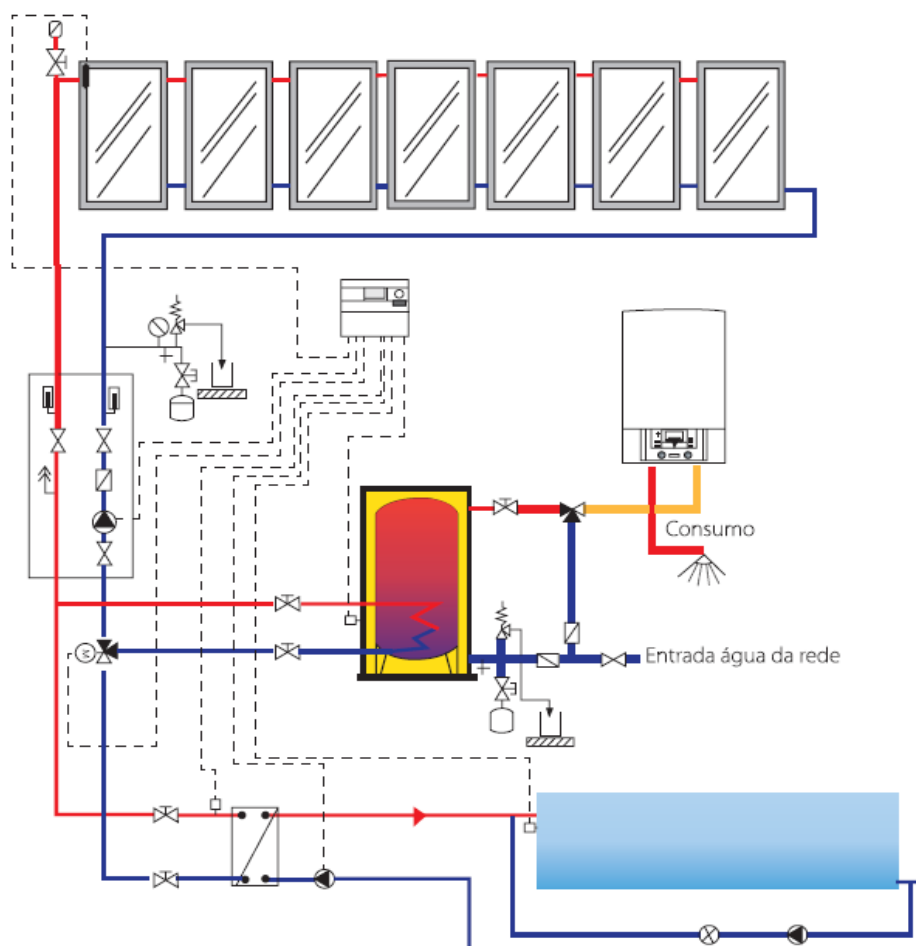


Figura 41 – Princípio de funcionamento de aquecimento de piscinas

Neste sistema estão contempladas duas aplicações: o aquecimento da Água das Piscinas e o aquecimento de AQS. Para a garantia das necessidades energéticas para essas duas utilizações são usados dois mecanismos de fornecimento de energia: os painéis solares térmicos, que captam radiação solar para o aquecimento das águas. Quando não é possível satisfazer-se as necessidades de energia entra em ação o fornecimento de energia através de um grupo térmico, que, no sistema a propor será composto por bombas de calor, em detrimento das caldeiras.

De salientar que no sistema a propor irão ser contempladas coberturas para os planos de águas de dois, dos três tanques existentes, uma vez que não fará sentido ser implementada no tanque mais pequeno (chaminheiro).

## 9.2. Consumo do Sistema Proposto

Tal como para a instalação existente, para o sistema proposto, também foi realizada uma simulação dinâmica, por forma a serem conhecidos os consumos do mesmo.

Na tabela seguinte apresentam-se os consumos da instalação proposta apenas com a inclusão de um gerador de calor, no caso a bomba de calor e cobertura do plano da água das piscinas.

**Tabela 37 – Consumo da instalação proposta**

Mês	Energia a fornecer [kW·h]				Eficiência do grupo térmico	Consumo de energia primária (Eletricidade) [kW·h]
	Carga Térmica	Piscinas	AQS	Total		
<b>Janeiro</b>	21.659,51	29.160,56	27.734,67	78.554,75	3,00	26.184,92
<b>Fevereiro</b>	11.927,61	26.310,14	25.050,67	63.288,42		21.096,14
<b>Março</b>	11.122,72	28.403,12	27.734,67	67.260,51		22.420,17
<b>Abril</b>	9.307,86	25.173,85	26.840,00	61.321,72		20.440,57
<b>Maió</b>	7.821,25	25.694,58	27.734,67	61.250,50		20.416,83
<b>Junho</b>	5.623,43	24.842,07	26.840,00	57.305,51		19.101,84
<b>Julho</b>	4.263,00	25.728,73	27.734,67	57.726,40		19.242,13
<b>Agosto</b>	4.330,94	25.462,27	27.734,67	57.527,88		19.175,96
<b>Setembro</b>	5.193,61	25.012,17	26.840,00	57.045,79		19.015,26
<b>Outubro</b>	7.873,07	25.600,00	27.734,67	61.207,74		20.402,58
<b>Novembro</b>	10.535,30	25.629,21	26.840,00	62.644,51		20.881,50
<b>Dezembro</b>	12.566,91	26.543,55	27.734,67	66.845,13		22.281,71
<b>Total</b>	112.225,21	313.200,27	326.553,39	751.978,86	-	250.659,60

A eficiência de uma bomba de calor, designada por *Coefficient of Performance (COP)*, representa o quociente entre a energia térmica fornecida pelo equipamento e a energia elétrica consumida pelo sistema. Quanto maior for o valor do COP mais eficiente é o sistema.

No caso do sistema proposto, estabeleceu-se um COP de 3 para a bomba de calor. Em termos práticos, isso significa que para gerar 3 kW·h de energia térmica é necessário 1 kW·h de energia elétrica. Sendo assim há um consumo de energia primária, neste caso de eletricidade, de

250.659,60 kW·h. Para as mesmas condições e, utilizando-se uma caldeira com um rendimento de 92 %, o consumo de energia primária cifrava-se nos 817.368,33 kW·h.

De salientar, também, que o preço médio da eletricidade é da mesma ordem de grandeza que o preço do gás propano, combustível atualmente utilizado nas Piscinas Municipais de Penacova.

Por forma a haver ainda mais rentabilidade energética, o sistema a propor inclui a instalação de sistema solar. Assim sendo, na tabela abaixo são apresentados os consumos energéticos nominais com a sua inclusão.

**Tabela 38 – Distribuição do consumo da instalação proposta**

Mês	Energia a fornecer [kW·h]								Consumo de energia primária Eletricidade [kW·h]
	Carga Térmica	Piscinas	Fornecido pelo solar	Necessidades das piscinas	AQS	Fornecido pelo solar	Necessidades das AQS	Total	
<b>Janeiro</b>	21.659,51	29.160,56	726,00	23.502,29	27.734,67	26.972,00	762,67	50.856,75	16.952,25
<b>Fevereiro</b>	11.927,61	26.310,14	938,00	20.873,66	25.050,67	24.361,00	689,67	37.989,42	12.663,14
<b>Março</b>	11.122,72	28.403,12	1.170,00	22.787,12	27.734,67	27.277,00	457,67	38.813,51	12.937,84
<b>Abril</b>	9.307,86	25.173,85	1.402,00	21.313,74	26.840,00	26.605,00	235,00	33.314,72	11.104,91
<b>Maió</b>	7.821,25	25.694,58	1.536,00	21.414,87	27.734,67	27.475,00	299,97	32.279,50	10.759,83
<b>Junho</b>	5.623,43	24.842,07	1.488,00	20.591,49	26.840,00	26.662,00	178,00	29.155,51	9.718,50
<b>Julho</b>	4.263,00	25.728,73	1.1536,00	20.916,66	27.734,67	27.555,00	179,67	28.305,40	9.435,13
<b>Agosto</b>	4.330,94	25.462,27	1.983,00	20.513,92	27.734,67	27.693,00	41,67	27.851,88	9.283,96
<b>Setembro</b>	5.193,61	25.012,17	1.536,00	20.281,62	26.840,00	26.714,00	126,00	28.795,79	9.598,60
<b>Outubro</b>	7.873,07	25.600,00	1.190,00	21.729,27	27.734,67	27.541,00	193,67	32.476,74	10.825,58
<b>Novembro</b>	10.535,30	25.269,21	819,00	22.078,17	26.840,00	26.347,00	493,00	35.478,51	11.826,17
<b>Dezembro</b>	12.566,91	26.543,55	675,00	23.557,78	27.734,67	27.080,00	654,67	39.090,13	13.030,04
<b>Total</b>	112.225,21	313.200,27	15.329,00	259.560,58	326.593,39	322.282,00	4.311,39	414.407,86	138.135,95

Como era expectável, com a inclusão de um sistema solar térmico haverá uma poupança energética de 112.523,65 kW·h.

Em relação ao sistema existente, a poupança energética é na ordem dos 878.441,58 kW·h, isto é, um decréscimo energético em cerca de 86.41 %.

Com este estudo, tentou-se a rentabilização máxima dos consumos. Na tabela 40 apresentam-se os custos relativos à situação atual e à solução a propor, com e sem sistema solar térmico.

Tabela 39 – Custo energético

	Situação atual (Gás Propano)	Situação proposta sem sistema solar térmico (Eletricidade)	Situação proposta com sistema solar térmico (Eletricidade)
Consumo de energia primária [kW·h]	1.016.577,53	250.659,62	138.135,95
Custo [€/kW·h]	0,19	0,168 <sup>7</sup>	
Custo energético [€]	193.149,73	42.110,82	23.206,84

O custo energético para a situação atual das Piscinas Municipais de Penacova é um pouco discrepante em relação ao valor real (126.026,32 €), o que é normal, pois em termos de projeto utilizaram-se perfis ocupacionais que se devem definir por lei consoante a tipologia de instalação, o que agrava o número de utilizadores e o número de dias da instalação. Por outro lado, nem todas as condições, tais como temperaturas e humidades relativas, são exatas. Contudo, optou-se por utilizar estas condições para se poder fazer a comparação entre o sistema atual e o sistema proposto.

Posto isto, com a inclusão de um sistema solar térmico, apoiado por uma bomba de calor e cobertura para os planos de água haverá uma poupança bastante significativa nos consumos energéticos, contudo tem de ter-se em conta o avultado investimento inicial da nova instalação.

Assim o grupo térmico será constituído por duas bomba de calor, diretamente ligadas a dois depósitos de inércia, a apoiar o sistema solar térmico, constituído por 72 painéis solares térmicos.

<sup>7</sup> Para Potência Contratada de 41,4 kVA – Valor médio em Tri-Horário - Preços de Referência no Mercado Liberalizado de Energia Elétrica e Gás Natural em Portugal Continental – Página 8

### 9.3. Constituintes Principais do Sistema Proposto

Do estudo realizado, o perfil energeticamente mais vantajoso é o das “Piscinas com Cobertura dos Planos de Água com Variação Natural das Condições Higrótérmicas”.

#### 9.3.1. Coletores Solares Térmicos

De acordo com a Publicação da *Caleffi*, “As instalações Solares”, a área de captação solar deve ser determinada através da seguinte expressão:

$$A_{cs} = c \times A_p \quad (57)$$

Para cada m<sup>2</sup> de plano de água devem ser utilizados 0,30 a 0,40 m<sup>2</sup> de área de captação. Para este estudo foi usado um valor médio.

$$A_{cs} = 0,375 \times 412,5 = 154,69 \text{ m}^2$$

Seguidamente, o número de coletores é dado por:

$$N = \frac{A_{cs}}{A_c} \quad (58)$$

Onde:

$A_{cs}$  – Área de captação solar [m<sup>2</sup>]

$c$  – Coeficiente

$A_p$  – Área do plano de água da piscina [m<sup>2</sup>]

$N$  – Número de coletores

$A_c$  – Área da superfície absorvente do coletor [m<sup>2</sup>]

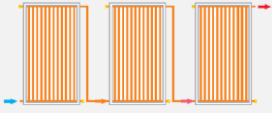
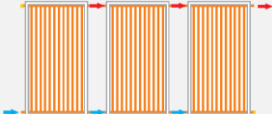
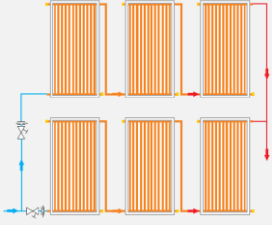
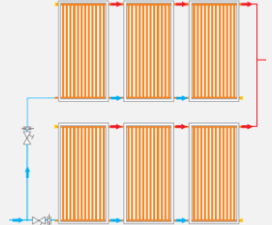
$$N = \frac{154,69}{2,37} \approx 66$$

Em todos os sistemas solares térmicos, é necessária uma análise energética ao sistema solar térmico. Sendo assim, e através, do *software Solterm 5.1*, é feita a respetiva simulação para a situação desejada.

Numa primeira fase da análise, e por se tratar de uma instalação solar com um porte considerável, deve ser bem definida a forma de montagem dos painéis solares.

Existem três formas de montagem de painéis solares: em série, em paralelo e as duas em simultânea, a designada montagem mista. Por sua vez, a montagem mista, divide-se em montagem mista em série e montagem mista em paralelo. Na tabela seguinte, estão representadas estas tipologias.

Tabela 40 – Tipologias de montagem de coletores solares

<i>Montagem em Série</i>	
<i>Montagem em Paralelo</i>	
<i>Montagem Mista</i>	
	

A montagem em série é adequada para temperaturas de saída elevadas, conjugadas com caudais de circulação bastante baixos devido às elevadas perdas de carga. No caso desta montagem, e visualizando a representação dela, na tabela 41, a eficiência do segundo e terceiro coletor é diferente da do primeiro. Contrariamente, a temperatura de entrada do segundo é igual à temperatura de saída do primeiro e a temperatura de entrada do terceiro é igual à temperatura de saída do segundo. Trata-se de uma montagem simples que pode ser aplicada em qualquer tipo de coletor.

A montagem em paralelo é aconselhável para caudais de recirculação elevados e temperaturas de serviço médias. Da imagem esquemática, pode concluir-se que a eficiência do segundo e do terceiro coletor é igual à do primeiro, pelo simples facto de a temperatura de entrada ser a mesma. Tal como a montagem em série, esta tipologia tem uma elevada simplicidade de instalação. Contudo só é possível ser realizada se o coletor solar em questão possuir quatro entradas sendo 4, o número máximo de coletores aconselháveis. São obtidos maiores rendimentos aliados às menores perdas de carga.

A montagem mista em série é usual quando a instalação possui mais de 5/6 coletores, sendo necessário dividir os painéis em grupos. Com essa ação, as perdas de pressão vão ser reduzidas ao máximo. O número máximo de coletores que podem ser ligados em série depende da altura manométrica da bomba. A montagem mista em paralelo também é aplicável quando se

pretendem dividir o número de painéis em grupos. Assim, as perdas de carga vão ser reduzidas mantendo-se a eficiência dos painéis solares num valor admissível.

Em suma, sendo o sistema solar para as Piscinas Municipais de Penacova, constituído, no mínimo por 66 painéis solares vai-se optar pela montagem mista dos coletores solares. Sendo assim, e para uniformizar a montagem vão ser contemplados 72 painéis solares. Cada grupo terá 4 painéis, o que perfaz um total de 18 grupos de painéis solares.

Com a definição do número de painéis solares concluída, passou-se à fase da construção do sistema pretendido no *Solterm 5.1*.

De um modo geral, são introduzidos as características dos painéis solares térmicos, normalmente já predefinidos, a capacidade de acumulação de AQS que, neste caso, se cifra nos 3000 litros, a tipologia do apoio energético, que para o sistema solar proposto para as Piscinas Municipais de Penacova é a eletricidade e, por fim, os tipos de utilização do sistema: as águas quentes sanitárias e o aquecimento de água das piscinas. Na figura 41 está representado o sistema definido no *software* de simulação.

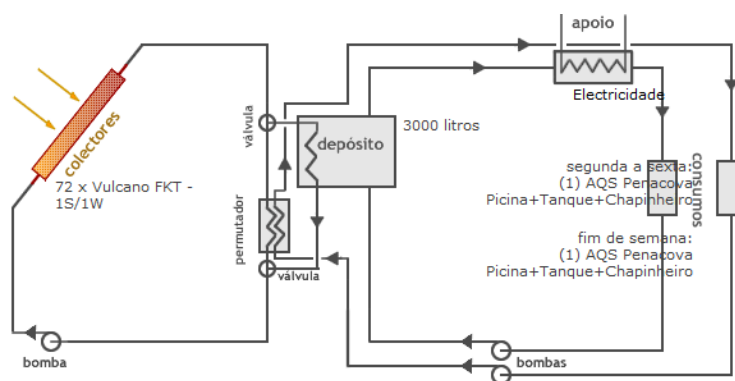


Figura 42 – Simulação *Solterm 5.1* do sistema proposto

Para a estimativa do desempenho energético, consideraram-se painéis solares cujas, características, são apresentadas na seguinte tabela.

**Tabela 41 – Características do coletor solar selecionado**

<i>Altura [m]</i>	2,07
<i>Largura [m]</i>	1,145
<i>Área Total [m<sup>2</sup>]</i>	2,37
<i>Área da Superfície Absorvente [m<sup>2</sup>]</i>	2,23
<i>Rendimento Ótico [%]</i>	80,3
<i>Coefficiente Global de Perdas de Primeiro Grau [W/m<sup>2</sup> · K]</i>	3,56
<i>Coefficiente Global de Perdas de Segundo Grau [W/m<sup>2</sup> · K]</i>	0,014
<i>Caudal Nominal [l/h]</i>	50

De salientar, que a eficiência do permutador externo foi assumida com o valor de 75%, uma vez que se trata de um permutador do tipo de placas.

Com o sistema completamente definido, resta introduzir manualmente os consumos horários de energia em cada hora para os diversos dias de cada mês.

As AQS foram definidas como utilização prioritária do sistema solar térmico, sendo o aquecimento das águas das piscinas a segunda prioridade do sistema. Os seus perfis horários médios, em kW·h, para cada uma das situações, são apresentados nas tabelas que se seguem.

**Tabela 42 – Perfil horário da necessidade energética média horária de AQS**

Horas Diárias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
2	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
3	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
4	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
5	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
6	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
7	19,19	19,19	19,19	19,19	19,19	19,19	19,19	19,19	19,19	19,19	19,19	19,19
8	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60
9	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60
10	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
11	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
12	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
13	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
14	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
15	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
16	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
17	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
18	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
19	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
20	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31	67,31
21	37,90	37,90	37,90	37,90	37,90	37,90	37,90	37,90	37,90	37,90	37,90	37,90
22	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
23	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
24	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48

Tabela 43 – Perfil horário da necessidade energética média para manter a temperatura da água

Horas Diárias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	272,99	273,13	266,80	244,17	241,84	243,71	247,22	244,28	249,10	239,85	243,69	248,62
6	273,50	273,75	267,50	244,33	241,43	244,73	248,18	242,43	246,37	240,32	244,59	249,10
7	23,95	23,92	23,36	21,44	21,11	20,77	20,51	20,57	20,75	21,10	24,54	21,78
8	24,17	24,12	23,52	21,55	21,21	20,83	20,57	20,63	20,86	21,26	21,73	21,99
9	24,09	24,00	23,36	21,39	21,05	20,65	20,36	20,42	20,67	21,12	21,63	21,93
10	27,50	27,39	26,67	24,45	24,10	23,68	23,37	23,41	23,68	24,18	24,72	25,03
11	27,32	27,20	26,45	24,27	23,91	23,49	23,15	23,18	23,45	23,98	24,54	24,85
12	27,12	27,02	26,26	24,10	23,74	23,32	22,95	22,96	23,22	23,77	24,35	24,67
13	26,97	26,87	26,09	23,95	23,61	23,19	22,80	22,79	23,05	23,60	24,19	24,52
14	26,86	26,76	25,96	23,86	23,53	23,11	22,70	22,69	22,95	23,49	24,10	24,42
15	26,85	26,74	25,92	23,84	23,51	23,08	22,68	22,66	22,91	23,47	24,10	24,41
16	26,92	26,79	25,97	23,87	23,55	23,13	22,74	22,72	22,95	23,52	24,16	24,48
17	27,04	26,91	26,10	23,97	23,64	23,23	22,86	22,83	23,08	23,64	24,28	24,59
18	27,16	27,06	26,28	24,13	23,78	23,38	23,04	23,01	23,28	23,81	24,40	24,70
19	27,26	27,18	26,44	24,30	23,96	23,58	23,24	23,23	23,48	23,95	24,51	24,80
20	27,35	27,28	26,58	24,44	24,12	23,76	23,44	23,43	23,64	24,06	24,59	24,87
21	23,61	23,56	22,95	21,08	20,78	20,44	20,13	20,12	20,30	20,69	21,20	21,47
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Estando todos os parâmetros definidos no *Solterm 5.1*, obteve-se a seguinte análise energética:

**Tabela 44 – Análise energética *Solterm 5.1***

	<b>Rad. Horiz.</b> [kW · h/m <sup>2</sup> ]	<b>Rad. Inclín.</b> [kW · h/m <sup>2</sup> ]	<b>Desperdiçado</b> [kW · h]	<b>Fornecido</b> [kW · h]	<b>Carga</b> [kW · h]	<b>Apoio</b> [kW · h]
<b>Janeiro</b>	56	90	-	27.698	56.875	29.176
<b>Fevereiro</b>	73	106	-	25.298	51.366	26.068
<b>Março</b>	108	133	-	28.447	56.148	27.701
<b>Abril</b>	149	160	-	28.007	52.018	24.011
<b>Maió</b>	182	177	-	29.011	53.429	24.418
<b>Junho</b>	191	178	-	28.150	51.681	23.531
<b>Julho</b>	214	205	-	29.421	53.457	24.036
<b>Agosto</b>	195	204	-	29.676	53.196	23.520
<b>Setembro</b>	136	161	-	28.250	51.861	23.611
<b>Outubro</b>	101	137	-	28.731	53.048	24.317
<b>Novembro</b>	65	103	-	27.165	52.107	24.942
<b>Dezembro</b>	53	90	-	27.755	54.288	26.533
<b>Anual</b>	1523	1745	-	337.610	639.474	301.864

Para as condições deste sistema solar térmico obtém-se uma fração solar de 52,8 %.

### 9.3.2. Grupo térmico

Os sistemas para fins de aquecimento utilizam, maioritariamente, como unidade geradora de calor dois tipos de equipamentos: caldeiras de água quente ou bombas de calor. Para a seleção desses equipamentos é necessário serem conhecer as potências térmicas associadas, estando elas apresentadas na seguinte tabela.

Tabela 45 – Potência requerida no grupo térmico

	Piscina sem cobertura dos planos de água com manutenção das condições higrotérmicas	Piscina sem cobertura dos planos de água com variação natural das condições higrotérmicas	Piscina com cobertura dos planos de água com manutenção das condições higrotérmicas	Piscinas com cobertura dos planos de água com variação natural das condições higrotérmicas
Potência [kW]	329,93	276,15	315,85	252,66

O valor da potência requerida corresponde ao dia mais desfavorável em termos de energia a fornecer, para os quatro perfis, inicialmente definidos. Deste modo, garante-se que, no pior dos casos, o sistema, consegue satisfazer todas as necessidades de energéticas.

Como referido anteriormente, o perfil selecionado para o sistema a propor foi as “*Piscinas com cobertura dos planos de água com variação natural das condições higrotérmicas*”. Para esta situação, e com a adição de um permutador de calor na zona de saída de água das piscinas, torna-se a situação energeticamente mais vantajosa para a seleção do grupo térmico.

Atualmente as Piscinas Municipais de Penacova possuem duas caldeiras, com potência igual a 232,6 kW, para realizar o aquecimento de águas. Contudo, não se trata da solução mais vantajosa. Uma solução energeticamente mais eficiente passa pela inclusão de bombas de calor, ao invés do equipamento atualmente instalado.

## 9.4. Seleção de Equipamentos

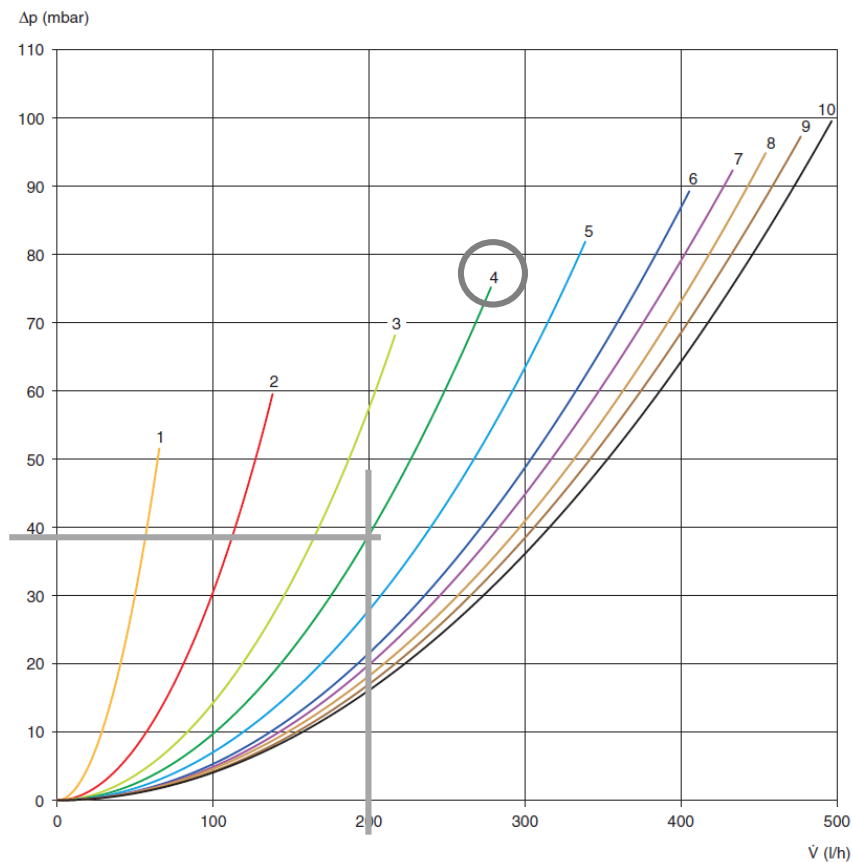
Neste subcapítulo são selecionados os principais equipamentos a incluir no novo sistema para as Piscinas Municipais de Penacova.

### 9.4.1. Coletores Solares Térmicos

Os coletores solares térmicos escolhidos são do tipo planos com cobertura, tendo-se como equipamento de referência os coletores **Vulcano FKT 1S** (Tabela 42, Capítulo 9.3.1).

O sistema será composto por 18 baterias, de quatro coletores ligados em série, o que perfaz 72 coletores solares.

Recorrendo a um ábaco, chega-se à perda de carga associada a uma bateria de quatro coletores ligados em série.



**Figura 43 – Perda de carga coletores solares**

Assim, para cada bateria tem-se uma perda de carga ( $\Delta p$ ) de 38 mbar.

### 9.4.2. Tubagens

As tubagens do circuito solar, primário e secundário, serão em cobre. Assim sendo, tendo o sistema 72 coletores solares, com um caudal de 3600 l/h tem-se as seguintes características de tubagem (Tabela 21, Manual *Junkers*):

Número de colectores	Caudal [l/h]	Velocidade de fluxo v e diferença de pressão R em tubos de cobre com uma dimensão de tubagem de:													
		15 × 1		18 × 1		22 × 1		28 × 1,5		35 × 1,5		42 × 1,5		54 × 2	
		v [m/s]	R [mbar/m]	v [m/s]	R [mbar/m]	v [m/s]	R [mbar/m]	v [m/s]	R [mbar/m]	v [m/s]	R [mbar/m]	v [m/s]	R [mbar/m]	v [m/s]	R [mbar/m]
38	1900	-	-	-	-	-	-	-	-	0,66	2,22	0,44	0,86	-	-
40	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	0,69	2,39	0,47	0,96	-	-
42	2100	-	-	-	-	-	-	-	-	0,73	2,64	0,49	1,03	-	-
44	2200	-	-	-	-	-	-	-	-	0,76	2,83	0,51	1,10	-	-
46	2300	-	-	-	-	-	-	-	-	0,79	3,2	0,54	1,22	-	-
48	2400	-	-	-	-	-	-	-	-	0,83	3,29	0,56	1,3	-	-
50	2500	-	-	-	-	-	-	-	-	0,86	3,5	0,58	1,38	-	-
54	2700	-	-	-	-	-	-	-	-	0,93	4,01	0,63	1,59	-	-
58	2900	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	4,55	0,67	1,77	0,41	0,55
62	3100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,72	2,0	0,44	0,62
66	3300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,77	2,25	0,47	0,7
70	3500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,81	2,46	0,5	0,78
74	3700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,86	2,73	0,52	0,83
78	3900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,91	3,01	0,55	0,92
82	4100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,95	3,24	0,58	1,0
86	4300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	3,54	0,61	1,1
90	4500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,64	1,19
94	4700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,67	1,29
98	4900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,69	1,36
102	5100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,72	1,46

Figura 44 – Características tubagem circuito primário

Recorrendo a uma interpolação para 72 coletores, têm-se as seguintes possibilidades:

Tabela 46 – Tubagem para a instalação solar

<i>Tubo Cobre 42 × 1,5</i>		<i>Tubo Cobre 54 × 2</i>	
<i>V</i> <i>[m/s]</i>	<i>R</i> <i>[mbar/m]</i>	<i>V</i> <i>[m/s]</i>	<i>R</i> <i>[mbar/m]</i>
0,835	2,595	0,510	0,805

Nesta situação poderia optar-se por um tubo de cobre de diâmetro exterior de 42 ou 54 mm. Uma vez que a instalação já tem um porte significativo optou-se pelo tubo de cobre de 54 mm. Assim por cada metro de tubagem existente da instalação tem-se uma perda de carga bastante mais reduzida.

### 9.4.3. Circulador Solar

O circulador solar é dimensionado tendo-se em conta o comprimento equivalente do circuito primário, o seu desnível e o seu caudal.

Tabela 47 – Dados de seleção do circulador solar

<i>Tubagem [m]</i>	45,95
<i>Curvas 90° - 54 mm</i>	48
<i>Tês - 54mm</i>	12
<i>Perda de Carga Permutadores [m.c.a.]</i>	3,01
<i>Perda de Carga Coletores [m.c.a.]</i>	5,32
<i>Comprimento Equivalente [m]</i>	146,75
<i>Altura Manométrica [m.c.a.]</i>	20,37
<i>Caudal [m<sup>3</sup>/h]</i>	3,6

Recorrendo ao *software* de dimensionamento da *WebCaps* da *Grundfos* chegou-se ao equipamento de referência: **Grundfos CR 3-7**.

### 9.4.4. Vaso de Expansão Solar

Este componente é dimensionado tendo em conta a informação existente no Manual de Instalação de Sistemas Solares Térmicos. Assim sendo, o volume do vaso de expansão é dado pelas seguintes expressões:

$$V_f = (V_D + V_V) \times \frac{P_e + 1}{P_e - P_a} \quad (59)$$

$$V_D = V_{col} + V_r + (\xi \times V_A) \quad (60)$$

$$P_a = 1bar + p_{estatica} = 1bar + (H_{manometrica} \times 1bar/m) \quad (61)$$

$$P_e = 0,9 \times P_{\text{válvula de segurança}} \quad (62)$$

Onde:

$V_f$  – Volume do vaso de expansão [l]

$V_A$  – Volume total da instalação [l]

$V_D$  – Volume de expansão total [l]

$V_{col}$  – Volume dos coletores [l]

$V_r$  – Volume da ligação hidráulica [l]

$V_V$  – Volume de proteção contra sub-pressurização [l]

$P_a$  – Pressão Estática do circuito a frio [bar]

$P_e$  – Pressão máxima de trabalho do circuito [bar]

**Tabela 48 – Dados de seleção do vaso de expansão solar**

<i>Altura Manométrica [m]</i>	10,75
<i>Volume Coletores [l]</i>	102,96
<i>Volume Instalação [l]</i>	370,05
<i>Pressão Válvula. Segurança [bar]</i>	6
<i><math>\varepsilon</math> [%]</i>	1,71
<i>Volume Expansão Total [l]</i>	124,51
<i>Volume Vaso de Expansão [l]</i>	481,10

Como equipamento de referência tem-se: **Caleffi 556500** de 500 l. Vaso de expansão soldado, para instalações de aquecimento. Pressão máxima de 6 bar para volumes até 600 litros. Pressão de pré-carga de 1,5 bar e temperatura máxima de 90 °C.

#### 9.4.5. Válvula de Segurança

O sistema solar será munido de uma válvula de segurança por forma a proteger o mesmo em caso de subpressões. A válvula de segurança irá estabelecer uma pressão máxima ao sistema de 6 bar correspondente a uma temperatura máxima de 158,8 °C. Como equipamento de referência: **Caleffi 527**, para tubagem de 2".

### 9.4.6. Purgador de Ar Automático

Nos pontos mais elevados da instalação serão adicionados purgadores de ar automáticos, isto é, no ponto mais alto de cada bateria de coletores solares. Assim, como equipamento de referência tem-se o equipamento: **Caleffi 5022 VALCAL**. É selecionado para a pressão máxima de 6 bar, pressão da válvula de segurança.

### 9.4.7. Grupo Térmico – Bomba de Calor

A bomba de calor é dimensionada tendo em conta o dia mais desfavorável. Assim, garante-se um patamar de segurança no que toca ao grupo térmico da instalação.

Serão utilizadas duas bombas de calor com uma potência calorífica nominal de 115,8 kW, estando próximas da potência requerida de 252,66 kW, referente ao pior dia do ano. As bombas de calor são do tipo ar-água de alta temperatura. O equipamento de referência: **Carrier 61 WG90**

Esta bomba de calor garante água quente a 65 °C.

Tabela 49 – Características principais da bomba de calor

<i>Capacidade Calorífica [kW]</i>	115,8
<i>COP</i>	5,3
<i>Refrigerante</i>	R410A

#### 9.4.7.1 Depósito de Inércia

O sistema será dotado de dois depósitos de inércia, diretamente ligados às bombas de calor. Com a sua inclusão são evitados arranques sucessivos e frequentes dos compressores, protegendo esse equipamento contra aquecimentos anormais, lubrificação incorreta e possíveis golpes de líquido, resultantes da má regulação da válvula de expansão.

Pelo Revista n.º 28 da *Caleffi – Hidráulica*, os depósitos de inércia podem ser dimensionados considerando:

- 20 a 25 litros para cada kW fornecido pela bomba de calor para instalações com piso radiante;
- 40 a 45 litros para cada kW fornecido pela bomba de calor para instalações com radiadores e ventiloconvetores.

Sendo as temperaturas de operação do sistema (65 °C) semelhante às dos radiadores optou-se por utilizar a segunda consideração, ou seja, 40 litros por cada kW fornecidos pelas bombas de calor.

Assim sendo, serão necessários dois depósitos com um volume nominal unitário de 4000 litros, munido de uma serpentina. Como equipamento de referência: **Lapesa MV4000IS**.

**Tabela 50 – Características principais do depósito de inércia**

<i>Capacidade [litros]</i>	4000
<i>Superfície de Permuta [m<sup>2</sup>]</i>	6,1
<i>Temperatura Máxima de acumulação [°C]</i>	100
<i>Pressão Máxima de Funcionamento [bar]</i>	6

#### **9.4.8. Cobertura do plano de água**

Com este equipamento espera-se uma poupança assinalável na reposição de água, poupança em produtos químicos e, sendo estas piscinas aquecidas, uma poupança energética significativa. As coberturas para os planos de água das piscinas serão em PVC. O seu acionamento será feito automaticamente através de motores elétricos.

A escolha recaiu na opção automática, pois os três tanques possuem uma área de plano de água bastante considerável, o que levava a grande esforço humano e económico, a implementação de uma cobertura acionada manualmente.

As coberturas serão usadas em dois, dos três tanques existentes no complexo: uma cobertura para o tanque desportivo, cuja área se cifra nos 312,5 m<sup>2</sup> e outra delas no tanque de aprendizagem, com uma área total de 75m<sup>2</sup>.

## 9.5. Funcionamento do Sistema

Como referido anteriormente, o sistema proposto irá dispor de dois tipos de fontes de energia: um sistema solar térmico, composto por 72 painéis solares, e um grupo térmico de apoio, constituído por duas bombas de calor com uma potência nominal unitária de 115,8 kW, que irão complementar o fornecimento de energia do sistema solar, de forma a manter a temperatura da água das piscinas e satisfazer as necessidades de AQS.

As temperaturas nominais de funcionamento são apresentadas na tabela que se segue:

**Tabela 51 – Temperaturas de funcionamento**

	Temperatura [°C]
<b>Tanque Desportivo</b>	28
<b>Tanque de Aprendizagem</b>	31
<b>Chapinheiro</b>	31
<b>Depósitos de Inércia (Bomba de Calor)</b>	62
<b>Termoacumulador de AQS</b>	60

De modo a serem garantidas as temperaturas da água no Tanque Desportivo, no Tanque de Aprendizagem e no Chapinheiro, bem como no depósito de AQS, o sistema proposto irá funcionar com um controlo automatizado. Cada umas das piscinas, bem como o termoacumulador, irão estar munidos de sondas de temperatura e termostatos diretamente ligados ao campo de coletores e às duas bombas de calor, sendo cada um dos circuitos comandado por válvula modulante.

O circulador do circuito solar irá funcionar enquanto os coletores apresentarem um ganho útil de energia face a qualquer tanque/depósito e irá parar quando a temperatura à saída dos coletores for quase igual à temperatura no tanque desportivo, devido à radiação ser baixa ou o consumo elevado. O controlo realiza-se, como referido anteriormente, através de um regulador de temperatura diferencial e sondas de temperatura. Uma das sondas será colocada na parte superior do campo de coletores e as outras na zona inferior do depósito e tanques. O sistema de controlo compara, continuamente, as temperaturas no depósito e tanques com as respetivas temperaturas de “set-point” enviando sinais aos atuadores das válvulas de três vias para manterem as temperaturas desejadas ligando os respetivos circuladores sempre que necessário.

Caso o sistema de aquecimento solar térmico não tenha a capacidade de satisfazer todas as necessidades, serão ativadas as bombas de calor, também com um sistema de controlo semelhante ao do sistema de aquecimento solar, descrito anteriormente. A cada bomba de calor está ligado um depósito de inércia com um volume unitário de 4000 l. Estes depósitos têm a

função de acumularem energia, de modo a evitar os arranques e paragens sucessivos das bombas de calor. Os depósitos de inércia possuem sondas de temperatura, que enviam os sinais aos controladores de temperatura de cada depósito. Sendo a temperatura máxima das bombas de calor 65 °C, foi definida a temperatura de 62 °C, ou seja, um  $\Delta T = 3$  °C, para que as bombas de calor sejam acionadas, ligando as respetivas circuladoras.



## 10. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

### 10.1. Conclusões

A implementação de sistemas utilizando energias renováveis é cada vez mais usual e inevitável. O aproveitamento deste tipo de energias impulsiona a oferta de energia de uma forma limpa, estando aliada a um decréscimo das emissões dos gases de efeito de estufa.

No que toca às instalações desportivas, nas quais se inserem as piscinas, a utilização de energias renováveis contribui para a diminuição do consumo de energia primária. Devido a este facto, este trabalho estudou a estrutura de consumos energéticos existentes e propõe a instalação de sistemas mais eficientes aliados a fontes de energias renováveis.

A realização da presente dissertação teve como objetivo primordial a implementação de um sistema de aquecimento solar para o aquecimento de água das Piscinas Municipais de Penacova e para as necessidades de AQS do complexo. Para tal foram realizadas diversas simulações energéticas de acordo com os parâmetros da instalação existente e da instalação a propor.

Deste modo e, de acordo com os resultados obtidos, podem-se enumerar as seguintes conclusões:

1. Dos quatro perfis energéticos estudados, o mais favorável, será o de *“Piscinas com Cobertura dos Planos de Água com Variação Natural das Condições Higtotérmicas”*;
2. O perfil ocupacional foi definido tendo em conta o Anexo XV do DL 79/2006 aliado à informação presente na Diretiva CNQ 23/93;
3. As perdas térmicas associadas ao plano de água das piscinas, sem e com uso de cobertura influenciam bastante a parcela de Perdas Térmicas por Evaporação, 85,97% e 41,15%, respetivamente, fazendo com que, no sistema a propor, seja contemplada cobertura para os planos de água das piscinas;
4. Em termos do total de perdas de energia pelo plano de água, sem e com uso de cobertura, nota-se um decréscimo de cerca de 79% com o uso de cobertura no plano de água;
5. Os consumos associados às Piscinas Municipais, na ordem dos 935.251,33 kW·h, segundo a análise energética, são satisfeitos com recurso a um grupo térmico constituído por duas caldeiras a gás propano (resultados obtidos usando as mesmas condições de projeto para o sistema a proposto);

6. Os consumos reais, no ano de 2012, cifram-se nos 547.005,96 kW·h, valor um pouco discrepante em relação ao obtido na simulação;
7. O sistema a propor contempla o uso de uma energia renovável – energia solar – aliada a um grupo térmico constituído por duas bombas de calor irreversíveis, bem como, a inclusão de uma cobertura para o plano de água das piscinas, como referido anteriormente. A inclusão do sistema solar, fará com que haja uma poupança energética na ordem dos 55,1 %;
8. Em termos económicos, relativamente ao sistema atual, o sistema proposto, como era expectável, apresenta uma grande redução de custos a nível energético. Da simulação, para as condições de projeto e perfil ocupacional definidos, haverá uma poupança anual de 169.942,89 € de energia primária;

Por forma a haver uma melhoria contínua, em termos energéticos, ambientais e económicos, das instalações das Piscinas Municipais de Penacova, para além da melhoria do sistema térmico, poderão ser tomadas medidas qualitativas no que toca à racionalização de consumos energéticos relacionados com a produção, distribuição e consumo de água quente, com o intuito de reduzir os consumos dos diversos equipamentos que o constituem, tais como: afinação dos queimadores das caldeiras, inclusão de bombas circuladoras com velocidade variável e maior eficiência energética, melhoramento da rede de tubagem de água quente, através da colocação de isolamento térmico, instalação de chuveiros apetrechados com temporizadores e, como referido anteriormente, a inclusão de cobertura do plano de água das piscinas.

Assim e, de modo a poderem ser comparados os dois sistemas, o existente e o proposto, optou-se por seguir os perfis de ocupação existentes na legislação, um parâmetro que inflacionou os valores da simulação dos consumos da instalação existente, relativamente aos consumos reais. Contudo, em termos comparativos, com o sistema proposto esperam-se grandes poupanças energéticas anuais.

Em termos económicos, através de uma análise simplificada no *software Solterm 5.1*, para um custo inicial de 130.000,00 € do sistema proposto, prevê-se que ao 8º ano haverá recuperação do capital investido.

## 10.2. Trabalhos Futuros

De modo a melhorar o desempenho das Piscinas Municipais de Penacova e, até de outras instalações equiparadas, com um nível de instalação igualmente complexo, devem ser analisadas as melhores soluções, podendo ser elaborados ainda mais estudos, tais como:

1. Elaboração de um traçado detalhado de todas as tubagens e seus acessórios de modo a poderem ser contabilizadas todas as perdas de carga, bem como o dimensionamento das estruturas de fixação dos coletores solares;
2. Elaboração de esquema pormenorizado da distribuição de coletores e suas ligações hidráulicas;
3. Elaboração de um estudo económico detalhado, incluindo todos os componentes, tubagens e seus constituintes, assim como mão-de-obra, de forma a determinar, com maior rigor, o período de retorno do investimento;
4. Elaboração de um estudo para melhoria do sistema de distribuição de ar do complexo, aliado ao sistema proposto de aquecimento de água das piscinas e AQS, analisando as diversas transformações que o ar sofre dentro da UTA e determinação da energia latente libertada no processo de desumificação e aproveitada pelo sistema de compressão de vapor no interior da UTA;
5. Elaboração de um estudo para melhoria das redes de tubagens de água quente de modo a serem reduzidas as perdas térmicas a si associadas;
6. Elaboração de um Plano de Manutenção Anual para todas as instalações do complexo;
7. Sensibilização dos utentes para a necessidade de melhorarem os seus comportamentos na utilização das diversas instalações, de modo a haver melhorias nos consumos energéticos das mesmas;
8. Elaboração de um estudo energético, a todo o complexo, com o intuito de desenvolver um Certificado Energético.



## BIBLIOGRAFIA

- Álvares L., Azevedo, S., Tavares, J., (2005), *Manual de Boas Práticas Energéticas – ISR Dep. Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Universidade de Coimbra*. Coimbra: BCSD Portugal.
- AQSSP (2003), *Colectores Solares Térmicos para Aquecimento de Água – Pavilhões Desportivos e Piscinas*.
- ASHRAE Handbook*, (2005).
- Barbosa, H., (2007), *III Congresso da Associação Portuguesa de Profissionais de Piscinas, Instalações Desportivas e Lazer*. Boletim informativo da Associação Portuguesa de Profissionais de Piscinas, Instalações e Lazer.
- Beleza, V., (2009), *Medidas Fundamentais para a Eficiência Energética e Qualidade da Água em Piscinas*. In <http://www.scribd.com/doc/11583441/ApresentacaoAnsiaoJan2009VMB>
- Beleza, V., Santos, R., Pinto, M., (2007), *Piscinas – Tratamento de Águas e Utilização de Energia*. Porto: Editora Politema.
- Beleza, V., Santos, R., Pinto, M., (2009), *Processos de Reaproveitamento de Água e Energia em Piscinas, Seminário Nacional de Gestão, Manutenção e Tratamento de Águas em Piscinas: 23, 24 de Abril de 2009*. Mafra: CIMAI.
- Beleza, V., Sarmiento, J., (2000), *O Parque de Piscinas Olímpicas em Portugal. Uma Experiência na Piscina Municipal da Campanhã*. XII Congresso da Associação Nacional de Técnicos de Natação. Vila Real.
- Boavida, M., (2006), *Eurocover: Produção Nacional de Coberturas Têxteis para Piscinas*. Piscinas XXI e Instalações Desportivas, Ano XIII.
- Cardoso, J., Rodrigues J., (2006), *Peter Drucker – O essencial sobre a vida e a obra do homem que inventou a gestão*. Lisboa: Editorial Caminho.
- Carvalho, L., Barbosa, J., Teixeira, T., Calado, V., (2012), *Manual de Instalação de Sistemas Solares Térmicos*. Porto: Publíndústria.
- CENFIM (2008), *Manual de Formação para Instaladores de Energia Solar*.
- Chivetta, C., (2004), *Air Apparent. Athletic Business Consult*. In <http://www.athleticbusiness.com/>
- Costa, C., (2000), *Qualidade e Piscinas*. In A. Correia (Ed.), *Serviços de Qualidade no Desporto. Piscinas, Polidesportivos e Ginásios*. Lisboa: Ministério da Juventude e do Desporto. CEFD.

- DGEG (2014), *Direção-Geral de Energia e Geologia – Energias Renováveis*. In <http://www.dgeg.pt>
- Ferreira, J., Neves, J., Caetano, A., (2001), *Manual de Psicossociologia das Organizações*. Lisboa: McGraw-Hill.
- Filipe, J., Coelho, M., Ferreira, M., (2007), *O Drama dos Recursos Comuns – À Procura de Soluções para os Ecossistemas em Perigo*. Lisboa: Edições Sílabo.
- Gallardo, L., Jiménez, A., (2004), *La gestión de los servicios desportivos de piscinas*. FPN.
- GREENPRO (2004), *Energia Solar Térmica – Manual sobre tecnologias, projecto e instalação*.
- Griffiths, T., Edwards, M., Scott, R., (2005), *Aquaty Facilities. In Facility design and management for health, fitness, physical activity, recreation, and sports facility development*. Thomas Sawyer.
- Lourenço, J., (2007), *Clube Fluvial Portuense: Unidades Desumificadores ETT eleitas como a melhor solução para o tratamento do ar*. Piscinas XXI e Instalações Desportivas, Ano XVI.
- Marques, S., (2007), *Energias Fósseis versus Energias Renováveis: proposta de intervenção de Educação Ambiental no 1º Ciclo do Ensino Básico*.
- Neto (2009), *Tendências de Evolução do Mercado Energético*. Lisboa: Gradiva.
- Nunes, P., (2006), *Conceito de Gestão e de Gestor*. In [http://www.notapositiva.com/trab\\_professores/textos\\_apoio/gestao/01conc\\_gestao.html](http://www.notapositiva.com/trab_professores/textos_apoio/gestao/01conc_gestao.html)
- Oliveira, J., (2005), *Gestão Ambiental*. Lisboa: Lidel.
- Paiva (2009), *Energias e Alterações Climáticas*. Lisboa: Gradiva.
- Pinto, A., Sarmiento, J. (2009), *Gestão de Instalações Desportivas*. In <http://www.forumolimpico.org/?q=node/304>
- RETSreen (2004), *Clean Energy Project Analysis: Solar Water Heating Project Analysis*. In <http://www.retscreen.net>
- Rodrigues, J., (2002), *Quando o management largou o bibe*. In <http://www.janelanaweb.com/manageme/drucker5.html>
- Roriz, L., (2007), *Climatização*. Alfragide: Edições Orion.
- Sarmiento, J., (2005), *Qualidade na Gestão de Instalações Desportivas*. Seminário de Gestão de Desporto – Universidade da Madeira. Madeira.
- Soares, S., (2004), *Tratamento do Ar e da Água de Piscinas Públicas*. Manual para técnicos de atividades aquáticas. Xistarca.
- Souza, A., Guerra, J. C., (2007), *Sustentabilidade e economia usando energia solar: aquecimento da piscina UTFPR*. In

<http://www.docstoc.com/docs/21080185/SUSTENTABILIDADE-E-ECONOMIA-USANDO-ENERGIA-SOLAR-AQUECIMENTO-DA>

Teixeira, M. F., (1994), *Curso de manutenção e gestão de energia em piscinas cobertas*. In Curso para técnicos de manutenção de piscinas. FPN.

US Departement of Energy, (2009), *Swimming Pool Covers*. In [http://www.energysavers.gov/your\\_home/water\\_heating/index.cfm/mytopic=13140](http://www.energysavers.gov/your_home/water_heating/index.cfm/mytopic=13140).

Vallejo, M., Zafra, A., Rodríguez, M., Hidalgo, A., (2008), *La temperatura del agua de las piscinas cubiertas climatizadas: nunca a gusto de todos*. In A. Piscinas XXI.

## LEGISLAÇÃO CONSULTADA

Circular Normativa n.º 14/DA de 21 de Agosto de 2009: *Programa de Vigilância Sanitária de Piscinas*. Direção Geral de Saúde.

Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto, Diário da República

Decreto-Lei n.º 5/97 de 31 de Março, Diário da República.

Decreto-Lei n.º 65/97 de 31 de Março, Diário da República.

Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, Diário da República.

Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril, Diário da República.

Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, Diário da República.

Decretos-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto, Diário da República.

Diretiva CNQ n.º 23/93 (1993): *A Qualidade nas Piscinas de Uso Público*. Conselho Nacional de Qualidade.

LNEC – ITE50/2006: *Coefficiente de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*

NP 448:2007: *Aquecimento Solar; Instalações solares térmicas para aquecimento de piscinas; Regras de Dimensionamento, concepção e instalação*. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 15288-2:2009: *Piscinas – Parte 2: Requisitos de segurança para o funcionamento*. Instituto Português da Qualidade.

EN ISO 6946:1996: *Building components and building elements -- Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method*

EN ISO 13370:2007: *Thermal performance of buildings - Heat transfer via the ground -- Calculation methods*



## ANEXOS

Levantamento Dimensional									
<i>(Nos termos do artigo 12.º, n.º 2, alínea b))</i>									
Parede Exterior	Áreas por orientação [m²]								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
Parede Exterior	34,34		42,96		34,34		246,23		357,86
Vãos Envidraçados	Áreas por orientação [m²]								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
Envidraçados	137,47		20,36		140,23		130,30		428,37
<b>Cobertura Interior</b>									1271,20
<b>Parede Interior</b>									
Parede Interior 15									27,17
Parede Interior 30									22,06
<b>Parede em contato com o terreno</b>									66,50
<b>Pavimento interior</b>									770,24

Levantamento Dimensional						
<i>(Nos termos do artigo 12.º, n.º 2, alínea b))</i>						
Designação do Espaço	A <sub>i</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>u</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>i</sub> /A <sub>u</sub>	Tipo de espaço não útil	τ	T interior - Inverno [°C]
1. Central Técnica	1133,13	182,12	6,22	Circulação comum com abertura permanente para o exterior (área de abertura permanentes/volume total < 0,05 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	0,30	18,93
2. Arrumos – piso 0	19,32	28,32	0,68		0,80	5,48
3. Arrecadação/Arrumos – piso 0	24,00	0,00	>10	Circulação comum sem abertura direta para o exterior	0,00	27,00
4. Corredor/Átrio – piso 0	6,40	0,00	>10		0,00	27,00
5. Chuveiros de entrada nas piscinas	20,00	0,00	>10		0,00	27,00
6. Restaurante	65,63	53,20	1,23	Espaços comerciais	0,60	10,86
7. Entrada da bancada	4,00	22,80	0,18	Circulação comum com abertura permanente para o exterior (área de abertura permanentes/volume total < 0,05 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	0,80	5,48
8. Desvão	1271,17	1302,95	0,98	Desvão fracamente ventilado	0,90	2,79

Levantamento Dimensional				
(Nos termos do artigo 12.º, n.º 2, alínea b))				
Envolvente	Designação do espaço não útil	$h_i$ [W/m². °C]	Área [m²]	Temperatura da superfície interior da envolvente construtiva – Inverno [°C]
Parede exterior	-	7,69	357,86	24,75
Envidraçados	-		428,37	20,28
Cobertura interior	-		1271,17	24,84
Pavimento interior	1		720,98	24,67
Parede interior 15	2		19,32	20,40
Parede interior 15	3		24,00	24,83
Envidraçado interior	4		6,40	20,28
Parede interior 30	5		20,00	24,83
Parede interior 30	6		65,63	24,83
Envidraçado interior	7		4,00	20,28
Cobertura interior	8		1271,17	24,84
Parede em contato com o terreno	-		66,50	26,58
Temperatura média da superfície da envolvente construtiva ( $T_{enc}$ ) [°C]				24,34

<b>Envolvente Construtiva Exterior Vertical</b>					
<i>Vãos Envidraçados</i>					
<b>Elemento Construtivo</b>	<b>Espessura e [m]</b>	<b>Massa Específica <math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Calor Específico <math>C_p</math> [J/kg · K]</b>	<b>Cond. Térmica <math>\lambda</math> [W/m · °C]</b>	<b>Resistência Térmica R [m<sup>2</sup> · °C/W]</b>
Resistência Térmica Exterior	-	-	-	-	0,04
Vão envidraçado com vidro duplo. Caixilharia em alumínio do tipo Arkial, com quadricula. Vidro duplo incolor + incolor, espessura da lâmina de ar de 10 mm, espessura de (4 a 8 + 6 a 4) com $g_v = 0,78$ e coeficiente de transmissão térmica $U = 3,3$ W/m <sup>2</sup> · °C. Sem proteção solar. Com corte térmico.		2500	750	1,00	0,35
Resistência Térmica Interior	-	-	-	-	0,13
Coeficiente Global de Transmissão Térmica (U) [W/m <sup>2</sup> · °C]			2,86		
Capacidade de Acumulação de Energia (I) [W/m <sup>2</sup> · °C]			4,17		

<b>Envoltiva Construtiva Exterior Horizontal</b>					
<i>Pavimento Interior</i>					
<b>Elemento Construtivo</b>	<b>Espessura e [m]</b>	<b>Massa Específica <math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Calor Específico C<sub>p</sub> [J/kg·K]</b>	<b>Cond. Térmica <math>\lambda</math> [W/m·°C]</b>	<b>Resistência Térmica R [m<sup>2</sup>·°C/W]</b>
Resistência Térmica Exterior	-	-	-	-	0,04
Pavimento antiderrapante tipo <i>Sturkurt</i>	0,15	2300	1300	1,30	-
Camada de assentamento	0,15	1900	1085	1,30	-
Betão armado	1,60	2350	880	2,00	-
Reboco	0,10	1900	1085	1,30	-
Resistência Térmica Interior	-	-	-	-	0,13
Coeficiente Global de Transmissão Térmica (U) – Situação Ascendente - Verão [W/m <sup>2</sup> ·°C]			0,70		
Coeficiente Global de Transmissão Térmica (U) – Situação Descendente - Inverno [W/m <sup>2</sup> ·°C]			0,73		
Capacidade de Acumulação de Energia (I) [W/m <sup>2</sup> ·°C]			1186,85		

<b>Envolvente Construtiva Exterior Vertical</b>					
<i>Parede Exterior</i>					
<b>Elemento Construtivo</b>	<b>Espessura e [m]</b>	<b>Massa Especifica <math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Calor Especifico <math>C_p</math> [J/kg · K]</b>	<b>Cond. Térmica <math>\lambda</math> [W/m · °C]</b>	<b>Resistência Térmica R [m<sup>2</sup> · °C/W]</b>
Resistência Térmica Exterior	-	-	-	-	0,04
Reboco	0,02	1900	1085	1,3	-
Tijolo furado 30x20x11	0,11	-	-	-	0,27
Isolamento térmico (XPS)	0,03	32,5	-	0,037	-
Caixa-de-ar	0,01	-	-	-	-
Tijolo furado 30x20x11	0,11	662	835	-	0,27
Reboco	0,02	1900	1085	1,3	-
Resistência Térmica Interior	-	-	-	-	0,13
Coeficiente Global de Transmissão Térmica (U) [W/m <sup>2</sup> · °C]			0,64		
Capacidade de Acumulação de Energia (I) [W/m <sup>2</sup> · °C]			28,34		

<b>Envolvente Construtiva Exterior Vertical</b>					
<i>Parede em Contato com o Terreno</i>					
<b>Elemento Construtivo</b>	<b>Espessura e [m]</b>	<b>Massa Especifica <math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Calor Especifico <math>C_p</math> [J/kg · K]</b>	<b>Cond. Térmica <math>\lambda</math> [W/m · °C]</b>	<b>Resistência Térmica R [m<sup>2</sup> · °C/W]</b>
Gravilha – Granito	0,75	2600	-	2,80	-
Isolante tipo <i>Floormate</i> 200	0,02	25	-	0,0028	-
Impermeabilização – PVC flexível	0,01	1200	-	0,14	-
Betão armado	1,40	2350	880	2,00	-
Reboco	0,02	1900	1085	1,30	-
Resistência Térmica Interior	-	-	-	-	0,13
Coeficiente Global de Transmissão Térmica (U) [W/m <sup>2</sup> · °C]			0,12		
Capacidade de Acumulação de Energia (I) [W/m <sup>2</sup> · °C]			815,68		

<b>Envolvente Construtiva Interior Vertical</b>					
<i>Parede Interior 30</i>					
<b>Elemento Construtivo</b>	<b>Espessura e [m]</b>	<b>Massa Especifica <math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Calor Especifico <math>C_p</math> [J/kg · K]</b>	<b>Cond. Térmica <math>\lambda</math> [W/m · °C]</b>	<b>Resistência Térmica R [m<sup>2</sup> · °C/W]</b>
Resistência Térmica Interior	-	-	-	-	0,13
Reboco	0,02	1900	1085	1,3	-
Tijolo furado 30x20x11	0,11	-	-	-	0,27
Isolamento tipo <i>Wallmate</i> (XPS)	0,03	32,5	-	0,037	-
Caixa-de-ar	0,01	-	-	-	-
Tijolo furado 30x20x11	0,11	662	835	-	0,27
Reboco	0,02	1900	1085	1,3	-
Resistência Térmica Interior	-	-	-	-	0,13
Coeficiente Global de Transmissão Térmica (U) [W/m <sup>2</sup> · °C]			1,61		
Capacidade de Acumulação de Energia (I) [W/m <sup>2</sup> · °C]			28,34		

<b>Envolvente Construtiva Interior Vertical</b>					
<i>Parede Interior 15</i>					
<b>Elemento Construtivo</b>	<b>Espessura e [m]</b>	<b>Massa Especifica <math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Calor Especifico <math>C_p</math> [J/kg · K]</b>	<b>Cond. Térmica <math>\lambda</math> [W/m · °C]</b>	<b>Resistência Térmica R [m<sup>2</sup> · °C/W]</b>
Resistência Térmica Interior	-	-	-	-	0,13
Reboco	0,02	1900	1085	1,3	-
Tijolo furado 30x20x11	0,11	-	-	-	0,27
Reboco	0,02	1900	1085	1,3	-
Resistência Térmica Interior	-	-	-	-	0,13
Coeficiente Global de Transmissão Térmica (U) [W/m <sup>2</sup> · °C]			1,61		
Capacidade de Acumulação de Energia (I) [W/m <sup>2</sup> · °C]			28,34		

<b>Envoltiva Construtiva Interior Horizontal</b>					
<i>Cobertura Interior</i>					
<b>Elemento Construtivo</b>	<b>Espessura e [m]</b>	<b>Massa Específica <math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Calor Específico <math>C_p</math> [J/kg · K]</b>	<b>Cond. Térmica <math>\lambda</math> [W/m · °C]</b>	<b>Resistência Térmica R [m<sup>2</sup> · °C/W]</b>
Resistência Térmica Exterior	-	-	-	-	0,04
Chapa de aço	0,005	7800	-	50,00	-
EPS	0,04	14	-	0,042	-
Chapa de aço	0,005	7800	-	50,00	-
Teto falso	0,125	800	1215	0,25	-
Resistência Térmica Interior	-	-	-	-	0,13
Coeficiente Global de Transmissão Térmica (U) – Situação Ascendente - Verão [W/m <sup>2</sup> · °C]				0,63	
Coeficiente Global de Transmissão Térmica (U) – Situação Descendente - Inverno [W/m <sup>2</sup> · °C]				0,60	
Capacidade de Acumulação de Energia (I) [W/m <sup>2</sup> · °C]				33,75	

<b>Consumos de Combustível para Aquecimento - Gás Propano</b>						
<b>Mês</b>	<b>Ano 2010</b>		<b>Ano 2011</b>		<b>Ano 2012</b>	
	<b>Quantidade [kg]</b>	<b>Valor Líquido [€]</b>	<b>Quantidade [kg]</b>	<b>Valor Líquido [€]</b>	<b>Quantidade [kg]</b>	<b>Valor Líquido [€]</b>
<i>Janeiro</i>	13.023	12.797,58	16.372	16.768,49	15.661	17.298,20
<i>Fevereiro</i>	10.215	10.598,85	9.653	10.222,82	10.446	11.991,39
<i>Março</i>	11.603	12.333,52	14.391	15.164,03	13.102	16.137,28
<i>Abril</i>	8.545	9.246,34	0	0,00	7.944	10.142,42
<i>Mai</i>	6.762	7.492,03	4.234	4.608,92	7.886	9.795,20
<i>Junho</i>	3.897	4.317,72	3.717	4.046,14	7.597	9.185,46
<i>Julho</i>	0	0,00	3.705	4.033,08	3.833	4.634,44
<i>Agosto</i>	0	0,00	2.171	2.363,24	0	0,00
<i>Setembro</i>	3.116	2.56,07	3.434	3.459,31	3.903	4.791,09
<i>Outubro</i>	8.278	6.986,64	4.416	4.448,55	8.255	10.040,59
<i>Novembro</i>	12.629	11.221,24	8.255	9.117,98	11.910	15.276,28
<i>Dezembro</i>	10.366	9.998,64	12.510	13.817,80	12.957	16.733,97
<b>Total</b>	88.434	87.552,64	82.858	88.232,35	103.494	126.026,32

