



# Energia SolarTérmica

manual sobre tecnologías, projecto e instalação





O presente volume, parte integrante de uma edição de três volumes técnicos, resulta do trabalho levado a cabo no âmbito de um projecto parcialmente financiado pela Comissão Europeia, designadamente do programa ALTENER, o qual visa promover a utilização das Fontes de Energia Renováveis (FER) no espaço Europeu.

O projecto em causa, designado por “*GREENPRO*”, decorreu entre Fevereiro de 2002 e Janeiro de 2004, e envolveu um conjunto de parceiros que representaram cinco países da União Europeia, nomeadamente a Holanda, a Alemanha, a Itália, o Reino Unido e Portugal. Em todos estes países serão de igual forma editados os três mencionados volumes técnicos nos respectivos idiomas.

Com o objectivo de fornecer um documento de referência a todos aqueles que se interessam pela temática das renováveis, partiu-se de originais elaborados na Alemanha. Posteriormente cada país procedeu então à necessária tradução e adaptação, no âmbito da especificidade de cada realidade nacional.

Pretendeu-se com o formato em causa proceder à apresentação de informação de cariz essencialmente prático, sem descurar no entanto a fundamentação teórica dos aspectos mais relevantes.

Esperamos desta forma que a presente série de documentos possa ser da máxima utilidade para todos os que de algum modo pretendam contactar com as energias renováveis - arquitectos, engenheiros, empreiteiros, instaladores, proprietários de imóveis, estudantes, entre outros, quer ao nível de projectos de investimento de natureza pessoal, quer no contexto de actividades profissionais.

Janeiro de 2004



## ÍNDICE

---

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1.1</b>
<b>2</b>	<b>RADIAÇÃO PROVENIENTE DO SOL E ARGUMENTOS PARA A SUA UTILIZAÇÃO</b>	<b>2.1</b>
<b>2.1</b>	<b>Radiação solar proveniente do sol</b>	<b>2.1</b>
2.1.1	Energia solar	2.1
2.1.2	Bases astronómicas e meteorológicas	2.2
2.1.3	A influência da orientação	2.9
<b>2.2</b>	<b>Os limites dos recursos energéticos</b>	<b>2.12</b>
<b>2.3</b>	<b>Mudanças climáticas e as suas consequências</b>	<b>2.13</b>
<b>2.4</b>	<b>Argumentos a favor dos sistemas solares</b>	<b>2.14</b>
<b>2.5</b>	<b>Iniciativa Pública Água Quente Solar para Portugal</b>	<b>2.15</b>
<b>3</b>	<b>COMPONENTES DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO</b>	<b>3.1</b>
<b>3.1</b>	<b>Colectores</b>	<b>3.2</b>
3.1.1	Colectores sem cobertura	3.4
3.1.2	Colectores planos	3.4
3.1.3	Colectores Parabólicos Compostos (CPCs)	3.14
3.1.4	Colectores de vácuo	3.14
3.1.5	Curva característica dos colectores e aplicações	3.18
3.1.6	Temperatura de estagnação	3.19
<b>3.2</b>	<b>Tanques de armazenamento de calor</b>	<b>3.19</b>
3.2.1	Materiais dos tanques de armazenamento	3.19
3.2.2	Tanques de armazenamento de água potável	3.20
3.2.3	Tanque de armazenamento de regulação	3.24
3.2.4	Tanques de armazenamento combinados	3.24
3.2.5	Novos conceitos para tanques de armazenamento	3.24
3.2.6	Misturador automático de água quente	3.25
3.2.7	Ligação de máquinas de lavar louça e máquinas de lavar roupa	3.25
<b>3.3</b>	<b>Circuito solar</b>	<b>3.27</b>
3.3.1	Tubagens	3.27
3.3.2	Fluido de transferência térmica	3.28
3.3.3	Circulação do fluido de transferência térmica	3.29
3.3.4	Permutador de calor solar (transferência de calor unitária)	3.30
3.3.5	Acessórios anti-retorno	3.32
3.3.6	Evacuação de ar	3.32
3.3.7	Medidor de caudal	3.33
3.3.8	Dispositivos de segurança dum circuito solar	3.33
3.3.9	Estação solar	3.34
<b>3.4</b>	<b>Controlador</b>	<b>3.35</b>
3.4.1	Princípios para controlo da diferença de temperatura	3.36
3.4.2	Controlador digital com funções especiais	3.36
3.4.3	Sensores de temperatura	3.37
3.4.4	Protecção contra sobreaquecimento	3.37
<b>4</b>	<b>SISTEMAS PARA HABITAÇÕES PARA UMA OU DUAS FAMÍLIAS</b>	<b>4.1</b>
<b>4.1</b>	<b>Sistemas de carga/descarga dos tanques de armazenamento</b>	<b>4.1</b>
4.1.1	Carga através de energia solar	4.1
4.1.2	Carregamento através de aquecimento auxiliar	4.3
4.1.3	Descarga do tanque de armazenamento	4.5
<b>4.2</b>	<b>Sistemas de Aquecimento de água sanitária</b>	<b>4.6</b>
4.2.1	Outros sistemas de aquecimento de água	4.8
<b>4.3</b>	<b>Sistemas para aquecimento de água sanitária e suporte de aquecimento</b>	<b>4.9</b>

<b>4.4</b>	<b>Planeamento e dimensionamento</b>	<b>4.10</b>
4.4.1	Dimensionamento de sistemas de aquecimento de água sanitária	4.13
4.4.2	Dimensionamento de sistemas para aquecimento de água sanitária e suporte de aquecimento	4.24
4.4.3	Balanço energético e produção de sistemas solares térmicos	4.24
<b>4.5</b>	<b>Avaliação Económica</b>	<b>4.24</b>
<b>5</b>	<b>INSTALAÇÃO, COMISSIONAMENTO, MANUTENÇÃO E REPARAÇÃO</b>	<b>5.1</b>
<b>5.1</b>	<b>Um breve estudo sobre o telhado e materiais</b>	<b>5.2</b>
5.1.1	O objectivo do telhado	5.2
5.1.2	Formas de telhado	5.2
5.1.3	Componentes do telhado	5.2
5.1.4	Telhados inclinados	5.4
5.1.5	Telhado plano	5.5
5.1.6	Materiais	5.5
<b>5.2</b>	<b>Segurança e métodos de instalação</b>	<b>5.8</b>
5.2.1	Regulamentos de segurança	5.8
5.2.2	Equipamento de segurança	5.9
5.2.3	Equipamento de trabalho	5.9
5.2.4	Técnicas de transporte	5.9
5.2.5	Técnicas de instalação	5.10
<b>5.3</b>	<b>Instalação</b>	<b>5.11</b>
5.3.1	Entrega de material	5.12
5.3.2	Preparação do local, trabalho preparatório	5.12
5.3.3	Instalação do colector	5.12
5.3.4	Instalação de circuitos solares	5.24
5.3.5	Instalação de tanques de armazenamento	5.25
5.3.6	Instalação de ligações	5.29
5.3.7	Instalação de sensores e controladores	5.32
<b>5.4</b>	<b>Arranque, manutenção e reparação</b>	<b>5.32</b>
5.4.1	Limpeza do circuito solar	5.33
5.4.2	Preparação para teste de estanquicidade	5.33
5.4.3	Enchimento do circuito solar	5.34
5.4.4	Preparação das bombas e controlador	5.34
5.4.5	Manutenção	5.35
5.4.6	Detecção e rectificação de defeitos	5.36
<b>6</b>	<b>SISTEMAS DE LARGA ESCALA</b>	<b>6.1</b>
<b>6.1</b>	<b>Os princípios fundamentais do dimensionamento do sistema</b>	<b>6.1</b>
6.1.1	Áreas de possível aplicação	6.1
6.1.2	Informação inicial necessária para o planeamento do sistema solar	6.2
6.1.3	Planeamento e dimensionamento de um sistema	6.4
<b>6.2</b>	<b>Sistemas</b>	<b>6.5</b>
6.2.1	Sistemas com tanques de armazenamento de água sanitária	6.5
6.2.2	Sistemas com tanque(s) de armazenamento de regulação	6.7
6.2.3	Integração dos sistemas de circulação	6.9
<b>6.3</b>	<b>Controlo dos sistemas</b>	<b>6.9</b>
6.3.1	Circuito colector/ circuito de enchimento do armazenamento	6.10
6.3.2	Descarga do circuito do tanque de regulação	6.14
<b>6.4</b>	<b>Permutadores de calor</b>	<b>6.16</b>
6.4.1	Tipos de permutadores	6.16
6.4.2	Permutadores de calor do circuito colector	6.18
6.4.3	Permutadores de calor do circuito de descarga do tanque de regulação	6.19
<b>6.5</b>	<b>Tecnologia de segurança</b>	<b>6.22</b>
6.5.1	Campo colector	6.22
6.5.2	Circuito do colector	6.22
6.5.3	Circuito do tanque de regulação	6.23

6.5.4	Vaso de expansão	6.24
6.5.5	Ligações na linha de água sanitária	6.25
<b>6.6</b>	<b>Contractualização solar</b>	<b>6.25</b>
<b>6.7</b>	<b>Serviço de Venda de Água Quente</b>	<b>6.27</b>
6.7.1	Sistemas de energia solar com armazenamento de calor a curto-prazo	6.28
6.7.2	Sistemas solares com armazenamento de calor a longo-prazo	6.28
6.7.3	Valores orientadores para o projecto de sistemas de aquecimento solar municipal	6.28
6.7.4	Componentes dos sistemas de aquecimento solar municipal	6.29
6.7.5	Experiência prática	6.30
<b>6.8</b>	<b>Potencial no calor de processo industrial</b>	<b>6.31</b>
6.8.1	Fabrico de Cerveja e Malte	6.31
6.8.2	Indústria Alimentar	6.31
6.8.3	Indústria Têxtil	6.33
6.8.4	Indústria de Papel	6.33
6.8.5	Indústria Química	6.33
6.8.6	Indústria Automóvel e Indústrias Auxiliares	6.33
6.8.7	Indústria dos Curtumes	6.33
6.8.8	Indústria Corticeira	6.33
6.8.9	Crítérios de avaliação de sistemas solares para aquecimento industrial	6.35
<b>6.9</b>	<b>Sistemas de concentração solar</b>	<b>6.35</b>
6.9.1	Concentração de radiação solar	6.36
6.9.2	Sistemas de concentração para processos térmicos	6.37
6.9.3	Sistemas solares térmicos de concentração para produção de electricidade	6.40
<b>7</b>	<b>AQUECIMENTO SOLAR DE PISCINAS</b>	<b>7.1</b>
<b>7.1</b>	<b>Componentes</b>	<b>7.2</b>
7.1.1	Absorsores	7.2
7.1.2	Tubagens e colector comum de distribuição	7.5
7.1.3	Materiais	7.6
7.1.4	Bombas, permutadores de calor e outros componentes	7.6
7.1.5	Controladores diferenciais	7.7
7.1.6	Cobertura da piscina	7.8
<b>7.2</b>	<b>Sistemas</b>	<b>7.9</b>
7.2.1	Aquecimento solar de piscinas privadas exteriores	7.9
7.2.2	Aquecimento solar de piscinas públicas exteriores	7.11
7.2.3	Combinação de aquecimento solar de água de consumo doméstico e aquecimento de piscinas exteriores	7.14
7.2.4	Uso racional de energia em piscinas públicas ao ar livre	7.14
<b>7.3</b>	<b>Planeamento e dimensionamento</b>	<b>7.14</b>
7.3.1	Considerações fundamentais	7.14
7.3.2	Fórmulas de aproximação para estabelecimento da área dos absorsores, caudal e perda de pressão	7.15
7.3.3	Dimensionamento de sistemas assistido por computador	7.18
<b>7.4</b>	<b>Instalação</b>	<b>7.18</b>
7.4.1	Absorsores	7.18
7.4.2	Instalação da tubagem	7.19
<b>7.5</b>	<b>Operação e manutenção</b>	<b>7.20</b>
<b>7.6</b>	<b>Custos e desempenhos</b>	<b>7.20</b>
<b>8</b>	<b>SISTEMAS SOLARES DE AQUECIMENTO AMBIENTE</b>	<b>8.1</b>
<b>8.1</b>	<b>Componentes</b>	<b>8.2</b>
8.1.1	Tipos de colectores	8.2
8.1.2	Ventiladores	8.5
8.1.3	Tubagens	8.5
8.1.4	Permutadores de calor, unidades de recuperação de calor	8.6
8.1.5	Controladores	8.6
<b>8.2</b>	<b>Tipologias de sistemas de aquecimento ambiente</b>	<b>8.7</b>

8.2.1	Sistemas de colectores de aquecimento ambiente em construções urbanas	8.7
8.2.2	Fábricas, pavilhões e edifícios de escritórios	8.8
<b>8.3</b>	<b>Planeamento e dimensionamento</b>	<b>8.8</b>
8.3.1	Considerações fundamentais	8.8
8.3.2	Cálculo da taxa de circulação, a área da superfície do colector e as ligações dos colectores necessárias	8.9
8.3.3	Cálculo da potência do ventilador	8.10
8.3.4	Dimensionamento assistido por computador	8.10
<b>8.4</b>	<b>Exemplos</b>	<b>8.11</b>
<b>9</b>	<b>ARREFECIMENTO SOLAR</b>	<b>9.1</b>
<b>9.1</b>	<b>Bases teóricas</b>	<b>9.2</b>
9.1.1	Processos de arrefecimento accionados por calor	9.3
9.1.2	Arrefecimento por adsorção	9.4
9.1.3	Sistemas de arrefecimento por secagem	9.5
<b>9.2</b>	<b>Planeamento integrado dos sistemas de arrefecimento solar e de ar condicionado</b>	<b>9.7</b>
<b>9.3</b>	<b>Tecnologia do Sistema</b>	<b>9.10</b>
9.3.1	Sistemas solares autónomos versus sistemas solares assistidos	9.10
9.3.2	Escolha da tecnologia de colector para diferentes tecnologias de arrefecimento	9.11
9.3.3	Variantes dos circuitos	9.12
<b>9.4</b>	<b>Concepção do sistema</b>	<b>9.16</b>
9.4.1	Procedimentos gerais no dimensionamento dos sistemas	9.16
9.4.2	Dimensionamento de sistemas com base em dados empíricos	9.17
9.4.3	Dimensionamento de sistemas solares autónomos	9.19
<b>10</b>	<b>PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO PARA SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS</b>	<b>10.1</b>
<b>10.1</b>	<b>Avaliação dos resultados de simulação</b>	<b>10.2</b>
<b>10.2</b>	<b>Simulação tendo em conta o efeito de sombra</b>	<b>10.2</b>
<b>10.3</b>	<b>Análise de Mercado, classificação e selecção de programas de simulação</b>	<b>10.2</b>
<b>10.4</b>	<b>Breve descrição dos programas de simulação</b>	<b>10.3</b>
10.4.1	Programas de cálculo	10.3
10.4.2	Programas de análise por etapas	10.4
10.4.3	Sistemas de simulação	10.7
10.4.4	Ferramentas e programas de ajuda	10.8
<b>11</b>	<b>GLOSSÁRIO</b>	<b>11.1</b>
<b>12</b>	<b>MARKETING SOLAR</b>	<b>12.1</b>
<b>12.1</b>	<b>Os princípios do marketing solar</b>	<b>12.1</b>
12.1.1	O cliente como tema central	12.1
12.1.2	O princípio do iceberg	12.1
12.1.3	O conceito “puxar”	12.1
<b>12.2</b>	<b>Aumento do sucesso através do marketing sistemático</b>	<b>12.2</b>
12.2.1	Benefício inicial	12.2
12.2.2	Os quatro pilares do conceito de marketing	12.3
12.2.3	A variedade de opções de marketing	12.5
12.2.4	Atingir o objectivo em 6 etapas	12.13
<b>12.3</b>	<b>Uma boa discussão de vendas pode ser agradável</b>	<b>12.16</b>
12.3.1	O que significa “venda bem sucedida”	12.16
12.3.2	Construir uma ponte	12.16
12.3.3	Estabelecer uma necessidade	12.17
12.3.4	Oferecer a solução	12.18
12.3.5	Alcançar o resultado	12.18
<b>13</b>	<b>EMPRESAS DO RAMO SOLAR TÉRMICO</b>	<b>13.1</b>



## 1 INTRODUÇÃO

---

O recurso às Energias Renováveis constitui uma solução para muitos problemas sociais associados ao consumo de combustíveis fósseis. O seu uso permite uma melhoria do nível de vida, em especial nos Países sem reservas petrolíferas como Portugal, diminuindo a sua dependência económica e reduzindo os impactos negativos resultantes da queima dos combustíveis na sua utilização e transformação de energia.

A situação energética nacional traduz-se por um sub-aproveitamento das energias endógenas. Uma das fontes endógenas de extrema importância é a energia solar dado que o valor anual da radiação solar global varia entre 1400 e 1800 kWh/m<sup>2</sup>. Recentes programas, como o Programa Água Quente Solar, na sequência do Programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas), pretendem implementar o uso da Energia Solar em Portugal. Este programa propõe um acréscimo na dinâmica do actual mercado, pretendendo atingir um valor de 150000 m<sup>2</sup> de colectores solares instalados por ano, que poderá conduzir a cerca de 1 milhão de m<sup>2</sup> de colectores instalados em 2010.

No entanto a simples introdução de sistemas de aquecimento solar não significa um bom aproveitamento energético. As instalações necessitam de ser correctamente dimensionadas, instaladas e mantidas. Caso um destes aspectos não seja devidamente tido em consideração, o desempenho do sistema poderá ser muito inferior ao que inicialmente estava previsto.

Torna-se assim importante a existência dum Manual para projectistas e instaladores que contenha os fundamentos teóricos e a informação prática necessários ao correcto dimensionamento e instalação de sistemas solares térmicos, bem como à condução e manutenção dos equipamentos. O presente Manual contém extensa informação que inclui os fundamentos da radiação solar, a descrição dos diferentes tipos de sistemas solares térmicos e seus componentes, as técnicas de instalação, comissionamento, manutenção e reparação das instalações, bem como a descrição dos principais programas de simulação destes sistemas. O Manual contém ainda informação relativa aos sistemas de arrefecimento solar e às técnicas de marketing solar.

O presente Manual constitui uma excelente ferramenta de apoio a projectistas e instaladores de sistemas solares térmicos, desde os de aplicação na habitação aos de aplicação industrial e contribui desta forma para uma melhoria quer na aplicação destes sistemas quer na sua condução.



## 2 RADIAÇÃO PROVENIENTE DO SOL E ARGUMENTOS PARA A SUA UTILIZAÇÃO

---

### 2.1 Radiação solar proveniente do sol

#### 2.1.1 Energia solar

A maior fonte de energia disponível na Terra provém do sol. A energia solar é indispensável para a existência de vida na Terra, sendo o ponto de partida para a realização de processos químicos e biológicos. Por outro lado, a energia proveniente do Sol é das mais “amiga do ambiente”, podendo ser utilizada de diversas maneiras.

No centro do Sol ocorre um processo de fusão nuclear, no qual dois núcleos de hidrogénio se fundem com um de hélio, radiando para o espaço uma grande quantidade de energia. A energia proveniente desta fusão é radiada para o espaço em forma de ondas electromagnéticas. Tendo em conta que o Sol se encontra a 143 milhões de quilómetros da Terra apenas uma pequena fracção da energia irradiada está disponível. No entanto a energia fornecida pelo Sol durante um quarto de hora é superior à energia utilizada, a nível mundial, durante um ano.

Os astrofísicos consideram que o sol tem aproximadamente 5 biliões de anos. Com uma expectativa de existência de 10 biliões de anos o sol pode ser considerado como fonte de energia para os próximos 5 biliões de anos. Assim, de uma perspectiva humana o sol apresenta uma disponibilidade ilimitada.



**Figura 2.1 - O sol – base para a vida na terra**

#### 2.1.2 Bases astronómicas e meteorológicas

A energia irradiada pelo sol, para a atmosfera terrestre é praticamente constante. Esta energia irradiada ou intensidade de radiação é descrita como a constante solar relativa a uma área de  $1 \text{ m}^2$ . Esta constante está sujeita a pequenas alterações, provocadas pela variação da actividade solar (sun spots) e com a excentricidade da órbita da Terra. Estas variações, que se detectam para a gama dos raios UV são menores que 5%, e não são significativas para as aplicações de tecnologia solar. O valor médio da constante solar é  $E_0 = 1.367 \text{ W/m}^2$ .

**Caso de Estudo:** Energia irradiada, irradiação, quantidade de calor

A irradiação solar ( $E$ ) de 1.000 Watts por metro quadrado, significa a capacidade de irradiar uma potência  $\varphi$  (1.000 W) numa superfície de  $1 \text{ m}^2$ , sendo a unidade de medida de potência o Watt. Quando a potência se define para uma superfície então é chamada de irradiação.

1 kW (Kilowatt) = 1.000 Watts =  $10^3 \text{ W}$

1 MW (Megawatt) =  $10^6 \text{ Watts} = 10^3 \text{ kW}$

1 GW (Gigawatt) =  $10^9 \text{ Watts} = 10^6 \text{ kW}$

1 TW (Terawatt) =  $10^{12} \text{ Watts} = 10^9 \text{ kW}$

Quando o Sol brilha com uma potência de 1.000 watts durante uma hora, produz 1 KW de trabalho por hora. No caso de se converter 100% desta energia em calor, então produz-se 1KWh de calor.

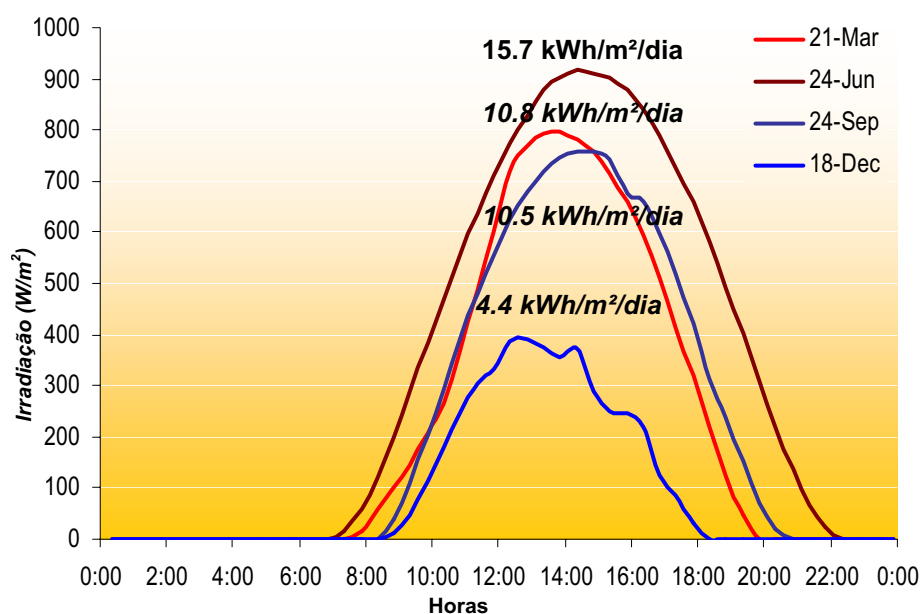
Potência irradiada:  $\varphi$  (W)

Irradiação:  $E$  ( $\text{W/m}^2$ )

Quantidade de calor:  $Q$  (Wh/kWh)

Tendo apenas por base os dados astronómicos sabe-se que a energia solar disponível na Terra é muito variável. Para uma localização pré-estabelecida esta variação depende da latitude geográfica, do dia e do ano. Devido à inclinação do eixo da Terra os dias de verão são maiores que os dias de inverno, e as altitudes solares que o sol atinge são mais elevadas nos meses de verão do que no inverno.

A figura seguinte mostra a sequência de irradiação durante um dia em Lisboa numa placa horizontal com uma superfície de  $1 \text{ m}^2$ , para quatro dias ao longo do ano.



**Figura 2.2 - Variação diária e valor global diário de irradiação**

Através da análise da figura 2.2 verifica-se que a quantidade de radiação solar varia segundo um factor de 4, entre o Verão e o Inverno.

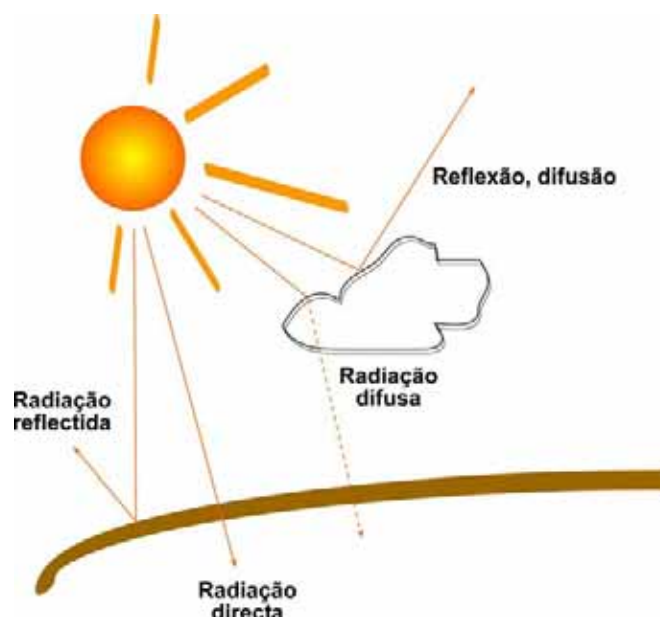
**Tabela 2.1 - Características astronómicas para Lisboa**

Localização: Lisboa	21 Março/24 Setembro	24 Junho	18 Dezembro
Horas de luz	12,1/12,0	14,8	9,3
Altura máxima do Sol	52,0/51,0	75,0	28,2
Somatório da irradiação solar global durante um dia:	10,8/10,5 kWh/m <sup>2</sup>	15,7 kWh/m <sup>2</sup>	4,4 kWh/m <sup>2</sup>

A radiação solar tem diversas componentes: a radiação solar directa  $E_{dir}$  proveniente do sol, que atinge a terra sem qualquer mudança de direcção e a radiação difusa  $E_{dif}$ , que chega aos olhos do observador através da difusão de moléculas de ar e partículas de pó. A radiação difusa inclui também a radiação reflectida pela superfície terrestre. A soma da radiação difusa e directa equivale à radiação solar global  $E_G$ .

$$E_G = E_{dir} + E_{dif}$$

Esta equação, caso não sejam referidas outras condições, refere-se à radiação sobre uma superfície horizontal.

**Figura 2.3 - Radiação solar global e suas componentes**

Quando o Sol se localiza verticalmente, acima de uma determinada localização, a radiação efectua o caminho mais curto através da atmosfera. Por outro lado, quando o Sol se encontra num ângulo mais baixo a radiação percorre um caminho mais longo, sofrendo a radiação solar uma maior absorção e difusão e estando disponível uma menor intensidade de radiação. O factor “Massa de Ar” (MA) define-se como a medida do número de vezes que o caminho da luz solar até à superfície da terra corresponde à espessura de uma atmosfera. Usando esta definição com o Sol numa posição vertical ( $\gamma_s = 90^\circ$ ) obtém-se um valor de  $MA = 1$ .

Apresentam-se na Figura 2.4 os níveis solares mais elevados em Lisboa para dias seleccionados. O ângulo máximo de elevação do sol foi encontrado para o dia 21 Junho com  $\gamma_s = 75,0^\circ$  que corresponde a uma Massa de Ar de 1,04. No dia 21 de Dezembro o maior ângulo obtido foi  $\gamma_s = 28,2^\circ$  que corresponde a uma massa de ar de 2,12.

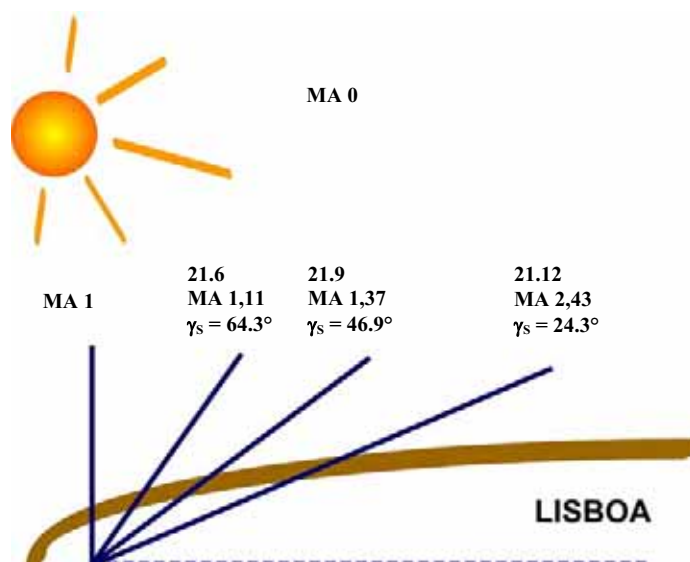


Figura 2.4 - Altitude solar ao meio-dia ao longo de um ano em Lisboa

A radiação solar no espaço sem influência da atmosfera terrestre é considerada tendo um espectro de MA = 0. Ao passar pela atmosfera terrestre a intensidade da radiação é reduzida devido a:

- Reflexão causada pela atmosfera;
- Absorção através de moléculas na atmosfera ( $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ );
- Difusão Rayleigh (difusão de moléculas de ar);
- Difusão Mie (difusão de partículas de pó e contaminação do ar).

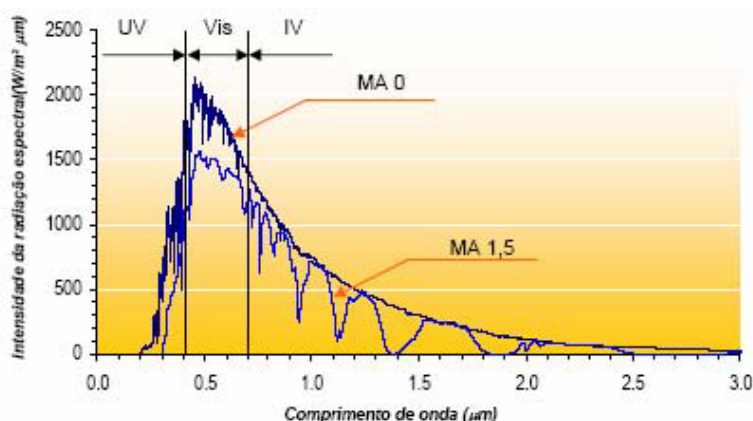


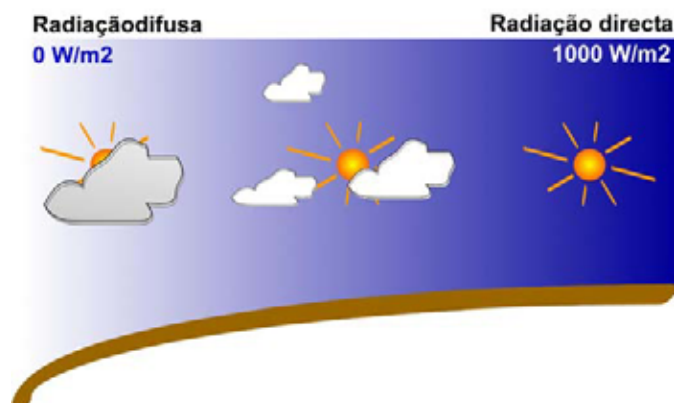
Figura 2.5 - Espectro solar MA 0 no espaço e MA 1,5 na terra com uma elevação solar de 37°.

A tabela seguinte mostra a dependência da irradiação em relação ao ângulo de elevação  $\gamma_s$ . A absorção e difusão aumentam com a diminuição do ângulo de elevação do Sol. A difusão de partículas de pó no ar (Difusão Mie) depende da localização. É muito maior em áreas industriais.

Tabela 2.2 – Factores de variação da irradiação

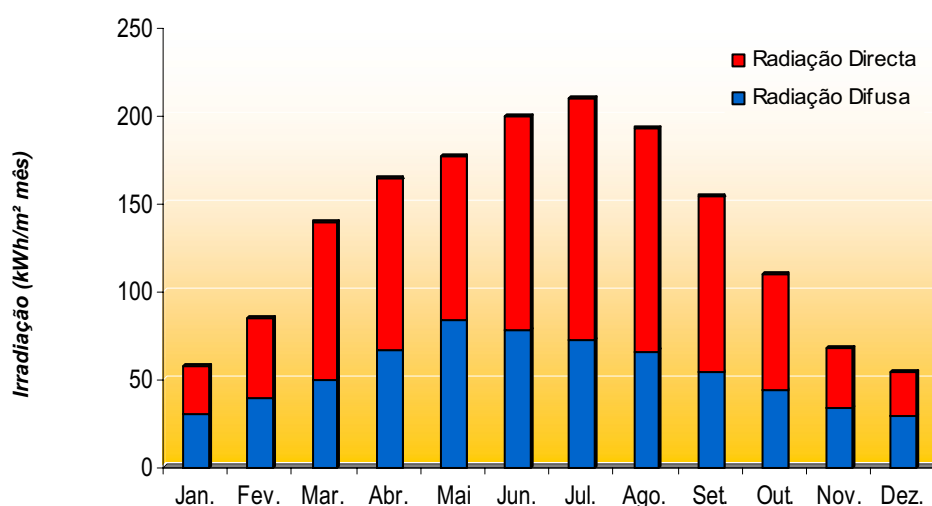
$\gamma_s$	MA	Absorção	Difusão Rayleigh	Difusão Mie	Atenuação total
90°	1,00	8,7%	9,4%	0...25,6%	17,3...38,5%
60°	1,15	9,2%	10,5%	0,7...25,6%	19,4...42,8%
30°	2,00	11,2%	16,3%	4,1...4,9%	28,8...59,1%
10°	5,76	16,2%	31,9%	15,4...74,3%	51,8...85,4%
5°	11,5	19,5%	42,5%	24,6...86,5%	65,1...93,8%

A nebulosidade ou o estado do céu é o segundo factor decisivo - depois das condições astronómicas - a afectar a disponibilidade de radiação solar. A energia irradiada tal como a quantidade de radiação difusa e directa varia com a quantidade de nuvens.



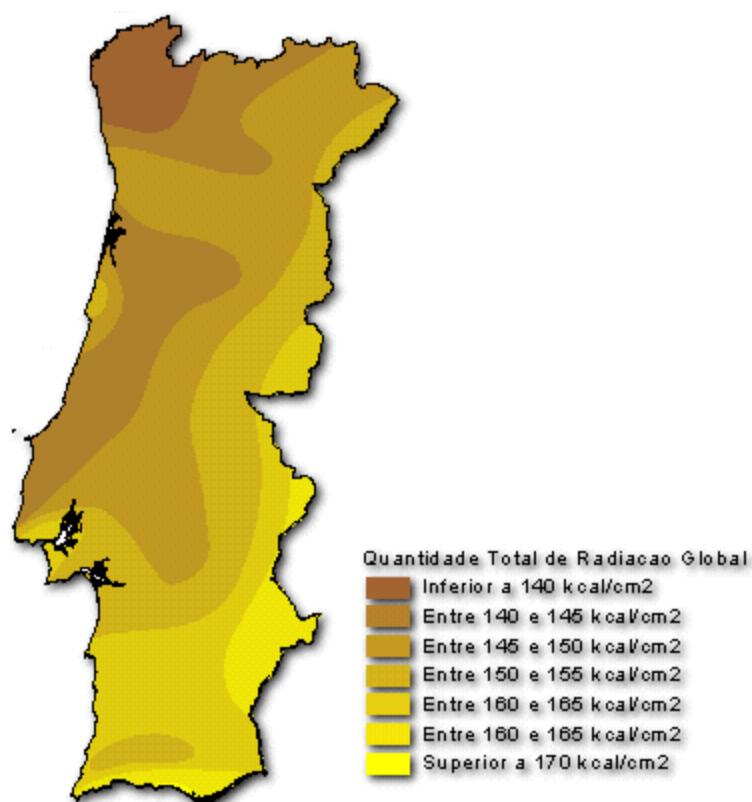
**Figura 2.6 - Irradiação solar global e os seus componentes para diferentes condições do céu**

Com base em dados de irradiação difusa e directa, para a Cidade de Lisboa, verifica-se que a proporção média da radiação solar difusa é de 40% da radiação global, sendo que nos meses de inverno esta proporção aumenta.



**Figura 2.7 - Somatório mensal da irradiação solar global / difusa e directa**

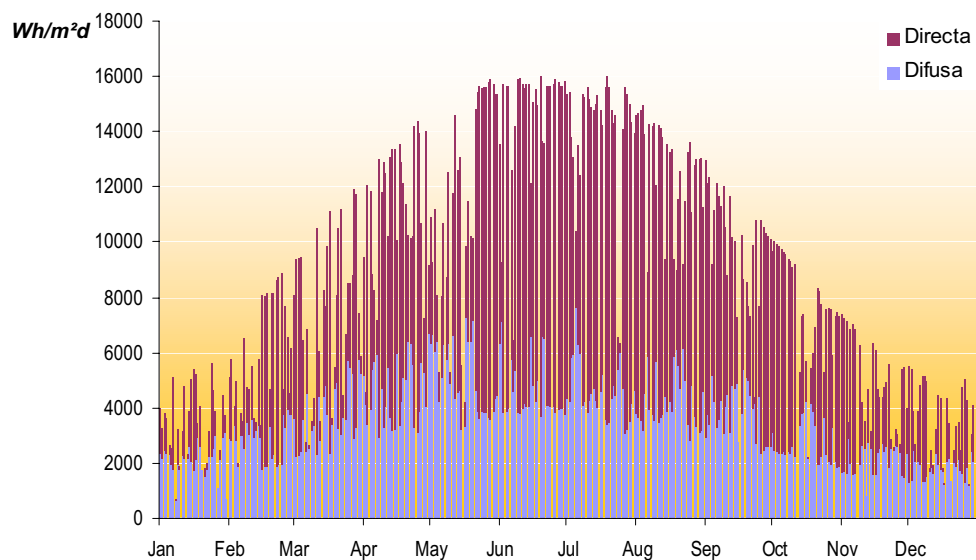
O valor do somatório da média anual da irradiação solar global - valor importante para o dimensionamento de sistemas solares - encontra-se entre aproximadamente 1.400 KWh/m<sup>2</sup> em Vila Real (norte) e 1.700 KWh/m<sup>2</sup> em Faro (Sul) com um incremento de Norte para Sul. No entanto a variação da radiação solar útil entre o Sul e o Norte de Portugal, aproveitada por um sistema solar para aquecimento de água, não é significativa.



**Figura 2.8 - Radiação global anual em Portugal**

Fonte: Atlas do Ambiente, Instituto do Ambiente

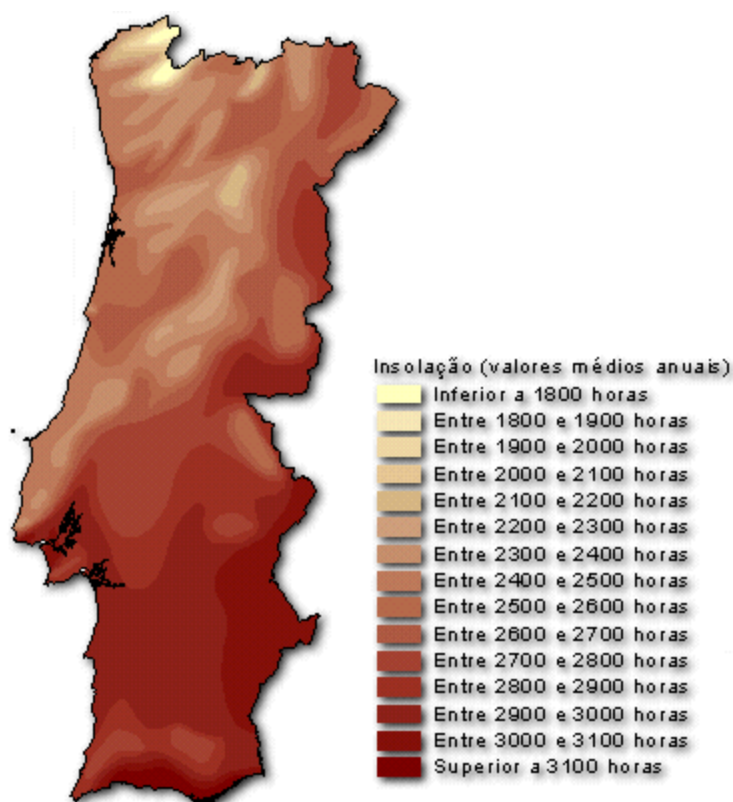
Durante o ano a irradiação solar global sofre variações ao longo do dia. Esta variação é sobretudo influenciado pela radiação directa.



**Figura 2.9 - Processo típico de radiação directa e difusa durante o dia em Lisboa**

Para além da irradiação solar global o número de horas de luz (insolação) é também frequentemente utilizado para o dimensionamento dos sistemas solares. Em Portugal estes valores variam entre 1.800 e 3.100 horas por ano.





**Figura 2.10 - Insolação global anual em Portugal**

**Fonte: Atlas do Ambiente, Instituto do Ambiente**

**Caso de Estudo:** Processo de medição da radiação solar

O aparelho utilizado para medir a irradiação solar global numa superfície horizontal chama-se piranómetro. Se este dispositivo for colocado com o écran a apontar directamente para os raios solares, com um anel fixo que cobre o caminho do sol no céu, então o dispositivo apenas mede a radiação difusa. A superfície de medição da radiação (termopilha) localiza-se debaixo de uma campânula de vidro e é constituída por pares de lâminas metálicas em forma de estrela (uma pintada de preto e a outra de branco), com características distintas de dilatação com o aumento da temperatura. Estes elementos criam forças electromotrices termoeléctricas que podem ser medidas. Os Piranómetros são instrumentos de medida que tem que ser calibrados.



**Figura 2.11 - Piranómetro fabricado por Kipp & Zonen**

**Fonte: Lambrecht, Göttingen**

**Caso de Estudo:** Processo de medição da radiação solar (cont.)

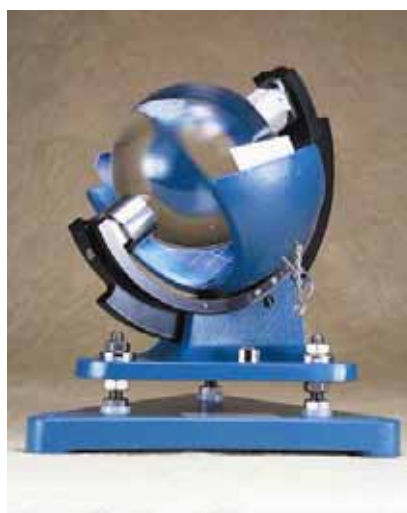
Existem outros dispositivos de medição da irradiação solar, que possuem uma célula fotovoltaica como receptor e que são relativamente mais baratos do que o piranómetros, apresentando no entanto menor fiabilidade.

O dispositivo de medição, mais simples e mais usado, da duração da insolação é o Heliógrafo de Campbell-Stokes. Determina a insolação concentrando os raios solares com uma esfera de vidro que gera um ponto focal no lado virado para o sol e que está sempre à mesma distância do sol, de tal modo que incide sobre um cartão à prova de fogo no qual produz um traço queimado. Quando o sol fica coberto por nuvens a queima é interrompida.



**Figura 2.12 – MacSolar**

**Fonte: solararc, Berlin**



**Figura 2.13 - Heliógrafo de Campbell-Stokes**

**Fonte: Lambrecht, Göttingen**

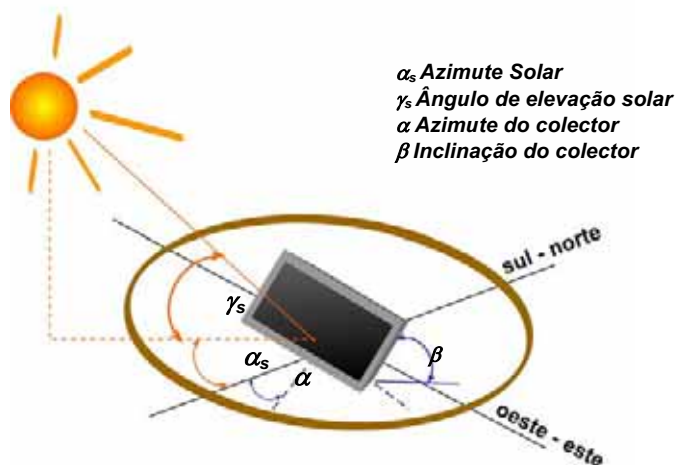
### 2.1.3 A influência da orientação

Os dados e figuras que se apresentaram até agora, referem-se a uma superfície horizontal receptora, p.e. um telhado em forma de terraço. Para diferentes ângulos de incidência do sol ao longo do ano, a uma determinada latitude, existe um valor máximo de radiação produzida que poderá ser obtido se a superfície receptora estiver inclinada a um determinado ângulo. O ângulo de inclinação óptimo, para os meses de Inverno (menor radiação) é maior que no Verão por causa da menor altura solar.

Para a tecnologia solar são usados os seguintes ângulos:

**Tabela 2.3 – Ângulos utilizados em tecnologia solar**

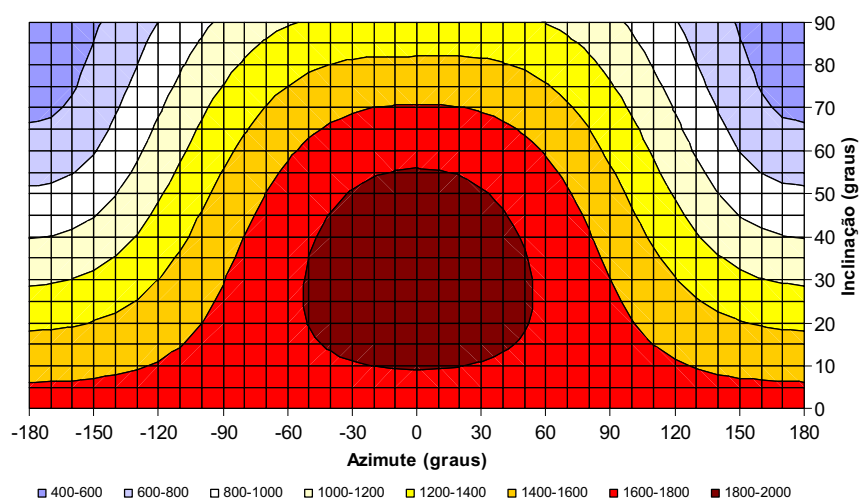
Altura Solar	$\gamma_s$	Horizonte = 0°	Zénite = 90°	
Azimute Solar	$\alpha_s$	Sul = 0°	Este = -90°	Oeste = +90°
Inclinação Superficial	$\beta$	Horizontal = 0°	Vertical = 90°	
Azimute Superficial	$\alpha$	Sul = 0°	Este = -90°	Oeste = +90°

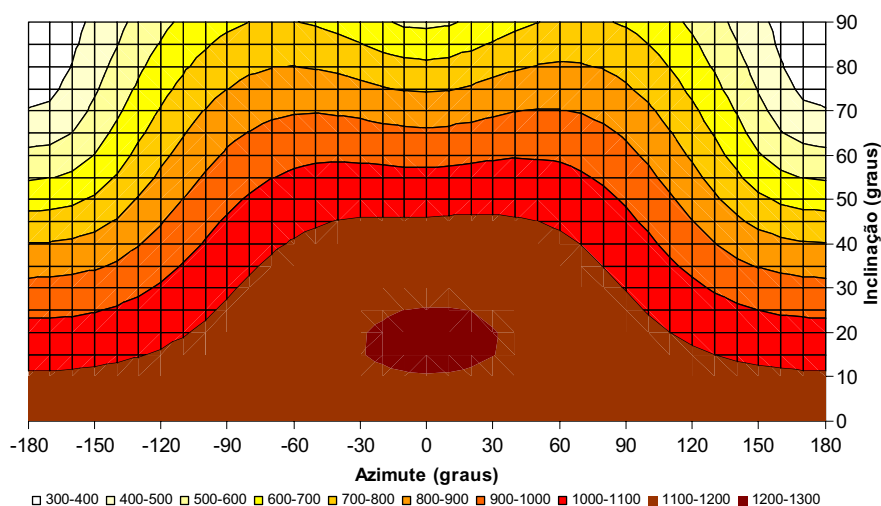
**Figura 2.14 - Descrição dos ângulos para a tecnologia solar**

Em tecnologia solar uma questão frequentemente colocada é a influência do alinhamento e da inclinação do telhado na insolação.

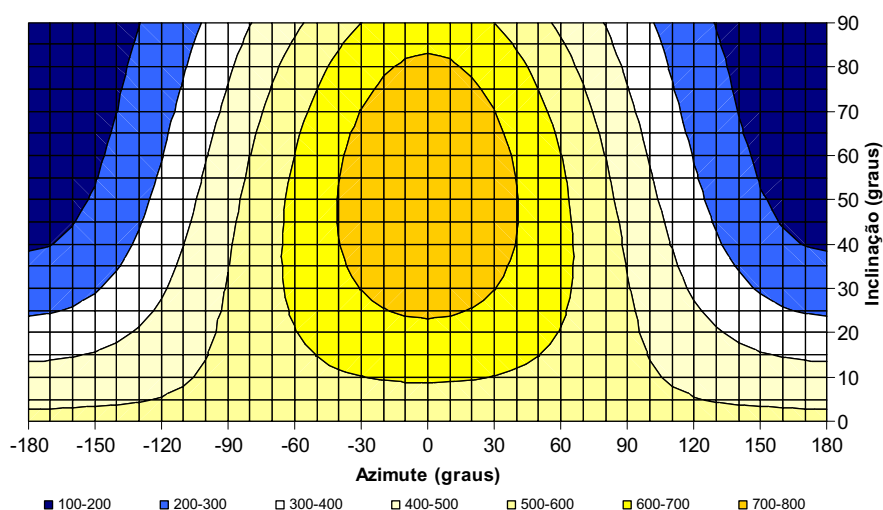
A figura seguinte mostra os valores medidos em Lisboa para o cálculo da média anual e semi-anual para a irradiação solar global para qualquer orientação.

As isolinhas de irradiação global são dadas em KWh/m<sup>2</sup> por ano ou por semestre. No eixo horizontal pode ser lido o alinhamento e no eixo vertical pode ser lido o ângulo de inclinação.

**Figura 2.15 - Irradiação solar global para diferentes orientações da superfície receptora**



**Figura 2.16 - Irradiação solar global no semestre de verão com diferentes orientações da superfície receptora**



**Figura 2.17 - Irradiação solar global no semestre de Inverno para diferentes orientações da superfície receptora**

De acordo com a média anual a irradiação óptima encontra-se no alinhamento com a meridional ( $\alpha = 0^\circ$ ) e tendo uma inclinação de  $\beta = 30^\circ$ . É claro que os valores mais elevados de irradiação, cerca de 70% (1.300 KWh/m<sup>2</sup>), estão disponíveis no semestre de Verão (Abril a Setembro). O gráfico também mostra que um desvio do alinhamento óptimo pode ser tolerado para uma larga gama de valores já que não existem perdas significativas de radiação. O ângulo de inclinação óptimo para o semestre de Inverno (Outubro a Março) é de  $50^\circ$ , mas desvios à direcção de alinhamento sul podem provocar perdas de radiação muito rápidas.

### Caso de Estudo: Sombras

As sombras reduzem a produção dos sistemas solares térmicos. Para contabilizar a influência das sombras devidas aos obstáculos nas imediações das superfícies receptoras (casas, árvores, etc.), podem ser usados três processos.

1. Processo gráfico
2. Processo fotográfico
3. Processo assistido por computador

1. Processo gráfico

Neste processo constrói-se uma planta, com os detalhes dos objectos que podem fazer sombra relativamente à posição do colector, assim como o diagrama da altitude solar para a latitude a que o colector solar será colocado. De seguida, deverão ser definidos os ângulos de elevação e azimuth dos objectos e traçar a sua sombra no diagrama de altitude solar. Se existirem grandes superfícies afectadas pelo efeito das sombras, em períodos com maiores radiações do que os esperados, então a radiação disponível será mais baixa do que o expectável.

2. Processo fotográfico

Neste processo uma câmara com uma lente “olho -peixe” é usada com um acessório especial de geometria-solar para fotografar a silhueta dos objectos nas imediações, ao mesmo tempo que insere o diagrama de altitude solar da respectiva localização. Os resultados podem ser lidos directamente na fotografia.

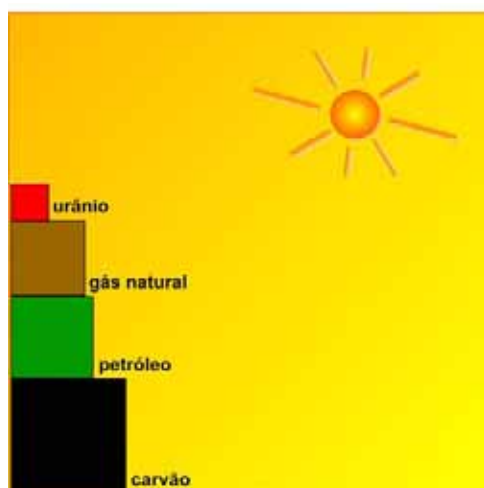
3. Processo assistido por computador

Vários programas de simulação são desenvolvidos com simuladores de sombras (ver *Capítulo 10*). Depois de determinados os ângulos de elevação e azimuth para os objectos mais importantes, a influência da sombra pode ser directamente calculado com a ajuda do sistema de simulação.

## 2.2 Os limites dos recursos energéticos

As fontes de combustíveis fósseis disponíveis (carvão, petróleo e gás natural e urânio) são exploradas a taxas cada vez maiores, para fazer face às necessidades energéticas do nosso planeta. Devido ao limite do stocks, este processo vai inevitavelmente deixar-nos num beco sem saída. A solução para se lidar com este problema encontra-se no aumento da eficiência energética, na racionalização da utilização da energia e na utilização de fontes de energia renováveis: sol, vento, água e biomassa.

A figura seguinte mostra a relação entre as reservas de combustíveis fósseis, a energia necessária e a radiação solar disponível.



**Figura 2.18 - O Cubo de energia**

O sol disponibiliza por ano múltiplos da energia consumida no mundo, um múltiplo de todas as reservas de combustíveis fósseis conhecidas, ou seja:

$$1,5 \times 10^{18} \text{ kWh} / a = 1500 \text{ milhões de biliões de kilowatt horas por ano}$$

Valor 10.000 vezes maior do que o necessário neste momento. Para além disso a radiação proveniente do sol tem ainda 5 biliões de anos de vida.

#### **Caso de Estudo:** Disponibilidade temporária das reservas de petróleo e gás natural

**Petróleo:** As reservas de petróleo, que se estimam como garantidas, variam entre 118 a 180 biliões de toneladas, contudo o último cenário refere apenas as chamadas reservas de petróleo não convencional (petróleo pesado, areias betuminosas, xistos asfálticos ou depósitos de petróleo em águas profundas e regiões polares). Perante isto, é evidente que mesmo efectuando uma extracção anual equivalente a 1995 de 3,32 biliões de toneladas de petróleo estas reservas estarão esgotadas por volta de 2050. Contudo deve-se assumir um cenário mais realista e assumir uma maior taxa de crescimento do uso das reservas, devido ao aumento do consumo de energia.

**Gás natural:** No caso das reservas de gás natural a variação encontra-se entre 131 a 153 triliões de m<sup>3</sup>. Com uma taxa de extracção anual de cerca de 2,3 triliões.m<sup>3</sup> (em 1995) as reservas estarão esgotadas dentro de 57 a 65 anos. Verifica-se que os maiores aumentos das taxas de consumo energético dizem respeito ao gás natural pelo que provavelmente por volta de 2040 as reservas estarão esgotadas.

A questão mais decisiva, para as mudanças estruturais no fornecimento de energia, prende-se com a redução dos stocks de gás e petróleo que não poderão ser mais aumentados, por razões geológicas, técnicas e económicas, mas tende apenas a diminuir. O nível de extracção mundial máximo deverá ser atingido na segunda década do século 21, i.e. entre 2010 a 2020. Para lá deste limite os preços aumentarão significativamente.

Com base na experiência, sabe-se que na área da inovação tecnológica os períodos de transformações levam muitas décadas, o que quer dizer que devem ser tomadas medidas urgentemente.

A tecnologia solar térmica usa a fonte ilimitada de energia oferecida pelo sol e fornece um contributo activo na diminuição dos perigos relacionados com a diminuição dos recursos energéticos.

### **2.3 Mudanças climáticas e as suas consequências**

A utilização crescente de recursos energéticos finitos, nomeadamente os recursos fósseis apresentam impactos no clima e no meio ambiente que sofrem mudanças e prejuízos irreversíveis que aumentam com a utilização de combustíveis.

Este problema deve-se à emissão de substâncias perigosas, tais como o dióxido de enxofre, monóxido de nitrogénio e dióxido de carbono. O dióxido de enxofre e o monóxido de nitrogénio são substâncias, que contribuem para o aparecimento de chuvas ácidas, enquanto que o dióxido de carbono contribui para o aumento do efeito de estufa, que é responsável pelo aquecimento da atmosfera terrestre. Neste momento a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera aumenta a taxas cada vez mais elevadas.

### Caso de Estudo: Efeito de estufa

A atmosfera terrestre absorve as radiações de ondas curtas, que são visíveis, numa gama de comprimentos de onda de  $0,3 - 3,0 \mu\text{m}$ . Desta absorção resulta um aquecimento da superfície terrestre e das camadas atmosféricas. Cada corpo aquecido por sua vez irradia calor, de acordo com a sua temperatura. A emissão de calor contudo tem lugar numa gama de comprimentos de onda maior, entre  $3,0$  e  $30 \mu\text{m}$ .

Contudo as moléculas de  $\text{CO}_2$  são capazes de reter parte do calor que é irradiado da superfície terrestre para a atmosfera. Este processo é chamado de efeito de estufa, uma vez que o  $\text{CO}_2$  nas camadas da atmosfera apresenta características semelhantes aos vidros de uma estufa, que deixam a luz sair mas retêm o calor. Através do processo natural de retenção de  $\text{CO}_2$  na atmosfera terrestre a temperatura média da Terra é de  $15^\circ \text{C}$ . Sem este processo natural a temperatura média seria de  $-15^\circ \text{C}$ . Com a queima do carvão para produções industriais e geração de electricidade, tais como o uso de produtos de petróleo (gasolina, aquecimento, etc.), a quantidade de  $\text{CO}_2$  produzida pelas actividades humanas, a partir do século 19, aumentou de tal forma que a natureza já não pode compensar este aumento. Consequentemente há um aumento do efeito de estufa, com um aumento crescente da temperatura terrestre.

No meio científico é consensual que os efeitos catastróficos do aumento da temperatura média global anual, provoca:

- Aquecimento dos oceanos, fusão dos glaciares: Aumento do nível do mar que consequentemente leva à inundação de algumas regiões costeiras, com destruição do património humano (mais de 1/3 da população do mundo vive em regiões costeiras);
- Alterações da vegetação: Mudanças consideráveis na alimentação, redução dramática de variadas espécies;
- Aumento da libertação de  $\text{CO}_2$  e metano provenientes da descongelação dos solos que aumenta o efeito de estufa;
- A “mediterraneização” das latitudes temperadas: calor, verões secos, invernos amenos mas com mais chuvas que fazem com que haja armazenamento de água no Verão e cheias no Inverno;
- Aumento dos ciclones tropicais, cuja formação é consequência do aumento da temperatura dos oceanos; e
- Intensificação de conhecidos fenómenos climáticos (p.e. El Niño).

Somente com a redução do consumo de energia, maior eficiência do uso das fontes de energia disponíveis e o aumento do uso de energias renováveis pode reduzir-se a emissão de  $\text{CO}_2$  e proteger os recursos naturais.

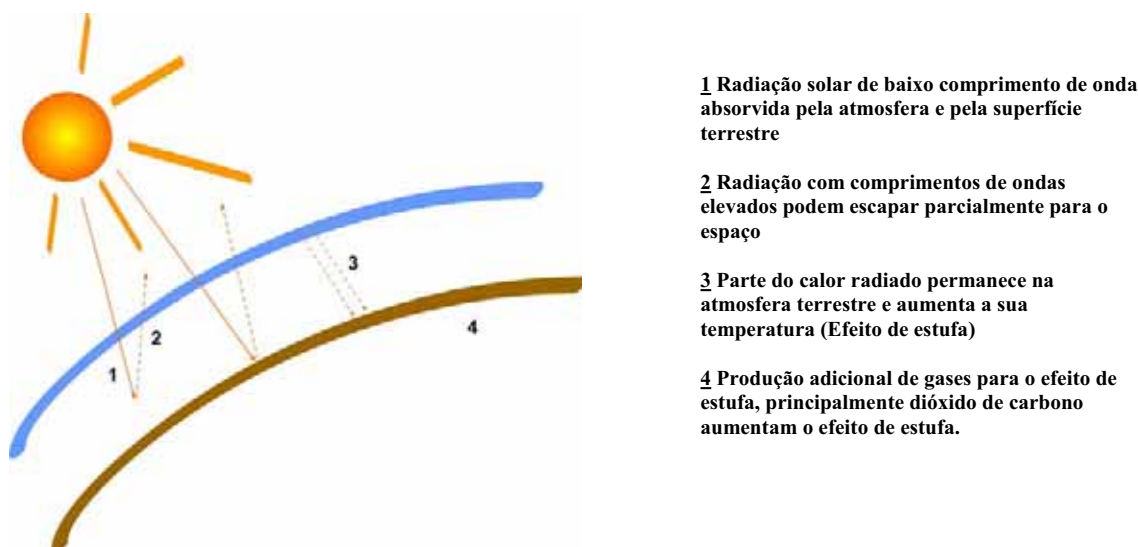


Figura 2.19 - Efeito de Estufa

## 2.4 Argumentos a favor dos sistemas solares

Em Portugal a utilização de colectores solares encontra-se numa fase de arranque, pese embora as condições excepcionais de disponibilidade do recurso energético e da tecnologia que apresenta o mesmo nível de outros países Europeus. Verifica-se que o mercado actual é muito pequeno e que as empresas que trabalham no sector são de um modo geral pequenas empresas com capacidades financeiras limitadas. Sente-se ainda a necessidade de formação de pessoal especializado em quantidade para desenvolver o mercado.

No entanto existe um vasto potencial de aplicação estando identificado como sendo de cerca de 2,8 milhões de m<sup>2</sup> de colectores em 2010.

Cada metro quadrado de superfície de colectores solares que se instala contribui para a protecção do clima:

- Os proprietários destes sistemas não têm que esperar por decisões políticas ou mudanças globais. Transmitem uma imagem positiva aos mais jovens;
- Os sistemas solares são um sinal de um nível de responsabilidade elevado, uma consciência e empenho em relação à protecção ambiental;
- Os proprietários de sistemas solares tornam-se menos dependentes do aumento dos preços de energia;
- Operadores de sistemas solares beneficiam de vantagens em taxas e financiamento do governo;
- Sistemas solares térmicos para abastecimento de água quente são tecnicamente desenvolvidos e tem um tempo de vida de 20 anos;
- Um sistema solar standard instalado na latitude de Portugal pode fornecer energia suficiente para cobrir a 100% a energia necessária para ter água quente entre os meses de Maio a Setembro;
- A instalação de sistemas solares para aquecimento de água nas piscinas é económico e pode ser amortizado num curto espaço de tempo;
- Durante o tempo de vida útil os sistemas solares disponibilizam uma reserva de energia cerca de 13 vezes maior do que a utilizada na sua construção;
- Os sistemas solares requerem pouca manutenção e a energia produzida está constantemente disponível;
- A tecnologia solar cria emprego na produção, instalações e serviços de manutenção; e
- Com a diminuição crescente das reservas de energia estamos perante um esforço para a distribuição relativa. Os que começam a usar sistemas de energia solar no tempo certo contribuem significativamente para diminuir guerras cujo objectivo passa pelo controlo de recursos energéticos.

## 2.5 Iniciativa Pública Água Quente Solar para Portugal

Embora Portugal seja um dos países da Europa com maior incidência de radiação solar - cerca de 3 mil horas de sol por ano em algumas regiões - verifica-se que o mercado nacional de colectores solares para o aquecimento de água tem uma dimensão muito inferior à de outros países e que o aproveitamento deste recurso renovável está muito longe de atingir o potencial de 2,8 milhões de m<sup>2</sup> de colectores solares, estimado pelo FORUM Energias Renováveis em Portugal em 2001.

No final do ano de 2001 foi lançado o programa Eficiência Energética e Energias Endógenas, Programa E4, o qual reúne um conjunto de medidas para melhorar a eficiência energética e o aproveitamento das energias renováveis em Portugal, entre as quais a promoção do recurso a colectores solares para aquecimento de água, quer nos sectores residencial e serviços, quer na indústria, a Iniciativa Pública Água Quente Solar para Portugal (IP-AQSpP).

O objectivo específico do programa Água Quente Solar para Portugal é a criação de um mercado sustentável de colectores solares para o aquecimento de água, com ênfase na vertente "Garantia da Qualidade", de cerca de 150.000 m<sup>2</sup> de colectores por ano, que poderá conduzir a uma meta da ordem de 1 milhão de m<sup>2</sup> de colectores instalados e operacionais até 2010.

Por forma a atingir o objectivo definido, foi delineada uma estratégia de intervenção nas seguintes linhas:

### A. Promoção de imagem

Propõe-se explorar o interesse económico e social da opção "energia solar" para o aquecimento de água, através da divulgação de uma mensagem que realce os benefícios para o consumidor da utilização deste vasto recurso energético, nomeadamente através de campanhas dirigidas ao grande público e aos



profissionais do sector, a criação de uma linha verde e o desenvolvimento de um website dedicado na Internet, onde estarão disponíveis informações técnicas e listagens de instaladores e equipamentos certificados.

## B. Certificação de qualidade

Esta linha de intervenção propõe introduzir o conceito de garantia de qualidade dos componentes e das instalações, gerando maior confiança nos utilizadores, mediante:

- certificação obrigatória de colectores e sistemas solares térmicos, na sequência de ensaios de qualificação;
- formação e certificação de profissionais (projectistas e instaladores), sendo obrigatório o recurso a instaladores certificados para acesso aos apoios e incentivos fiscais; e
- garantia mínima dos equipamentos de 6 anos.

## C. Observatório

A tarefa prioritária do Observatório é acompanhar a implementação do programa AQSpP, analisando o que se faz no terreno, através da instituição de uma metodologia de apreciação permanente e referenciada dos componentes, instalações e instaladores, bem como das exigências dos utilizadores face a este produto, para permitir uma avaliação do progresso e a identificação de medidas correctivas que venham a provar-se desejáveis.

Estas grandes linhas de intervenção da IP-AQSpP foram definidas para fazer face às maiores dificuldades que inibem o desenvolvimento da energia solar, nomeadamente:

- a sua fraca credibilidade junto dos utilizadores devido à falta de qualidade da maioria dos equipamentos e das instalações da década de 80;
- a percepção de custo elevado dos equipamentos pelos utilizadores.
- As linhas de intervenção previstas preconizam ainda:
- a divulgação dos incentivos fiscais no IRS (30% do custo do sistema até um máximo de 700 euros);
- a divulgação dos incentivos de apoio directo ao investimento disponíveis no MAPE (Medida de Apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético e Racionalização de Consumos), que podem atingir 40% dos investimentos em sistemas de colectores solares;
- a promoção de um novo conceito: a venda do serviço de energia sob a forma de água quente solar, que retira todo o risco ao utilizador final por garantir-lhe só o pagamento da água quente consumida a um preço contratado; e
- o acompanhamento do desenvolvimento dos programas instituídos através de um Observatório.

A implementação do projecto é da responsabilidade da Direcção Geral de Energia, que assegurou a colaboração de quatro instituições (Agência para a Energia – ADENE, Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial – INETI, Sociedade Portuguesa de Energia Solar – SPES e Associação Portuguesa da Indústria do Solar – APISOLAR) encarregadas de executar tarefas específicas, sempre em articulação entre si, desenvolvendo e explorando sinergias.



### 3 COMPONENTES DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO

---

Os colectores solares instalados nos telhados convertem a luz, que penetra através dos vidros (radiação de onda-curta), em calor. Estes colectores estabelecem a ligação entre a energia proveniente do sol e os utilizadores de água quente. O calor é gerado pela absorção dos raios solares através de uma placa metálica que se comporta como um corpo negro – a placa absorvora. Esta é a componente mais importante do colector. Na placa absorvora está incorporado um sistema de tubos que serve para transferir o calor gerado, para o fluido de transferência térmica, que por sua vez flui para o tanque de armazenamento de água quente. Geralmente este calor é transferido para a água potável através de um permutador de calor.

Ao arrefecer o fluido de transferência escoia através de uma segunda conduta de volta ao colector, enquanto a água potável entretanto aquecida sobe no tanque de armazenamento, criando uma estratificação térmica, na qual a água aquecida está no topo (onde está localizada a tomada de água quente) enquanto que a água fria se encontra no fundo (onde está localizado o abastecimento de água para aquecimento).

A maioria dos sistemas solares, que são comercializados e instalados funcionam com um fluido de transferência térmica que é composto por uma mistura de água com anti-congelante para proteger os colectores do perigo de congelamento. Este líquido é composto por uma mistura de água e glicol, que circula num circuito fechado podendo ser utilizado em sistemas de transferência indirecta de calor através de um permutador.

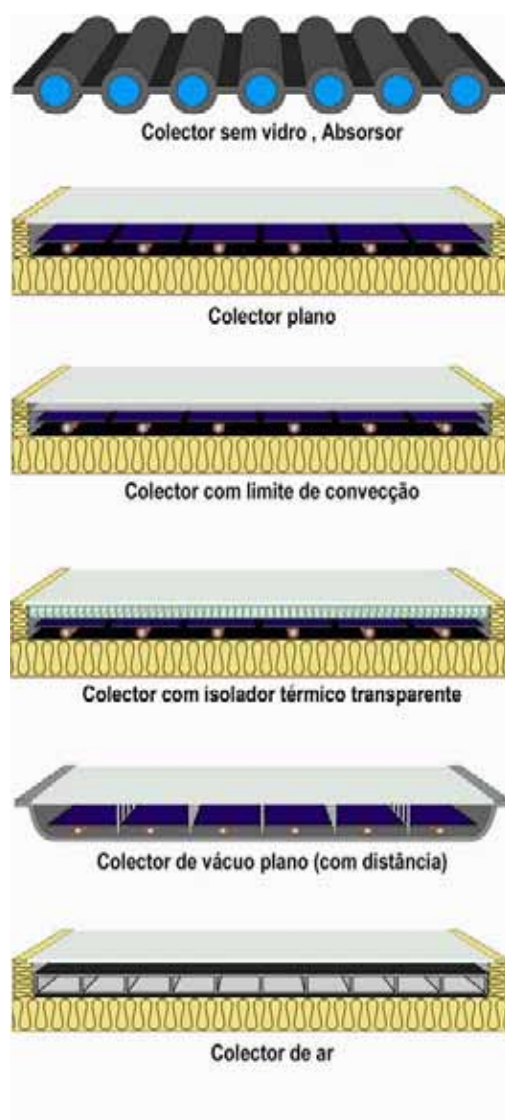
O sistema de comando diferencial serve para activar a bomba de circulação do circuito solar, quando o diferencial de temperatura entre o colector e o tanque armazenamento atingir um valor pré-estabelecido. Quando este valor é atingido a bomba de circulação é activada e o fluido de transferência térmica no colector – que foi aquecido pelo sol – circula para o depósito de água potável, onde o calor é transferido para a água através do permutador de calor do sistema solar, localizado abaixo do sistema de apoio.

Com as dimensões consideradas standard para uma ou duas famílias (por pessoa, 1 a 2 m<sup>2</sup> de superfície colectora e aproximadamente 50 a 70 l de volume no tanque de armazenamento) a água potável pode ser praticamente toda aquecida no Verão, pelo sistema solar térmico. O sistema solar é normalmente dimensionado para proporcionar uma cobertura anual de cerca de 50% a 80% das necessidades de aquecimento da água. Os restantes 20% a 50% têm que ser fornecidos por um sistema de apoio do tipo convencional. A instalação deste sistema de apoio é efectuada no topo do tanque de armazenamento de água potável através dum permutador de calor. Outro factor decisivo para manter o nível de energia suplementar baixo prende-se com o pré-estabelecimento da temperatura da água no depósito de armazenamento, ou seja, quanto menor a temperatura necessária, p.e. 45°C, maior a proporção de aquecimento coberta pela energia solar e vice-versa.

No capítulo seguinte serão introduzidos os componentes dos sistemas solares térmicos.

#### 3.1 Colectores

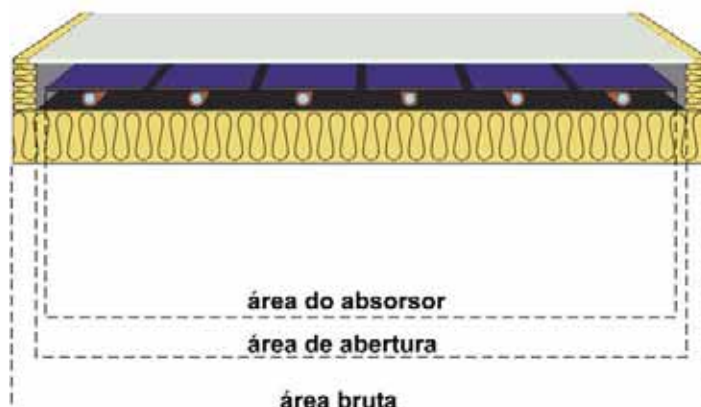
Os colectores servem para converter a maior quantidade de radiação solar disponível em calor e transferir este calor com o mínimo de perdas para o resto do sistema. Existem diversos tipos e designs de colectores para diferentes aplicações com custos e performances específicos.



**Figura 3.1 - Designs de vários colectores**

Para descrever a geometria dos colectores consideram-se as seguintes áreas:

- a dimensão total (superfície bruta) do colector que corresponde às dimensões exteriores e define, por exemplo, a quantidade mínima de superfície de telhado necessária para a instalação;
- a área da superfície de abertura que corresponde à área através da qual a radiação solar passa para o colector;
- a área de captação que corresponde à área da superfície da placa absorvora.



**Figura 3.2 - Secção transversal com a descrição das diferentes áreas das superfícies**

Para poder comparar diferentes colectores é importante definir uma superfície de referência, ou seja, a área da superfície para a qual os valores característicos do colector foram desenhados. Para os testes aos colectores esta superfície, de acordo com o método definido na Norma EN 12975 é a área da superfície de abertura.

Para a determinação do rendimento energético dos colectores, a superfície (bruta) do colector não pode ser considerada importante, sendo no entanto decisiva a área de captação. Como excepção destacam-se os colectores parabólicos compostos dado que a superfície receptora (área de abertura) é decisiva, devido à reflexão da radiação total na superfície reflectora deste tipo de colectores.

### 3.1.1 Colectores sem cobertura

Estes colectores consistem apenas numa placa absorvedora. Podem ser encontrados em variadas aplicações – principalmente como uma placa absorvedora de plástico para aquecimento da água das piscinas (ver Capítulo 8). Podem ser encontrados também como placas absorvedoras selectivas de aço inoxidável para pré-aquecimento de água potável. Este tipo de colectores tem uma menor eficiência relativamente aos colectores planos uma vez que não têm cobertura, revestimento e isolamento térmico sofrendo assim perdas de calor elevadas. No entanto por causa da simplicidade da sua construção estes colectores são mais baratos.

**Tabela 3.1 - Comparação de placas absorvedoras de aço-inoxidável – colectores planos**

Comparação entre produção e custos	Produção	Custo*
Absorvedor de aço inoxidável sem protecção	250-300 kWh/m <sup>2</sup> a	140 – 160 €/m <sup>2</sup>
Colector plano	350-500 kWh/m <sup>2</sup> a	170 – 300 €/m <sup>2</sup>

\* Não inclui manutenção, montagem e IVA

Vantagens do colector sem cobertura:

- a placa absorvedora substitui a cobertura do telhado (p.e., revestimento de zinco) para a área definida pelo dimensionamento, reduzindo os custos na aquisição da cobertura. Assim, o custo da produção de energia é mais baixa, devido ao menor investimento na componente de cobertura do telhado;
- está disponível para diversas formas de telhado: telhados planos, telhados inclinados, ou seja, a instalação destes colectores pode ser adaptada a curvas suaves;
- é uma solução mais estética para telhados em alumínio.

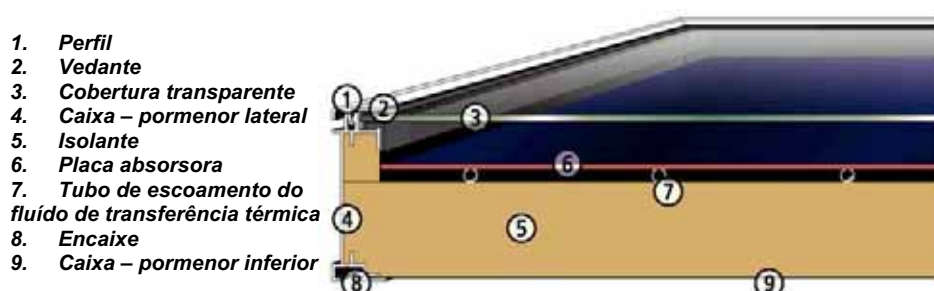
Desvantagens:

- por causa da baixa performance é necessário instalar uma superfície de colectores maior do que para outros tipos.

### 3.1.2 Colectores planos

#### 3.1.2.1 Design de colectores planos

Todos os colectores planos, que estão disponíveis no mercado são de absorvedores de metal dentro de uma caixa rectangular plana. Os colectores planos têm isolamento térmico isolados na parte inferior e nos lados. Na parte superior existe uma cobertura transparente. Dois tubos ligados para alimentação e retorno do fluido de transferência térmica estão colocados no lado do colector.



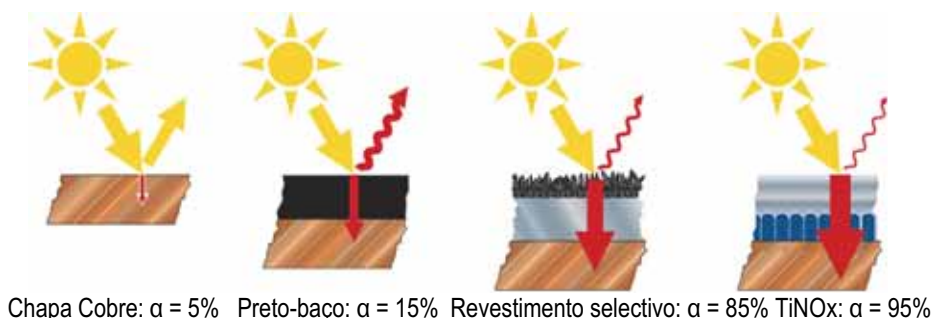
**Figura 3.3 - Secção através de um colector plano**

Os colectores planos pesam entre 15 a 20 kg/m<sup>2</sup> são fabricados em diversos tamanhos desde 1,5 m<sup>2</sup> a 12,5 m<sup>2</sup> e nalguns casos dimensões maiores. No entanto os tamanhos mais comuns são de 2 m<sup>2</sup>, ou seja os colectores apresentam um peso de cerca de 40 Kg por módulo.

### Placa Absorsora

A peça fundamental de um colector plano é a placa absorsora. Esta consiste numa chapa metálica com uma absorptância elevada, ou seja uma chapa que apresenta boas características de absorção de calor (fabricadas, por exemplo, em alumínio ou cobre numa superfície unitária ou em várias placas) com revestimento preto-baço ou com revestimento selectivo e tubos de transferência de calor (usualmente o material utilizado é o cobre) ligados ao colector. Desta forma, quando a radiação solar atinge o absorsor esta é parcialmente absorvida e parcialmente reflectida. Da absorção da radiação é gerado calor, que é transferido da chapa metálica para os tubos ou canais de escoamento. Através deste tubos de escoamento o fluido de transferência térmica transporta o calor para os tanques de armazenamento.

Como já foi referido os colectores servem para converter a maior quantidade de radiação solar disponível em calor e transferir este calor com o mínimo de perdas para o resto do sistema. Assim, o absorsor está optimizado para ter a maior capacidade de absorção possível e a menor emissividade térmica possível. Esta optimização é possível através do tratamento da chapa metálica, com um revestimento de pintura preto-baço ou selectivo. Ao contrário de um revestimento preto-baço, um revestimento selectivo é formado por uma estrutura com diferentes camadas que melhora a conversão de radiação solar de onda-curta minimizando as perdas.



**Figura 3.4 - Absorção ( $\alpha$ ) e emissão através de superfícies diferentes**

Geralmente os revestimentos selectivos mais utilizados são de tratamento electroquímico, como é o caso do cromo-preto ou níquel-preto. Contudo os últimos desenvolvimentos em revestimentos, com melhoria das suas características ópticas, estão disponíveis no mercado e estão a ser utilizados, como é o caso do TiNOx (revestimento por deposição física do tipo "sputtering"). Este processo caracteriza-se por apresentar um baixo consumo de energia e menores impactes ambientais durante a sua produção em comparação com revestimentos de cromo-preto ou níquel-preto que usualmente são criados através de processos de cromagem. Adicionalmente estes revestimentos por deposição física apresentam, comparativamente com os outros processos, um aumento de absorção de energia para temperaturas elevadas ou baixos níveis de irradiação solar.



**Figura 3.5 - Equipamento de revestimento Fonte: Interpane, Lauenförde**

**Caso de estudo:** Radiação e interacção com materiais

Quando as ondas-curtas da luz solar (comprimento de onda 0,3-3,0  $\mu\text{m}$ ) atingem um objecto (p.e., uma cobertura solar) estas são reflectidas de acordo com a estrutura da superfície (material, rugosidade, cor). Superfícies claras reflectem mais, comparadas com superfícies escuras. A proporção de radiação reflectida (especialmente com superfícies de vidro) é também dependente do ângulo de incidência da radiação (lei de Fresnel). A radiação que não é reflectida é absorvida pelo objecto, ou no caso de objectos de material translúcido é também transmitida através desses objectos. A parte absorvida é convertida em radiação térmica de ondas-longas (comprimento de onda 3,0-30  $\mu\text{m}$ ) e radiada de acordo com a estrutura da superfície.

Este processo é descrito fisicamente, como o grau de reflexão, absorção, transmissão e emissividade de um corpo.

$$\text{Grau de reflexão: } \rho = \frac{\text{Radiação reflectida}}{\text{Radiação incidente}}$$

$$\text{Grau de absorção (coeficiente de absorção): } \alpha = \frac{\text{Radiação absorvida}}{\text{Radiação incidente}}$$

$$\text{Grau de transmissão: } \tau = \frac{\text{Radiação transmitida}}{\text{Radiação incidente}}$$

$$\text{Emissividade: } \varepsilon = \frac{\text{Radiação emitida}}{\text{Radiação absorvida}}$$

As variáveis  $\rho$ ,  $\alpha$ ,  $\tau$  e  $\varepsilon$  são dependentes do material e do comprimento de onda. O somatório de  $\rho$ ,  $\alpha$  e  $\tau$  é igual a 1 (100%).

Em tecnologia solar térmica aplica-se a lei de Stefan-Boltzmann, que diz que um corpo emite radiação correspondente à 4ª potência da sua temperatura.

$$Q = \sigma \times T^4$$

Onde Q = Radiação térmica emitida ( $\text{W/m}^2$ )

$\sigma$  = Constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8}$ ) ( $\text{W/m}^2\text{K}^4$ )

$T$  = Temperatura absoluta de um corpo (K)

Por forma a reduzir a radiação emitida e aumentar a eficiência dos colectores, novos revestimentos foram desenvolvidos. No mercado de energia solar a terceira geração de revestimentos apareceram recentemente (ver Fig. 3.4).



Absorvedor de alumínio roll-bond  
Fonte: SET



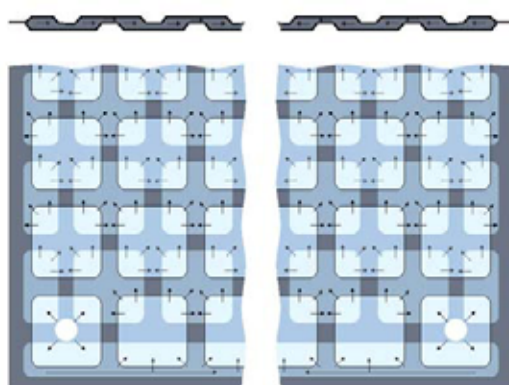
Faixas absorvedoras de alumínio com tubos de cobre prensados  
Fonte: Sunstrip



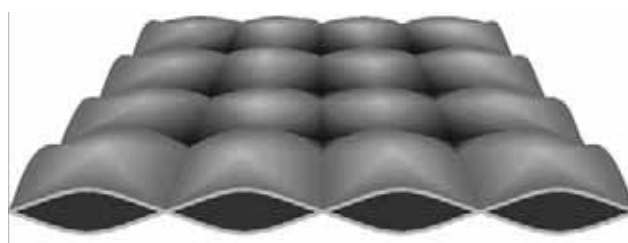
Absoror com sistema de tubos prensados entre duas chapas  
Fonte: KBB



Absoror com um sistema de tubos soldados numa chapa de metal  
Fonte: Wagner



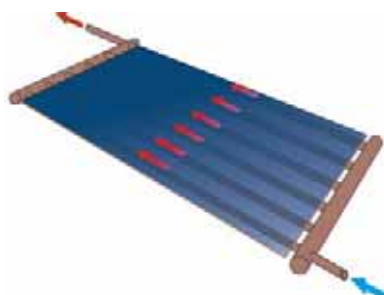
Fonte: Energie Solaire



Absoror de aço inoxidável no qual o líquido absoror passa através de toda a superfície  
Fonte: Solahart



Absoror de serpentina (superfície-total)



Absoror de superfície-total





Absorvedor de superfície total

**Figura 3.6 - Vários tipos de placas absorvedoras****Tabela 3.2 - Vantagens e desvantagens de diferentes modelos de absorvedor**

Modelo de absorvedor	Vantagens	Desvantagens
Absorvedor Roll-bond	Boas propriedades térmicas, separação de materiais – reciclagem simplificada	Sujeito a corrosão do alumínio em contacto com tubo de cobre
Faixa absorvedora com tubo de cobre soldado	Tamanho flexível e barato	Muitos pontos de soldadura
Absorvedor com sistema de tubo prensado entre duas folhas de metal	Separção de materiais – reciclagem simplificada	Custo elevado de produção por causa das ligações
Absorvedor com sistema de tubos “clipados”	Tamanho flexível – taxa de escoamento flexível	Baixa optimização de transferência de calor
Absorvedor de escoamento total em aço inoxidável	Optimização óptima de calor para o líquido	Peso elevado e inércia térmica
Absorvedor em serpentina	Dois pontos soldados no sistema de tubos	Elevadas perdas de pressão em relação ao absorvedor de superfície total
Absorvedor de superfície total	Baixas perdas de pressão em relação ao absorvedor em serpentina	Muitos pontos de soldadura no sistema de tubos, preço elevado
Absorvedor de superfície total	Baixas perdas de pressão em relação ao absorvedor em serpentina	Muitos pontos de soldadura no sistema de tubos

Como material para a chapa do absorvedor o cobre possui óptima condução térmica. Para além disso a transmissão térmica entre a chapa do absorvedor e os tubos de escoamento do fluido tem que ocorrer com a melhor eficiência possível.

Outro factor importante para uma maior produção de energia prende-se com o aquecimento de uma menor quantidade de fluido de transferência, permitindo uma reacção mais rápida às alterações da radiação solar disponível. No caso de absorvedores com canais de escoamento este é menor (0,4-0,6 l de fluido de transferência térmica por m<sup>2</sup> da superfície absorvedora) em relação aos absorvedores de superfície total com 1-2 l/m<sup>2</sup>.

### Isolamento

Para reduzir as perdas de calor para o ambiente, através de condução térmica, o colector tem uma camada de isolamento entre a caixa e a placa absorvedora.

Uma vez que o colector pode atingir temperaturas máximas entre 150 a 200°C (quando está parado), os isolamentos de fibra mineral são os mais indicados para suportar estas temperaturas. É necessário ter em conta o tipo de isolamento utilizado, dado que este não deve derreter, encolher ou libertar gases pois pode dar origem a eventuais condensações no interior do colector ou mesmo a corrosão das superfícies metálicas, reduzindo significativamente a eficácia destes.

Os materiais mais utilizados são: o poliuretano, o poliuretano isento de CFCs, a lã de rocha e a lã de vidro. O poliuretano isento de CFCs, para além de ser um isolante térmico, ajuda a melhorar a resistência estrutural da caixa do colector aumentando o seu peso, nomeadamente para uma área de superfície colectora grande. Por causa da falta 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 (camada-gémea de insolação).

Para além do isolamento térmico, mencionado nos parágrafos anteriores, existem colectores que estão equipados com um limitador de convecção para reduzir as perdas por convecção (estrutura de plástico entre o absorvador e a cobertura transparente, por exemplo, em Teflon). Alguns colectores são fornecidos com materiais transparentes isolantes debaixo da cobertura transparente.

### Caixa e cobertura transparente

A placa absorvora e o isolamento térmico estão instalados numa caixa e estão protegidos com uma cobertura transparente, que provoca o efeito de estufa e reduz as perdas de calor.

Os materiais utilizados são geralmente o vidro e ocasionalmente o plástico. Vidro com baixo teor em ferro (vidro muito transparente) com uma espessura de 3-4 mm (factor de segurança) é muitas vezes utilizado. O coeficiente de transmissão da luz é de 91% no máximo.

A cobertura transparente deve possuir características que permitam uma elevada transmissão de luz e consequentemente uma baixa reflexão durante a vida útil do colector. Para além disso deve assegurar a estanquicidade do colector à água e ao ar, bem como resistir à pressão do vento, choques térmicos e impacto de objectos (pedras, ramos, etc...)

Os tratamentos especiais que podem ser aplicados à cobertura transparente são:

- tratamento anti-reflexo sobre a superfície exterior para diminuir as perdas por reflexão dos raios solares incidentes;
- tratamento na superfície interior para que reflecta as radiações de elevado comprimento de onda, e não impeça a passagem da radiação de onda curta, para diminuir as perdas por radiação.

Por outro lado existe a hipótese de instalação de vidro duplo, que aumenta o efeito de estufa e a temperatura que o fluido de transferência pode atingir. No entanto as perdas ópticas são mais elevadas. Assim, esta cobertura dupla apresenta melhores vantagens para condições meteorológicas adversas, ou seja baixas temperaturas e ventos fortes.

**Tabela 3.3 – Tipos de cobertura**

Cobertura	Vidro	Plástico
Transmissão	Estabilidade a longo prazo	Deterioração
Estabilidade mecânica	Estável	Estável
Preço	Elevado	Baixo
Peso	Elevado	Baixo

**Tabela 3.4 – Tipos de caixas**

Caixa	Alumínio	Aço	Plástico	Madeira envernizada
Peso	Baixo	Elevado	Médio	Elevado
Construção	Fácil	Fácil	Médio	Difícil
Consumo energético	Alto	Baixo	Médio	Baixo
Custo	Alto	Baixo	Baixo	Médio
Outros	Aumento do tempo de recuperação energética e reciclável	Raramente utilizado	Pouco Utilizado	Material ecológico, apenas instalações integradas no telhado

### Caso de estudo: Revestimento anti-reflexo

As coberturas de vidro normalmente utilizadas reflectem cerca de 4% da radiação em ambos os lados da superfície do vidro. Este factor, em conjunto com a absorção da radiação pelo vidro, permite a transmissão de 91% da luz para o colector solar. Através de um tratamento das superfícies do vidro a reflexão é reduzida significativamente e a capacidade de transmitir a luz é aumentada de 91 para 96%. Neste processo a superfície da cobertura apresenta rugosidade reduzindo-se o índice de refração de 1,53 para 1,3. Assim, a reflexão é reduzida ao mínimo.

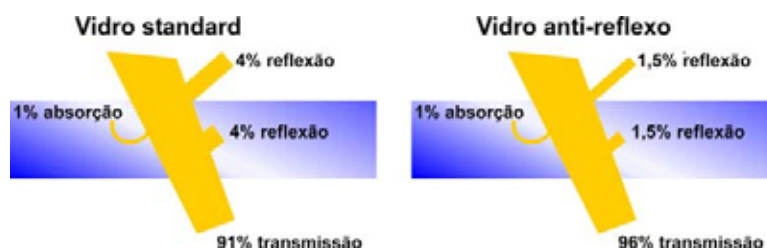


Figura 3.7 - O efeito do vidro anti-reflexo

Desta forma a eficiência óptica aumenta de 0,8 para 0,86, logo a eficiência do colector aumenta também. No que diz respeito aos colectores típicos a produção sobe 7% a 10%. Para além disso, os testes realizados durante sete anos ao ar livre provaram a estabilidade do revestimento anti-reflexo, reduzindo-se o aumento de transmissão de 5 para 4,5%.

Este processo de tratamento da cobertura é efectuado em circuito fechado, minimizando-se a produção de resíduos e de emissões. A água utilizada é tratada e reutilizada no processo de fabrico. Adicionalmente, são geradas pequenas quantidades de cálcio e minerais de silicone.

### Vedantes

Os vedantes servem para evitar a entrada de água, pó e insectos. Os vedantes entre a cobertura transparente e a caixa consistem de materiais EPDM ou borracha de silicone. A parte inferior da caixa é instalada no encaixe com silicone. Para tubos absorsores é conveniente colocar vedante de silicone (temperatura máxima de aplicação 200°).

### Orifício para o sensor de temperatura

A maioria dos colectores planos são fabricados com um orifício para o sensor de temperatura. O sensor tem que ser inserido apenas nesse orifício e conectado ao controlador por um cabo, depois de estar instalado. Para alguns colectores o sensor é aparafusado numa faixa da placa absorsores em frente da saída do colector, antes da saída do fluido de transferência térmica.

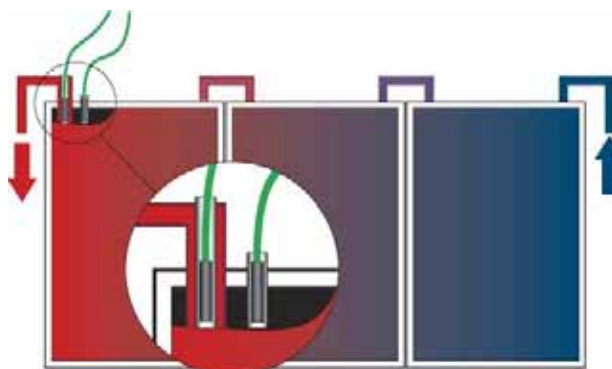


Figura 3.8 - Instalação de um sensor no colector

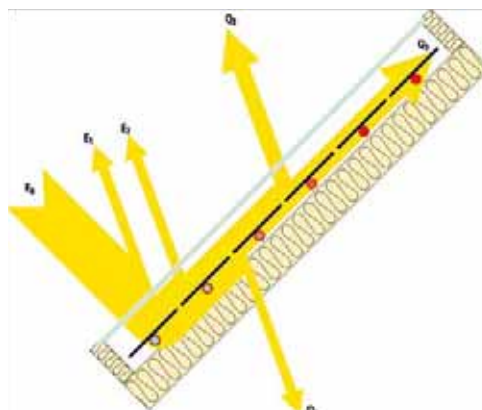
#### 3.1.2.2 Esquema funcional de um colector plano

A irradiação ( $E_0$ ) atinge a cobertura transparente e antes de entrar no colector uma pequena parte da energia ( $E_1$ ) é reflectida, nas superfícies internas e externas do vidro. A superfície selectiva do absorsor também reflecte uma pequena parte da luz ( $E_2$ ) e converte a radiação restante em calor. Com um bom

isolamento térmico no colector e usando materiais isolantes não combustíveis, tais como a lã mineral e/ou poliuretano sem CFC, as perdas de energia através de condução térmica ( $Q_1$ ) são reduzidas ao máximo possível.

A cobertura transparente tem a função de reduzir perdas na superfície do absorvedor, através de radiações térmicas e convectivas ( $Q_2$ ). Isto significa que perdas por convecção e irradiação ocorrem somente para o exterior através da cobertura de vidro aquecida.

Assim, da irradiação de energia solar ( $E_0$ ) e retirando os diferentes tipos de perdas ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $Q_1$  e  $Q_2$ ) fica o calor remanescente ( $Q_3$ ) que está disponível para ser utilizado no sistema.



$E_0$  – Irradiação  
 $E_1$  e  $E_2$  – Perdas por reflexão  
 $Q_1$  e  $Q_2$  – Perdas térmicas  
 $Q_3$  – Quantidade de calor disponível

**Figura 3.9 - Fluxos de energia num colector**

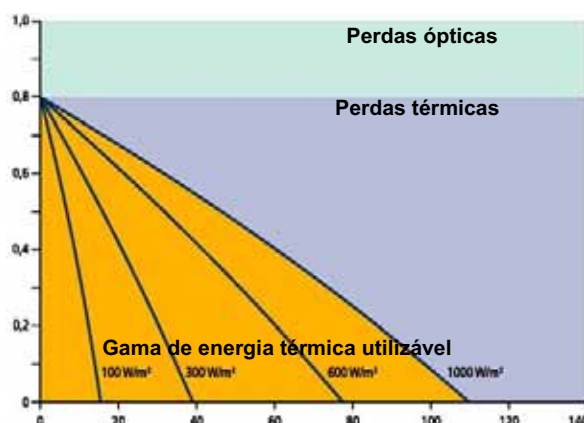
### **Coefficiente de eficiência do colector**

A eficiência  $\eta$  de um colector é definida como a taxa de energia térmica utilizada para o total da irradiação de energia solar:  $\eta = Q_N / E$ . A eficiência é influenciada pelas características do colector, mais precisamente pelas perdas por reflexão ( $E_1$  e  $E_2$ ) e térmicas ( $Q_1$  e  $Q_2$ ).

As perdas ópticas descrevem a proporção de irradiação solar que não pode ser absorvida pela placa absorvedora, dependem da transparência da cobertura de vidro (coeficiente de transmissão  $\tau$ ) e da capacidade de absorção da superfície da placa absorvedora (coeficiente de absorção  $\alpha$ ) e são descritas pela eficiência óptica:

$$\eta_0 = \tau \times \alpha$$

As perdas térmicas estão dependentes da diferença de temperatura entre o absorvedor e o ar exterior, da insolação e da construção do colector. A influência da construção é descrita através do coeficiente global de perdas ( $U_L$ ) em  $W/m^2K$ .



**Figura 3.10 - Perdas ópticas e térmicas**

Para uma irradiação constante e com o aumento da diferença de temperatura, entre o absorvedor e o ar exterior, as perdas aumentam e a eficiência diminui. Desta forma é importante assegurar uma temperatura de retorno baixa e uma irradiação elevada, para um melhor aproveitamento térmico de um sistema solar.

### **Caso de estudo:** Curva característica e coeficiente de perda térmica

A eficiência de um colector pode ser descrita em geral por:

$$\eta = \frac{Q_N}{E}$$

Onde  $Q_N$  = Potência térmica disponível ( $W/m^2$ ) e  $E$  = Irradiação que atinge a cobertura de vidro ( $W/m^2$ )

A potência térmica disponível é calculada através da irradiação disponível no absorvedor, convertida em calor retirando as perdas térmicas de transmissão, convecção e irradiação:

$$Q_N = E_N - Q_V$$

Onde  $E_N$  = Irradiação disponível ( $W/m^2$ ) e  $Q_V$  = Perdas térmicas ( $W/m^2$ ).

A irradiação disponível é obtida matematicamente, através do produto da irradiação que atinge a cobertura de vidro ( $E$ ) e o coeficiente de transmissão do vidro ( $\tau$ ) e o coeficiente de absorção do absorvedor ( $\alpha$ ):

$$E_N = E \times \tau \times \alpha$$

As perdas térmicas dependem da diferença de temperatura do absorvedor e do ar ( $\Delta T$ ). Numa primeira aproximação, (para absorvedores de baixa temperatura) esta relação é linear e pode ser descrita pelo coeficiente global de perdas ( $W/m^2K$ ):

$$Q_V = U_L \times \Delta T$$

Se forem substituídos os valores na equação de cima obtemos para a eficiência do colector:

$$\eta = \frac{E \times \tau \times \alpha}{E} - \frac{U_L \times \Delta T}{E}$$

$$\eta = \eta_0 - \frac{U_L \times \Delta T}{E}$$

Para absorvedores de alta temperatura as perdas térmicas não aumentam linearmente com a diferença de temperatura, mas aumentam mais (através de uma potência quadrática) com o aumento da radiação térmica.

Para este tipo de absorvedores a equação característica da curva em segunda aproximação é dada pela seguinte equação:

$$\eta = \eta_0 - \frac{U_{L1} \times \Delta T}{E} - \frac{U_{L2} \times \Delta T^2}{E}$$

Com  $U_{L1}$  = Coeficiente global de perdas linear ( $W/m^2K$ ) e  $U_{L2}$  = coeficiente global de perdas quadrático ( $W/m^2K$ ).

Na literatura refere-se, por vezes, o valor  $U_{Lef}$ . Este é calculado, através dos valores de  $U_{L1}$  e  $U_{L2}$ :

$$U_{Lef} = U_{L1} + U_{L2} \times \Delta T$$

Nos capítulos seguintes quando for referido o valor  $U_L$  a referência é o  $U_{L1}$ .

### **Valores numéricos**

Os números característicos, apresentados anteriormente, servem como critério de comparação da qualidade de diferentes colectores. Bons colectores planos apresentam uma eficiência óptica  $\eta_0 > 0,8$  e valor de  $U_L < 6 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

A eficiência média anual de um sistema completo com colectores planos é de 35-40%, ou seja, para um montante anual de  $1.000 \text{ kWh/m}^2$  de radiação solar a produção de energia corresponde a  $350 - 400 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Esta produção assume um sistema dimensionado apropriadamente e o correspondente consumo:

- custo específico aproximado dos colectores:  $\approx 170 - 300 \text{ €/m}^2$  (não inclui montagem nem IVA);
- custo aproximado do sistema para uma habitação unifamiliar para  $4 \text{ m}^2/300 \text{ l}$ :  $\approx 2500 \text{ €}$  (IVA incluído mas não inclui montagem nem acessórios suplementares)

### Vantagens e desvantagens dos colectores planos

Vantagens:

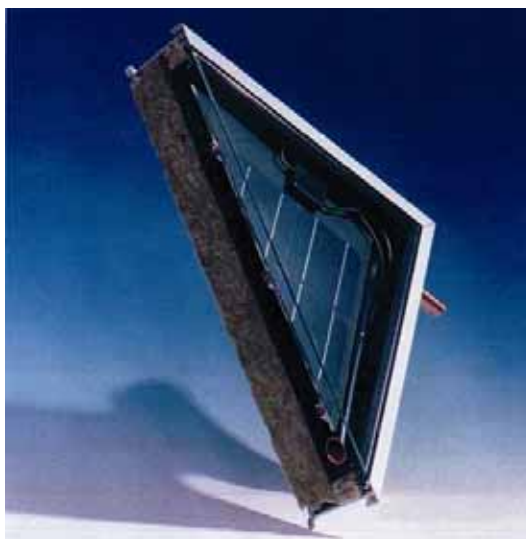
- mais barato que um colector de vácuo e parabólico composto;
- oferece múltiplas opções de montagem (sobre o telhado, integrado no telhado, montado na fachada e de instalação livre);
- tem um boa taxa de preço/performance;
- permite montagem simples (kits de construção de colector).

Desvantagens:

- apresenta menor eficiência em relação aos colectores de vácuo e colectores parabólicos compostos (CPCs) devido aos elevados valores de  $U_L$ ;
- não serve para gerar altas temperaturas, p.e. geração de vapor, fornecimento de calor para máquinas de refrigeração;
- exige mais espaço no telhado do que os colectores de vácuo.

#### Caso de Estudo: Colector híbrido

Os colectores híbridos são uma combinação de colectores planos térmicos com células solares fotovoltaicas, que convertem a luz solar em energia eléctrica. O calor que é criado, é utilizado para aquecer água potável. As células solares estão isoladas electricamente à superfície de um absorvedor, arrefecido por líquido, ao qual estão termicamente ligadas. A produção eléctrica tem a mesma proporção que sistemas fotovoltaicos convencionais, enquanto a produção térmica se equipara à dos colectores com absorvedores não selectivos. Este tipo de colectores continua a ser desenvolvidos estando por determinar o sucesso destes no mercado, em comparação com os modelos que separam os dois tipos de aproveitamento solar.



**Figura 3.11 - Spectrum Fonte: Solarwerk Teltow, Solon AG**

### 3.1.3 Colectores Parabólicos Compostos (CPCs)

Por forma a reduzir as perdas térmicas existentes nos colectores planos desenvolveu-se uma tecnologia baseada na redução da área de absorção, em comparação com a área de captação da radiação solar. Desta forma reduzem-se as perdas térmicas, tendo em conta que são proporcionais à área do absorsor em contraposição com a área de abertura.

O modo de funcionamento destes colectores passa pela concentração da radiação solar, na placa absorSORa, através dum sistema duplo de absorção da radiação. Assim, os colectores são constituídos por: um sistema de absorsores que permite absorver a radiação de forma semelhante aos colectores planos; um sistema de reflexão da radiação que permite a absorção da radiação na parte inferior do absorsor. Estes colectores são conhecidos como concentradores do tipo CPC (Colectores Parabólicos Compostos) devido à configuração da superfície reflectora em forma de parábola.



**Figura 3.12 - Colectores Parabólicos Compostos Fonte: Ao Sol**

A superfície reflectora, através da sua configuração, permite assim concentrar a radiação com a utilização de materiais espelhados com elevado nível de reflectividade. O ângulo de abertura destas superfícies permite captar a radiação directa e a difusa tal como nos colectores planos.

#### **Valores numéricos**

Para os CPCs a eficiência óptica apresenta valores na ordem dos 0,70, semelhantes aos colectores planos no entanto tendo em conta o melhor isolamento térmico o valor de  $U_L$  é  $< 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Os custos do sistema com estes colectores é:

- custos específicos do colector:  $\approx 250 \text{ €/m}^2$  (Não inclui montagem, reparação e IVA);
- custos de sistema para uma habitação unifamiliar para  $4\text{m}^2/350\text{l}$ :  $\approx 3200 \text{ €}$  (IVA incluído mas não inclui montagem nem acessórios suplementares).

#### **Vantagens e desvantagens de um CPC**

##### **Vantagens:**

- tem elevada eficiência mesmo com elevadas diferenças de temperaturas entre o absorsor e o meio envolvente (e.g. no verão);
- tem uma elevada eficiência com baixa radiação (e.g. no inverno);
- suporta aplicações de calor com mais eficiência do que os colectores planos;
- funciona com elevadas temperaturas, e.g. para condicionamento do ar.

##### **Desvantagens:**

- mais caro do que um colector plano.

Os CPCs consistem em sistemas de concentração da radiação solar, para obtenção de temperaturas mais elevadas, com alto rendimento, devido às menores perdas térmicas, mas com características de simplicidade que os tornam equivalentes, na montagem e utilização, aos colectores convencionais planos, pelo facto de se poderem colocar da mesma forma em telhados ou outras estruturas fixas e captar também a radiação solar difusa.

### 3.1.4 Colectores de vácuo



### 3.1.4.1 Tubos de vácuo

Para reduzir as perdas térmicas num colector, tubos de vidro (com absorvedores internos) são sujeitos a vácuo. Por forma a eliminar as perdas de calor por convecção, a pressão dentro dos tubos de vidro deve ser pelo menos de  $10^{-2}$  bar. Um aumento adicional de evacuação reduz as perdas por condução térmica. Assim, as perdas de calor para a atmosfera são significativamente reduzidas, sendo de realçar que mesmo com uma temperatura de absorção de  $120^{\circ}\text{C}$  ou maior, os tubos de vidro permanecem frios no seu exterior. A maioria dos tubos de vácuo são evacuados abaixo dos  $10^{-5}$  bar. No que diz respeito a perdas por radiação, uma vez que as características de perda do colector não dependem do meio em que este se encontra, não podem ser reduzidas pela criação de vácuo. Estas perdas de radiação mantêm-se reduzidas, como no caso de colectores planos, pela selecção de bons revestimentos (valor de  $\varepsilon$  baixo).

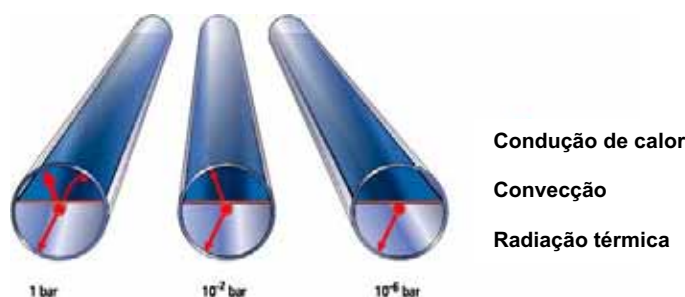


Figura 3.13 - Princípio de isolamento térmico de vácuo

### Placa absorptora, tubo de vidro, colector e caixas distribuidoras

Nos colectores de vácuo as placas absorptoras são instaladas como placas absorptoras planas, convexas ou cilíndricas. A forma tubular destes colectores controla, através da sua alta compressão, as forças que aumentam com o vácuo.

Um colector de tubo de vácuo consiste num número de tubos, que estão ligados entre si pelo topo através de um distribuidor ou caixa colectora, no qual se localizam o isolamento e as linhas de alimentação e retorno. Existem dois tipos de colectores de tubos de vácuo: escoamento directo e tubo de aquecimento.

### Colectores de tubos de vácuo de fluxo directo

Neste tipo de colectores o fluido de transferência de calor é conduzido através de um sistema de tubo-entre-tubo (tubos coaxiais) para a base do absorptor onde flui para a caixa colectora, aumentando a temperatura do fluido, ou flui através de um tubo em forma de U.

Os tubos colectores de evacuação de fluxo directo podem ser orientados a sul mas podem ser também montados horizontalmente num telhado plano.

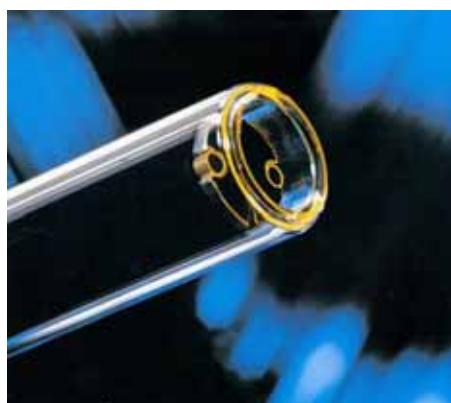


Figura 3.14 - Colector de Tubo de Vácuo Fonte: Thermomax, Frigicoll

Outro tipo de tubo colector de fluxo directo é o colector Sydney. Este colector consiste num duplo tubo de vácuo selado. O bolbo de vidro interno tem um revestimento de metal e carbono sobre cobre. Neste tubo duplo de evacuação é colocada uma placa de condução térmica em conexão com um tubo em U onde é

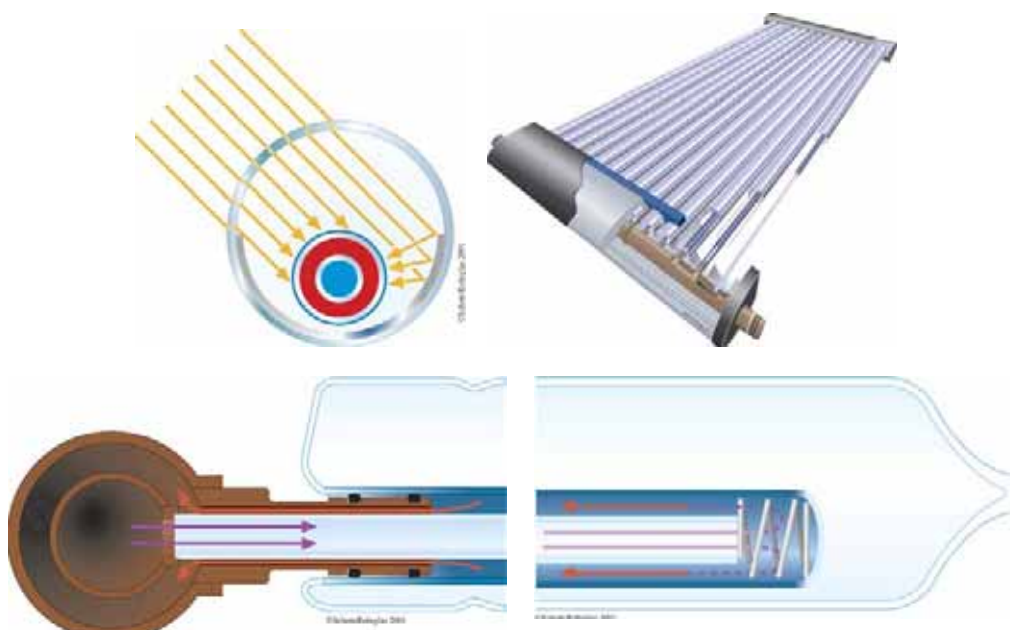


efectuada a transferência de calor. Diversos tubos são combinados num único módulo (6 a 21 de acordo com o alimentador). Para colectores instalados em telhados inclinados e para aumentar o ganho da radiação o colector é calibrado com reflectores externos. Para telhados planos deve ser colocada uma cobertura no telhado com uma boa reflectividade, tal como cascalho ou folha metálica reflectora, porque estes colectores não têm reflectores.



**Figura 3.15 - Tubo Sydney Fonte: Microtherm, Lods**

No caso de sistemas de tubos de vácuo, desenvolvidos pela Schott, não é utilizado metal, consistindo de três tubos de vidro coaxiais (invólucro, absorvedor parcialmente revestido e interno).

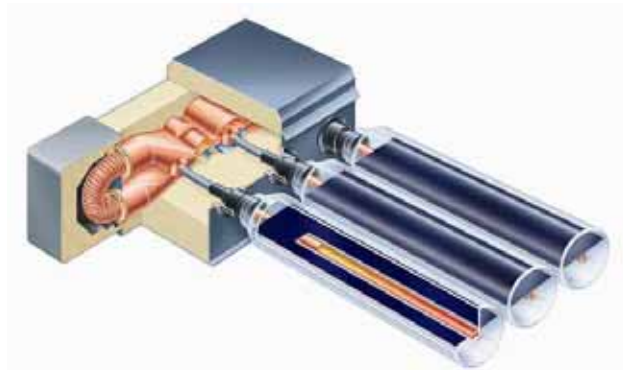


**Figura 3.16 - Tubo colector Schott**

**Tubos colectores de calor**

Neste tipo de colectores um revestimento selectivo de metal com propriedades de condutor-térmico, ligado a um tubo de aquecimento, é colocado dentro do tubo de vácuo. O tubo de aquecimento é preenchido com álcool ou com água em vácuo, que é evaporado para temperaturas a partir dos 25° C. O vapor que é criado sobe, transferindo calor por condensação através do permutador de calor para o fluido de transferência de calor. O fluido condensado arrefece e volta a descer para ser aquecido novamente. Para um desempenho apropriado dos tubos estes devem ser instalados com uma inclinação mínima de 25° C.

Tubos colectores de evacuação de calor estão disponíveis em duas versões, com ligação “seca” e com ligação “molhada”.



**Figura 3.17 - Secção transversal de um tubo colector de evacuação de calor com ligação “seca”, Vitasol 300**

### Valores numéricos

Para tubos colectores de vácuo a eficiência óptica apresenta valores mais baixos, em relação aos dos colectores planos, devido à forma do tubo ( $\eta_0 = 0,6 - 0,8$ ) no entanto o melhor isolamento térmico reduz o valor global de perdas térmicas  $U_L < 1,5W/m^2K$ .

A média anual da eficiência, de um sistema completo com coletores de vácuo, encontra-se entre os 45 e 50%. Tendo em conta um valor de irradiação solar anual de 1.000 kWh/m<sup>2</sup> a produção de energia será de 450 a 500kWh/m<sup>2</sup>a. Assume-se um dimensionamento apropriado do sistema para atingir esta produção.

- Custos específicos do colector:  $\approx 750 \text{ €/m}^2$  (Não inclui montagem, reparação e IVA).

### Vantagens e desvantagens de um colector de vácuo

#### Vantagens:

- apresenta boa eficiência, mesmo com elevadas diferenças de temperatura entre o absorvedor e o meio envolvente (p.e. no verão);
- apresenta boa eficiência com baixa radiação (p.e. no inverno);
- suporta cargas térmicas com mais eficiência do que os colectores planos;
- atinge elevadas temperaturas, possibilitando a utilização em sistemas de ar condicionado e produção de vapor;
- facilmente transportado para qualquer local (apresenta um baixo peso e pode ser montado no local da instalação);
- através da afinação das placas absorvedoras (na montagem, na fábrica ou durante a instalação) estas podem ser alinhadas em direcção ao sol (no caso de certos produtos);
- colectores de tubos de fluxo-directo podem ser montados horizontalmente num telhado plano, providenciando menores perdas térmicas, devido ao vento e menores custos de instalação evitando-se a remoção de material do telhado e mantendo a sua estrutura intacta.

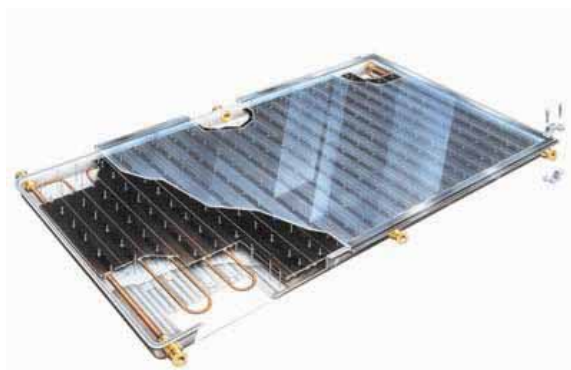
#### Desvantagens

- mais caro do que um colector plano;
- não pode ser utilizado numa instalação no telhado;
- não pode ser usado para instalações horizontais no caso dos sistemas de tubos de aquecimento (inclinação no mínimo 25°).

#### 3.1.4.2 Colectores de vácuo planos

A sua construção é idêntica ao colector plano standard. A principal diferença é que o isolamento térmico é efectuado com um vácuo de  $10^{-1}$  para  $10^{-3}$  bar (pressão do ar 1 bar = 1.000 mbar) em vez de ser utilizada fibra mineral ou espuma de poliuretano. Este vácuo reduz as perdas térmicas por convecção. Adicionalmente, este colector é “preenchido” com cripton a 50 mbar de modo a reduzir perdas térmicas através da condução. Para suportar as forças causadas pela diferença de pressão, entre a pressão exterior e interior, elementos de suporte são encaixados entre a base da caixa e a cobertura de vidro (espaçamento de 10 cm). Por causa disto, existe um número correspondente de buracos no absorsor.

De facto é mais correcto falar de um colector plano de vácuo parcial porque neste caso a pressão de vácuo é significativamente menor, comparada com a pressão dos tubos de vácuo. O colector plano de vácuo é evacuado depois da instalação e deve ser verificado para certos intervalos de tempo e re-evacuado quando necessário. Portanto uma linha de vácuo tem que ser instalada. A eficiência óptica  $\eta_0$  do colector plano de vácuo é cerca de 0,8 e o valor de  $k$  é cerca de  $2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

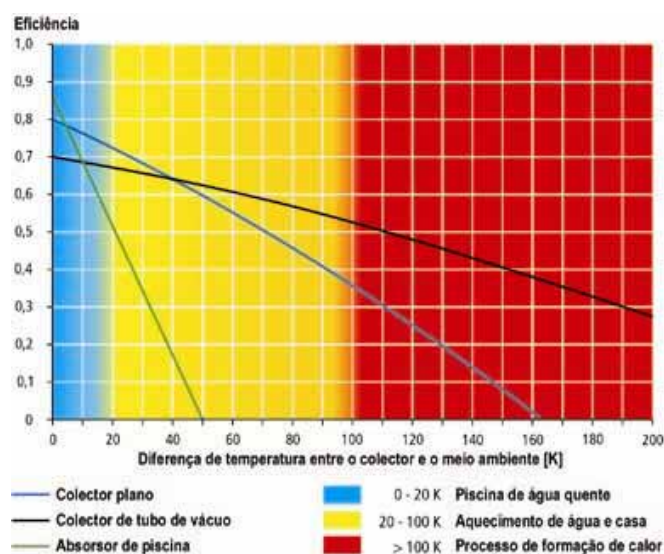


**Figura 3.18 - Colector de vácuo plano**

**Fonte: Thermosolar sales, IFF, Kollmannsberger, KG**

### 3.1.5 Curva característica dos colectores e aplicações

Apresentam-se, na figura seguinte, as curvas típicas da eficiência para diferentes tipos de colectores: absorsor para piscina de natação, colector plano e colector de tubo vácuo com a mesma irradiação solar global, bem como a área de aplicação. Para  $\Delta T = 0$  o respectivo tipo de colector apresenta a maior eficiência ( $\eta_0$ ). Para a temperatura máxima, i.é. quando atinge a temperatura de estagnação a eficiência é igual a zero.



**Figura 3.19 - Curva da eficiência característica para diferentes tipos de de colectores e a área de aplicação**

### 3.1.6 Temperatura de estagnação

Se a bomba de recirculação falhar e na sequência de irradiação solar elevada, ou se a água quente não é utilizada (por exemplo no tempo de férias) então o tanque de armazenamento atinge a temperatura de 60°C – 90°C e o sistema desliga, não sendo retirado mais calor do colector. Nesta situação o absorvedor aquece até que as perdas de calor, através da convecção, radiação e condução, atinjam o valor de output térmico do colector. Quanto maior o isolamento, mais elevada a temperatura de estagnação. Os colectores planos com bom isolamento, atingem uma temperatura de estagnação máxima de 160 – 200 °C, colectores de tubo de vácuo chegam a 200–300 °C e com refletores acima de 350°C, para os colectores parabólicos compostos a temperatura de estagnação é da ordem de grandeza dos colectores de tubos de vácuo.

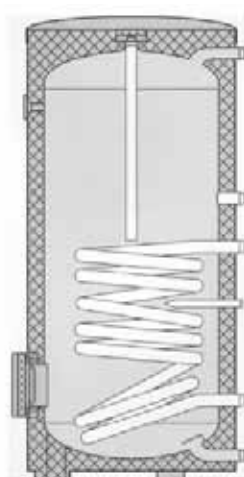
## 3.2 *Tanques de armazenamento de calor*

A energia fornecida pelo sol não pode ser controlada e raramente coincide com a variação das necessidades de energia térmica. Desta forma é necessário armazenar o calor solar gerado para ser utilizado quando necessário. Idealmente deveria ser possível armazenar a energia térmica gerada durante o verão para ser utilizada no inverno (armazenamento sazonal). Na Suíça este armazenamento está a ser feito há vários anos, em casas que consomem pouca energia, com tanques de armazenamento de água quente de diversos m<sup>3</sup> de volume e áreas de superfície colectora de diversas dezenas de metros quadrados. Existem tanques que armazenam calor através de processos químicos, neste momento apenas disponíveis como protótipos, que deverão estar disponíveis no mercado dentro de 1-2 anos. Continuam a ser feitos desenvolvimentos tecnológicos para minimizar o problema das variações climáticas para armazenamentos de 1-2 dias. Algumas das inovações neste campo são introduzidas na secção dos novos conceitos de tanque de armazenamento.

De acordo com as aplicações diferenciam-se os tipos de tanques de armazenamento tendo em conta a força de compressão e o material.

### 3.2.1 Materiais dos tanques de armazenamento

Os tanques de pressão estão disponíveis em aço inoxidável, esmaltados ou revestidos em plástico. Comparativamente com outros tanques de aço os tanques de armazenamento de aço inoxidável são mais leves e com menores necessidade de manutenção, mas mais caros em relação aos tanques de aço esmaltado. O aço inoxidável é contudo mais sensível a águas com muito cloro. Os tanques esmaltados tem que ser equipados com magnésio ou com um ânodo externo para protecção contra a corrosão (fissuras no esmalte). Também estão disponíveis tanque de aço revestidos de plástico mais baratos. O revestimento dos tanques (sensível a temperatura > 80°C) não deve ser poroso. Testes realizados à maioria dos revestimentos de plástico tem apresentado problemas de fiabilidade. Os tanques de plástico de superfície livre apresentam sensibilidades a temperaturas muito elevadas.



**Figura 3.20 - Depósito de aço vitrificado e ânodo de protecção em magnésio**

**Fonte: Reflex, Senhores do Tempo**

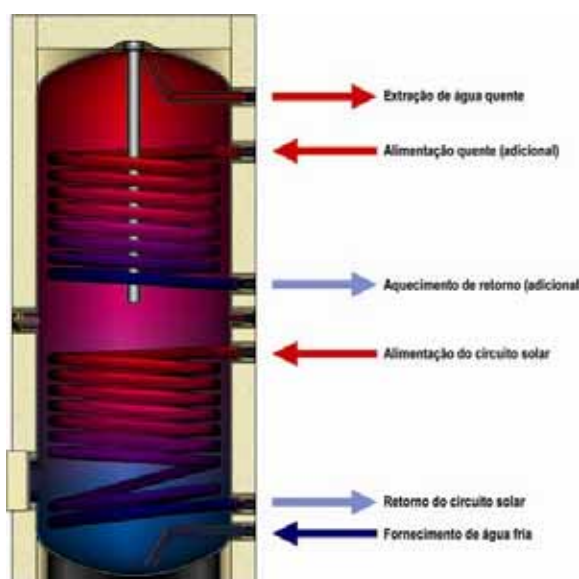
**Tabela 3.5 - Classificação de tanques de armazenamento solares**

Tipo	Tanque de Pressão	Tanque de Superfície Livre
Tanque de água potável	Aço inoxidável, Aço esmaltado e Aço revestido de plástico	
Tanque de armazenamento regulador	Aço	Plástico
Tanque de armazenamento Combi	Aço, Aço inoxidável e Aço esmaltado	

### 3.2.2 Tanques de armazenamento de água potável

Um esquema de tanque de armazenamento solar standard é apresentado na figura seguinte. Os tanques têm as seguintes características:

- dois permutadores de calor para duas fontes de calor (bivalente);
- ligação directa para o reservatório de água fria;
- pressão de operação do tanque variável entre 4-6 bar.

**Figura 3.21 - Tanque solar standard**

O dimensionamento do tanque de armazenamento deve ter em conta a cobertura de 1,5 a 2 vezes a quantidade de água quente diária utilizada. Assim o volume deverá ser de 50 a 70 litros por pessoa (média de consumo). Tanques de armazenamento de grandes dimensões podem absorver grandes quantidades de energia, contudo no caso de superfícies dos colectores constantes, aumenta a frequência de utilização do sistema de apoio, porque o nível de temperatura no tanque de armazenamento é menor que para um tanque menor.

Para o sector doméstico, especificamente para casas de uma ou duas famílias, os tanques standard tem uma capacidade de 300 a 500 litros. No caso dos tanques de armazenamentos servirem de depósito de água potável a temperatura deve ser limitada até cerca de 60 °C, dado que o calcário precipita a altas temperaturas, podendo bloquear a superfície do permutador de calor. Para além disso o calcário é depositado gradualmente na base do tanque armazenamento.

#### Características de um bom tanque de armazenamento

Existe uma série de características que influenciam a adequabilidade do tanque para armazenamento de calor:

##### 1. Limitações do tanque de armazenamento de água quente

Devido à variação diária da radiação solar o tanque de armazenamento deve armazenar a água quente para consumo para cerca de dois dias. Sempre que uma torneira é aberta água fria entra na parte inferior do tanque de armazenamento. Deste modo no tanque existe água fria, quente e morna. Por causa das

diferentes densidades o efeito de estratificação térmica forma-se no tanque. A água quente menos densa junta-se no topo, a água fria mais densa na área inferior do tanque. Este efeito de estratificação é uma condição fundamental para o bom funcionamento do sistema solar.

Com a extracção de água quente para utilização, p.e. para duche, e com entrada de água fria no tanque, têm de se criar condições para que esta não misture com a água quente, devendo manter-se uma boa estratificação térmica que possa ser conservada. Para criar essas condições, os tanques têm de ter uma estrutura vertical, sendo a razão altura-diâmetro recomendada de pelo menos 2,5:1. A temperatura de compensação entre camadas é menor no caso dos tanques de armazenamento mais verticais quando não está a ser aquecida devido às diferenças de densidade. A existência de uma zona mais fria assegura a eficiência do sistema solar, mesmo em condições de baixa radiação solar (ver Figura 3.19).

Quando se instalam tanques de armazenamento delgados, por causa de estreitamentos no local de instalação raramente existem problemas. Estes problemas contudo podem aparecer se os tanques forem instalados com inclinação. A condição importante é ter altura livre na localização da instalação, uma vez que os tubos de aquecimento, tubos de drenagem de água e similares podem ser instalados debaixo do telhado.

#### Caso de estudo: Temperatura e energia num tanque de armazenamento

Considere-se um tanque de armazenamento solar de 300 litros, depois do processo de carregamento e consumo de água quente, em que o sistema de camada de temperatura se eleva devido à construção vertical.

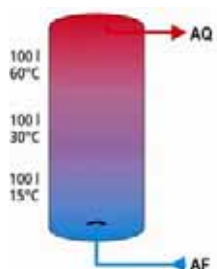


Figura 3.22 - Camadas utilizáveis

A energia contida neste tanque com água fria à temperatura de 15°C é dada por:

$$Q = m \times c_{H_2O} \times \Delta T$$

Onde  $Q$  = Quantidade de calor (Wh),  $m$  = massa (kg),  $c_{H_2O}$  = calor específico da água, 1,16 (Wh/kgK) e  $\Delta T$  = variação de temperatura (K)

$$Q = 100Kg \times 1,16Wh / KgK \times 0K + 100Kg \times 1,16Wh / KgK \times 15K + 100Kg \times 1,16Wh / KgK \times 45K$$

$$Q = 6960Wh$$

Se a mesma quantidade de energia for carregada para um tanque de armazenamento que não cria uma estratificação térmica então teremos uma temperatura de mistura uniforme:

$$T_m = \frac{6960Wh}{300Kg + 1,16Wh / KGK} + 15^\circ C = 35^\circ C$$

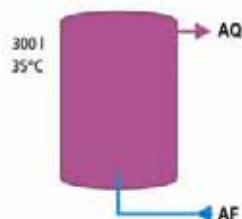
Neste caso é necessário um aquecimento adicional, na área de stand-by do tanque de armazenamento, por outro lado no primeiro exemplo podem ser retirados 100 l de água a 60°C ou 150 l a 45°C, sem aquecimento adicional.

O cálculo da temperatura da mistura faz-se usando a seguinte equação:



**Caso de estudo:** Temperatura e energia num tanque de armazenamento (cont.)

$$T_m = \frac{m_1 \times T_1 + m_2 \times T_2}{m_1 + m_2}$$



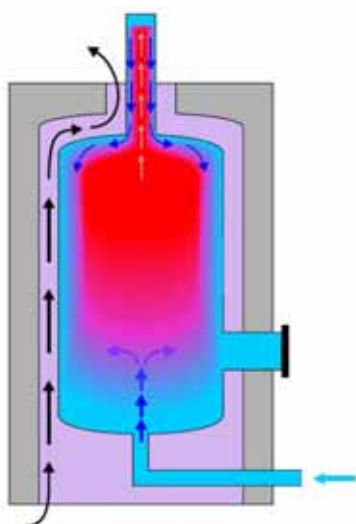
**Figura 3.23 - Aquecimento adicional necessário**

## 2. Placa deflectora na entrada de água fria

Este acessório impede a mistura por turbulência da água fria que entra com a água mais quente nas camadas superiores, impedindo portanto a destruição parcial da estratificação térmica.

## 3. Extracção de água quente

Para tanques de armazenamento convencionais a água quente é retirada do topo do tanque. Depois da água quente sair do tanque forma-se água morna nas tubagens, por arrefecimento. Esta água fria volta a entrar na camada superior do tanque (tubos de circulação simples). Este processo destrói a estratificação térmica e aumenta as perdas de calor, numa ordem de magnitude acima dos 15% do total das perdas do tanque de armazenamento. Para resolver este problema a tubagem de saída de água quente deve ser colocada dentro do tanque de armazenamento, do topo para a base, através de uma flange na base ou fora do tanque em posição descendente, dentro do isolamento térmico. Desta forma as perdas de calor devidas ao distúrbio do isolamento nas camadas mais quentes são evitadas. Caso não seja possível deve-se, pelo menos, instalar um tubo de saída de água quente (no caso da água quente ser conduzida através do isolamento) com uma curvatura de 180° (sifão).



**Figura 3.24 - Perdas de calor evitáveis devidas a designs deficientes**

Fonte: Solaranlagen, H. Ladener

#### 4. Permutadores de calor e respectivas ligações

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

#### 5. Isolamento dos tanques de armazenamento

Um bom isolamento térmico é importante para a eficiência dum tanque de armazenamento. Este deve ter uma espessura de 10 cm nos lados e uma espessura de 15 cm no topo e na base do tanque. Deve estar bem ajustado ao tanque (de outra maneira haveria perdas por convecção) e deve ser feito em materiais sem CFCs e PVCs (p.e., fibra de vidro ou polietileno) com condutividades térmicas de  $\lambda < 0,035 \text{ W/mK}$ . De modo similar aos colectores o valor de  $k$  ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ) pode também ser definido para o tanque de armazenamento, como a taxa de condutividade térmica para a espessura de isolamento ( $k = \lambda/D$ ). O produto do valor de  $k$  pela área da superfície do tanque de armazenamento dá a taxa de perda térmica  $kA$  ( $\text{W/K}$ ) do tanque.



**Figura 3.25 – Pormenor de isolamento de depósito solar**

**Fonte: Solahart, Digal**

No total as taxas de perdas de calor devem ser menores que  $2 \text{ W/K}$ . Para uma diferença de temperatura de  $35 \text{ K}$  um bom tanque, com uma taxa de perda de  $1,5 \text{ W/K}$  em comparação com um tanque com  $3 \text{ W/K}$ , perde cerca de  $450 \text{ KWh}$  horas por ano. Este valor corresponde a uma superfície de colectores adicional de cerca de  $1 \text{ m}^2$ . É particularmente importante assegurar que o isolamento térmico está bem ajustado às tubagens de ligação e que as flanges, bujões e outros equipamento, também têm isolamento.

#### 6. Sensor de temperatura para os tanques de armazenamento para o circuito solar

Este sensor deve ser instalado na parte inferior do tanque no meio do permutador de calor do circuito solar, uma vez que permite uma eficiente mudança automática da bomba. Isto significa que mesmo que sejam retiradas pequenas quantidades de energia o sistema tem a possibilidade de recarregar com energia solar. Se não for possível instalar um sensor submerso na altura necessária podem ser utilizados sensores de contacto. Estes sensores não apresentam problemas desde que estejam bem fixos ao tanque. No caso de haver mau contacto entre o sistema e o sensor podem existir interferências funcionais no controlo do sistema.

#### 7. Sensor de temperatura do tanque de armazenamento para o aquecimento adicional

O sensor para o aquecimento adicional disponibiliza informação para o controlo do aquecimento adicional e de acordo com a temperatura da água quente pré-estabelecida no controlador é dada informação de início e fim do processo de aquecimento adicional. Este sensor pode ser instalado à mesma altura que o permutador de calor adicional ou mais alto, mas nunca abaixo deste.



### 3.2.3 Tanque de armazenamento de regulação

O tanque de armazenamento de regulação é um tanque de aço (tanque de pressão) ou um tanque de plástico não pressurizado com água para aquecimento. O calor armazenado neste tanque pode ser introduzido directamente no sistema de aquecimento (suporte de aquecimento) ou transferido através de um permutador de calor para a água potável.

### 3.2.4 Tanques de armazenamento combinados

O tanque de armazenamento combinado é uma combinação de um tanque regulador e de armazenamento de água potável. Uma pequena secção com um tanque de armazenamento de água potável é instalada na parte superior da área quente do tanque de armazenamento de regulação, cuja superfície superior actua como um permutador de calor.

Estes tanques são apropriados para usar em sistemas solares para aquecimento de água, com e sem suporte de aquecimento. Por causa do sistema de alimentação o funcionamento da tubagem é simples e o controlo do sistema simples. Todos os geradores de calor (colectores solares, caldeiras de aquecimento) tais como todos os consumidores de calor (água quente, aquecedores) operam no mesmo regulador. O sistema de aquecimento está ligado à área superior do tanque de armazenamento de regulação onde a água potável é aquecida. A zona intermédia pode ser usada para aumentar a temperatura da água de retorno. Na zona inferior há um permutador de calor para alimentar o sistema solar. O tanque de armazenamento de água potável interno é aquecido através da parede.

#### **O tanque de armazenamento combinado Jenni**

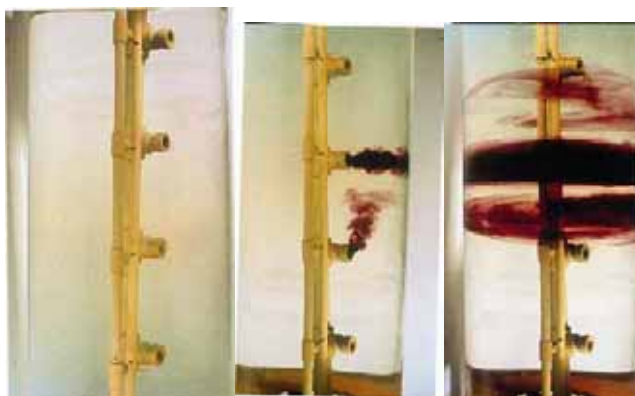
No caso deste tanque de armazenamento combinado a secção de armazenamento de água potável localiza-se na parte inferior do depósito de regulação. Desta maneira a água fria entra na área fria do tanque de regulação e aquece até estar em paralelo com as camadas que são deste modo mais difíceis de influenciar.

### 3.2.5 Novos conceitos para tanques de armazenamento

#### **3.2.5.1 Tanques de armazenamento estratificados**

De modo a ser possível utilizar água quente imediatamente, sem necessidade de antes aquecer o tanque de armazenamento, tanques de enchimento especial foram desenvolvidos para enchimento de tanques de armazenamento com capacidade para mais de 300 litros. Um dispositivo de controlo-próprio engloba a variação da introdução de água aquecida. Este processo tem lugar a uma altura em que a temperatura da alimentação da água é igual à temperatura do tanque de armazenamento nesta camada. Deste modo é criado um bom efeito de estratificação térmica no tanque e a temperatura utilizável na área superior do armazenamento é rapidamente atingida.

Comparando com os tanques de armazenamento standard de água quente, as perdas de calor na passagem através das camadas frias é evitada, através do aquecimento da camada indicada, evitando a mistura no tanque de armazenamento durante a migração. Desta forma diminui-se a frequência de utilização do aquecimento adicional.



**Figura 3.26 - Princípio de funcionamento de um sistema de aquecimento selectivo de camadas**

### Tanques de armazenamento estratificados como tanques de água potável

Estes tanques de armazenamento servem apenas para aquecimento de água potável. O permutador de calor solar aquece apenas uma pequena quantidade de água potável, nos tubos de condução de calor que o envolvem. A água potável aquecida sobe através do tubo de condução de calor até atingir a camada com o mesmo nível de temperatura. Nesta fase o flap correspondente é aberto, aquecendo a água no topo do tanque rapidamente.

### Tanques de armazenamento estratificados como tanques de armazenamento de regulação

Este tipo de tanques são usados em sistemas de baixo-fluxo. Estes sistemas solares são caracterizados por uma reduzida taxa de fluxo no circuito do colector (aproximadamente 10 15 l/m<sup>2</sup>h). A reduzida taxa de fluxo leva ao aumento da temperatura no fluido de transferência de calor.

#### 3.2.6 Misturador automático de água quente

O misturador automático (válvula termostática de mistura) controla e limita a temperatura de água quente. Se a água quente recebida do tanque de armazenamento solar estiver muito quente é misturada com água fria. Independentemente do projecto e da temperatura da água aquecida é garantida uma temperatura constante nos terminais de utilização, protegendo o utilizador de se escaldar.

Os termo-misturadores automáticos devem ser instalados imediatamente antes da saída de água quente do tanque de armazenamento solar. Podem escolher-se temperaturas entre os 30 e 70 °C e deve instalar-se um filtro no tubo de água fria para proteger o misturador de contaminações e desse modo evitar avarias.

#### 3.2.7 Ligação de máquinas de lavar louça e máquinas de lavar roupa

A maior parte da energia consumida nas máquinas de lavar louça e máquinas de lavar roupa devem-se à necessidade de de água. As ligações de um sistema solar oferecem a oportunidade de substituir os consumos eléctricos pela energia do sol, e a oportunidade de aumentar a eficiência do sistema.

Máquinas de lavar louça, que são apropriadas para ligar ao sistema de água quente, podem ser directamente ligadas ao sistema solar.

Dado que a maior parte das máquinas de lavar roupa não tem uma ligação de água quente, o alimentador de água quente e fria deve ser regulado com ajuda de uma unidade de controlo. Nestes casos é necessário obter uma temperatura na água de acordo com o programa que vai ser utilizado.



**Figura 3.27 - Unidade de controlo de máquina de lavar Aquamix**

**Fonte: Olfs & Ringen, Kirchtimke**

**Caso de estudo: Legionella**

A bactéria Legionella é um componente natural da água. A sua concentração é pequena em água fria por isso não é perigosa. No entanto estas bactérias multiplicam-se muito rapidamente, para temperaturas entre 30 e 45 °C, e são destruídas a temperaturas acima dos 50°C e este processo de destruição é significativamente acelerado com o aumento da temperatura.

Os factores cruciais para o risco de uma infecção são:

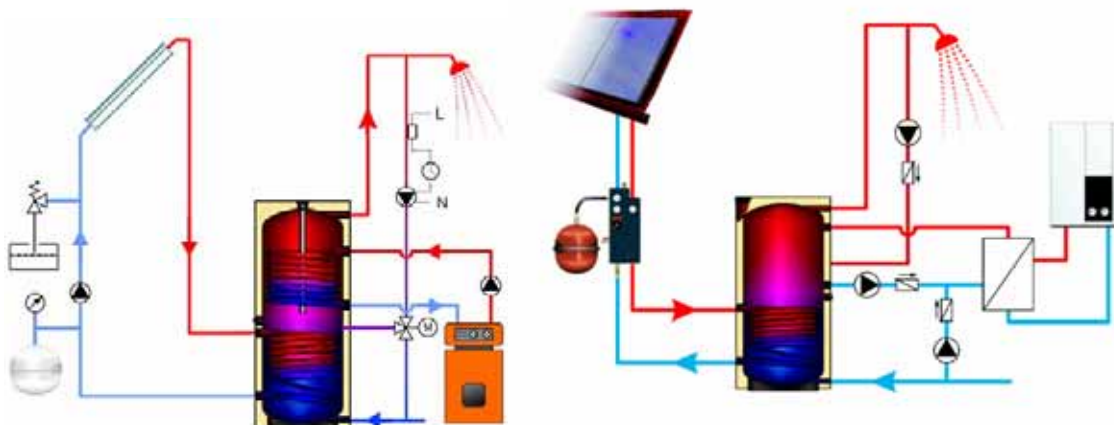
- o modo como a bactéria é absorvida, ou seja, desde de que sejam ingeridas através do aparelho digestivo (p.e., se a água for engolida durante a natação ou durante a limpeza dos dentes) são inofensivas. O perigo de infecção apenas ocorre se entrarem nos pulmões (p.e. inalação de pequenas partículas de água dispersas no ar) como seja o caso da utilização de duche;
- a concentração da bactéria, ou seja, a Legionella pode ocorrer em concentrações muito perigosas em centrais de ar condicionado, com humidificadores de ar, e em sistemas com grandes tanques de armazenamento de água quente e condutas compridas, onde a água permanece por muito tempo p.e. em hotéis ou hospitais;
- o tempo de exposição num ambiente contaminado;
- a resistência individual a doenças.

Por estas razões têm sido desenvolvidas directivas para os grandes sistemas, ou seja sistemas com tanques de armazenamento com 400 l de capacidade ou mais e condutas alimentação de água quente com capacidade para mais de 300 l. A DVGW (Associação Alemã de Gás e Água) indica a necessidade de aquecimento a 60°C do conteúdo total do tanque, incluindo tubagens, uma vez por dia (desinfecção térmica). No que respeita a sistemas de pequenas dimensões, ou seja sistemas para uma ou duas famílias, independentemente do tamanho do tanque de armazenamento e sistemas de tanques com água quente acima de 400 l, mas contendo linhas de tomada de água quente até 3 l não requerem precauções especiais, uma vez que não apresentam nenhum risco.

Por forma a não se verificar aparecimento da bactéria, existem algumas soluções disponíveis:

- a utilização de circuitos anti-Legionella (ver figura 3.28 abaixo) e energia, que representa custos mais elevados, e que resolvem o problema parcialmente. O aquecimento do tanque de armazenamento para 60°C para matar a Legionella, também tem o efeito de aumentar a precipitação de calcário, resultando numa diminuição da performance do permutador de calor. A formação de sedimentos no fundo do tanque de armazenamento aumenta. As condutas de água quente e os acessórios da tubagem não estão incluídos no processo de desinfecção. A inclusão de condutas de recirculação (ver figura 3.28) é apenas uma improvisação que resolve parte dos problemas, dado que as extremidades das condutas e as saídas para duche não são desinfectadas;
- para sistemas com uma área de superfície de colectores com mais de 30 m<sup>2</sup> existe uma solução parcial com o aquecimento de um ou mais tanques de regulação. A transferência para um tanque de água potável pequeno (com um volume de 400 l) dá-se através de um permutador de calor externo;
- no caso de sistemas de média dimensão o problema é resolvido usando tanques de armazenamento combinados, com um volume de água potável menor que 400 l.

**Caso de estudo: Legionella (cont.)**



**Figura 3.28 - Exemplos de circuitos anti-Legionella**

Tendo por base um caso de mortes na Holanda (em 1999, 29 pessoas morreram depois de uma infecção *Legionella*, causada por um espectáculo aquático infectado, durante uma demonstração) requerimentos legais rigorosos foram desenvolvidos para edifícios públicos. Esta nova regulamentação obriga o proprietário do edifício a fazer um registo, com informação acerca de medidas de prevenção a ser tomadas, medições de temperatura efectuadas, plano de alterações das instalações, etc... Como exemplo de medidas de prevenção, a temperatura da água fria nunca deve exceder 25°C e a temperatura da água quente nunca deve ir abaixo dos 60°C. Deve ser também efectuada uma análise de risco durante os trabalhos de conversão. Para além disso, neste momento, na Holanda, métodos tais como a pasteurização estão a ser testados no sentido de prevenir os problemas.

Num futuro próximo estas medidas deverão ser implementadas a nível Europeu com procedimentos harmonizados.

### 3.3 Circuito solar

O calor gerado nos colectores é transportado para os tanques de armazenamento solar, através do circuito solar. Este é constituído pelos seguintes elementos:

- tubagens: permitem a ligação dos colectores aos tanques de armazenamento que muitas vezes são instalados na cave;
- fluído de transferência térmica: transporta o calor do colector para o tanque de armazenamento;
- bomba solar: faz circular o fluído de transferência térmica no circuito solar;
- permutador de calor do circuito solar: transfere o calor para a água potável no tanque de armazenamento;
- equipamento e acessórios para enchimento, esvaziamento e drenagem;
- equipamento de segurança: vaso de expansão e válvula de segurança que protegem o sistema de danos (perdas) devido à expansão do fluído térmico.

#### 3.3.1 Tubagens

Os materiais mais frequentemente utilizados, em instalações solares térmicas são o aço inox, o cobre, o aço galvanizado, o aço negro e os materiais plásticos. Para o transporte de calor em condutas entre o colector e o tanque de armazenamento o cobre é o material mais utilizado, por ser tecnicamente adequado e economicamente competitivo. O cobre resiste à corrosão, tanto dos líquidos que circulam no seu interior como dos agentes exteriores, a sua maleabilidade e ductilidade permitem uma cómoda manipulação e uma grande facilidade para realizar traçados complicados. Muitos tipos de acessórios feitos de cobre, bronze vermelho ou latão estão disponíveis para ligações Cu/Cu e transição para outros sistemas de componentes com conexões roscadas.

Relativamente aos tubos de aço inox a sua utilização tem sido crescente nos últimos anos, devido à sua boa resistência à corrosão, facilidade de corte e gama completa de acessórios para montagem rápida.

Apresenta a vantagem de ter menos perdas de carga em linha, permitindo o uso de diâmetros menores. Em contraposição com o cobre não é aconselhável fazer dobragens no aço inox, o que implica a utilização de acessórios que aumentam as perdas de carga singulares.

Os outros materiais apresentam problemas de corrosão e oxidação, o que limita a sua utilização em circuitos com menores temperaturas ou apenas para o circuito primário.

### Isolamento das tubagens



**Figura 3.29 - Isolamento térmico resistente a temperatura**

**Fonte: Armstrong Insulation, Pfaffnau**

Nas instalações convencionais é dada pouca importância ao isolamento térmico das tubagens, contudo a utilização da melhor tecnologia de aquecimento não deve ser desperdiçada desnecessariamente no transporte e no tanque de armazenamento.

Em tecnologia solar a tubagem deve ter um isolamento térmico que permita uma eficiência elevada, sendo de referir que para tubagens de cobre até 18 x 1 deve haver no mínimo 30 mm de espessura de isolamento, para dimensões superiores um mínimo de 40 mm. O material de isolamento usado deve ter uma condutividade térmica de  $K \leq 0,035 \text{ W/mK}$ .

A inexistência de falhas no isolamento é muito importante. Isto significa que os acessórios, válvulas, ligações ao tanque de armazenamento, bujões, flanges e outros devem estar bem isolados. Nos circuitos solares deve usar-se material de isolamento temperatura à temperatura (150 – 170°C). Conduitas externas devem ser resistentes aos UV, às intempéries e à corrosão da água, p.e. revestindo-os com uma cobertura metálica.

### 3.3.2 Fluido de transferência térmica

O fluido de transferência térmica transporta o calor produzido no colector para o tanque de armazenamento solar. O líquido utilizado neste fluido é a água devido às seguintes propriedades:

- capacidade térmica elevada;
- condutividade térmica elevada;
- baixa viscosidade.

Para além disso a água:

- não entra em combustão;
- não tem toxicidade;
- é barata.

Uma vez que a temperatura de operação nos colectores pode variar entre -15°C e +350°C, se for utilizada água como meio de transferência de calor existirão problemas devidos ao congelamento e evaporação. De facto a água congela a 0°C e evapora a 100°C.

Por forma a aumentar o intervalo em que a água se apresenta no seu estado líquido é adicionado glicol (anti-congelante). Desta forma baixa-se o ponto de congelamento e aumenta-se a temperatura de ebulição da mistura. Assim, tendo em conta as séries temporais de temperatura para um dado local é escolhida uma percentagem de glicol consoante a temperatura mínima e máxima.

No entanto a adição de glicol ao fluido aumenta o efeito corrosivo da água, sendo por esta razão necessária a adição de inibidores de acordo com as características destes para os materiais específicos da instalação.

Para além do aumento do efeito corrosivo, a adição de glicol altera as propriedades do fluido de transferência térmica com:

- diminuição das capacidades térmicas;
- redução da condutividade térmica;
- aumento da viscosidade;
- aumento da fricção.

Assim, com uma condutividade e capacidade térmica suficientemente elevadas e como uma protecção contra congelamento e evaporação, outro requisito do fluido de transferência térmica deve passar pela sua biodegradabilidade e o facto de não ser tóxico nem irritante. Estes requisitos são satisfeitos através de mistura de água/glicol com inibidores líquidos.

### 3.3.3 Circulação do fluido de transferência térmica

A transferência do calor, captado pelos colectores, pode realizar-se de duas maneiras: circulação forçada através da instalação de uma bomba ou circulação natural (termossifão). A escolha do tipo de sistema depende da carga energética a cobrir e da possibilidade de colocar o depósito a um nível superior aos colectores. Normalmente o sistema de termossifão é aconselhado para pequenas instalações e o sistema de circulação forçada para instalações médias ou grandes.

#### **Termossifão**

Este tipo de circulação deve preferir-se quando o depósito puder ser colocado a um nível superior aos colectores solares. Neste caso, o fluido em contacto com o absorvedor aquece e a sua densidade diminui, o que permite a sua ascensão até ao depósito sendo substituído no interior do colector pelo fluido de transferência térmica mais frio, proveniente do fundo do depósito. Desta forma estabelece-se um processo natural de circulação do fluido.

A circulação por termossifão, aconselhável para pequenas instalações, é um sistema auto-regulado e isento de partes mecânicas ou controlos electrónicos e que não consome energia adicional. A sua instalação é mais barata e não está sujeita a avarias mecânicas. Em contrapartida tem o inconveniente de poder ocorrer inversão do sentido de circulação do fluido durante a noite, o que tem como consequência o arrefecimento do fluido do depósito. No entanto este problema pode ser facilmente ultrapassado se se colocar um desnível na ordem dos 30 cm entre os colectores e o depósito ou que sejam instaladas válvulas anti-retorno.

Para além disso, a instalação dos depósitos a um nível superior aos colectores pode nalguns casos ser problemática, em termos da garantia do máximo de tempo de exposição à radiação solar.



**Figura 3.30 – Sistema termossifão**

**Fonte: Solahart, Digal**

## Bombas solares

Quando a circulação por termossifão não é possível – ou porque os colectores estão colocados a um nível superior ao do depósito, ou porque a diferença de densidades não é suficiente para vencer a resistência do atrito nas tubagens – recorre-se à circulação forçada do fluido por intermédio de uma bomba.

O uso de energia eléctrica no funcionamento das bombas deve ser mantido o mais baixo possível, sendo de evitar o sobre-dimensionamento da potência das bombas. Para sistemas unifamiliares não é necessário um cálculo detalhado das perdas de pressão no circuito solar, se a largura nominal das tubagens for seleccionada de acordo com a Tabela 4.3. As bombas disponibilizadas nos sistemas solares integrados possuem uma boa gama de potências. Utilizando três ou quatro potências de transição o fluxo volumétrico pode ser seleccionado para a máxima performance do colector (com elevada irradiação), uma diferença de temperatura entre 8 a 12 K pode ser produzida entre a linha de alimentação e de retorno. Esta situação deve ocorrer para uma potência média, para a qual a performance da bomba pode ser aumentada ou reduzida, conforme a necessidade. Para grandes áreas de colectores contudo, uma estimativa das perdas de pressão na tubagem deve ser efectuada no sentido de determinar a capacidade da bomba.



**Figura 3.31 – Bomba Solar**

**Fonte: Wilo, Dortmund**

As bombas são actualmente projectadas para elevados caudais volumétricos com baixas alturas de distribuição, i.e. para condições diferentes dos sistemas de energia solar. De facto estas bombas operam com baixa eficiência entre 2 a 7%. Alguns desenvolvimentos estão a ser efectuados por forma a otimizar as respectivas aplicações em sistemas de energia solar. Através de novas bombas hidráulicas e novas drives electrónicas a potência de consumo pode ser reduzida em 50% e a eficiência quase que duplicada.

### 3.3.4 Permutador de calor solar (transferência de calor unitária)

Num sistema de circuitos gémeos é necessário um permutador de calor (transferência de calor unitário) para a transferência do calor ganho do sol para a água potável. Podem-se diferenciar os permutadores de calor entre externos e internos.

#### **Permutadores de calor internos**

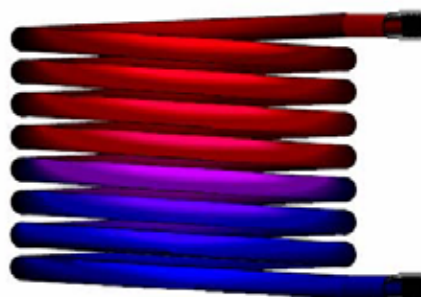
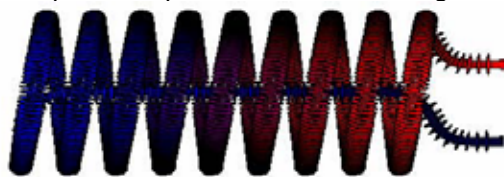
Os permutadores de calor internos disponíveis podem ser “tubulares com alhetas” e “tubulares lisos”. O permutador de calor tubular liso possui uma maior capacidade de troca de calor por metro quadrado de superfície de troca de calor. Comparando com os permutadores de calor tubulares com alhetas, os permutadores lisos requerem tubos com maior comprimento. Desta forma os permutadores de calor tubulares lisos são instalados em fábricas enquanto que permutadores de calor com alhetas, devido ao seu design mais compacto, podem ser instalados dentro de tanques de armazenamento directamente no local de instalação do sistema.

De destacar que a área da superfície de transferência efectiva dos permutadores de calor pode ser reduzida através da sua cobertura com calcário. Uma camada de 2 mm de espessura reduz a capacidade de transferência de calor do permutador de calor em 20%, enquanto 5 mm de espessura em mais de 40%.

A instalação vertical dos permutadores promove o efeito de estratificação térmica no sistema de armazenamento e as ligações ao circuito solar devem ser feitas de modo que o fluxo permutado seja de cima para baixo de modo que a otimizar a passagem de calor.



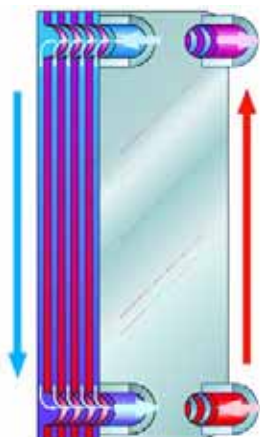
Topo: Tubo permutador de calor rugoso



Base: Tubo permutador de calor liso

**Figura 3.32 – Tipos de permutadores****Permutadores de calor externos**

Os permutadores de calor externos são de dois tipos: de placas ou tubulares. O fluxo dos dois líquidos (fluido de transferência térmica e a água potável ou água para aquecimento) passam um pelo outro em contracorrente. Os permutadores de calor externos são isolados com coberturas isoladoras de calor pré-fabricadas.

**Figura 3.33 - Permutador de placas**

Vantagens dos permutadores de calor externos:

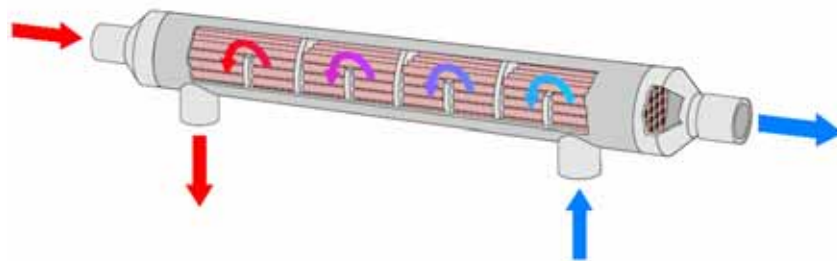
- a capacidade de transferência de calor é mais elevada do que os permutadores de calor internos;
- dificilmente existe redução na performance devida à obstrução com calcário;
- vários tanques de armazenamento podem ser carregados apenas por um permutador de calor.

Desvantagens de permutadores de calor externos:

- são mais caros que os permutadores de calor internos;
- é necessária uma bomba adicional na parte secundária do permutador de calor.



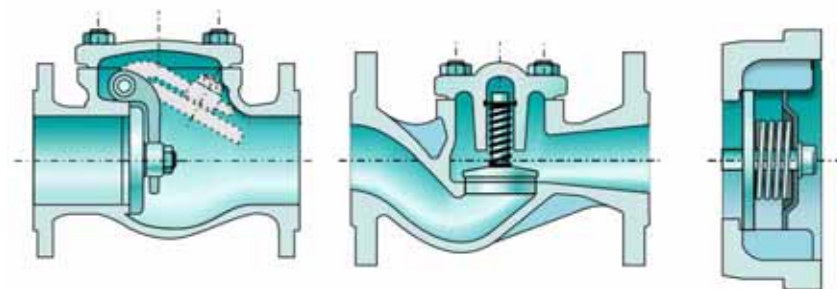
Os permutadores de calor são normalmente usados em grandes sistemas. Em tais sistemas um permutador de calor pode carregar diversos tanques de armazenamento o que significa que o custo é menor em comparação com a instalação de diversos permutadores de calor internos. Os permutadores tubulares são normalmente usados em sistemas de piscinas de natção.



**Figura 3.34 - Permutador de calor tubular**

### 3.3.5 Acessórios anti-retorno

Por forma a evitar o arrefecimento do tanque de armazenamento quando a bomba de circulação não está em funcionamento (nomeadamente no período da noite) é essencial instalar uma válvula anti-retorno ou um freio de gravidade, no fluxo de retorno entre a bomba e o colector. Este deve ser dimensionado, para que a pressão do fluido de transferência térmica não seja suficiente para abrir a válvula. Para evitar a circulação nas tubagens com 15x1 um acessório anti-retorno deve ser instalado na tomada de alimentação.

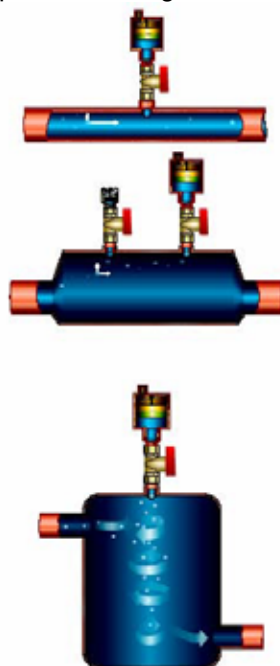


**Figura 3.35 - Acessórios anti-retorno**

### 3.3.6 Evacuação de ar

No ponto mais alto de qualquer sistema de energia solar deve ser instalado um purgador automático de ar com válvula de fecho total ou um purgador de ar manual. Os purgadores de ar têm que ser resistentes ao glicol e a temperaturas de pelo menos 150°C. Estes purgadores servem para drenar o ar do circuito solar depois de preenchido com o fluido de transferência térmica e quando necessário durante o período normal de operação. A válvula deve estar fechada para que não exista o risco de perda do fluido de transferência térmica por evaporação durante a operação, em situação de estagnação do sistema.

Topo esquerdo: Drenagem de ar ineficiente



Base esquerda e direita: Boa a muito boa drenagem de ar

**Figura 3.36 - Purgador automático, purgador manual, válvula de verificação, separador de ar**

### 3.3.7 Medidor de caudal

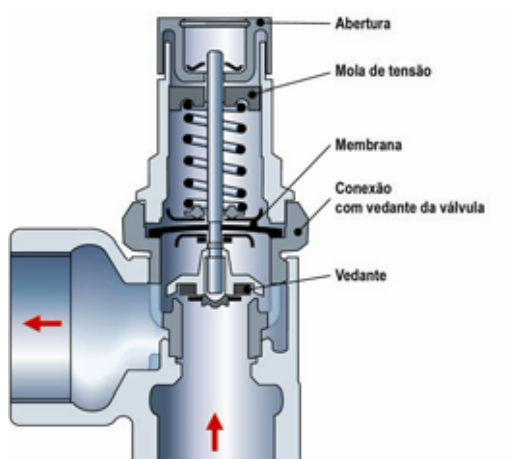
Um acessório que pode ser instalado na tubagem é o medidor de caudal que permite medir e controlar o fluxo volumétrico do fluido térmico. Com este medidor o fluxo volumétrico pode ser reduzido até certos limites. Contudo é melhor reduzir o fluxo volumétrico através do uso de uma bomba de potência, porque desta maneira é possível racionalizar a utilização de energia.

### 3.3.8 Dispositivos de segurança dum circuito solar

De acordo com a norma Europeia EN 12975 os sistemas de energia solar aquando da sua instalação devem apresentar um sistema de segurança intrínseca, por forma a garantir que a acumulação contínua de calor, sem o respectivo consumo de energia, não leva o sistema solar à ruptura. Esta situação pode acontecer caso o fluido de transferência térmica escape pela válvula de segurança (p.e. no caso da estagnação do sistema e consequente aumento da pressão, o circuito solar deve ser reabastecido antes de ser reiniciado).

#### 3.3.8.1 Válvulas de segurança

De acordo com EN 12975 os sistemas de energia solar tem que estar equipados com uma válvula de segurança com uma largura nominal mínima de DN 15 (na secção de entrada). Quando é excedida a pressão de regulação a válvula de segurança abre e permite o escoamento do fluido de transferência térmica para um tanque colector.



**Figura 3.37 – Válvula de segurança**

### 3.3.8.2 Vaso de expansão

O reservatório de expansão é um recipiente de metal fechado. No meio do tanque uma membrana flexível separa dois meios: o nitrogénio que está a uma pressão pré-estabelecida; o fluido de transferência térmica que entra no vaso de expansão quando aquecido e depois de aumentar a sua pressão.

O vaso de expansão deve ser instalado no sistema de tubagem no circuito de alimentação do colector, para absorver a dilatação do fluido, relacionada com o aumento de temperatura.

O tamanho do recipiente de expansão deve ser suficiente para a quantidade de fluido no circuito solar.

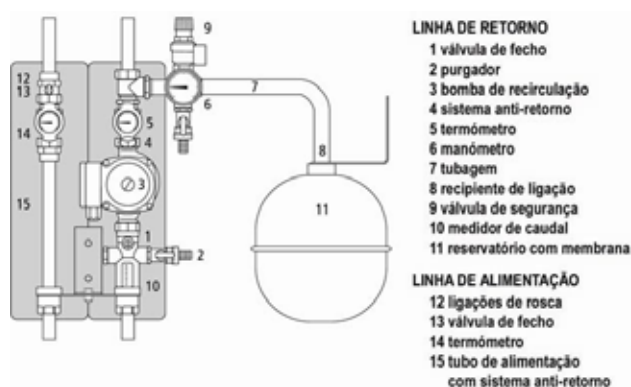
Se o vaso de expansão é projectado para a dilatação adicional do fluido de transferência térmica a pressão máxima de operação não é atingida não sendo necessária a resposta da válvula de segurança e portanto o sistema tem segurança intrínseca.

Existem recipientes de expansão disponíveis em tamanhos standard de 10, 12, 18, 25, 35 e 50 l.

Para além das questões referidas anteriormente deve ter-se em atenção que nem todos os vasos de expansão têm uma membrana que resiste ao glicol, sendo portanto muito importante ter em consideração este aspecto aquando da instalação do vaso de expansão no circuito solar.

### 3.3.9 Estação solar

Por forma a centralizar todos os acessórios do sistema solar existem disponíveis estações solares com os componentes apresentados na Figura 3.38.



**Figura 3.38 - Estação Solar**

**Fonte: Resol, Hattingen**

Estes módulos também incluem um sistema de aparafusamento à parede e uma caixa com isolamento térmico. Esta estação solar reduz o tempo de instalação e reduz a possibilidade de erros de instalação.

Por causa dos diferentes tamanhos dos recipientes de expansão, necessários para segurança intrínseca destes sistemas, não são componentes normais de uma estação solar.

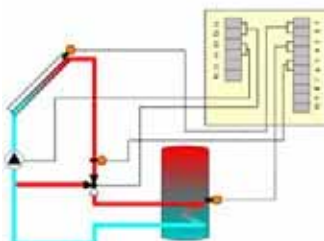
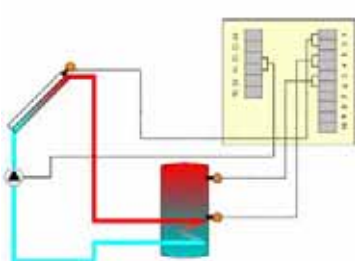
### 3.4 Controlador

A tarefa do termostato diferencial no sistema solar térmico é controlar as bombas de circulação e por conseguinte a recolha de energia solar da forma mais eficiente. Na maioria dos casos isto está relacionado com a regulação da diferença de temperaturas.

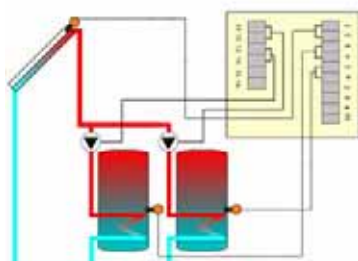
Cada vez aparecem no mercado mais controladores que conseguem controlar diferentes sistemas de circuitos com um único dispositivo. Para além disso estão equipados com funções adicionais, tais como medidores de calor (calorímetros), registo de dados e funções de diagnóstico de erro.

A figura seguinte mostra exemplos de vários sistemas de controlo.

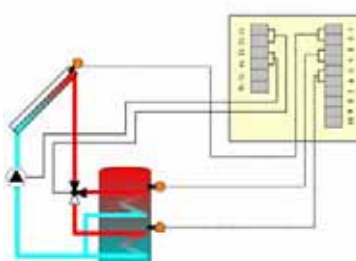
Topo esquerda: Sistema standard    Topo direita: Circuito com by-pass



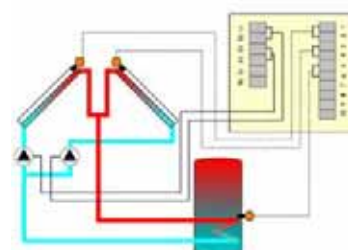
Base esquerda: Sistemas de dois-tanques



Base meio: Sistemas com aquecimento em camadas



Base direita: Sistemas com dois sistemas de colectores Fonte: Resol, Hattingen



**Figura 3.39 – Exemplos de sistemas de controlo**



**Figura 3.40 – Controlador**

Fonte: Reflex, Senhores do Tempo

### 3.4.1 Princípios para controlo da diferença de temperatura

São necessários dois sensores de temperatura para proceder ao controlo da diferença de temperatura. Um deles mede a temperatura na zona do circuito solar, onde se atinge a maior temperatura, antes do fornecimento de calor e depois do colector, o segundo mede a temperatura no tanque à altura do permutador de calor. O sinal de temperatura do sensor (válvula de resistência) é comparado numa unidade de controlo. A bomba é ligada através de um processo auxiliar quando o diferencial de temperatura é atingido.

O diferencial de temperatura para accionar a bomba depende de vários factores. Valores de 5-8 K são standard. Em princípio quanto maior o comprimento da tubagem entre o colector e o tanque de armazenamento maior deve ser a diferença de temperatura. O diferencial de temperatura para desligar a bomba anda normalmente à volta de 3K. Um terceiro sensor pode ser ligado para medição de temperatura na área superior do tanque de armazenamento, que permite a medição da temperatura de recolha de água aquecida.

Uma função adicional deste controlador é desligar o sistema quando se atinge a temperatura máxima do tanque de armazenamento.

### 3.4.2 Controlador digital com funções especiais

Para além das funções referidas no capítulo anterior os controladores digitais podem ter também, entre outras funções, a medição do tempo de operação, da quantidade de calor, controlo remoto, interface com PC e diagnóstico à distância.

A medição e informação do tempo de funcionamento da bomba do circuito solar permite controlar e fornecer informação sobre possíveis defeitos no sistema. (p.e. comparação do tempo de utilização da bomba com a média do tempo de funcionamento das bombas, disponível na literatura da especialidade). Com a ajuda da medição da quantidade de calor, o funcionamento e produção de um sistema de energia solar pode ser controlado de maneira mais precisa. O medidor de quantidade de calor consiste de:

- medidor de caudal volumétrico;
- sensor de temperatura na linha de retorno e alimentação;
- componentes electrónicos para calcular a quantidade de calor.

O ajustamento prévio da taxa de mistura de água-glicol é importante para a medição da quantidade de calor.

Através da medição da quantidade de calor é possível verificar a performance de um sistema de energia solar, é também possível calcular a quantidade de CO<sub>2</sub> que é evitada. Dado que o sistema de aquecimento adicional providencia um aquecimento suficiente de água quente, problemas num sistema de energia solar podem ser detectados tarde demais. Por forma a evitar este problema deve haver um sistema de sinalização de erros para detectar falhas no tempo.

#### **Controlador com sinalização de erros**

Estes controladores possuem um sistema automático para controlo do estado das variáveis (p.e. resistência do sensor do colector), que em caso de falha, p.e. um curto-circuito na linha do sensor, dá indicação do erro na forma de um código que é explicado através de uma tabela.

Controladores mais avançados operam com um sistema integrado de diagnóstico de erros que providencia informação sobre os erros que ocorrem com particular frequência, através de um sistema de causa-efeito.

#### **Monitorização do sistema através da avaliação contínua dos dados do sistema**

Um sistema de recolha de dados guarda todos os valores do sistema (p.e. temperatura, caudal volumétrico) medidos através do controlador, possibilitando a sua análise através de um interface de PC com a ajuda de um software correspondente.

Para grandes sistemas de energia solar, a recolha centralizada de dados é possível através de transmissão remota de dados por via telefónica, verificando-se regularmente os parâmetros do sistema.

Desta forma, é possível monitorizar o sistema solar convenientemente permitindo uma rápida correcção dos problemas.

### 3.4.3 Sensores de temperatura

A eficiência do controlador é muito dependente da montagem correcta e funcionamento dos sensores de temperatura. O sensor do colector pode ser fixado por contacto ou directamente no absorvedor em frente da saída do colector, ou sensor de imersão – dentro do colector. A localização do sensor do colector não deve ser afectada pela sombra.

Com um circuito de by-pass, a radiação proveniente do sol e (em vez da temperatura do colector) a temperatura de alimentação são medidos antes da válvula de três-vias. O sensor do tanque de armazenamento deve ser montado para uma altura mais baixa que a normal como sensor imerso ou de contacto.

Dado que os sensores e controladores estão calibrados termicamente uns pelos outros, normalmente não é possível trocar os sensores de temperatura por outros produtos.

Os requisitos quanto à temperatura de resistência dos sensores são extremamente elevados tendo em conta as elevadas temperaturas de estagnação, bem como a fiabilidade dos mesmos.

### Alojamento dos sensores e cabos de ligação

A protecção dos sensores de temperatura deve ser resistente aos danos físicos, à influência do tempo e à corrosão. Os materiais usados são normalmente aço inoxidável ou bronze estanhado. No sentido de isolar o sensor da condensação o casquilho do cabo do sensor tem um envólucro de plástico laminado ou prensado. A qualidade do isolamento é de grande importância para o uso permanente do sensor. Se o isolamento não for permanente, ou se ficar danificado por temperaturas elevadas no colector a medição da temperatura poderá estar incorrecta ou acontecer um curto-circuito no sensor.

Os cabos de ligação ao sensor são usualmente em PVC ou em membrana protectora de silicone. Nas zonas de temperaturas elevadas, cabos PTFE podem ser utilizados. Para evitar danos nos cabos, do sensor do colector, tubos protectores de aço inoxidável ou materiais similares são montados no seu exterior.

Os cabos de PVC não devem ser usados por causa dos potenciais problemas ambientais. A única alternativa segura para sensores de colectores são cabos de silicone com membrana protectora de Teflon, na parte central.

Sensores inadequados podem conduzir a falhas localizadas ou até mesmo à falha completa dos sistemas de energia solar. Porque existe uma pequena diferença de preço entre sensores de platina de alta qualidade, com boa protecção e cabos de ligação adequados, e sensores de baixa qualidade, não se justifica a utilização destes últimos.



**Figura 3.41 - Sensores de radiação e temperatura**

**Fonte: Resol, Hattingen**

### 3.4.4 Protecção contra sobreaquecimento

Se o tanque de armazenamento atinge a temperatura máxima (tanque armazenamento de água potável  $\approx 60^{\circ}\text{C}$ , tanque de armazenamento de regulação  $\approx 90^{\circ}\text{C}$ ) o controlador desliga a bomba do circuito solar. Se existir uma irradiação constante o colector aquece até atingir a temperatura máxima, i.e. a temperatura de estagnação. O fluido de transferência térmica evapora durante este processo à sua temperatura de ebulição que depende da pressão.

O vaso de expansão deve ser suficientemente largo para ser capaz de suportar o volume do fluido retirado do colector devido à evaporação, por outro lado o sistema deve libertar a pressão através da válvula de segurança, reduzindo a pressão do sistema rapidamente. A pressão de resposta da válvula de segurança deve ser de 4 - 6 bar. O vaso de expansão deve estar preparado para esta pressão.



**Figura 3.42 – Válvula de segurança**

**Fonte: Digal**

As condições de operação acima mencionadas significam que o sistema de energia solar está muito carregado. Se por exemplo, as condições de evaporação do fluido acontecerem com muita frequência, este fluido perderá rapidamente as suas características. De maneira a evitar ou reduzir este problema dois processos fundamentais podem ser usados:

- sobreaquecimento no Verão devido ao sobre-dimensionamento:
  - o problema pode ser solucionado através de um correcto dimensionamento, nomeadamente através do aumento do ângulo de inclinação dos colectores ( $\beta > 50^\circ$ ), p.e. em fachadas ou telhado inclinados. Desta maneira o excesso de calor é reduzido e o tempo de estagnação durante o período de verão. No entanto a eficiência diminui e consequentemente a produção no inverno diminui também;
  - se possível, o excesso de calor no verão deve ser usado para aquecimento de piscinas.
- sobreaquecimento durante longos períodos de tempo com elevada irradiação ou durante as férias, o problema pode ser resolvido através do comportamento dos utilizadores:
  - aumento de consumo de água quente com ligação a máquina de lavar roupa e máquina de lavar loiça.

Acções a serem tomadas antes de sair para férias:

- abertura do freio de gravidade. Desta maneira o tanque de armazenamneto solar pode ser descarregado pelo colector durante a noite. No entanto nem todos os freios de gravidade podem ser abertos por fora;
- aumento da temperatura de armazenamento, p.e. 4K. Desta maneira a formação de vapor no colector é retardada.

O sistema não deve ser ligado para operação contínua já que haverá um consumo de energia desnecessário.





## 4 SISTEMAS PARA HABITAÇÕES PARA UMA OU DUAS FAMÍLIAS

Os sistemas para habitações unifamiliares podem diferenciar-se entre:

- sistemas de termossifão que não necessitam de bombas, dado que neste caso o transporte do fluido de transferência térmica é efectuado por gravidade, e sistemas com circulação forçada, que funcionam com a instalação de bombas de circulação. Este último tipo de sistemas é muito utilizado em Portugal;
- sistemas abertos e fechados. Os circuitos abertos possuem um recipiente de superfície livre no ponto mais alto do circuito solar, que permite absorver a expansão volumétrica do líquido causada pelo aumento da temperatura. A pressão em sistemas abertos corresponde no máximo à pressão estática da coluna de líquido. Os sistemas fechados funcionam com pressão elevada (1,5 a 10 bar) o que influencia as propriedades físicas (tais como a temperatura de evaporação) do fluido de transferência térmica. No caso de sistemas fechados são necessários dispositivos de segurança especiais;
- sistemas de circuitos simples e circuitos gémeos. No primeiro caso a água sanitária circula do tanque de armazenamento para o colector e depois volta para o local inicial. No segundo caso o sistema é separado em dois circuitos um circuito solar e um circuito de água sanitária. O circuito solar inclui os colectores, tubagens, uma bomba solar com equipamento de segurança, e um permutador de calor. Uma mistura água/glicol é usada como fluido de transferência de calor. O circuito de água sanitária inclui o recipiente de armazenamento assim como as instalações de água fria e água quente da casa.

Neste manual serão abordados os sistemas de circuito-gémeos fechados com circulação forçada e também os sistemas de termossifão, que são os mais comuns.

Para ter uma visão geral da multiplicidade dos possíveis circuitos podem dividir-se em sectores funcionais:

- alimentação de energia solar: Carregamento do tanque de armazenamento com energia solar;
- aquecimento auxiliar: Carregamento do tanque de armazenamento por aquecimento convencional;
- consumo de calor rejeitado: Remoção do calor armazenado através do consumo de água quente.

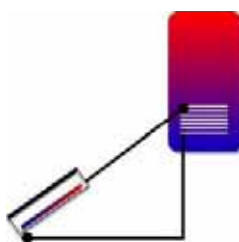
Apresentam-se também as variantes essenciais de cada um dos circuitos por forma a considerar-se o melhor sistema, que pode ser combinado a partir desses.

### 4.1 Sistemas de carga/descarga dos tanques de armazenamento

#### 4.1.1 Carga através de energia solar

##### Permutador solar interno com circuito termossifão

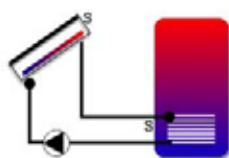
Os permutadores dos circuitos termossifão permitem a transmissão de calor do fluido de transferência térmica para a água sanitária, que por sua vez, por efeito de gravidade sobe, não necessitando da utilização de uma bomba para efectuar o transporte do fluido térmico.



**Figura 4.1 - Permutador solar interno com circuito termossifão**

##### Permutador solar interno

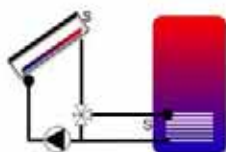
O permutador é normalmente projectado como um tubo com alhetas ou como um tubo liso em serpentina que é instalado na área inferior do tanque de armazenamento. A transmissão térmica para a água sanitária é realizada através de condução térmica e como resultado disto realiza-se convecção, i.e. a água aquecida sobe como resultado da sua baixa densidade.



**Figura 4.2 - Permutador solar interno (S = Sensor)**

#### **Permutador solar interno com um circuito de by-pass**

Esta é uma variante do sistema anterior, para sistemas maiores. Um sensor de radiação mede a radiação solar. Para o valor limite p.e.  $200 \text{ W/m}^2$  o controlador liga a bomba solar e inicialmente a válvula de três vias faz o by-pass ao permutador de calor. O circuito solar aquece. Quando a diferença de temperatura estipulada entre os colectores e o tanque de armazenamento, for atingida no sensor, o controlador dá uma ordem à válvula para passar o fluido no tanque de armazenamento que é carregado com calor.

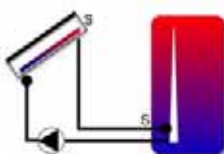


**Figura 4.3 - Permutador solar interno com um circuito de by-pass (S = Sensor)**

#### **Carga por camadas com sistema de estratificação com controlador próprio**

A peça central deste método de carregamento do tanque de armazenamento é uma tubagem vertical com dois ou mais pontos de admissão para diferentes alturas e um permutador de calor instalado em baixo desta. Assim, o permutador de calor aquece a água à volta desta tubagem provocando a sua subida. Assim, que a água aquecida pára de subir é aberto o flap correspondente que liberta a água para o tanque de armazenamento.

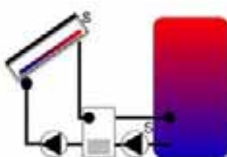
Este processo causa um efeito pronunciado de estratificação da temperatura e na área superior do tanque é usualmente atingida uma elevada temperatura.



**Figura 4.4 - Sistema de estratificação com controlador próprio (S = Sensor)**

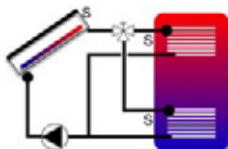
#### **Permutador de calor externo**

O fluido de transferência térmica passa através do sistema primário da placa externa do permutador de calor. Para carregar o tanque de armazenamento uma bomba de circulação secundária bombeia água fria da parte superior do tanque de armazenamento. Esta água flui através do sistema secundário do permutador de calor, num fluxo em contracorrente e depois volta para o tanque de armazenamento. Um permutador de calor externo apresenta melhores propriedades de transferência de calor em relação aos permutadores internos. Tanques de armazenamento sem conexões internas também podem ser usados. O circuito by-pass pode ser implementado sem a válvula de três vias, pelo controlador das duas bombas.



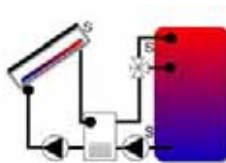
**Figura 4.5 - Sistema com permutador de calor externo (S = Sensor)**

**Sistemas de carga estratificados com dois permutadores de calor internos** e alimentação através da válvula de três vias para duas alturas diferentes.



**Figura 4.6 - Sistema de carga estratificado com dois permutadores de calor internos**  
(S = Sensor)

Como no anterior mas com um **permutador de calor externo**.



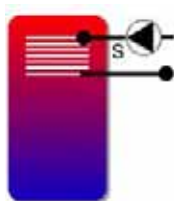
**Figura 4.7 - Sistema de carga estratificado com permutadores de calor externo (S = Sensor)**

A vantagem dos sistemas de carga estratificados (alcance rápido das temperaturas usuais na área de stand-by) apenas pode ser rentabilizada em conjunto com o conceito de “baixo-fluxo”.

#### 4.1.2 Carregamento através de aquecimento auxiliar

##### **Permutador de calor usando uma caldeira de gás ou petróleo**

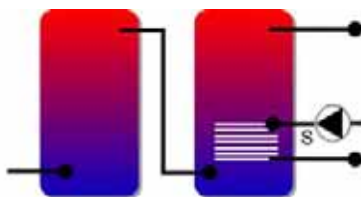
A área de stand-by é aquecida até à temperatura necessária através do permutador de calor superior usando uma caldeira a gás ou petróleo no tanque de armazenamento.



**Figura 4.8 - Permutador de calor usando uma caldeira de gás ou petróleo (S = Sensor)**

##### **Ligação em cascata de dois tanques com permutador de calor no segundo tanque**

Recentemente a madeira começou a ser usada novamente (p.e. em forma de briquetes) como uma fonte de combustível (sem emissão de CO<sub>2</sub>) para aquecimento. No caso de uma ligação em cascata de dois tanques o permutador de calor através de aquecimento auxiliar pode estar localizado no topo ou na base do segundo tanque de armazenamento de acordo com o tamanho necessário do volume em espera.



**Figura 4.9 - Ligação em cascata de dois tanques com permutador de calor no segundo tanque**  
(S = Sensor)

### Permutador de calor externo

O aquecimento auxiliar da área de stand-by pode ser efectuado através de um permutador de calor externo.

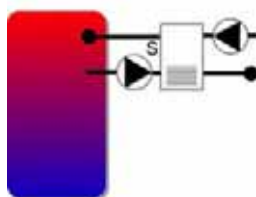


Figura 4.10 - Permutador de calor externo (S = Sensor)

### Aquecimento auxiliar eléctrico

Aquecimento auxiliar eléctrico da área de stand-by. A potência eléctrica é apenas aceitável para usar como aquecedor em casos excepcionais, uma vez que a geração de electricidade envolve elevadas perdas. A electricidade é gerada numa central eléctrica convencional com uma eficiência baixa e para além disso existe uma perda na rede de fornecimento.

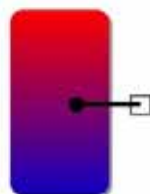


Figura 4.11 - Aquecimento auxiliar eléctrico

### Aquecimento através de esquentador

Aquecimento da água retirada do tanque através de um esquentador (gás ou electricidade) a jusante. O dispositivo deve ser controlado termicamente, i.e. aquecido o suficiente para se obter uma temperatura fixa de saída. Todos os tanques de armazenamento são dimensionados para a energia solar e as perdas são menores quando comparadas com aquecimento no topo do tanque. No entanto tem os mesmos problemas que o aquecimento auxiliar eléctrico em termos de eficiência.

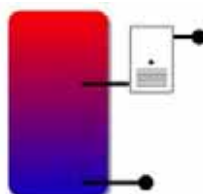


Figura 4.12 - Aquecimento através de esquentador

### Aquecimento do topo via tubo de admissão

Aquecimento do topo via tubo de admissão do tanque de armazenamento de regulação. A bomba carrega o tanque de armazenamento extraindo a água para ser aquecida a meia altura do tanque. Esta é aquecida pela caldeira e através de um tubo de admissão no topo está disponível para a utilização.



Figura 4.13 - Aquecimento do topo via tubo de admissão

## Aquecimento directo do topo

Aquecimento directo do topo do tanque de armazenamento de regulação. A água morna é retirada do centro do tanque de armazenamento e a água quente é abastecida outra vez no topo, como no caso anterior.

### 4.1.3 Descarga do tanque de armazenamento

#### Descarga pelo topo

A água é retirada da parte mais quente do tanque (área de stand-by). Água fria flui na base para repor a quantidade retirada. Quase toda água quente armazenada pode ser removida.

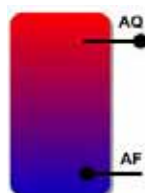


Figura 4.14 - Descarga pelo topo

#### Descarga através de permutador de calor interno

A descarga tem lugar na área superior do tanque de regulação, através de um permutador de calor interno. A desvantagem é que a área superior de armazenamento é significativamente arrefecida por causa da água fria (8-12°C) que atravessa o permutador de calor. Isto causa uma circulação que provoca a mistura da água, i.e. o efeito da estratificação nos tanques de armazenamento é destruído.

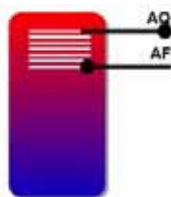


Figura 4.15 - Descarga através de permutador de calor interno

#### Descarga através de permutador de calor interno com tubo

Este sistema é um aperfeiçoamento do anterior. No tanque de armazenamento a água fria desce através de um tubo e puxa a água aquecida para cima. Desta maneira a água mais quente é sempre disponibilizada no topo e a estratificação dificilmente é distribuída.

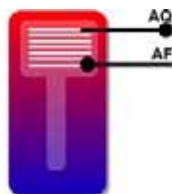
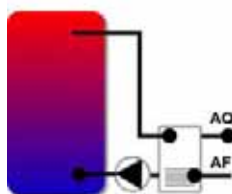


Figura 4.16 - Descarga através de permutador de calor interno com tubo

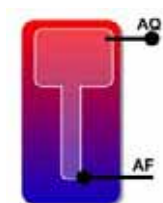
Descarga através de um permutador de calor exterior no tanque de regulação.



**Figura 4.17 - Descarga através de um permutador de calor exterior**

#### **Descarga num tanque de armazenamento combinado**

A água fria entra no tanque de armazenamento de água sanitária directamente pela base. Efectua o aquecimento de acordo com as camadas no tanque de armazenamento de regulação e é removido no topo, correspondendo à área quente.



**Figura 4.18 - Descarga num tanque de armazenamento combinado**

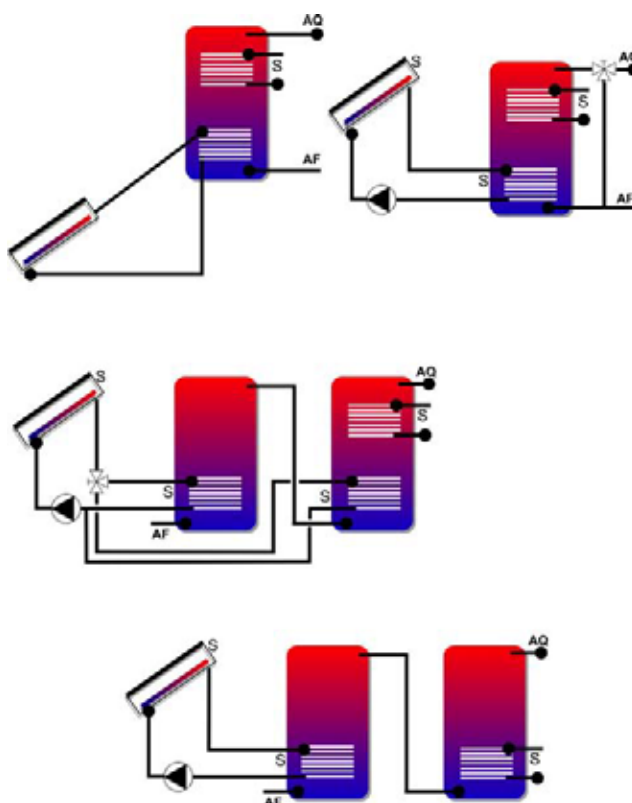
Destes tipos de descargas dois grupos de sistemas podem ser combinados, a partir dos módulos acima descritos:

- sistemas de aquecimento de água sanitária;
- sistemas de aquecimento de água sanitária e suporte de aquecimento.

#### **4.2 Sistemas de Aquecimento de água sanitária**

A maioria dos fabricantes disponibiliza sistemas solares padrão. Estes sistemas são, regra geral de circuito gémeos com um permutador de calor interno para alimentação de calor solar e um segundo permutador para aquecimento auxiliar. Os sistemas de termossifão apresentam também estas características.

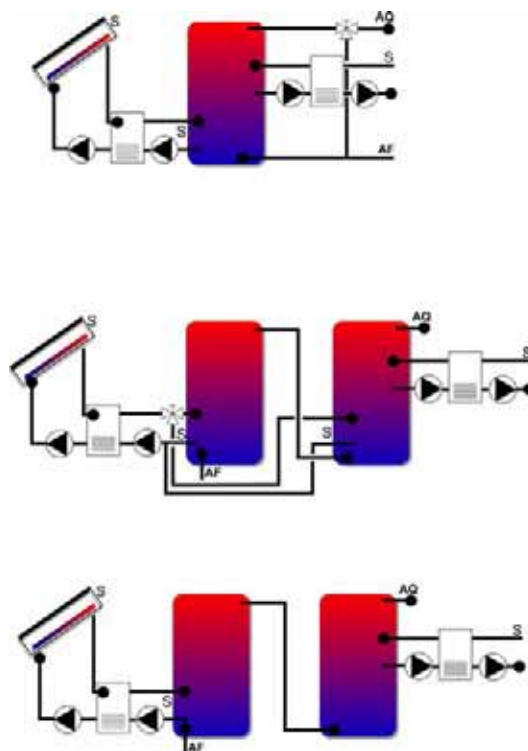
Nos tanques de armazenamento existe água sanitária e através da utilização de um termóstato de três vias pode-se limitar a temperatura máxima consoante a definição de projecto. O circuito é comparativamente fácil de implementar, desde que tenham sido usados os princípios de controlo: A bomba do circuito solar (quando utilizada) é ligada assim que a temperatura do colector for 5-8 K inferior ao tanque de armazenamento. Quando a temperatura no controlador da caldeira, para a área de stand-by, desce abaixo da temperatura do conjunto, a caldeira providencia o aquecimento necessário. Durante este tempo o circuito de aquecimento da bomba é desligado.



**Figura 4.19 - Sistemas de energia solar padrão**

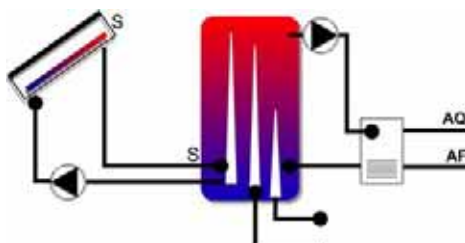
Para sistemas de termosifão o projecto é simplificado dado que todos os acessórios relacionados com a utilização da bomba de circulação deixam de existir.

No caso de uma cascata de dois tanques (menos comum), ambos os tanques podem ser aquecidos pela energia solar, o tanque de pré-aquecimento tem prioridade, ou apenas o tanque de pré-aquecimento é carregado pela energia solar e o tanque de água sanitária é aquecido pelo sistema auxiliar.



**Figura 4.20 - Configurações dos mesmos sistemas da Fig.4.19 mas com permutador de calor externo**

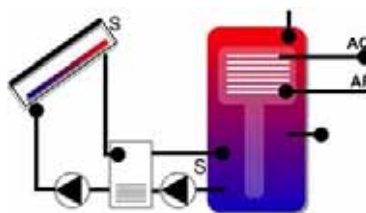
Uma forma de aumentar a eficiência do sistema de aquecimento de água é através do uso de um tanque de armazenamento estratificado como tanque de água sanitária ou como armazenamento de regulação. O calor proveniente do colector é colocado, na correspondente camada de temperatura, no tanque de armazenamento conduzindo rapidamente a um nível de temperatura utilizável, devido à significativa redução do processo de mistura e diminuindo a frequência de aquecimento auxiliar. Outra questão importante para o desempenho destes sistemas, passa pela harmonização do sistema de controlo de descarga para diferentes taxas de fluxo.



**Figura 4.21 - Tanques de armazenamento estratificado como armazenamento de regulação**

#### 4.2.1 Outros sistemas de aquecimento de água

A Figura 4.2 mostra um tanque de armazenamento de regulação com um permutador externo e permutador interno para remover o calor, com um sistema de tubagem descendente e aquecimento auxiliar directo pela caldeira (por razões higiénicas este é exclusivamente usado para aquecimento de água sanitária).



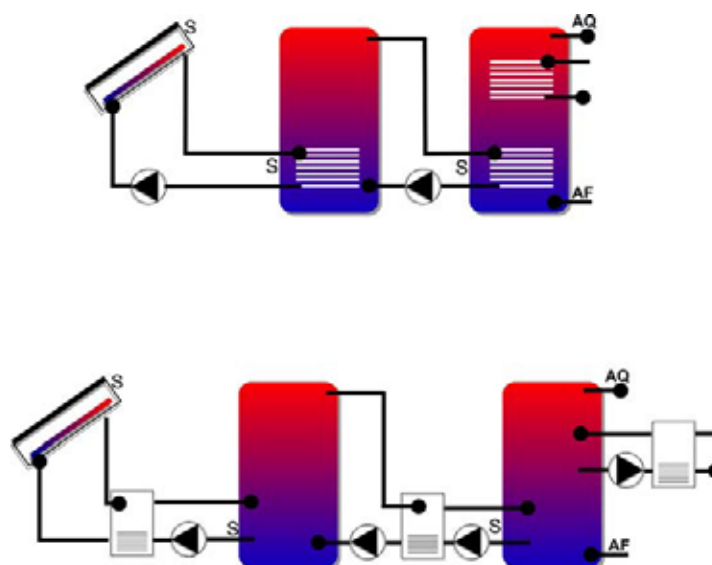
**Figura 4.22 - Tanque de armazenamento de regulação com um permutador externo e permutador interno**

#### **Sistemas de tanques gémeos**

O circuito solar carrega o tanque de regulação através de um permutador de calor interno/externo sendo o tanque de água sanitária alimentado com calor. Este recebe aquecimento auxiliar na área superior. De referir que esta variante é mais favorável em comparação com sistemas de aquecimento auxiliar no tanque de armazenamento de regulação, ocorrendo menores perda de energia. A temperatura neste tanque é determinada pela radiação solar.

No caso de grandes sistemas o volume dos tanques é dividido em áreas de armazenamento, de regulação e da água sanitária, por razões higiénicas (problemas de Legionella) e poupança de energia.

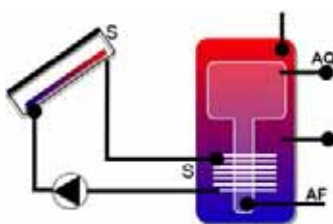




**Figura 4.23 - Sistemas de tanques gémeos**

### **Sistemas de tanques de armazenamento combinados**

Os tanques de armazenamento contêm um baixo volume de água sanitária comparado com os sistemas padrões. Contudo o tempo que a água fica no tanque é baixo. A água de regulação que envolve este sistema serve apenas como armazenadora intermediária de calor (por razões higiénicas são exclusivamente usados para aquecimento de água sanitária).



**Figura 4.24 - Sistemas de tanques de armazenamento combinados**

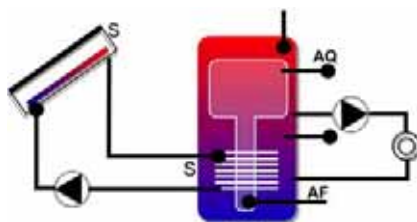
### **4.3 Sistemas para aquecimento de água sanitária e suporte de aquecimento**

Se um sistema de energia solar for considerado na fase de planeamento do sistema de aquecimento, então pode também ser usado para suporte do sistema. A baixa quantidade de calor necessário para uma casa com baixo consumo de energia e o elevado desempenho dos sistemas de energia solares modernos, encorajam a instalação de sistemas solares com suporte de aquecimento. Comparativamente com a baixa proporção de fracção solar para o aquecimento das divisões, normalmente 10-20%, os sistemas combinados para o aquecimento de água sanitária e o suporte de aquecimento apresentam uma taxa de substituição mais elevada da energia primária do que sistemas puros para água sanitária.

O suporte de aquecimento deve ser implementado tecnicamente de modo a que: a caldeira opere no tanque de armazenamento e consequentemente antes do circuito de aquecimento; ou a temperatura de aquecimento do fluxo de retorno é aumentada através do sistema solar. A caldeira de aquecimento necessita de fornecer pouco calor ou nenhum.

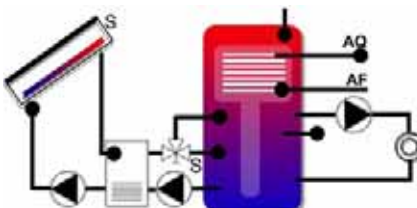
Através da instalação de uma grande área de superfície colectora, estes sistemas estão sobredimensionados para os períodos em que não é necessário aquecimento. Os possíveis sistemas são os seguintes:

- sistemas de tanque de armazenamento combinado (sistemas de tanque-dentro-de-tanque);



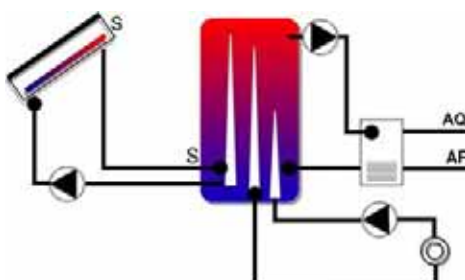
**Figura 4.25 - Sistema de tanque de armazenamento combinado**

- sistemas com tanque de armazenamento de regulação, permutador de calor interno para remoção de calor e tubo de fluxo descendente;



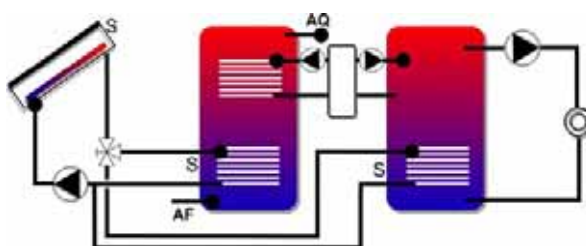
**Figura 4.26 - Sistema com tanque de armazenamento de regulação**

- tanque de armazenamento estratificado com aquecimento de água quente com fluxo de uma passagem e suporte de aquecimento;



**Figura 4.27 – Sistema com tanque de armazenamento estratificado**

- sistemas de tanque gémeos.



**Figura 4.28 - Sistema de tanque gémeos**

#### 4.4 Planeamento e dimensionamento

No início do planeamento de um sistema é importante ter um registo exacto das condições do lugar. Parte deste registo inclui uma clarificação de todos os detalhes que forem importantes para o planeamento e instalação, a obtenção de dados acerca do edifício, consumo de água quente e se necessário o calor requerido pela casa. A realização de um esboço com todos os detalhes importantes é necessária para a preparação da proposta.

As questões que devem ser tidas em conta para a preparação de uma proposta são as seguintes:

- Determinar o efeito da sombra nos colectores por causa de árvores, do próprio edifício ou de outros edifícios ou avaliar o efeito da sombra no sensor de temperatura do colector;
- Garantir a melhor possibilidade de alinhamento favorável da superfície do colector;
- Identificar dificuldades de acessibilidade aos colectores para manutenção. O acesso à chaminé deve ser sempre garantido;
- Não instalar colectores debaixo de antenas ou outros equipamentos similares por causa dos dejectos de pássaros;
- Definir o menor trajecto possível entre os colectores e o tanque de armazenamento (< 20 m);
- Ter em consideração requisitos específicos do edifício;
- Utilização e preenchimento de listas de verificação;
- Avaliação das necessidades de utilização de equipamentos auxiliares (incluindo guindastes);
- Avaliação das necessidades de medidas de segurança (p.e. equipamento de segurança, zonas de segurança)
- Identificação do tipo de instalação de colectores possível/desejável (no telhado, ou sobre o telhado);
- Identificação do tipo de estrutura do telhado (telhas colocadas em camadas de cimento, aumenta os custos da instalação);
- Identificar características de resistência do telhado;
- Identificar distância mínima entre cumeeiras;
- Determinar a melhor forma de instalar a tubagem (com bom isolamento) e elaborar linhas de passagem desta no telhado;
- Ter em conta a presença de chaminé (nomeadamente a sua localização no telhado e a sua rede no edifício);
- Averiguar a existência de caldeira central de aquecimento de água;
- Definir procedimento de instalação do tanque de armazenamento (p.e. um tanque de 400 l apresenta um peso de 145 kg, e tem 1,7 m de altura e 0,62 m de diâmetro);
- Localização do aquecimento auxiliar no sistema (integrado com o sistema de aquecimento já existente);
- Estabelecer a forma de instalação eléctrica (ligações principais, ligação à terra, sistema de controlo);
- Averiguar existência de ligação à rede de efluentes domésticos junto do tanque de armazenamento;
- Instalação da rede, cabos para sensores e mesmo a instalação de um tanque de armazenamento solar deve ser tido em conta para uma futura instalação.

#### Lista de verificação

DADOS PARA SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA			
Nome:			
Morada:			
Código Postal:			
Telefone:			
Requisitos do cliente:			
Tipo de habitação:	<input type="checkbox"/> Uma/duas famílias	<input type="checkbox"/> Múltiplas famílias	
Número de divisões:	Ano da construção:		
Uso da energia solar:	<input type="checkbox"/> Água quente	<input type="checkbox"/> Aquecimento	<input type="checkbox"/> Piscina
Número de pessoas:			
Estimativa/medições do consumo de água quente (litros por pessoa por dia):			
	<input type="checkbox"/> Baixo (30 l)	<input type="checkbox"/> Médio (50 l)	<input type="checkbox"/> Elevado (80 l)
Outros requisitos de água:	<input type="checkbox"/> Máquina de lavar roupa	<input type="checkbox"/> Máquina de lavar louça	

<b>Tipo de instalação:</b>	<input type="checkbox"/> No telhado	<input type="checkbox"/> Sobre o telhado	<input type="checkbox"/> No terreno
	<input type="checkbox"/> Terraço	<input type="checkbox"/> Fachada	
<b>Cobertura de telhado:</b>			
	<input type="checkbox"/> Telha	<input type="checkbox"/> Lusalite	<input type="checkbox"/> Ardósia <input type="checkbox"/> Outro
<b>Descrição, tipo, cor:</b>			
<b>Inclinação:</b>	<b>Alinhamento:</b>		
<b>Altura da soleira à cumeeira:</b>			
<b>Área de instalação utilizável:</b>			
	<b>Altura:</b>	<b>Largura:</b>	
<b>Sombra:</b>			
<b>Altura do espaço de instalação do tanque solar (m):</b>			
<b>Largura mínima da entrada (m):</b>			
<b>Comprimento da linha de ligação do tanque do colector (m):</b>			
<b>Requisito para instalação da linha de tubagem do colector para o tanque:</b>			
<b>Conduto da chaminé desobstruída:</b>			
<b>Offset:</b>			
<b>Detalhes de circuito da chaminé:</b>			
<b>Trabalho necessário para ligação da linha do tanque, para distribuição de água quente:</b>			
<b>Se já existe tanque:</b>	<b>Tipo:</b>		
	<b>Volume (l):</b>		
<b>Caldeira de aquecimento:</b>	<b>Tipo:</b>		
	<b>Potência (kW):</b>		
<b>Linha de circulação:</b>	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	
<b>Isolamento térmico:</b>	<input type="checkbox"/> Bom	<input type="checkbox"/> Mau	

<b>Tempo de circulação da bomba:</b>	<input type="checkbox"/> Contínuo	<b>De</b>	<b>Até</b>
<b>Somente para aquecimento de piscinas</b>			
<b>Área da superfície da piscina (m²):</b>			
<b>Cobertura:</b>	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	
<b>Temperatura necessária para a água (°C):</b>			
<b>Época de utilização:</b>	<b>De</b>	<b>Até</b>	
<b>Somente para suporte de aquecimento</b>			
<b>Área para aquecimento (m2):</b>			
<b>Temperatura da alimentação e do fluxo de retorno (°C):</b>			
<b>Combustível:</b>			
<b>Consumo de combustível (l/ano, m³/ano):</b>			
<b>Notas:</b>			
<b>Data:</b>			
<b>Preenchido por:</b>			

#### 4.4.1 Dimensionamento de sistemas de aquecimento de água sanitária

##### 4.4.1.1 Objectivos

Regra geral, o projecto de sistemas de energia solar para aquecimento de água sanitária para habitações com uma ou duas famílias tem o objectivo de fornecer a energia necessária para aquecimento de água sanitária a 100% durante os meses de Maio a Setembro, através do sistema de energia solar. O efeito secundário desejado é que a caldeira de aquecimento possa ficar completamente desligada durante este período. Deste modo não se protege apenas o ambiente mas também se poupa dinheiro e se aumenta o tempo de vida da caldeira.

Nos meses restantes em que a caldeira de aquecimento tem de funcionar, o sistema de aquecimento auxiliar fornece o calor necessário que não é fornecido pelo Sol.

##### 4.4.1.2 Fracção solar

A fracção solar é descrita como a taxa de calor produzida pelo sistema solar no cômputo geral da energia total requerida para aquecimento de água quente.

$$F_{sol} = \frac{Q_s}{Q_s + Q_{ad}} \times 100$$

Onde  $F_{sol}$  = fracção solar (%),  $Q_s$  = produção de calor solar (kWh) e  $Q_{ad}$  = aquecimento auxiliar necessário (kWh)

Uma elevada fracção solar dum sistema de energia solar corresponde a menores necessidades de energia não renovável necessária para aquecimento auxiliar. No caso extremo ( $F_{sol}=100\%$ ) apenas é consumida energia solar.

Na figura seguinte apresenta-se a fracção solar mensal para um sistema solar térmico. Verifica-se que no caso de 100% de fracção solar durante os meses de maior disponibilidade de radiação, desde Maio até Agosto, permite que esteja disponível uma fracção anual de aproximadamente 60%.

Um aumento na fracção, p.e. através do aumento da superfície de colectores, conduz a um excesso de energia disponível para os meses de Verão. Nesse caso, não só haveria uma resistência térmica elevada nos colectores (estagnação), mas também uma baixa eficiência do sistema (custos adicionais mais elevados do que a produção adicional).

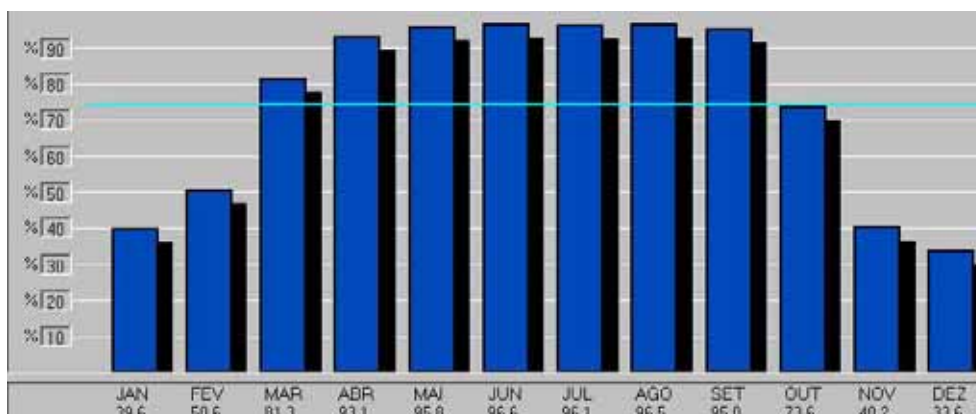


Figura 4.29 - Fracção solar para cada mês para Lisboa

Fonte: Digal

#### 4.4.1.3 Desempenho dos sistemas

A eficiência do sistema dá-nos a taxa da produção de calor solar, para a irradiação solar global na superfície do absorvedor, relativamente a um dado período de tempo, p.e. um ano.

$$E_s = \frac{Q_s}{I_g \times A} \times 100$$

Onde  $E_s$  = eficiência do sistema (%),  $Q_s$  = produção anual de calor solar (kWh/a),  $I_g$  = irradiação solar (kWh/m²a) e  $A$  = área da superfície absorvedora (m²)

A eficiência descreve o desempenho do sistema, ou seja, se a área da superfície do absorvedor e a irradiação forem dados conhecidos e a produção de calor solar for medida a eficiência do sistema pode ser determinada.

##### Exemplo:

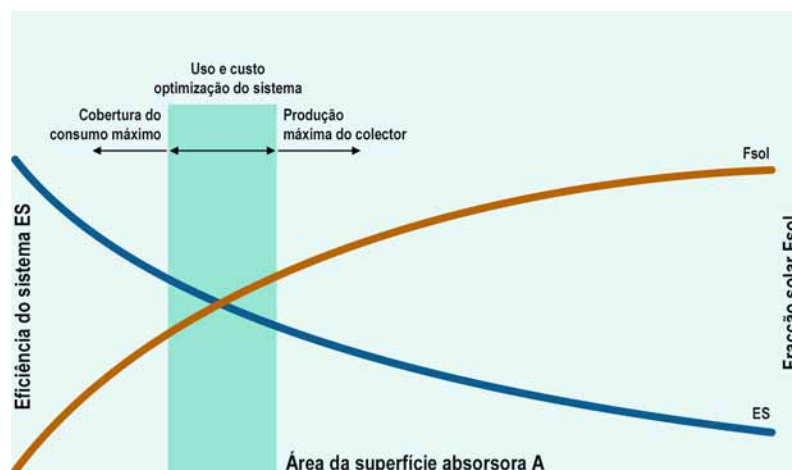
Área da superfície do absorvedor = 6 m²

$I_g$  = 1.000 kWh/m²a

$Q_s$  = 2.100 kWh/a

$$E_s = \frac{2100 \text{ kWh.m}^2 \cdot \text{a}}{1000 \text{ kWh.m}^2 \times 6 \text{ m}^2} \times 100 = 35\%$$

Se a fracção solar for aumentada, pelo aumento da área da superfície do colectador, a eficiência do sistema é reduzida e todos os kilowatt por hora que forem ganhos serão mais caros. Este contra-efeito das duas variáveis é visível na figura seguinte.



**Figura 4.30 - Fracção solar e eficiência do sistema**

Fonte: Solaranlagen, H. Ladener

#### 4.4.1.4 Passo 1: Determinação do consumo de água quente

O consumo de água quente  $V_{aq}$  é a variável chave para o planeamento do sistema e, se não é possível avaliar o consumo, deve ser efectuada uma estimativa, o mais aproximada possível. Quando são determinadas as necessidades devem-se verificar as possibilidades de poupar água sanitária usada desnecessariamente (p.e. através do uso de acessórios de poupança de água). Baixos consumos de água significam sistemas de energia solar mais pequenos e logo um menor investimento.

O conhecimento e – em certas circunstâncias – a determinação, através de medições, do consumo de água quente ou o perfil dos utilizadores são significativos durante o planeamento de sistemas de energia solar de grandes dimensões.

Durante o dimensionamento de sistemas de energia solar para uma habitação de uma ou duas famílias os seguintes valores podem ser usados para estimar o consumo de água quente:

- 1 x lavagem das mãos (40°C) = 3 l
- 1 x duche (40°C) = 35 l
- 1 x banho de imersão (40°C) = 120 l
- 1 x lavar cabelo = 9 l
- limpeza = 3 l por pessoa por dia
- cozinhar = 2 l por pessoa por dia
- 1 x lavar a loiça (50°C) = 20 l
- 1 x máquina de lavar roupa (50°C) = 30 l

Dependendo do ajustamento para a habitação específica, os valores médios de consumo por pessoa por dia podem ser calculados (água quente aproximadamente 45°C) obtendo-se os seguintes valores:

- consumo baixo: 20 – 30 l;
- consumo médio: 30 – 50 l;
- consumo elevado: 50 – 70 l.

Os seguintes componentes de um sistema solar térmico para aquecimento de água sanitária para uma habitação com 4 pessoas podem ser dimensionados:

- superfície de colectores;
- volume do tanque de água sanitária;
- tubagem do circuito solar;
- permutador de calor;
- bomba de circulação;
- vaso de expansão;
- válvula de segurança.

Como exemplo prático assume-se um valor médio de consumo de água quente de 50 l por pessoa por dia (45°C) e a existência de uma aplicação do sistema solar, para alimentar a máquina de lavar loiça e a máquina de lavar roupa (em média estas máquinas são utilizadas duas vezes por semana consumindo 16 litros por dia).

Desta forma, e tendo em conta as diferentes temperaturas de água quente, o consumo de água quente diário é calculado da seguinte forma:

$$V_{aq} = 4\text{pessoas} \times 50\text{l}(45^{\circ}\text{C}) + 16\text{l}(45^{\circ}\text{C}) = 216\text{l} / \text{dia}(45^{\circ}\text{C})$$

#### 4.4.1.5 Passo 2: Necessidades de aquecimento de água quente

O calor necessário  $Q_{aq}$  pode ser determinado através do consumo de água quente de acordo com a seguinte equação:

$$Q_{aq} = V_{aq} \times c_{H_2O} \times \Delta T$$

Onde  $V_{aq}$  = Volume médio de água quente em l ou kg,  $c_{H_2O}$  = Calor específico da água (1,16 Wh/kg K) e  $\Delta T$  = Diferença de temperatura da água (K)

Para o exemplo anterior o calor diário necessário para aquecer 216 l de água de 10°C para 45°C é:

$$Q_{aq} = 216\text{Kg} \times 1,16\text{Wh} / \text{Kg} \times 35\text{K} \approx 8770\text{Wh} = 8,77\text{kWh}$$

#### Caso de estudo: Perdas de calor em tubagens e tanques de armazenamento

A importância do isolamento térmico é frequentemente subestimada. De seguida apresenta-se uma estimativa para as possíveis perdas térmicas: no circuito solar, na linha de circulação e no tanque de armazenamento.

#### Perdas de calor em tubagens com isolamento

É possível fazer uma boa estimativa das perdas se considerarmos somente a condução de calor através do isolamento térmico.

As perdas de calor podem ser apresentadas da seguinte forma:

$$Q_{perdas} = \frac{2\pi \times \lambda \times \Delta T}{\ln(D_{isol} / D_{tubo})} (W / m)$$

Onde  $\lambda$  = Conductividade térmica do material isolador (W/mK),  $D_{isol}$  = Diâmetro exterior do tubo isolador em mm,  $D_{tubo}$  = Diâmetro exterior do tubo em mm,  $\ln$  = Logaritmo natural e  $\Delta T$  = Diferença de temperatura entre o tubo,  $T_{tubo}$ , e o meio ambiente,  $T_{amb}$  (K).

Exemplo:

$\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$  (para lã mineral)

$D_{isol} = 54 \text{ mm}$

$D_{tubo} = 18 \text{ mm}$

$\Delta T = 30 \text{ K}$

Desta maneira  $Q_{perdas}$  apresenta um valor:

$$Q_{perdas} = \frac{2\pi \times 0,04\text{W} \times 30\text{K}}{\ln(54\text{mm} / 18\text{mm})} \approx 6,9\text{W} / m$$

Com um comprimento total do circuito solar de 20 m e aproximadamente 2.000 horas de operação por ano isto corresponde a perdas de calor de:

$$Q_{tubagem} = 6,9\text{W} / m \times 20\text{m} \times 2000\text{h} / a = 276\text{kWh} / a$$



**Caso de estudo:** Perdas de calor em tubagens e tanques de armazenamento (cont.)

Este valor corresponde a um valor anual aproximado para um sistema de energia solar com 5 m<sup>2</sup> de colectores planos a 15% ( $Q_s = 5 \text{ m}^2 \times 1.000 \text{ kWh/m}^2\text{a} \times 0,35 = 1.750 \text{ kWh/a}$ ).

Se a linha de circulação for instalada num edifício, perdas adicionais de calor ou um aumento da necessidade de calor têm que ser levados em conta. Com uma linha de circulação de 15 m e um tempo de circulação de bomba de 2 h por dia, as seguintes perdas de calor podem ser calculadas:

$$Q_{\text{bomba}} = 6,9 \text{ W/m} \times 15 \text{ m} \times 2 \text{ h/dia} \approx 76 \text{ kWh/a}$$

Contudo a produção de perdas de calor:

$$Q_{\text{perdas}} = Q_{\text{tubagem}} + Q_{\text{bomba}} = 276 \text{ kWh/a} + 76 \text{ kWh/a} = 352 \text{ kWh/a}$$

Estas perdas de calor correspondem a um acréscimo de 1 m<sup>2</sup> de superfície de colectores planos.

**Perdas de calor para tubos sem isolamento**

É possível também estimar as perdas de calor para tubos sem isolamento. Contudo existem relações muito complicadas entre a convecção e radiação de calor e portanto apresenta-se uma equação simples por forma a simplificar este processo. De referir que esta equação é válida apenas para tubos com diâmetro inferior a 100 mm e temperatura que rodeia os tubos por volta dos  $T_{\text{amb}} = 20^\circ\text{C}$ :

$$Q_{\text{perdas}} = D_{\text{tubo}} \left( 29,85 + 0,027 \times T_{\text{tubo}} \times \sqrt[3]{T_{\text{tubo}}} \right) \times \Delta T (\text{W/m})$$

De referir que a unidade para o diâmetro da tubagem deve estar em metros.

Exemplo:

$$D_{\text{tubo}} = 0,018 \text{ m}$$

$$T_{\text{tubo}} = 50^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 30 \text{ K}$$

$$Q_{\text{perdas}} = 0,018 \text{ m} \left( 29,85 + 0,027 \times 50^\circ\text{C} \times \sqrt[3]{50^\circ\text{C}} \right) \times 30 \text{ K} \approx 19 \text{ W/m}$$

Para o caso em que a tubagem não está termicamente isolada, surgem perdas de calor que são três vezes maiores em comparação com a tubagem com isolamento.

**Perdas de calor em tanques de armazenamento**

As perdas de calor no tanque de armazenamento solar aumentam proporcionalmente com a superfície, A, e a diferença de temperatura entre o tanque e o meio que o rodeia  $\Delta T$ :

$$Q_{\text{P tanque}} \approx A \times \Delta T$$

Com a ajuda do coeficiente de perdas térmicas K em W/m<sup>2</sup>K deriva-se a seguinte equação:

$$Q_{\text{P tanque}} = K \times A \times \Delta T (\text{W})$$

Para tanques de armazenamento o valor de KA é normalmente dado em W/K.

Exemplo:

$$\text{Valor de KA} = 1,6 \text{ W/K}$$

$$\Delta T = 30 \text{ K}$$

$$Q_{\text{Ptanque}} = 1,6 \text{ W/K} \times 30 \text{ K} = 48 \text{ W}$$

Durante um ano este tanque apresenta perdas de calor de:

$$Q_{\text{P tanque}} = 48 \text{ W} \times 24 \text{ h/d} \times 365 \text{ dias} \approx 420 \text{ kWh/a}$$

No caso acima, as perdas de calor no tanque de armazenamento correspondem ao ganho solar de cerca de 1,2 m<sub>2</sub> da superfície do colector.

#### 4.4.1.6 Passo 3: Projecto e dimensionamento das componentes do sistemas

Podem-se diferenciar entre três processos diferentes:

- determinação grosseira das dimensões com uma fórmula aproximada;
- cálculo detalhado para cada componente;
- projecto assistido por computador com programas de simulação.

##### **Determinação grosseira das dimensões com uma fórmula aproximada**

Com base na experiência acumulada em instalações de sistemas de energia solar térmica, pode-se efectuar uma estimativa inicial para os componentes essenciais do sistema, para obter uma fracção solar de aproximadamente 60% assumindo o seguinte:

- média de consumo de água quente  $V_{Aq} = 35$  a  $65$  litros ( $45^{\circ}\text{C}$ ) por pessoa por dia;
- condições de irradiação solar favoráveis ( $E_G = 1.000 \text{ kWh/m}^2\text{a} \pm 10\%$ );
- alinhamento do telhado – Sudeste para sudoeste, inclinação até  $50^{\circ}$ ;
- inexistência de sombra ou sombra muito pequena.

##### *Superfície de colectores*

Uma aproximação à área de colectores pode ser dada da seguinte forma:

- $1,5 \text{ m}^2$  de área de colector plano por pessoa;
- $1 \text{ m}^2$  de colector de tubo evacuado/colector parabólico composto por pessoa.

Para uma família de 4 pessoas esta fórmula conduz a um valor aproximado de superfície de colectores planos de  $6 \text{ m}^2$ .

##### *Volumes de armazenamento de água sanitária e permutadores de calor*

Por forma a ultrapassar os dias de Verão com menor irradiação, sem usar aquecimento auxiliar, o volume do tanque de armazenamento deve ser projectado para 1,5 a 2 vezes o consumo de água quente diário. Através da redução do consumo de água quente é possível seleccionar o factor de 1,5 sem diminuir o conforto (p.e. através da instalação de sistemas de poupança de água). Considera-se assim que o volume do tanque de armazenamento é de:

- consumo de água diário  $\times 1,5 =$  Tanque de  $300 \text{ l}$ .

Com este dimensionamento obtém-se um efeito secundário para o ambiente, com a diminuição do consumo de água sanitária.

Se o sistema for dimensionado para uma fracção solar de 100%, para os meses de Verão entre Maio e Setembro, o volume do tanque de armazenamento deve corresponder duas vezes ao consumo de água quente diário:

- consumo de água diário  $\times 2 =$  Tanque de  $400 \text{ l}$ .

Com este tipo de tanque é também possível usar o excesso de calor, através de uma ligação adicional, na máquina de lavar roupa e/ou na máquina de lavar loiça. Aqui o efeito secundário traduz-se na poupança de energia eléctrica.

Para o exemplo da família de 4 pessoas com máquina de lavar roupa/loiça recomenda-se um tanque de  $400 \text{ l}$  ( $\approx 216 \text{ l} \times 2$ ).

Para uma aproximação ao dimensionamento de permutadores de calor internos pode aplicar-se a seguinte fórmula:

- permutador de calor com alhetas =  $0,35 \text{ m}^2$  superfície de permutador por  $\text{m}^2$  superfície de colectores;
- permutador de calor liso =  $0,20 \text{ m}^2$  superfície de permutador por  $\text{m}^2$  superfície de colectores.

Para o exemplo em estudo significa que na selecção do tanque de armazenamento com um permutador de calor liso este deve ter uma superfície de cerca de  $1,2 \text{ m}^2$  ( $6 \text{ m}^2 \times 0,2 \text{ m}^2$ ).

#### *Tubagem do circuito solar, bombas de circulação e vasos de expansão*

Tendo por base a tabela seguinte, o diâmetro dos tubos para o circuito solar pode ser estabelecido dependendo da superfície dos colectores e do comprimento dos tubos (fluxo elevado). É também apresentado para a bomba de circulação a dimensão correspondente.

**Tabela 4.1 - Diâmetro da tubagem do circuito solar dependendo da área da superfície de colectores e do comprimento da tubagem**

Superfície de colectores ( $\text{m}^2$ )	Diâmetro do tubo do circuito solar para os seguintes comprimentos (m)				
	10	20	30	40	50
até 5	15/I	15/I	15/I	15/I	15/I
6-12	18/I	18/I	18/I	18/I	18/I
13-16	18/I	22/I	22/I	22/I	22/I
17-20	22/I	22/I	22/I	22/I	22/I
21-25	22/I	22/II	22/II	22/II	22/III
26-30	22/II	22/II	22/III	22/III	22/III

Os caracteres romanos identificam a respectiva circulação das bombas usando o exemplo das bombas GRUNDFOSS. I  $\equiv$  UPS 25-40 (30-60 W energia consumida). II  $\equiv$  UPS 25-60 (45-90 W). III  $\equiv$  UPS 32-60 (45-90 W).

Desta forma para o exemplo apresentado, com uma superfície dos colectores de  $6 \text{ m}^2$ , com um comprimento total da tubagem de alimentação e de retorno de 20 m obtém-se uma tubagem para o circuito solar de 18 mm de diâmetro e respectiva bomba de circulação I  $\equiv$  UPS 25-40.

O volume do vaso de expansão pode ser lido na tabela 4.2, e depende da superfície dos colectores e da diferença de altura do sistema, entre o recipiente de expansão e o limite do colector.

**Tabela 4.2 - Dimensionamento do volume do vaso de expansão para segurança dependendo da temperatura de estagnação na área da superfície do colector e altura do sistema**

Volume do sistema (l)	Superfície colectora ( $\text{m}^2$ )	Volume do recipiente de expansão (l) para sistemas com a seguinte altura (m)					
		2.5	5	7.5	10	12.5	15
18	5	12	12	12	12	18	18
20	7.5	12	12	12	18	25	35
23	10	12	12	18	25	35	35
24	12.5	12	18	25	35	35	35
25	15	18	25	35	35	35	50
29	17.5	25	35	35	35	50	50
35	20	25	35	35	50	50	50
37	25	35	35	50	50	50	80
40	30	35	50	50	50	80	80

A tabela não tem em conta o volume do vapor que pode ocorrer na linha de ligação do colector para um sistema de colectores de tubo de vácuo.

Da tabela, um vaso de expansão com um volume de 12 l pode ser obtido para o exemplo em estudo.

#### **Cálculo detalhado para os componentes individuais**

No caso dos métodos detalhados de dimensionamento do sistema solar os componentes são calculados com base nas condições gerais existentes.

### Superfície de colectores

Para definir a área dos colectores tem de se começar por estipular o calor necessário para aquecimento da água, a radiação solar disponível, a eficiência média do sistema e a fracção solar desejada para o tipo de colector. De seguida apresenta-se um exemplo concreto.

Exemplo:

calor necessário:  $Q_{Aq} = 8,77 \text{ kWh/dia}$ ;

radiação solar (no local):  $I_G = 970 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$ ;

insolação na superfície do colector:  $I_{Col} = 1,000 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$ ;

eficiência média do sistema:  $\eta_{sis} = 0,35$ ;

fracção solar desejada:  $F_{sol} = 60\%$ .

Com base nestes dados a área absorvora é calculada do seguinte modo:

$$\text{Superfície absorvora} = \frac{365 \text{ dias} \times 8,77 \text{ kWh/dia} \times 0,6}{1000 \text{ kWh/m}^2 \times 0,35} \approx 5,5 \text{ m}^2$$

### Diâmetro da tubagem do circuito solar

Um factor que tem efeito na transferência de calor do circuito solar, é a perda de pressão. Esta deve ser mantida o mais baixo possível. Ao manter a perda de pressão baixa é necessário manter a velocidade de escoamento abaixo de 0,7 m/s, uma vez que a resistência do fluxo na tubagem não pode ser muito elevada. No caso de escoamento a velocidades elevadas passa a existir ruído adicional incómodo, e para velocidades na ordem de 1 m/s pode haver abrasão do tubo de cobre.

Por outro lado um dado caudal volumétrico deve estar disponível para transportar o calor do colector para o tanque de armazenamento. Para o caudal volumétrico no circuito solar a experiência mostra que um valor de cerca de 40 l/m<sup>2</sup> por hora é ideal (fluxo elevado).

#### Caso de Estudo: Cálculo do fluxo volumétrico e da secção da tubagem num circuito solar

Durante a operação do sistema, o caudal volumétrico deve ser elevado para arrefecer suficientemente o colector (baixa temperatura média do absorvador equivale a boa eficiência do colector). Por outro lado a taxa de fluxo através do colector não deve ser elevada, de modo a gerar uma temperatura de alimentação utilizável. Para calcular o caudal volumétrico óptimo pode assumir-se uma restrição na diferença de temperatura, entre a alimentação e o fluxo de retorno de 10K – mesmo em períodos de boa insolação. O fluxo volumétrico pode ser então calculado, com a ajuda da seguinte equação:

$$m = \frac{Q}{c_{G/H_2O} \times \Delta T}$$

Onde Q = Output térmico utilizável (W/m<sup>2</sup>) convertido pelo colector,  $c_{G/H_2O} = 1,03 \text{ Wh/kgK}$ , calor específico do líquido solar e  $\Delta T$  = Diferença de temperatura entre o fluxo de alimentação e retorno em K (= 10 K)

Exemplo:

irradiação = 800 W/m<sup>2</sup>;

eficiência do colector = 50%.

$$m = \frac{400 \text{ W/m}^2}{1,03 \text{ Wh/KgK} \times 10 \text{ K}} = 39 \text{ Kg/m}^2 \text{ h} \approx 40 \text{ l/m}^2 \text{ h}$$

O diâmetro da tubagem do circuito solar pode ser calculado através das variáveis, caudal volumétrico m e velocidade do escoamento v:

**Caso de Estudo:** Cálculo do fluxo volumétrico e da secção da tubagem num circuito solar (cont.)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times \left(\frac{m}{v}\right)}{\pi}}$$

Exemplo:

caudal volumétrico = 240 l por hora (6 m² x 40 l/m²h);

velocidade do escoamento = 0,7 m/s.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times \left(\frac{240\text{ls}}{0,7\text{mh}}\right)}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times \left(\frac{240\text{dm}^3\text{h}}{25200\text{dmh}}\right)}{\pi}} = 11,01\text{mm}$$

O diâmetro interno necessário deve ser no mínimo 11 mm. Com base na tabela seguinte, deve ser seleccionado um tubo de cobre com um diâmetro interno de 13 mm (descrição Cu 15x1).

**Tabela 4.3 - Dimensões dos tubos de cobre padrão**

Dimensões do tubo (diâmetro exterior x espessura)	Diâmetro Interno (mm)	Conteúdo (litros/m)
Cu 10 x 1	8	0,05
Cu 12 x 1	10	0,079
Cu 15 x 1 DN 12	13	0,133
Cu 18 x 1 DN 15	16	0,201
Cu 22 x 1 DN 20	20	0,314
Cu 28 x 1.5 DN 25	25	0,491

### Bombas de circulação

Em geral bombas de circulação tradicionais, com três ou quatro estágios de controlo, são suficientes para sistemas pequenos (área de colectores  $\leq 20\text{m}^2$ ). Para um dimensionamento detalhado é necessário saber a perda de pressão  $\Delta p_{\text{tot}}$  total no sistema solar. A perda de pressão total é originada pelas perdas de pressão no colector, no circuito solar e no permutador de calor.

$$\Delta p_{\text{tot}} = \Delta p_{\text{col}} + \Delta p_{\text{circ}} + \Delta p_{\text{permutador}}$$

A perda de pressão nos colectores  $\Delta p_{\text{tot}}$  depende do tipo de colectores, do caudal volumétrico seleccionado e do tipo de ligações ao colector. A perda de pressão dos colectores individuais é fornecida pelo fabricante e é dependente do caudal volumétrico. Se diversos colectores forem ligados em paralelo a pressão do campo de colectores corresponde à pressão de um único colector. Se estiverem ligados em série a perda de pressão é um somatório de todos.

A perda de pressão do circuito solar  $\Delta p_{\text{circ}}$  é originada pelas perdas de pressão nos tubos  $\Delta p_{\text{tubo}}$  e pela soma das perdas de pressão nas ligações  $\Delta p_{\text{lig}}$ .

A perda de pressão específica por metro de comprimento dos tubos da instalação, depende da secção transversal da tubagem e da velocidade de escoamento e pode ser definida através da informação dada pelo fornecedor. Esta definição deve ter também em conta o material da tubagem e a concentração da mistura de água/glicol. Por outro lado, as perdas de pressão em ligações em curva, peças em T, ligações aparafusadas, válvulas e acessórios devem ser retiradas das respectivas tabelas, na forma de correcção de valores de perda de pressão ou podem ser estimadas como 1/3 de todas as perdas da tubagem.

A perda de pressão no permutador de calor do circuito solar  $\Delta p_{\text{permutador}}$  pode ser encontrada na documentação existente de acordo com o tipo de permutador de calor e velocidade de escoamento.

Para a selecção de uma bomba, para o circuito solar, devem ser estabelecidas as características das perdas de pressão do sistema. As perdas de pressão total, para diferentes caudais volumétricos, são calculadas para uma determinada perda de pressão a um dado caudal volumétrico de acordo com a equação seguinte:

$$\frac{V_1^2}{V_2^2} = \frac{p_1}{p_2}$$

#### Vaso de expansão (VE) e válvulas de segurança (VS)

Para o cálculo do tamanho dos recipientes deve ser tida em conta não só a mudança de volume, com um aumento da temperatura do líquido solar, mas também o volume de vapor do colectador.

O tamanho mínimo do vaso de expansão é calculado de acordo com a seguinte equação:

$$V_{\text{vasomin}} = V_{\text{Exp}} \times \frac{p_{\text{Omax}} + 1}{p_{\text{Omax}} - p_{\text{adm}}}$$

onde  $V_{\text{Exp}}$  = Volume de expansão (l),  $p_{\text{Omax}}$  = Pressão de operação máxima permitida (bar) e  $p_{\text{adm}}$  = Pressão inicial do sistema (bar).

O quociente  $\frac{p_{\text{Omax}} + 1}{p_{\text{Omax}} - p_{\text{adm}}}$  é chamado factor de pressão ou de utilização do vaso de expansão e permite saber a proporção do volume do vaso que efectivamente está disponível para o fluido de transferência de calor.

A pressão de admissão deve ser suficientemente elevada, de modo que em condições de paragem do sistema não seja possível haver entrada de ar no sistema. Esta pressão deve ser no mínimo 1,5 bar no ponto mais elevado do sistema. Dado que o vaso de expansão se localiza, normalmente, na cave da habitação deve ser adicionada a pressão estática à pressão mínima.

$$p_{\text{adm}} = 0,5 \text{ bar} + p_{\text{estat}}$$

$$p_{\text{estat}} = h_{\text{sis}} (m) \times 0,1 \text{ bar/m}$$

A pressão máxima de operação deve ser cerca de 0,3 bar abaixo da pressão de resposta da válvula de segurança. A pressão nominal da válvula de segurança pode ser retirada da tabela seguinte, dependendo da pressão de admissão do sistema.

O factor 0,1 tem em conta o valor máximo de expansão, devido à temperatura na mistura de água / glicol incluindo um aumento de 10% para segurança.

**Tabela 4.4 - Pressão de admissão do sistema e pressão nominal da válvula de segurança**

Pressão de admissão do Vaso de expansão	1 bar	1,5 bar	3,0 bar	6,0 bar
Pressão nominal da Válvula de segurança	2,5 bar	4,0 bar	6,0 bar	10,0 bar

No exemplo apresentado, selecciona-se uma válvula de segurança de 4,0 bar.

$$p_{\text{Omax}} = p_{\text{OmaxVS}} - 0,3 \text{ bar} = 3,7 \text{ bar}$$

O volume de expansão  $V_{\text{Exp}}$  é calculado através de:

$$V_{\text{Exp}} = V_{\text{col}} + 0,10 \times V_{\text{Sis}}$$

onde  $V_{\text{col}}$  = Volume do colectador,  $V_{\text{Sis}}$  = Volume do sistema (Volume do colectador + Volume da tubagem + Volume do permutador de calor).

Exemplo:

Colectores:

- conteúdo = 5 litros;
- distância vertical entre o topo do sistema e a válvula de segurança = 10 m.

Circuito solar:

- tubo de cobre Cu 15 x 1;
- comprimento = 25 m.

Permutador de calor:

- conteúdo = 1,8 litros.

$$V_{Sis} = 5 \text{ l} + 25 \text{ m} \times 0,133 \text{ l/m} + 1,8 \text{ l} = 10,1 \text{ l}$$

$$V_{Exp} = 5 \text{ l} + 0,1 \times 10,1 \text{ l} = 6,01 \text{ l}$$

$$p_{adm} = 0,5 \text{ bar} + 1 \text{ bar} = 1,5 \text{ bar}$$

$$p_{Omax} = 3,7 \text{ bar}$$

$$V_{vasomin} = 6,01 \text{ l} \times \frac{3,7 \text{ bar} + 1}{3,7 \text{ bar} - 1,5 \text{ bar}} = 12,84 \text{ l}$$

Da série dos tamanhos padrão (10, 12, 18, 25, 35, 50 litros) selecciona-se o de 18 litros.

### Dimensionamento com um programa de simulação

Existem neste momento diversos programas disponíveis para o dimensionamento e simulação de sistemas solares térmicos (ver capítulo 10).

Para o exemplo seguinte foi efectuada uma simulação com o programa da empresa DIGAL. O tamanho do colector e tanque de armazenamento estimado devem ser inicialmente estabelecidos. Esta estimativa é feita com a ajuda de uma fórmula aproximada com base no consumo de água quente. Os resultados da simulação incluem a fracção solar e a eficiência do sistema.

Os parâmetros de input necessários (de acordo com o exemplo) são os seguintes:

Condições do local:

Irradiação solar e temperatura: Lisboa;

Alinhamento do telhado: Sul;

Inclinação do telhado: 23°.

Requisitos de calor:

Consumo de água quente: 272 l (50°C) por dia;

Linha de circulação: Não tem.

Colector:

Tipo de colector: Colector plano;

Área da superfície absorsora: 3,72 m².

Tanque solar:

Tamanho do tanque de armazenamento: 300 l.

Aquecimento auxiliar

Tipo de aquecimento auxiliar: Energia eléctrica.

No exemplo a dimensão proposta para o tamanho do colector e tanque de armazenamento conduz a uma fracção solar de 74,3%, com uma produção de 3.599 KWh/ano de energia solar.

#### 4.4.2 Dimensionamento de sistemas para aquecimento de água sanitária e suporte de aquecimento

Especialmente durante a Primavera e o Outono, o sistema de energia solar pode efectuar uma contribuição para o aquecimento das habitações. Podem diferenciar-se entre sistemas com um baixo grau de fracção solar e com elevada fracção solar. Entre os primeiros tipos estão os sistemas de energia solar com um máximo de 35% do total do aquecimento coberto pela energia solar necessário para um edifício. Para sistemas com elevada fracção solar mais que 70% do total de aquecimento necessário, em que a energia do Sol no Verão é armazenado a longo prazo ou em sistemas de armazenamento sazonal usados no Inverno.

#### 4.4.3 Balanço energético e produção de sistemas solares térmicos

Assumindo que o dimensionamento do sistema solar se ajusta às necessidades de água quente a performance da produção destes sistemas é estabelecida através das perdas na rede desde o colector à torneira.

A média da eficiência dos sistemas solares térmicos com colectores planos é cerca de 35%. Com uma irradiação solar global de 1,000 kWh/m<sup>2</sup> por ano cada metro quadrado de superfície de colector plano gera 350 kWh de potência térmica. Se os colectores de tubo de vácuo ou colectores parabólicos compostos forem usados a eficiência é aumentada cerca de 45% devido às baixas perdas de calor no colector.

A tabela seguinte mostra a influência de diferentes consumos de água quente na produção solar.

**Tabela 4.5 - Efeito da variação do consumo de água quente na produção, na fracção solar e eficiência**

Consumo de água quente (Litros por pessoa por dia)	20	30	40	50	60
Produção (kWh/a)	1.150 (-29%)	1.403 (-13%)	1.609	1.780 (+11%)	1.923 (+20%)
Fracção Solar (%)	72	66	60	55	52
Eficiência (%)	24	29	34	37	40

Com aproximadamente 5 m<sup>2</sup> o sistema do exemplo em estudo foi projectado para um consumo de água quente de 40 l por pessoa por dia com o objectivo de obter 60% da fracção solar anual. Nestas condições o sistema solar fornece aproximadamente 1.600 kWh por ano. Se o consumo actual de água quente for somente metade do consumo assumido, a produção é reduzida em cerca de 30%, por causa do excesso não utilizado. Por outro lado se existir um elevado consumo de água quente então assume-se a obtenção de uma elevada produção solar, contudo não se atinge o objectivo desejado de 60% da fracção solar anual (e 100% da fracção solar no Verão).

#### 4.5 Avaliação Económica

Uma das formas de avaliar, do ponto de vista económico, os benefícios obtidos com a aquisição de um sistema solar é o tempo de retorno do investimento, isto é, a razão entre o custo do sistema (investimento inicial) e as poupanças médias anuais esperadas. Estas são calculadas considerando, pelo facto de se utilizar o sistema solar, que a factura de energia convencional (electricidade ou gás) é reduzida anualmente num valor médio equivalente à energia fornecida pelo sistema solar.

Considerando que, para diferentes hipóteses de energia convencional substituída (caldeira ou esquentador de gás natural, propano ou butano) e para diferentes valores de custo desta e admitindo-se que este preço se mantém constante ao longo dos anos, os tempos de retorno do investimento para a aquisição do sistema solar e com a economia de energia proporcionada, pelo aquecimento solar, resulta tipicamente em 6 a 9 anos para as famílias que utilizam o gás propano ou butano. Para as famílias que utilizam o gás natural, o tempo de recuperação do investimento é um pouco maior, resultando mais interessante onde o preço do gás natural for mais elevado, consoante o concessionário local e o volume de gás consumido anualmente. Nota-se ainda uma diferença significativa entre a utilização da caldeira mural, cujo rendimento de queima pode ser de cerca de 90%, e a utilização de um esquentador simples, cujo rendimento pode ser de 65%.

Para a tarifa normal da electricidade para preparar AQS em cilindros eléctricos, sem beneficiar de forma inteligente da tarifa bi-horária, os colectores solares são também uma alternativa muito interessante.



Há que lembrar que um sistema solar, com equipamento certificado e boa manutenção, pode durar 15 ou mais anos, em boas condições de funcionamento e que o investimento inicial pode ser compensado pela possibilidade de deduzir até 700 € no IRS.

Esta análise parte do pressuposto de que o custo da energia substituída, nas suas várias formas, terá tendência para subir no futuro – por via da escassez e da incorporação no seu custo das chamadas externalidades – permitindo essa leitura uma compreensão, por parte dos utentes, do interesse crescente na aplicação em sistemas solares térmicos, pois os períodos de retorno tornam-se sempre muito mais interessantes à medida que sobe o custo da energia convencional.



## 5 INSTALAÇÃO, COMISSIONAMENTO, MANUTENÇÃO E REPARAÇÃO

---

A instalação de sistemas de energia solar térmica integra três áreas ocupacionais:

- construção civil (telhados e coberturas);
- instalações de aquecimento e de água e de gás;
- instalações eléctricas.

Por outras palavras, é necessária uma intervenção alargada de especialistas. Muitas vezes, a documentação técnica fornecida pelo fabricante, outra literatura especializada e em particular as instruções de instalação revelam-se insuficientes.

É no telhado que os canalizadores ou os instaladores de aquecimento enfrentam muitas vezes situações desconhecidas. Sempre que um campo de colectores é instalado no telhado e os tubos de ligação são prolongados para dentro da casa, torna-se necessário interferir na estrutura do telhado. Torna-se assim importante conhecer e obedecer às orientações existentes. No âmbito deste manual analisam-se estas orientações em detalhe. Isto deverá ajudar a clarificar quais as tarefas que podem ser desempenhadas por um instalador de sistemas solares e quais as que necessitam da intervenção de um especialista em telhados.

Os trabalhos com que o instalador está familiarizado são apresentados de forma breve. O enfoque é dado sobretudo nos requisitos especiais de técnica solar. Em geral são referidos os capítulos anteriores em que as componentes solares individuais foram descritas. Devem ser tidas em consideração todas as garantias ainda válidas no que respeita aos trabalhos anteriores, levados a cabo por instaladores experientes, durante os trabalhos no telhado ou no sistema de aquecimento.

### 5.1 *Um breve estudo sobre o telhado e materiais*

#### 5.1.1 O objectivo do telhado

A função do telhado é principalmente:

- estabelecer fronteiras espaciais;
- suportar as cargas do vento, chuva e neve, através da cobertura do telhado;
- amenizar as variações climáticas no interior do edifício;
- estética (forma, cor, material, estrutura da superfície).

Por causa da diminuição constante das fontes de energia fóssil e das alterações climáticas, o telhado será cada vez mais a estrutura responsável pelo suporte dos elementos de conversão de energia, isto é, sistemas solares térmicos ou fotovoltaicos. Isto significa que o revestimento do telhado (e a sua fachada) estará sujeito a mudanças significativas, no que diz respeito ao material e à aparência.

#### 5.1.2 Formas de telhado

De acordo com a inclinação os telhados classificam-se do seguinte modo:

- telhados planos: até 5° de inclinação;
- telhados com inclinação normal:  $> 5^\circ \leq 45^\circ$  de inclinação;
- telhados muito inclinados:  $> 45^\circ$  de inclinação.

#### 5.1.3 Componentes do telhado

##### 5.1.3.1 **Estrutura do telhado**

##### **Telhados em treliça**

No caso de um telhado em treliça, as vigas apoiam-se nas terças como traves inclinadas. A viga mestra suporta as cargas verticais e distribui-as pelos postes e escoras; as terças da base, distribuem igualmente, as cargas pelas paredes exteriores.

## Telhados de vigas e trama de suporte

No caso de telhados com vigas, as vigas e o tecto formam um triângulo rígido. Não existem elementos de construção interna. No caso de telhados de vigas com trama de suporte, cada par de vigas está ligado e reforçado por esta trama.

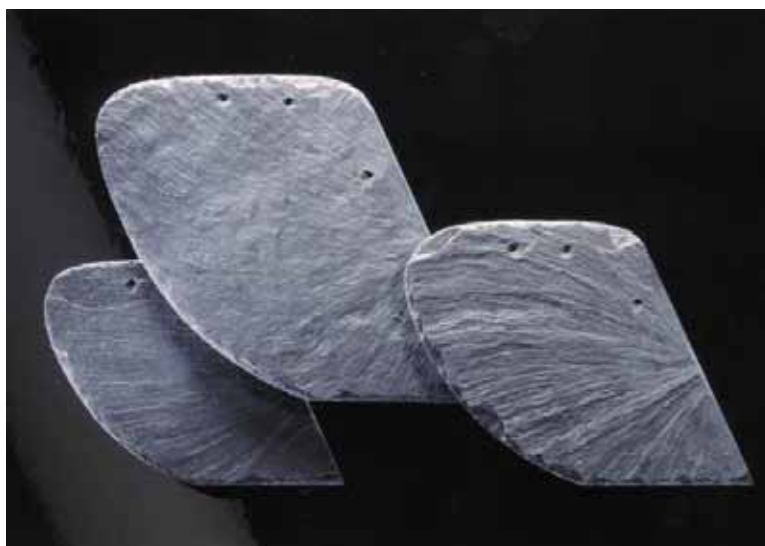
### Construção em treliça

Por razões de custo, os diversos tipos de construção de telhado descritos acima devem ser usados apenas para envergaduras até aos 17 metros. Para envergaduras maiores, existem disponíveis vigas treliças. Estas são estruturas auto-suportadas (vigas coladas, vigas pregadas, etc...). Neste caso a mudança não deve ser efectuada sem a aprovação prévia do engenheiro de estruturas.

#### 5.1.3.2 Revestimento do telhado

Neste capítulo faz-se a distinção entre a cobertura do telhado e a impermeabilização do telhado.

A cobertura do telhado consiste num conjunto de madeiramentos e de telhas que servem de protecção à casa. As telhas podem ser de ardósia, barro, cerâmica, chumbo, madeira, pedra, cimento-amianto, alumínio, ferro, polycarbonato, vidro e manta asfáltica. De referir que cada inclinação do telhado requer um tipo de telha diferente.



**Figura 5.1 – Um tipo de telha - ardósia natural**

**Fonte: Arbeitsgemeinschaft Ziegeldach e.V., Bonn**

A impermeabilização do telhado (cobertura impermeabilizada, aplicação em telhados planos) é por exemplo um revestimento laminado de betume, revestimento laminado de plástico, material plástico aplicado em forma líquida e endurecido etc...

### Exemplos de coberturas de telhado e impermeabilizações



Fonte: Arbeitsgemeinschaft Ziegeldach e.V., Bonn



Fonte: A.W. Andernach GmbH & Co. KG, Bonn e Saar-Gummiwerk GmbH, Wadern-Büschfeld

Figura 5.2 - Exemplos de coberturas de telhado e impermeabilizações

Exemplos de telhas moldadas, ganchos no telhado, guardas de neve e passadeiras



Fonte: Arbeitsgemeinschaft Ziegeldach e.V., Bonn



Fonte: W. Holzapfel, Köln



Fonte: W. Holzapfel, Köln



Fonte: W. Holzapfel, Köln

**Figura 5.3 - Exemplos de telhas moldadas, ganchos no telhado, guardas de neve e passadeiras**

#### 5.1.4 Telhados inclinados

Um telhado inclinado é constituído pelos seguintes elementos:

- vigas/isolamento térmico;
- caibros;
- ripas;
- telhas.

O isolamento térmico pode ser instalado de três formas:

- no tecto do andar mais alto;
- entre as vigas;
- nas vigas (existem problemas de fixação do colector dado que neste caso os componentes padrão não podem ser usados).

#### 5.1.5 Telhado plano

Os telhados planos distinguem-se entre telhados frios (isolamento térmico debaixo das tábuas, ventilado no espaço intermédio), e telhados quentes (isolamento térmico acima das tábuas).

#### 5.1.6 Materiais

Os materiais usados, na área do telhado destinada a receber a tecnologia solar, estão sujeitos a cargas muito severas, e estes materiais devem ser capazes de suportar durante longos períodos, já que os sistemas devem funcionar com os desempenhos esperados sem falhas por mais de 20 anos. As cargas são devidas a:

- variações da temperatura entre  $-15$  e  $80^{\circ}\text{C}$ ; no absorsor até  $300^{\circ}\text{C}$  aproximadamente;
- radiação UV;
- chuva, neve e granizo;

- força do vento;
- danos mecânicos e danos causados por aves (no caso de isolamento térmico exterior).

Desta forma devem ser usados os seguintes materiais para as diferentes aplicações:

**Tabela 5.1 – Materiais utilizados no sistema solar**

Material	Versão	Aplicação
Vidro	Vidro flutuante, vidro solar (prismático, transparente), vidro anti-reflexo, vidro borosilicatado	Cobertura de colector transparente, cilindro de vidro e tubagem de absorsor para colectores de vácuo
Plásticos	EPDM, PE, PP, PU espuma rígida/flexível, GFK, silicone.	Isolamento térmico das tubagens, colectores, molduras de colectores, materiais selantes, adesivos.
Placas de titânio-zinco	Simples	Caixas de cobertura, parte inferior de colectores
Madeira	Madeira colada	Caixas de colector (montagem no telhado)
Cobre	Simples, com cobertura selectiva	Tubagens, faixas de absorsor, absorsores de superfície total
Chumbo	Rolado, com revestimento de zinco	Protectores de chumbo
Alumínio	Simples, anodizado, cobertura de pó, cobertura selectiva	Caixas de colectores, Molduras de coberturas, suportes, perfis, absorsores
Aço inoxidável	Crómio, níquel	Ganchos de telhado, perfis, parafusos, porcas, placas, caixas de colector, absorsores
Aço	Galvanizado	Ganchos de telhado, perfis, parafusos, porcas, placas, suportes
	Crómio, níquel, molibdénio, titânio	Parafusos, porcas, placas

#### **Caso de Estudo:** Expansão térmica

Os materiais expandem durante o aquecimento e contraem durante o arrefecimento tornando-se portanto necessário tomar as devidas precauções, no sentido de absorver estas diferenças de comprimento, para evitar danos. A amplitude das alterações de comprimento depende:

- do material;
- da diferença de temperatura.

$$\Delta l = l_0 \times \alpha \times \Delta T$$

Onde  $\Delta l$  = Variação de comprimento (mm),  $l_0$  = Comprimento original (m),  $\alpha$  = Coeficiente de expansão (mm/mK) e  $\Delta T$  = Variação de temperatura (K).

Para os diferentes materiais os coeficientes de expansão (mm/mK) são os seguintes:

**Tabela 5.2 – Coeficientes de expansão (mm/mK)**

Polietileno	0,2
Chumbo	0,029
Alumínio	0,024
Zinco	0,02
Cobre	0,017
Aço inoxidável	0,016
Aço	0,012
Vidro quartzo	0,001

**Exemplo:**

4 colectores de 2,1 m de altura e 1,2 m de comprimento estão instalados na vertical, encostados uns nos outros e a placa de cobertura projecta-se por 0,25 m em cada lado.

$$T_{Ver\tilde{a}o} = 70^{\circ}C, T_{Inverno} = - 14^{\circ}C$$

$$\Delta l_{Zinco} = 5,3 \text{ m} \times 0,02 \text{ mm/mK} \times 84 \text{ K} = 8,9 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{Al} = 5,3 \text{ m} \times 0,024 \text{ mm/mK} \times 84 \text{ K} = 10,7 \text{ mm}$$

Portanto a placa expande no total cerca de 1 cm. Esta expansão não deve ser contrariada (por exemplo através de solda), sob pena de poderem resultar tensões e fendas, o que resultaria em fugas. Portanto, as placas são presas à armação do telhado com retentores ou no caso de zinco com peças de expansão. No caso de tubagens, são usados compensadores ou cotovelos de expansão.

**Caso de Estudo: Corrosão**

Pode-se distinguir entre corrosão, sinais de corrosão e danos de corrosão:

- corrosão (reacção): A reacção de um material metálico com o meio envolvente, que resulta numa alteração mensurável no material e pode conduzir ao dano de uma componente metálica ou de todo o sistema;
- sinais de corrosão (resultados): As alterações mensuráveis no material metálico através da corrosão;
- danos de corrosão (possíveis consequências): Avaria na função da componente metálica ou de todo o sistema através da corrosão. A corrosão pode ou não resultar em avarias.

**Exemplo:**

As linhas do caminho de ferro podem enferrujar livremente na atmosfera. Contudo, a sua função não fica alterada em consequência disto – não é necessária protecção contra a corrosão. Em contraste, radiadores de aço num sistema de aquecimento aberto vão enferrujar, devido ao oxigénio que é continuamente atraído. Se ocorrer um buraco num aquecedor devido à corrosão e a água sair, a função deste componente ou de todo o sistema ficarão comprometidos.

*Protecção contra a corrosão*

Se dois metais com diferentes potenciais eletroquímicos estiverem em contacto metálico, na presença de água, o material mais básico irá decompor-se. Portanto, diferentes metais não devem entrar em contacto num circuito líquido. Se isto não puder ser evitado, recomenda-se a separação electrolítica através da utilização de um material eléctrico intermédio não condutor. Deve esperar-se a existência de corrosão, especialmente se o mais básico dos metais estiver a jusante do metal mais precioso. Pequenas partículas do material mais nobre podem ser precipitadas no material mais básico, o que pode resultar em corrosão localizada. A regra para a instalação de tubagem deve ser na direcção aço-cobre.

**Exemplos:***Área do telhado*

Na direcção do fluxo da água da chuva, o escoamento dos iões de cobre da chaminé dissolvem uma película de cobertura de alumínio localizada mais abaixo, o que conduz a corrosão localizada. Por outro lado, uma película de alumínio não apresenta efeito corrosivo numa caleira de cobre localizada a jusante.

Os absorsores solares feitos de alumínio podem tornar-se inutilizáveis rapidamente, se o inibidor não for suficientemente eficaz e se estiverem ligados a uma conduta de cobre.



**Caso de Estudo: Corrosão (cont.)***Circuito solar*

Tubos de aço ou acessórios feitos de ferro fundido nunca devem ser montados a jusante de uma conduta de cobre. As ligações metálicas de cobre com uma liga de cobre-estanho-zinco (bronze vermelho ou latão), por outro lado, não representam qualquer problema, já que possuem um potencial eletroquímico semelhante ao do cobre.

A corrosividade do glicol é suprimida através de inibidores apropriados. Estes devem ser verificados periodicamente.

*Tanque de armazenamento*

Os materiais ferrosos simples estão sujeitos a corrosão em água, que contém oxigénio. Com a formação de camadas de ferrugem que não protegem da corrosão é necessária protecção contra a corrosão, p.e. para o tanque de água sanitária, um processo de esmaltagem em ligação com uma corrente externa ou com ânodos de magnésio ou uma cobertura de plástico.

**Caso de estudo: Efeito capilar**

De acordo com o princípio dos vasos comunicantes, líquidos em tubos com ligação entre si estarão sempre ao mesmo nível, independentemente da forma dos tubos. A excepção passa-se em tubos de diâmetro reduzido, um capilar, o líquido está a um nível mais elevado (agente molhante, p.e. solda estanhada) ou mais baixo (agente não-molhante, p.e. mercúrio).

**Exemplo:**

Na tecnologia da soldadura é aproveitado este efeito nas juntas capilares da soldadura. O estanho líquido por capilaridade é inserido nas ranhuras mesmo contra a gravidade (o intervalo de solda de 0,02 a um máximo de 0,3mm, de acordo com o diâmetro do tubo).

Contudo, podem ocorrer problemas devido ao efeito capilar nas caixas de cobertura dos colectores montados em telhados. Aqui, na presença de painéis laterais não soldados, que se sobrepõem na direcção do fluxo, a água pode penetrar.

Resumo de diferentes medidas:

**Tabela 5.3 – Medidas de acoplagem ao telhado**

Medida	Inadequada	Adequabilidade
Colagem	Silicone	Faixa de butil pode ser usada sem restrições
Aumento do intervalo através de dobragem das extremidades das placas	Para inclinações de telhado < 30°	Para telhados com inclinações $\geq 30^\circ$ é necessária a sobreposição de pelo menos 100 mm
Soldadura	Para alumínio	Para zinco (levar em conta a expansão térmica)

## 5.2 Segurança e métodos de instalação

Os trabalhos de instalação e montagem de sistemas solares deve ser acompanhado dum sistema de segurança, por forma a prevenir eventuais acidentes que possam vir a ocorrer. Nesse sentido apresentam-se neste capítulo algumas medidas que devem ser observadas, aquando da instalação e montagem dos referidos sistemas solares.

### 5.2.1 Regulamentos de segurança

**Tabela 5.4 - Trabalhos no telhado**

Inclinação do telhado	< 3m Altura de queda	≥ 3 m Altura de queda
≤ 20°	Não são necessárias medidas de segurança.	Devem ser instalados andaimes de segurança se as zonas de trabalho ou os percursos no local tiverem um mínimo de altura de queda de 3 m.
> 20° ≤ 45°	Não são necessárias medidas de segurança.	Devem ser usados andaimes de segurança em telhados com uma inclinação de > 20° e altura de queda (a partir do beiral) de > 3 m Regras para andaimes de segurança: <ul style="list-style-type: none"> <li>• nível dos andaimes no máximo 1,5 m abaixo do beiral;</li> <li>• nível dos andaimes no mínimo 0,6 m de largura;</li> <li>• varandim de segurança com um mínimo de 0,7 m a partir da berma do beiral;</li> <li>• varandim de segurança com um mínimo de 1 m de altura, deve projectar-se para além da berma do beiral.</li> </ul>
> 45° ≤ 60°	Independentemente da altura do beiral, os telhados com inclinações de 45 a 60° devem ter zonas de trabalho especiais: <ul style="list-style-type: none"> <li>• bancos de telhado;</li> <li>• escadotes de telhado;</li> <li>• o madeirame do telhado deve também permitir trabalho em segurança nas superfícies cobertas do telhado.</li> </ul>	
> 45° ≤ 60°		Se os telhados forem muito altos com diferenças de mais de 5 m entre a zona de trabalho e os andaimes de segurança de telhado, devem ser instalados varandins adicionais de segurança.
> 60°	Devem ser usadas preferencialmente medidas técnicas para evitar quedas, nomeadamente andaimes em posição de intercepção com um mínimo de 0,9 m de largura, e profundidade até 2 m do beiral de queda. Se por razões técnicas ou estruturais, não puderem ser usados andaimes, então deve utilizar-se um sistema de segurança com cordas.	

Nos trabalhos em telhados inclinados, cobertos com placas onduladas, devem ser usadas placas de distribuição de carga (para evitar riscos de quebra e queda)

### 5.2.2 Equipamento de segurança

#### Andaime de segurança para telhados

Um andaime pode ser aceite como um equipamento de segurança no telhado se for da dimensão adequada na zona dos beirais, de acordo com os regulamentos de segurança. Se não, deve ser modificado.

#### Varandim de segurança

O varandim de segurança é montado no telhado, a protecção lateral é fixada com firmeza às vigas com corda e retentores especiais. O varandim de segurança deve projectar-se 2 m para cada lado da área de trabalho.

#### Equipamento de segurança pessoal

Se não for possível ou não fizer sentido usar andaime ou varandim de segurança então deve ser usado equipamento de segurança pessoal.

Tais equipamentos incluem:

- arnês de segurança com corda de segurança e um amortecedor de queda;
- como o anterior mas com um dispositivo de segurança de altura (a corda de segurança deve ser mantida tensa).

### 5.2.3 Equipamento de trabalho

Os trabalhos no telhado requerem, entre outros, dos seguintes equipamentos:

- ganchos do telhado, escadas de mão para apoio no telhado;
- banco de telhado;
- escadas de mão.

### **Ganchos do telhado e escadas de mão para apoio no telhado**

As escadas devem ser de madeira leve com degraus arqueados. São penduradas nos ganchos de telhado (por razões de segurança no segundo degrau) e colocadas na superfície do telhado. Permitem movimentos em redor de telhados com inclinações até aos 75°. Suportam apenas cargas até aos 1,5 kN (aproximadamente 150 kg).

### **Banco para o telhado**

O eixo vertical deve estar fixo, o suporte deve estar projectado em 60 cm, e as tábuas de suporte devem ter no mínimo uma secção de 40 x 240 mm. O banco para o telhado deve apenas suportar cargas até um máximo de 1,5 kN (aproximadamente 150 kg).

### **Escada de mão (alumínio, madeira)**

As escadas de mão apoiam-se contra o edifício. O ângulo correcto está entre 65 e 75°. Deve ter uma extensão de 1 m para além do ponto de contacto. Devem ser fixadas de modo a evitar o escorregamento, queda e afundamento no chão. Para tal, estas escadas devem ter uma base ampla, pés de borracha, suspensão/fixação no topo e deve haver assistência por parte de um elemento da equipa de segurança.

#### **5.2.4 Técnicas de transporte**

Para transportar os colectores para o telhado ou sobre a superfície do telhado para a local da instalação, existem várias opções disponíveis de acordo as condições existentes.

### **Transporte para o telhado**

#### *Superfície inclinada*

Este é o método mais usado no transporte de equipamento para o telhado. Para criar a correspondente inclinação das superfícies, são colocadas duas escadas lado a lado a uma distância apropriada (proteger as caleiras de pesos). Os colectores são então içados com cordas ou carregados com pegas.

#### *Grua*

Pode ser usada uma grua para o transporte do colector para o telhado no âmbito dos trabalhos a decorrer no telhado (com o acordo do responsável por estes trabalhos) ou pode ser alugada.

#### *Guindaste*

Para o transporte de módulos do colector com grandes superfícies ou para aceder a zonas do telhado de difícil acesso, um guindaste pode ser essencial. Dado que o aluguer de guindaste é relativamente caro é necessário um planeamento e uma boa preparação da operação.

#### *Elevadores*

Os elevadores podem ser usados para trabalhos nas fachadas

### **Transporte no telhado (telhados inclinados)**

Um trabalho relativamente seguro nos telhados é possível com:

- escadas de telhado;
- armação no telhado.

## 5.2.5 Técnicas de instalação

### 5.2.5.1 Instalação de tubagens

As técnicas para instalação de tubos para sistemas de energia solar incluem corte, ligação, fixação e selagem de tubos de cobre e aço assim como o processamento de tubagem ondulada de aço inoxidável e tubagem de montagem rápida.

As tubagens de cobre são disponibilizadas em diferentes formas e tamanhos:

**Tabela 5.5 – Tipos de tubagens de cobre**

Projecto	Força	Forma e comprimento	Diâmetro exterior $d_{ext}$
Tubagem nua sem cobertura	Resistente (F37)	Recto comprimento de 5 m Anéis com 30 kg de max. (25 ou 50 m de acordo com o diâmetro da tubagens)	12-54 mm
	Brando (F22)		12-22 mm
Tubagem de cobre com cobertura de plástico	Brando (F22)	Anéis de 25 ou 50 m	12-22 mm
	Resistente (F37)	Recto , comprimento de 5 m	12-54 mm
Tubagem com isolamento térmico	Brando (F22)	Anéis com 30 kg de max.	12-18 mm
	Resistente (F37)	Recto, comprimento de 5 m	12-54 mm

#### Corte

Para cortar tubos de cobre utiliza-se um corta-tubos. É importante remover a rebarba interior depois do corte.

#### Conexões

##### Brazagem (capilaridade)

As fixações de cobre são usadas principalmente para ligações soldadas. As junções com as ligações de montagem e encaixe são feitas de latão ou bronze vermelho.

Podem diferenciar-se entre dois processos de brazagem: branda e forte.

A brazagem branda e a forte são usadas de acordo com a tabela seguinte:

**Tabela 5.6 - Diferentes tipos de brazagem**

Tipo	Soldadura	Fluxo	Ligação de materiais	Aplicação
Branda	L-SnCu3	F-SW22	Cu-Cu	Até aos 110°C Carga permanente de temperatura
	L-SnAg5	F-SW25	Cu-Cu	
Forte	L-Ag2P	---	Cu-Cu	
	L-CuP6	F-SH1	Cu- bronze vermelho	

##### Prensagem (juntas por compressão)

As ligações frias permanentes podem ser feitas com a ajuda de fixação por compressão. As vantagens desta técnica de conexão são: a ausência de risco de incêndio, a ausência de materiais de soldadura potencialmente danosos para o ambiente; a poupança de tempo em relação à soldadura.

##### Ligações aparafusadas (cintas de aperto)

As ligações aparafusadas podem soltar-se facilmente, não geram calor durante a instalação e reduzem significativamente o tempo de instalação, tal como as junções de compressão. São usadas principalmente para as ligações dos colectores.

### **Fixação**

Na fixação das tubagens deve ter-se em conta as variações de comprimento devido a mudanças de temperatura. Tal pode ser feito, permitindo a expansão entre os pontos fixos (braçadeira com vedante de borracha), através da instalação de curvas ou compensadores e foles de dilatação. No caso de aberturas no telhado a tubagem não deve estar fixa.

### **Selagem**

De modo a vedar tubos encaixados, o encaixe exterior deve estar envolvido em estopa antes da ligação com parafusos. As faixas de teflon não são apropriadas, dado que, ao contrário da estopa, não possuem propriedades de dilatação, permitindo fugas no circuito solar, devido à elevada fluidez do líquido solar.

#### **5.2.5.2 Trabalho em folhas metálicas**

O sistema de cobertura (folhas de zinco/alumínio) é pré-fabricado pelos fornecedores. No melhor cenário este necessita “apenas” de ser instalado (fixado, ligado). Em condições menos favoráveis, tem que ser adaptado às condições do local, com maior ou menor intervenção.

Os seguintes trabalhos na folha metálica podem ser necessários:

- corte com tesoura de folhas metálicas;
- ligações: dobragem, brazagem (somente folhas de zinco), colagem (fita de butilo), aparafusamento;
- fixação: com adesivo, com ganchos;
- moldagem: extremidades.

### **5.3 Instalação**

#### **5.3.1 Entrega de material**

No passado, o material para sistemas de energia solar era fornecido pelo fabricante e o restante material para instalação tinha que ser obtido dos retalhistas. Os retalhistas de instalações de aquecimento e instalações sanitárias começam a ter agora a tecnologia solar incluída no seu catálogo de produtos. Isto simplifica tanto as negociações de preço, como o planeamento e instalação de materiais.

Quando o material é entregue devem efectuar-se os seguintes procedimentos:

- verificar se há danos causados pelo transporte: É particularmente importante verificar se a cobertura dos colectores está intacta. Para colectores sem um revestimento de metal posterior podem facilmente ocorrer danos nas placas de isolamento térmico. Também existe o risco de as placas de cobertura se amolgarem;
- verificar se a entrega está correcta e completa. Para simplificar e auxiliar nesta tarefa, devem ser considerados:
  - kits completos para o instalador. Nesse caso, apenas os materiais de instalação (tubagens em cobre, isolamento térmico, materiais de fixação, etc) têm que ser fornecidos;
  - conselhos detalhados do fornecedor;
  - acções de formação por parte do fabricante ou outras instituições, como por exemplo o INETI.

#### **5.3.2 Preparação do local, trabalho preparatório**

A decisão final sobre a localização do colector, os percursos das tubagens através da casa e a localização do tanque de armazenamento deve ser acordado com o cliente. O percurso de transporte do colector fica definido, os componentes sensíveis são bem protegidos; p.e., uma instalação de vidro debaixo do percurso para transporte ou debaixo da posição de montagem no telhado é protegida de objectos em queda através de madeiramento, e os percursos devem ser bloqueados, se necessário. Os materiais e as ferramentas necessários para a instalação são transportados para a garagem ou para a cave e armazenados.

### 5.3.3 Instalação do colector

Em princípio os colectores podem ser :

- integrados num telhado inclinado;
- montados num telhado inclinado;
- colocados em suportes num telhado plano ou numa superfície livre;
- montados numa fachada.

Cada uma destas soluções tem vantagens e desvantagens. A selecção da solução a adoptar depende das condições do local, tipo de colector e dos requisitos do cliente. Enquanto que no caso de colectores inclinados e fachadas, a inclinação e o alinhamento são quase sempre pré-definidos, num telhado plano ou instalação livre (a instalação no chão é muito rara) permitem a possibilidade de uma orientação exacta para Sul e um ângulo de inclinação favorável. As limitações neste caso prendem-se com a instalação de colectores que apenas podem variar dentro de uma determinada gama de ângulos (0-25°), sob pena de as faixas individuais de absorsores fazerem sombra umas às outras quando o Sol estiver baixo.

O trabalho no telhado durante a instalação deve ser feito por especialistas, tendo em conta os regulamentos de segurança. As instruções do fabricante devem ser seguidas rigorosamente.

O fabricante de colectores geralmente fornece o equipamento de fixação necessário. Por causa do grande número de diferentes coberturas de telhado e construções de colectores, os passos para a instalação do colector são diferentes de caso para caso.

#### 5.3.3.1 Instalação sobre um telhado inclinado

No caso da instalação sobre o telhado os colectores são montados cerca de 5-10 cm acima do revestimento do telhado. Os pontos de fixação podem ser ganchos no telhado ou suportes de aparafusamento que são aparafusados às vigas, ou em telhas onduladas, ou algo semelhante.

Para além disto, existem telhas especiais que foram desenvolvidas especificamente para montagem, de colectores e módulos fotovoltaicos, sobre o telhado. Estes consistem em peças de plástico de várias formas e cores com o elemento de suporte integrado, em que os carris de montagem podem ser directamente aparafusados. Os colectores são fixos nestes. A estrutura de suporte do telhado deve ser capaz de suportar a carga adicional do peso dos colectores e do sistema de fixação (aproximadamente 25 kg/m<sup>2</sup>). A instalação sobre o telhado é simples e segura. O efeito protector das telhas é mantido. Tanto os colectores planos como os colectores de tubo de vácuo e colectores parabólicos compostos podem ser instalados como sistemas sobre o telhado.



**Figura 5.4 - Telha especial**

**Fonte: Klöber, Oelkinghausen**

**Recomendação prática :**

Recomenda-se que o tipo de cobertura do telhado (forma e cor) seja observado e anotado numa lista de verificação durante a visita inicial ao local. Os ganchos de telhado correctos (e telhas de ventilação) podem então ser encomendados. Estarão assim disponíveis logo no início da instalação não havendo atrasos ou interrupções na construção.

### **Etapas para instalação sobre o telhado**

1. Preparar o caminho para o transporte do colector, desde o solo até ao local da instalação: criar superfícies inclinadas com escadas de mão, retirar telhas individuais para assegurar segurança de movimentos no telhado ou suspender as escadas em ganchos do telhado, seguir o regulamento de prevenção de acidentes.
2. Marcar o campo do colector no telhado
- 3a. Instalar suportes de aparafusamento: descobrir pontos de fixação (nas vigas), isto é, remover a cobertura do telhado nestes pontos; aparafusar suportes de aparafusamento/ganchos de telhado nas vigas, e se necessário fornecer o suporte com peças de madeira, para que as telhas acima das quais os ganchos do telhado estão colocados, não estejam a sofrer sobrecarga; tapar buracos no telhado provocados pela instalação.
- 3.b Alternativamente: remover a cobertura do telhado nos respectivos pontos, instalar telhas especiais e aparafusar firmemente.
4. Aparafusar carris de montagem nos ganchos de telhado ou telhas especiais.
5. Fixar cordas para içar o colector ou as pegas para o segurar, levantar e transportar os colectores para o telhado, colocar nos carris de montagem e fixar com parafusos.
6. Ligar em conjunto com tubos com isolamento térmico (prefabricados). No caso de um sótão extenso montar um respiradouro no ponto mais elevado na área externa.
7. Posicionar as telhas de ventilação, ligar as linhas de alimentação e retorno ao colector e conduzi-los através do revestimento do telhado para dentro da casa. Para isto, furar a cobertura e o isolamento térmico e fechá-los devidamente, p.e., através de colagem ou com um elemento de cobertura.
8. Instalação de sensores dentro dos respectivos orifícios.
9. Ligação do cabo do sensor à tomada com terra.





**Figura 5.5 - Instalação sobre o telhado**

**Fonte: Wagner & Co, Cölbe**

Esta descrição não substitui as instruções de instalação do fabricante.

Vantagens na instalação sobre o telhado:

- instalação rápida e simples, portanto mais barata;
- o revestimento do telhado permanece intacto;
- maior flexibilidade.

Desvantagens na instalação sobre o telhado:



- carga adicional no telhado (aproximadamente 20-25 kg/m<sup>2</sup> da superfície do colector);
- visualmente não é tão atractivo como uma instalação no telhado;
- tubagem parcialmente instalada acima do telhado (influência do tempo, danificação mecânica).

#### **Conselhos práticos:**

- Quando o colector é transportado para o telhado existe um risco de danos nas caleiras dos telhados (amolgamento de goteiras metálicas, fractura das goteiras de plástico). As escadas devem ser instaladas e fixadas de modo a que não haja cargas nas goteiras.
- As telhas velhas e quebradiças podem partir-se quando pisadas.
- No telhado, devem usar-se apenas botijas de soldagem de 0,5 kg, e estas devem ser fixadas ao cinto.
- Os colectores devem ser apropriados para instalação sobre o telhado.
- O isolamento exterior deve ser resistente a UV, às condições climáticas, a elevadas temperaturas e protegido contra danos mecânicos. Utilizar espuma flexível e resistente ou lã mineral com forra mecânica.
- Devem ser evitados pontos de carga em telhas individuais, através de ganchos no telhado.

#### **5.3.3.2 Instalação integrada no telhado**

No caso de uma instalação integrada no telhado as telhas são removidas na posição correspondente e os colectores são montados directamente na trama estrutural dos telhados. A selagem do revestimento na transição faz-se através de uma construção sobreposta. Os colectores são portanto integrados na cobertura do telhado através de sistemas especiais de cobertura com moldura de alumínio ou zinco e chumbo (semelhantes a clarabóias). Em telhados inclinados, a integração é usualmente a solução mais elegante sob o ponto de vista arquitectónico. Em princípio, somente os colectores planos podem ser integrados no telhado.

#### **Etapas para instalação integrada no telhado**

1. Definir um percurso para os colectores desde o chão até ao local da instalação e preparar uma superfície inclinada com o auxílio de escadotes. Empurrar telhas individuais para cima para criar passagens seguras no telhado ou suspender as escadas de mão dos ganchos. Observar as especificações sobre prevenção de acidentes.
2. Marcar no telhado o campo de colectores.
3. Destapar a área de intervenção (algo maior do que a área de superfície dos colectores) e remover a maior parte das telhas.
4. Montar as peças de fixação e fixar os carris nas vigas.
5. Afixar cordas para içar os colectores ou pegas para transporte. Transportar os colectores para o telhado, colocar no madeirame do telhado, encaixá-los nas peças de fixação, alinhar lateralmente e aparafusar no sítio.
6. Se existem diversos colectores, inserir tomadas de ligação com o-ringes ou montar conectores de tubagens com isolamento térmico.
7. Ligar a tubagem de alimentação e retorno para o colector e conduzi-la para dentro da habitação através da cobertura do telhado. Para fazer isto, perfurar a cobertura e o isolamento térmico e selar adequadamente outra vez, usando, por exemplo, adesivo ou novos elementos de cobertura.
8. Montar os sensores nos respectivos orifícios. Em caso de outro tipo de sensores, abrir a linha principal, aparafusar o sensor à alimentação (sob o isolamento térmico, tão perto quanto possível da saída dos tubos) e fechar a linha principal novamente.
9. Cobrir as arestas mais baixas, fixar as protecções laterais (geralmente suspensas de dentro da moldura do colector).
10. Montar as placas laterais do telhado e depois as de topo. As placas laterais devem projectar-se sobre as protecções.

11. Se necessário inserir faixas metálicas ou de selagem entre os colectores.
12. Cobrir as telhas do telhado nas zonas laterais, se necessário usar telhas parciais e se absolutamente necessário, cortar as telhas e depois cobri-las assegurando uma sobreposição suficiente (pelo menos 8 cm).
13. Moldar as protecções laterais ao redor das telhas.



**Figura 5.6 - Exemplo de instalação integrada**

**Fonte: Wagner & Co, Cölbe**

Esta descrição não substitui as instruções de instalação do fabricante.

Vantagens de instalação integrada:

- nenhuma carga adicional é aplicada no telhado;
- visualmente é mais atraente (as molduras de cobertura do telhado podem ser obtidas em diferentes cores junto de alguns fabricantes);
- os tubos são colocados sob a cobertura do telhado;
- diminuição de uso de telhas (novas construções), aumento de stock de telhas (construções existentes).

Desvantagens de instalação integrada:

- materiais e trabalho de montagem mais caros;
- o revestimento do telhado é “quebrado”, provocando possíveis pontos fracos;
- possibilidade de remoção de excesso de telhas (custos);
- menor flexibilidade devida às molduras de cobertura, pelo que deve existir uma maior distância da envolvente das arestas das telhas, janelas e chaminés.

### 5.3.3.3 Montagem num telhado plano

Em princípio, os colectores em telhados planos devem ser instalados com uma determinada inclinação (20-45°). Para este fim, são disponibilizados suportes planos em aço galvanizado ou alumínio com os ângulos de fixação correspondentes. Devido às superfícies que estão expostas ao vento, estes colectores devem ser fixados de modo que tenham resistência a cargas mecânicas.

Existem três opções:

- contrapesos (volumes de cimento, caleiras de gravilha, peças trapezoidais com enchimento de gravilha): aproximadamente 100 a 250 kg/m<sup>2</sup> de superfície de coletor para colectores planos e cerca de 70 a 180 kg/m<sup>2</sup> para colectores de tubagens de aquecimento (máximo de 8 m de altura de montagem acima do nível térreo, de acordo com a altura do edifício), para além deste valor são necessárias cargas mais pesadas;
- fixação com cordas: a condição prévia para esta situação é a instalação de pontos de fixação;
- ancoragem ao telhado plano: aqui um número adequado de suportes são aparafusados ao telhado e vedados; os fixadores são ajustados a estes suportes onde se apoia o telhado plano, que suporta os colectores.

De seguida apresentam-se, em detalhe, as etapas necessárias para a montagem em telhados planos (por exemplo, para colectores planos em peças trapezoidais com enchimento de gravilha)

### Etapas para instalação em telhados planos

1. Definição de percursos de transporte para os colectores desde o solo para o local de instalação, criar superfícies inclinadas com escadas de mão. Observar as especificações sobre prevenção de acidentes.
2. Marcar no telhado o campo de colectores.
3. Dispor os tapetes de protecção do edifício e as peças trapezoidais.
4. Dispor os suportes de telhado plano e ligar às peças trapezoidais.
5. Afixar cordas para içar os colectores ou pegas para transporte manual dos colectores para o telhado.
6. Instalar os colectores nos suportes de telhado plano.
7. Fazer as ligações das tubagens entre os colectores e montar a ventilação no ponto mais alto.
8. Ligar as tubagens de alimentação e de retorno.
9. Montar o sensor do coletor.
10. Instalar o contrapeso de gravilha na peça trapezoidal (10-15 cm) de modo a aumentar o peso.



**Figura 5.7 - Instalação em telhado plano**

**Fonte: Wagner & Co, Cölbe**

Esta descrição não substitui as instruções de instalação do fabricante.

#### **Instalação de tubagem numa conduta de chaminé não utilizada**

Vantagens:

- não existem problemas de selagem no telhado;
- não há necessidade de interrupções de continuidade no telhado;
- a instalação de tubos é possível mesmo até à cave, muitas vezes directamente para a sala de aquecimento.

Condições prévias:

- a conduta da chaminé está livre;



- a chaminé não pode estar bloqueada;
- é necessário fornecer informação ao responsável pela limpeza da chaminé.

### Instalação de tubagem através de uma abertura no telhado

Conselho prático:

- é necessário ter cuidados especiais quando se trabalha em telhados planos dado que o revestimento do telhado pode ser facilmente danificado e isso pode provocar fugas e estragos. Por exemplo, objectos afiados podem facilmente penetrar (pregos de fixação de feltros, arestas das chapas de zinco, etc). No Verão o betume torna-se mole e podem surgir entalhes profundos devido às curvas e esquinas do colector;
- se a estrutura de suporte for feita no local é necessário assegurar um ajuste adequado e uma boa protecção contra a corrosão. Os materiais galvanizados não devem ser processados mais tarde, isto é, perfurados ou cortados à medida, dado que a placa de zinco que teria de ser aplicada mais tarde às zonas não galvanizadas não é tão durável como a galvanização a quente;
- uma vantagem da instalação em telhados planos é que os colectores podem ser geralmente colocados com uma orientação e inclinação óptimas;
- em áreas com muita neve deve-se deixar um espaço livre entre a superfície do telhado e a base do colector, de acordo com o nível de neve no Inverno.

### Instalação em telhados quentes (isolamento térmico acima das tábuas)

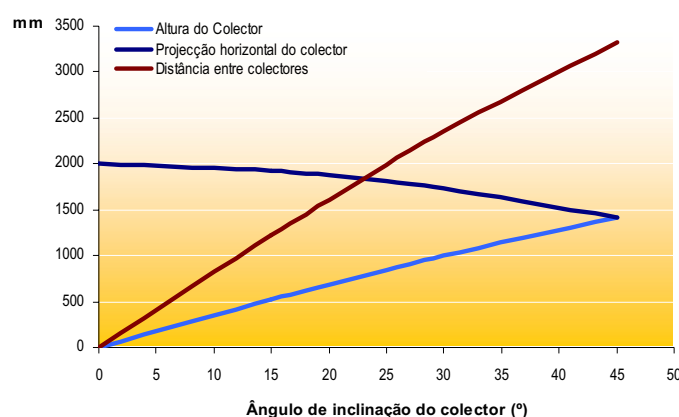
No caso de telhados quentes a instalação para colectores planos de equipamentos com contrapesos pesados não é possível. Por esta razão um sistema de telhado ancorado é necessário:

- edifícios existentes: retirar a protecção do telhado na zona de instalação dos colectores, substituindo o isolamento térmico e fechando a protecção com a instalação da tubagem por colagem;
- edifícios novos: colocar a tubagem e de seguida instalar o isolamento térmico e a protecção do telhado.

Em ambos os casos uma ligação fria é criada com o risco de formação de condensação. Contudo é melhor utilizar tubagem com corte térmico.

### Sombreamento dos colectores

Nos colectores instalados em diversas filas, umas atrás das outras, a distância entre as filas deve ser suficientemente grande para que não ocorra sombreamento entre filas.



**Figura 5.8 – Distância entre colectores dependendo do ângulo de inclinação**

O gráfico acima mostra que para um colector com 2 metros de largura a distância entre os colectores tem de aumentar rapidamente com o ângulo de inclinação dos colectores, numa instalação em superfície plana, por forma a que as fileiras de colectores não sejam afectadas pela sombra.

## Estrutura de suporte para sistemas de energia solar

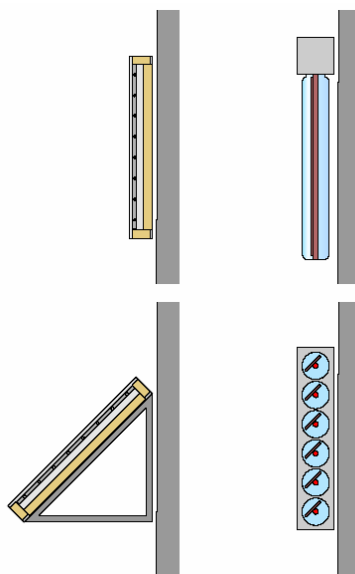
Para colectores que estão instalados em telhados planos, a estrutura de suporte e as respectivas ligações, que obrigam, na maior parte dos casos, a uma abertura no revestimento do telhado, envolvem custos elevados.

Para sistemas grandes em hospitais, piscinas de natção ou grandes edifícios comerciais, superfícies de telhados inclinados são frequentemente existentes. No entanto a instalação dos colectores contudo apresenta dificuldades, dado que estes edifícios tem subestruturas complicadas e são necessários cálculos estruturais para a instalação dos colectores. Nos anos mais recentes, um grande número de estruturas de suporte têm sido disponibilizadas como soluções individuais, onde os custos representam parte considerável dos custos totais e em alguns casos excede mesmo o preço dos colectores.

Soluções de optimização de custos para sistema de colectores em telhados planos têm sido examinadas. Para este propósito têm-se em consideração as cargas mecânicas dos ventos, os diferentes tipos de sombra, detalhes de amarração, métodos de selagem apropriados e estruturas simples para diferentes situações de colocação.

### 5.3.3.4 Instalação na fachada

Em princípio colectores planos, colectores de tubo de vácuo e colectores parabólicos compostos podem também ser instalados em fachadas. Instalações em fachadas desempenham funções menores, nomeadamente com o objectivo de obter uma fracção solar elevada no Inverno e em particular como elementos de design arquitectural (p.e. absorvedores coloridos da empresa Doma). Estes poderão tornar populares as instalações deste tipo.



**Figura 5.9 - Instalação na fachada**

Esquerda: Colectores planos verticais/inclinados

Direita: Colectores de tubo de vácuo, absorvedores verticais ou absorvedores horizontais com 45°

Colectores planos na vertical instalados por cima da construção existente podem ser instalados tanto como colectores padrão ou como soluções à medida.

Os colectores planos devem ser montados da mesma maneira para outros tipos de instalação. São frequentemente aparafusados à parede da mesma forma que são colocados em telhados planos.

Os colectores de tubos de vácuo são instalados na parede através dos colectores e estrutura de suporte quer com absorvedores transversais ou verticais.

Na instalação em fachadas os seguintes aspectos devem ser tidos em conta:

- resistência de suporte da parede;

- sombra;
- instalação de tubagem;
- canais nas paredes;
- aparência.



**Figura 5.10 - Instalação em fachada de uma grande superfície de colectores em Bielefeld**

**Fonte: Wagner & Co, Cölbe**



**Figura 5.11 - Instalação em fachada de uma grande superfície de colectores coloridos**

**Fonte: AKS Doma, Satteins, AU**



**Figura 5.12 - Instalação em fachada de colectores de tubos de vácuo**

**Fonte: Viessmann, Allendorf**

Comparando um colector que está instalado na fachada com um que esteja instalado no telhado, o primeiro recebe uma irradiação solar global menor. Por outro lado, tem um perfil de produção mais uniforme por ano e está sujeito a baixas cargas térmicas, i.e. existem menos períodos de estagnação. Efeitos positivos adicionais podem ser encontrados no aproveitamento arquitectónico das fachadas.

### 5.3.3.5 Montagem do campo de colectores

Como os colectores estão ligados formando uma superfície contínua, a questão do princípio de ligação deve ser levantada. O objectivo é encontrar uma taxa de fluxo uniforme por todo o campo. Uma taxa de fluxo não uniforme causa diferentes temperaturas no campo dos colectores, com efeitos negativos no controlo do comportamento e produção dos colectores. O tipo de ligações pode diferenciar-se entre ligações em série e em paralelo. Ambos os princípios podem ser combinados.

#### Ligações em paralelo

Neste caso todos os colectores estão instalados entre dois tubos principais –um distribui e o outro recolhe. Para estabelecer uma taxa de fluxo uniforme os tubos principais devem ter uma baixa resistência ao fluxo (i.e. um tubo de grande secção) em relação ao colector. Todos as ligações de escoamento devem ter o mesmo comprimento (ligação Tichelmann).

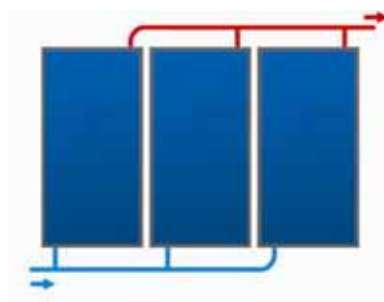


Figura 5.13 - Ligação em paralelo

#### Ligação em série ou em linha

Como o nome indica, com este tipo, os colectores são ligados sucessivamente. A taxa de fluxo, que é necessária, no sentido de retirar o calor aumenta em proporção com o número de colectores, contudo a resistência aumenta. Por causa da necessidade de aumentos significativos da potência da bomba, o número de linhas com esta ligação é limitado. Este arranjo de circuitos assegura um fluxo uniforme através dos colectores.

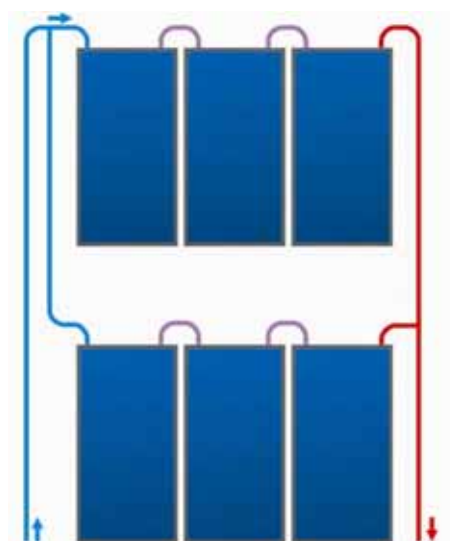


Figura 5.14 - Ligação em série

#### Combinação de ligações em série e em paralelo

Tais combinações tornam possível combinar as vantagens de ambas as ligações. Através de sucessivas ligações entre colectores, a resistência do fluxo em linhas individuais é significativamente aumentada acima da linha de tubagem principal. O objectivo da combinação de ligações é manter um fluxo uniforme através do campo de colectores com uma baixa resistência de fluxo (bomba de baixa potência).





**Figura 5.15 - Combinação de ligações em série e paralelo**

#### 5.3.4 Instalação de circuitos solares

A utilização de materiais e ligações técnicas para sistemas de aquecimento clássico e dos respectivos acessórios utilizados pode servir também para a instalação do circuito solar, se não existirem requisitos especiais na instalação, tais como:

- a temperatura exceder os 100°C;
- o fluido de transferência térmica ser uma mistura de água/glicol com uma razão de 60:40.

Se se verificarem as condições descritas, podem existir problemas com os materiais:

- com elevadas temperaturas os tubos de plástico não podem ser usados por causa da baixa resistência à temperatura;
- com o glicol em contacto com zinco que conduz à formação de calcário em águas não tratadas.

Para além disso existem outras condicionantes:

- o uso de tubos de aço em princípio é possível, contudo a sua montagem é dispendiosa (soldagem, curvas, corte, aplicação de estopa). São usados para grandes sistemas de energia solar;
- o aço estriado em tubos é raramente usado. É principalmente usado para instalações pré fabricadas dado que neste caso é possível dispensar a solda. Em qualquer caso é mais caro que os tubos de cobre.

Desta forma os tubos de cobre tornaram-se populares para sistemas pequenos. A brazagem dura e suave são tipos comuns de ligação. Várias soldas e fluxos estão disponíveis.

A brazagem suave é permitida para uma temperatura de carga permanente até 110°C. Dadas as elevadas temperaturas presentes no circuito solar a brazagem dura é frequentemente necessária. Na prática contudo, a brazagem suave é usada para sistemas de energia solar para uma ou duas famílias com sucesso. Não sendo surpreendente, dado que temperaturas de mais do que 110°C fora dos colectores, raramente ocorrem (excepção: tubos próximo dos colectores). Por outro lado sistemas de energia solar com colectores de tubos de vácuo, devem utilizar brazagem dura.

Outros tipos de ligações existentes são:

- ligações por pressão, usando um grampo que pressiona o acessório para prensagem (feita de cobre com elementos de selagem de EPDM). Estas ligações não podem ser desconectadas e estão ligadas aos tubos de cobre. Esta técnica é também usado para tubos de aço inoxidável;
- um anel de ligação, através de ligações aparafusadas que permitem o seccionamento da tubagem, é confiável e resistente à temperatura e ao glicol.

Considerações para a instalação da tubagem:

- seleccionar o caminho mais curto possível;
- programar o menor comprimento possível do tubo em áreas exteriores (elevadas perdas de calor, isolamento térmico mais caro);
- deixar espaço suficiente para reparar se necessário o isolamento térmico;
- providenciar opções de ventilação (em número suficiente com boa acessibilidade);
- ter a certeza que o sistema pode ser completamente esvaziado;
- no caso de longos tubos rectos (aproximadamente 15 m) instalar uma curva de expansão;
- providenciar um isolamento eficiente.

### Isolamento térmico da tubagem

O calor obtido nos colectores tem que ser enviado para o tanque de armazenamento, com as menores perdas possíveis, pelo que o isolamento térmico dos tubos é muito importante.

Os factores essenciais são:

- espessura de isolamento suficiente;
- nenhuma falha no isolamento (incluindo acessórios de isolamento, ligações de tanques etc.);
- selecção correcta de materiais (resistência à temperatura, resistência ao tempo e aos UV, baixa capacidade térmica).

**Tabela 5.7 Materiais de isolamento térmico com alta resistência à temperatura**

Material	Temperatura máxima	Valor $\lambda$ (W/mK)	Considerações
Aeroflex	150°C	0,040	Não é resistente a UV
Armaflex de alta temperatura	170°C	0,045	Não é resistente a UV
Lã mineral	>250°C	0,035	Sensível a misturas

Quando a tubagem é instalada em canais fechados, p.e. numa chaminé, o isolamento térmico deve ser instalado antes dos tubos estarem inseridos.

Na superfície externa, as tubagens devem estar protegidas, por uma forra mecânica (chapa de metal galvanizado, zinco, alumínio) da humidade, radiação de UV e cargas mecânicas.

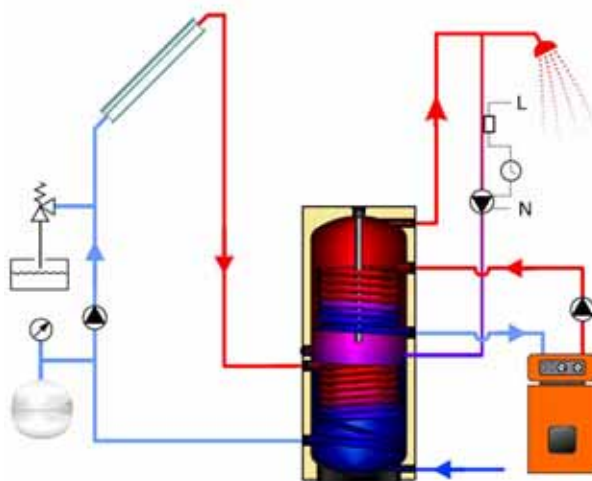
Opções de instalação da tubagem:

- instalação nas chaminés;
- instalação através do piso, com necessidade de fazer aberturas no telhado com cuidados especiais no caso de aquecimento por piso radiante;
- instalação através do revestimento do telhado, debaixo de fachadas (p.e. numa calha), através da parede exterior até à cave.

Para sistemas de baixo fluxo são utilizados frequentemente tubos gémeos. Estes são tubos duplos de cobre suave, isolados termicamente.

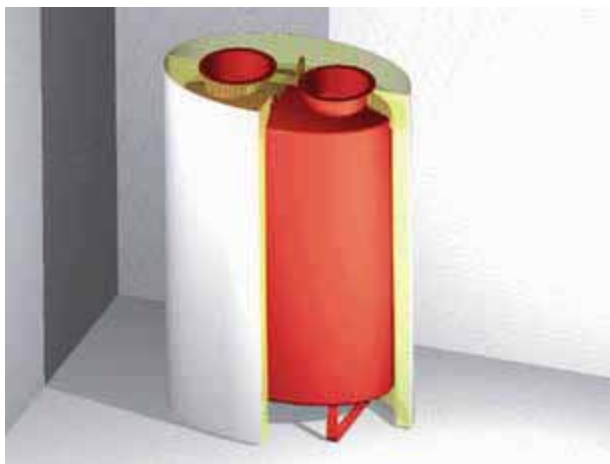
#### 5.3.5 Instalação de tanques de armazenamento

Os tanques de armazenamento de água quente são muitas vezes instalados na cave dos edifícios ao lado da caldeira. Em alguns casos (p.e. com sistemas de aquecimento central), também são instalados no sótão. Em alguns casos o telhado tem que ser reforçado ou é necessário distribuir a carga dada o peso do tanque. Nestas condições a tubagem é curta, o que significa que os custos são baixos e as perdas térmicas são minimizadas.



**Figura 5.16 - Sistema bivalente com armazenamento de água sanitária**

O diâmetro do tanque pode ser restringido pelo tamanho da porta mais estreita no sentido da localização da instalação. O isolamento térmico removível é uma vantagem dado que o tanque fica mais estreito e pode ser transportado mais facilmente. Deve ter-se em atenção que os tanques esmaltados são sensíveis ao impacto. A altura do tanque é determinada através da altura na localização da instalação, por causa das dimensões das linhas de aquecimento e de esgotos. Deve-se ter em consideração também as dimensões do tanque quando este está inclinado.



**Figura 5.17 - Tanque de armazenamento para passagens estreitas, Hybrid XXL Power oval**

**Fonte: Sailer Solarsysteme, Blaubeuren**

#### 5.3.5.1 Ligações ao circuito solar

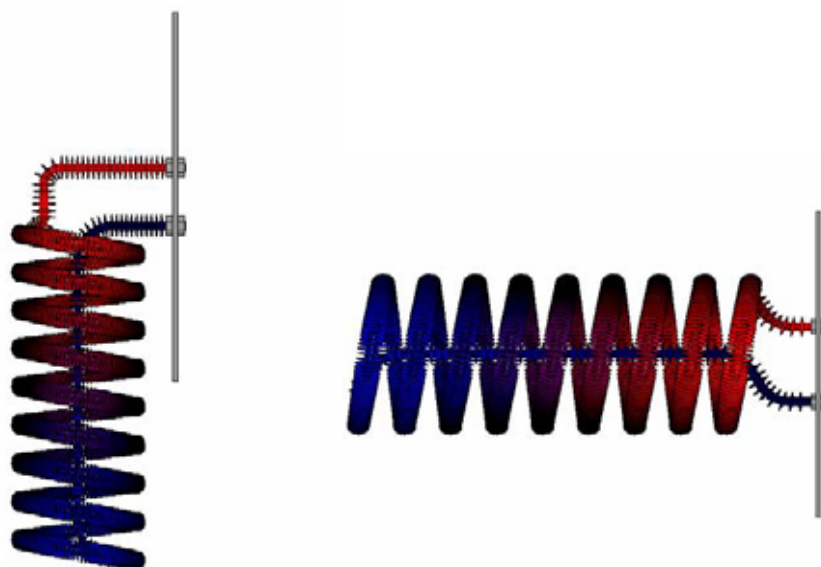
O circuito solar está ligado ao permutador de calor na área inferior do tanque de armazenamento. Nesta posição que corresponde à área mais fria do tanque aumenta a eficiência do sistema solar.

O tipo de permutador mais frequente é o de calor de tubo liso permanentemente instalado (soldado). A alimentação é ligada à tomada superior do permutador e o tubo de retorno na inferior, i.e. o fluido de transferência térmica passa através do tanque em paralelo com as camadas de temperatura, na direcção oposta ao fluxo de convecção no tanque.

Existem também permutadores de calor com alhetas de cobre que são instalados pelo fabricante ou instalados no local. No caso de tanques de aço são adaptados com ligações de parafusos isolados e com protecção contra a corrosão, i.e. não existe contacto metálico entre (aço) tanque e (cobre) permutador de calor.

Conselho prático:

Assegurar a sequência correcta para selar e fixar elementos e assegurar a perpendicularidade das tomadas de alimentação e retorno do permutador de calor com a flange. Um aperto das uniões demasiado forte pode levar à destruição dos O-rings.



**Figura 5.18 – Várias configurações de permutadores de alhetas**

Esquerda: Permutador de calor com alhetas vertical

Direita: Permutador de calor com alhetas horizontal.

#### 5.3.5.2 Ligações para sistema de aquecimento adicional

O sistema de aquecimento adicional está sempre ligado ao permutador de calor superior, na chamada área de espera. Somente quando esta área não apresenta uma temperatura suficiente é que o aquecimento adicional arranca.

#### Tipos de permutadores de calor

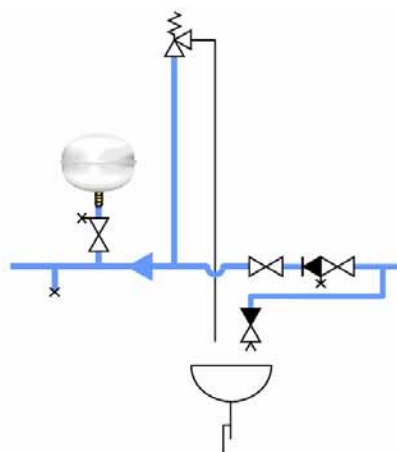
Permutador de calor liso, soldado que deve ter o tubo de alimentação na tomada superior e o de retorno na inferior. O fluxo é do topo para a base de acordo com as camadas do tanque de armazenamento. Por vezes são incorrectamente instalados ao contrário o que leva à uniformização da temperatura na área de espera.

Permutador de calor de alhetas instalado no local e que deve ser inserido através da flange menor. Têm uma instalação como se fosse um permutador de calor para o sistema solar.

#### 5.3.5.3 Ligação da alimentação de água fria da rede pública

A ligação da alimentação de água fria é instalada na parte inferior do tanque de armazenamento. O módulo de segurança da água fria, é constituída por uma válvula de seccionamento, uma válvula anti-retorno e uma válvula de segurança. Se necessário um redutor de pressão adicional deve ser instalado (se for necessário reduzir a pressão na conduta principal). A válvula de segurança deve ser instalada por forma a não ser desligada (ver Figura 5.19).

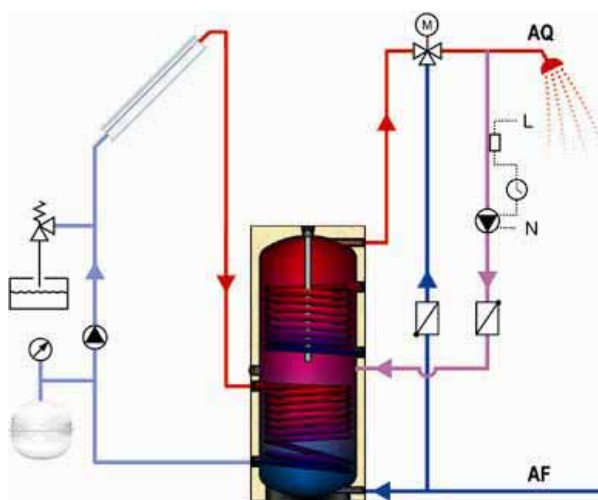
Para reduzir perdas de água, através da válvula de segurança, durante o processo de carga é também possível instalar uma membrana de expansão que é adequada para águas domésticas.



**Figura 5.19 - Ligação de alimentação de água fria e componentes**

#### 5.3.5.4 Ligações da água quente e instalação de linhas de circulação

A ligação de água quente está no topo do tanque de armazenamento e é instalada lateralmente ou para baixo. Um misturador de água quente deve ser instalado para proteger de queimaduras.



**Figura 5.20 - Ligação de alimentação de água quente, respectivos componentes e linha de circulação**

A circulação de água quente prejudica sempre o efeito de estratificação térmica no tanque. Assim, deve ser conduzida para a parte inferior do tanque mas não deve estar ligada à linha de alimentação de água fria. No caso de isso acontecer o tanque irá sofrer uma mistura completa da água (Excepção: circuito anti-legionella). Posteriormente ao tanque, a bomba de circulação (bomba de água sanitária) e o freio de gravidade (no lado de pressão da bomba) deve ser instalado na linha de circulação (ver Figura 5.20).

Para reduzir as perdas de calor na circulação existe um número de opções, para além da instalação de um bom isolamento térmico:

- instalação de um relógio;
- instalação de um termostato;
- instalação de uma linha de by-pass com válvula de três vias entre a circulação e a linha de água quente controlada pela temperatura;
- instalação de um sensor;
- instalação de um botão de pressão / medidor de fluxo.

### 5.3.5.5 Isolamento do tanque de armazenamento

A qualidade do isolamento térmico influencia em larga escala a performance de todo o sistema. Alguns fabricantes fornecem excelentes materiais isolantes. Para além de protecções de espuma de poliuretano rígido, que não podem ser bem ajustadas, existem outros materiais utilizados.

Para garantir uma boa instalação é importante assegurar, para além do uso de materiais isoladores de elevada qualidade:

- o uso de isolamento térmico na base do tanque;
- um bom ajustamento da cobertura isolante;
- o reforço do isolamento na parte superior do tanque com uma camada de espessura mínima de 15 cm;
- a inexistência de falhas de isolamento nas ligações das tubagens, flanges e outros acessórios.

As ligações laterais no tanque são ambas adaptadas com um limitador de convecção ou um arranjo em sifão para reduzir as perdas de calor através do arrefecimento nos tubos e circulação auto-induzida.



**Figura 5.21 - Limitador de convecção**

**Fonte: Wagner & Co, Cölbe**

### 5.3.6 Instalação de ligações

#### 5.3.6.1 Equipamentos do circuito solar

##### Válvulas de enchimento e esvaziamento

As válvulas devem ser instaladas para enchimento e esvaziamento para limpeza do sistema, incluindo o ponto mais baixo dos tubos de alimentação e retorno. Cada um deve ser equipado com uma ligação a uma mangueira.

##### Bombas de circulação

A bomba de circulação é instalada na linha de retorno de modo a que as cargas térmicas residuais sejam o mais pequenas possível. Deve ser ajustada, entre duas válvulas de seccionamento (válvulas esféricas) para poder ser facilmente removida. A bomba deve ser colocada de forma a poder transportar o fluido térmico verticalmente de baixo para cima, por forma a empurrar o ar na linha para cima e consequentemente escapando através de uma saída. A bomba deve ser instalada sem qualquer tensão mecânica.

##### Válvula anti-retorno

Para prevenir circulação convectiva de líquido que tem lugar num circuito solar, quando a bomba de circulação for desligada, o que pode retirar calor do tanque de armazenamento e transferir para o meio circundante através do campo de colectores, o circuito solar é ajustado com uma válvula de anti-retorno de fluxo. Se possível deve ser montado directamente na direcção do fluxo, depois da circulação da bomba. Dado que para tubos com grandes secções pode acontecer uma circulação no próprio tubo, muitos fabricantes recomendam a instalação de uma segunda válvula anti-retorno na linha de alimentação. A tubagem que contém a válvula anti-retorno deve ser capaz de ser aberta para esvaziar e encher o circuito solar.

##### Vaso de expansão

O recipiente de expansão é ajustado para absorver o aumento de volume no fluido de transferência térmica quando este é aquecido e reencaminhá-lo novamente para o sistema quando arrefecer. Deve ter as

dimensões suficientes para receber o volume máximo de fluido. O vaso de expansão deve ser instalado num ramal do circuito solar sem isolamento térmico, por forma a reduzir a carga térmica na membrana. A parte inferior do vaso, que contém uma válvula deve estar acessível para controlo e definição da pressão de admissão. Os vasos de expansão com volumes superiores a 12 litros são fixados com os seus próprios acessórios. Antes da instalação no sistema deve ser definida a pressão de admissão ( $p_{adm}$ ).

$$p_{adm} = h_{sis} \times 0,1 \text{ bar/m} + 0,5 \text{ bar}$$

Exemplo:

A altura do sistema é  $h_{sis} = 7 \text{ m}$  (distância entre o vaso de expansão e o topo do colector) portanto  $p_{adm} = 7 \text{ m} \times 0,1 \text{ bar/m} + 0,5 \text{ bar} = 1,2 \text{ bar}$ .

Uma pressão de admissão de 3 bar é usualmente pré definida pelo fabricante por forma a que o vaso de expansão possa ser testado com um gás padrão.

### Válvula de segurança

No sentido de prevenir um aumento de pressão no circuito solar é instalada uma válvula de segurança. Quando a pressão de resposta é atingida a válvula abre e liberta o fluido térmico. A pressão de resposta não pode exceder a pressão máxima de operação permitida para colectores e vaso de expansão. A válvula de segurança tem de ser montada de tal modo que não possa ser desligada, i.e. o circuito solar entre a válvula de segurança e o colector deve estar disponível para se aceder aos elementos instalados. A válvula de segurança deve ser instalada numa posição vertical, um tubo deve ser dirigido para baixo para um recipiente, no qual as fugas do fluido térmico podem ser controladas.

### Ventiladores

Frequentemente, depois de encher o sistema, este contém ar em vários pontos do circuito solar. Para além disso, o ar dissolvido na água é libertado na sua forma gasosa durante o aquecimento. O ar tem tendência a ficar em pontos altos do circuito e se não forem efectuadas medidas de controlo o circuito pode sofrer problemas. Assim, devem ser usados ventiladores para permitir que o ar saia do circuito solar. Se forem utilizados ventiladores automáticos deve ter-se em conta a temperatura máxima de operação, por forma a compatibilizar com a temperatura do circuito solar. Ventiladores que suportam temperaturas até 150°C podem ser instalados. Quanto à sua instalação no circuito solar, se forem instalados junto dos colectores devem instalar-se também válvulas de seccionamento, devido à formação de vapor do fluido térmico. Os ventiladores são geralmente instalados em pontos altos do circuito solar e deve ser assegurada uma boa acessibilidade. Se se formarem bolhas de ar em locais específicos devem ser instalados ventiladores adicionais.

### Desaeradores

Os desaeradores são instalados dentro do circuito solar, com a função de aumentar a secção do fluxo e consequentemente reduzir a velocidade, permitindo que as bolhas de ar subam. Estas podem então escapar através de uma saída instalada. Estão disponíveis para montagem na vertical e horizontal.

### Instrumentos de monitorização (termómetro, medidor de pressão, medidor de caudal)

Para monitorizar a operação do sistema solar, a temperatura de alimentação solar e a pressão de operação (com identificação da pressão máxima permitida) têm de ser especificadas. O medidor de pressão deve ser instalado, para poder ser lido quando o sistema estiver preenchido com o fluido térmico. Para além disto, os instrumentos de monitorização são recomendados para apresentar a temperatura de retorno solar e a taxa de fluxo volumétrico no circuito solar.

### Ligações de seccionamento

Para fechar secções do circuito solar devem ser instaladas válvulas de seccionamento, estas podem ser de vários tipos (borboleta, esféricas, etc...). De referir que as válvulas borboleta possuem uma baixa resistência ao fluxo.

## **Filtros**

O uso de filtros pode ser dispensado para pequenos sistemas (soldagem suave) e para sistemas com um bom sistema de limpeza. Para os casos em que seja necessário instalar filtros é recomendada a utilização de brazagem dura, dado que no decorrer do tempo a utilização contínua pode danificar o funcionamento de componentes particulares (bombas, válvulas de segurança, freios de gravidade, válvulas de mistura). Os filtros devem estar acessíveis para trabalhos de manutenção.

### **5.3.6.2 Ligações para tubagem de água sanitária**

#### **Torneira de drenagem**

Para esvaziar o tanque durante os trabalhos de manutenção e reparação uma torneira de drenagem deve ser instalada no ponto mais baixo da linha de alimentação de água fria.

#### **Válvula de seccionamento**

Adicionalmente deve ser instalada uma válvula de seccionamento na linha de água sanitária. Uma válvula adicional é recomendada na linha de água quente, depois do tanque, por forma a não ser necessário o esvaziamento da rede da habitação.

#### **Válvula de redução de pressão**

Se a pressão da conduta principal estiver acima de 5 bar deve ser instalada uma válvula de redução de pressão na linha de água fria e regulada para uma pressão significativamente abaixo da pressão de resposta da válvula de segurança.

#### **Válvula termóstática de mistura**

Por causa das elevadas temperaturas dos tanques de armazenamento ( $>60^{\circ}\text{C}$ ) que aumenta durante condições de tempo favoráveis, é necessário limitar a temperatura máxima para proteger os utilizadores de queimaduras. Por causa disso, uma válvula termóstática de mistura é instalada entre os tubos de água fria e quente. A temperatura definida para esta válvula deve corresponder à temperatura do aquecimento adicional, que é cerca de  $45^{\circ}\text{C}$ . Se o tanque de armazenamento de água está quente, adiciona-se água fria. Também é recomendada a instalação de um termostato depois da válvula de mistura.

## **Filtros**

A função das válvulas de mistura termóstática e redução de pressão podem ser danificadas por pequenas partículas. É recomendada a instalação de um filtro a montante dos tubos de água fria na direcção do fluxo.

#### **Prevenção de fluxo de retorno**

Dado que as águas domésticas podem escoar do tanque de armazenamento para a linha de alimentação pública por causa da expansão térmica, é especificada a instalação de uma válvula anti-retorno na linha de água fria.

#### **Válvula de segurança**

A pressão de operação no tanque não deve exceder a pressão máxima permitida (usualmente 6 bar). Assim, é necessário instalar uma válvula de segurança na linha de água fria. Durante o carregamento do tanque de armazenamento e em consequência do aumento de temperatura do tanque, existe uma perda regular de água. A válvula deve ser adaptada com um sistema para descarregar esta água no sistema de esgotos. A posição de instalação especificada é vertical.

#### **Válvula de expansão**

As perdas de água descritas acima podem ser significativamente reduzidas através da instalação de válvulas de expansão que são adequadas para água sanitária.



### 5.3.7 Instalação de sensores e controladores

Todos os trabalhos de equipamento eléctrico devem ser efectuados de acordo com as regulamentações apropriadas através de especialistas qualificados para tais trabalhos.

#### **Instalação e ligação de sensores**

A correcta instalação de sensores é um pré-requisito importante para o normal funcionamento de um sistema de energia solar térmico. Por um lado, a correcta localização é importante, por outro lado, um bom contacto térmico é igualmente importante (ligação fixa, boa condução térmica).

O sensor do colector pode ser fixado directamente no absorsor (muitas vezes é pré-montado na fábrica), ou é instalado num orifício no ponto mais quente da alimentação do colector. Quando se colocam os cabos deve assegurar-se que estes não estão em contacto com os tubos quentes

O sensor do tanque deve ser ajustado para a altura do permutador de calor do circuito solar. O sensor pode ser instalado na parede exterior do tanque com o auxílio de um grampo e coberto pelo isolamento térmico do tanque ou ajustado num cilindro imerso de latão ou aço inoxidável.

Se o comprimento dos cabos do sensor de temperatura forem insuficientes devem ser aumentados com um cabo com secção de 0,75 mm<sup>2</sup>. A secção depende do comprimento e pode ser encontrada na documentação dos fabricantes.

Os cabos do sensor não devem ser colocados junto de cabos de 220V/380V devido à influência do campo electromagnético nos valores medidos. Adicionalmente, um tomada de ligação ao sensor deve ser instalada com protecção de excesso de voltagem (protecção contra picos de tensão).

#### **Instalação da unidade de controlo**

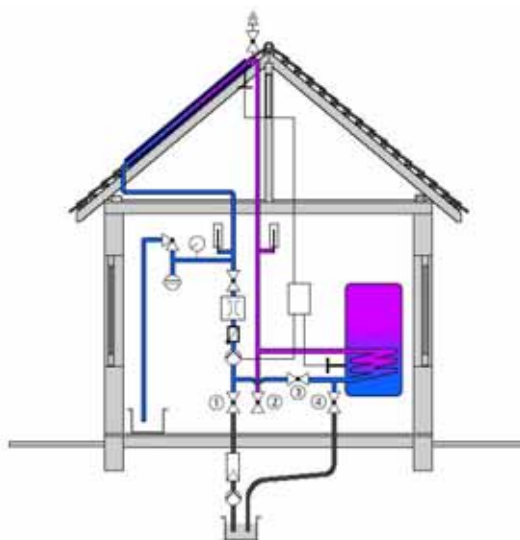
A protecção do controlador deve ser instalada primeiro, numa parede próxima da estação solar. De acordo com o diagrama do circuito os sensores de temperatura (colectores e tanques) assim como a bomba do circuito solar devem ser ligados aos respectivos terminais da unidade de controlo solar. De seguida efectuam-se as ligações principais e o controlador pode ser iniciado.

Antes de abrir a unidade de controlo é importante assegurar que esta está isolada da unidade de tensão principal.

### 5.4 *Arranque, manutenção e reparação*

Os passos necessários para o arranque do sistema solar térmico são os seguintes:

- limpeza do circuito solar;
- verificação de estanquicidade;
- enchimento com fluído de transferência térmica;
- preparação das bombas e controlador.



**Figura 5.22 - Circuito solar com ligações para esvaziamento e enchimento**

**Fonte: H. Ladener, F. Späte, Solaranlagen**

#### 5.4.1 Limpeza do circuito solar

Através do processo de limpeza removem-se impurezas e o fluxo residual do circuito solar. O enchimento não deve ser efectuado durante o dia com a luz do Sol ou em condições de geada. Este enchimento é efectuado através das torneiras 1 e 2 (ver Figura 5.22). A torneira nº1 está ligada à linha de água fria através de uma mangueira, a torneira nº2 serve para drenar. Todos os equipamentos do circuito solar devem ser colocados em aberto (freio de gravidade, válvulas de seccionamento). Finalmente no sentido de limpar o permutador de calor a torneira 2 é fechada, e é colocada uma mangueira na torneira 4 que é aberta enquanto a torneira 3 é fechada. O processo de limpeza deve durar cerca de 10 minutos.



**Figura 5.23 – Caixa de manutenção com bomba de enchimento**

**Fonte: Resol, Hattingen**

#### 5.4.2 Preparação para teste de estanquicidade

O teste de pressão tem lugar depois do processo de limpeza. Para este propósito a torneira 4 é fechada e o sistema é preenchido com água através da torneira 1 (ver Figura 5.22). O sistema de pressão é elevado até a um valor próximo da pressão de resposta da válvula de segurança – máximo 6 bar. De seguida a torneira 1 é fechada, a bomba é manualmente iniciada e o circuito solar é ventilado através da ventilação da bomba ou dos ventiladores do sistema. Se a pressão baixar significativamente como resultado da purga de líquido, deve ser colocada mais água. O sistema está então preparado para a verificação da estanquicidade (visualmente e manualmente). Um teste de estanquicidade usando o medidor de pressão não é possível, porque a irradiação causa variações de pressão no circuito, ao longo do dia. O circuito solar pode ser

completamente esvaziado, através da abertura das torneiras 1 e 2. Através da medição da quantidade de água que sair, é possível estabelecer a quantidade de anti-congelante necessário para mistura com a água, por exemplo 60:40. Dado que alguma quantidade de água permanece no circuito solar (p.e. nos colectores ou no permutador de calor) a medição da quantidade de água deve ter em conta este erro associado. No final do teste de estanquicidade pode-se testar o funcionamento da válvula de segurança através dum aumento da pressão.

#### 5.4.3 Enchimento do circuito solar

Depois de misturar o anti-congelante com água, obtém-se o nível de protecção contra o congelamento desejado, o fluido térmico é bombado para dentro do circuito solar através da torneira 1 (ver Figura 5.22). Dado que este fluido – em contraste com a água – é muito mais prejudicial, é necessário verificar outra vez a estanquicidade do sistema. No que respeita à libertação do ar no circuito solar o procedimento é o seguinte:

- quando se introduz o fluido térmico no sistema uma grande parte do ar é removido. Para que esta remoção seja efectiva a extremidade da mangueira deve estar completamente submergida nesse fluido. Quando mais nenhuma bolha de ar sair, a torneira 4 pode ser fechada;
- redução da pressão até à respectiva pressão do sistema (= pressão estática + 0,5 bar) mais uma margem, para perdas de pressão devidas a futuras purgas;
- ligar a bomba de circulação. Ligar e desligar a bomba várias vezes com intervalos de 10 minutos;
- para purgar o ar da bomba de circulação deve ser desaparafusado o parafuso de latão na superfície desta.

Se a pressão cair abaixo da pressão do sistema, como resultado da purga de ar, deve ser adicionado fluido térmico. Depois de vários dias em funcionamento podem fechar-se as válvulas dos ventiladores.



**Figura 5.24 - Unidade de enchimento**

**Fonte: Resol, Hattingen**

#### 5.4.4 Preparação das bombas e controlador

O fluxo volumétrico em sistemas pequenos é muitas vezes cerca de 40 litros por metro quadrado por hora (operações com elevado fluxo), em sistemas com tanques de armazenamento estratificado é 15 litros por metro quadrado por hora (baixo fluxo de operação). A bomba deve ser capaz de gerar a pressão necessária na gama média de condições de funcionamento. Com a irradiação total obtém-se uma diferença de temperatura de cerca de 10-15 K nas operações de elevado fluxo e 30-50 K nas operações de baixo fluxo, entre as linhas de alimentação e retorno. O fluxo volumétrico actual pode ser controlado com a ajuda de um medidor de caudal.

A diferença de temperatura para arrancar a bomba deve ser de cerca de 5-10 K e para desligar deve ser colocada no controlador uma diferença de temperatura de cerca de 2 K. Deste modo, por um lado o calor

gerado no colector é transferido para o tanque de armazenamento a um nível de temperatura usual e por outro lado não é consumida energia desnecessária pela bomba.

#### 5.4.5 Manutenção

Os sistemas solares térmicos necessitam de muito pouca manutenção, uma verificação regular é contudo recomendada.

O trabalho de manutenção deve ser feito para intervalos de cerca de 2 anos, se possível num dia de Sol de Verão. Durante o decorrer da manutenção deve avaliar-se o nível de satisfação dos utilizadores. O trabalho de manutenção deve consistir na elaboração de um relatório com os seguintes detalhes:

##### **Inspecção visual**

A inspecção visual envolve a verificação de alterações visíveis nos colectores e no circuito solar:

- colectores: contaminação, suportes de fixação, ligações, falhas, vidro partido, degradação de vidros/tubos;
- circuito solar e tanque de armazenamento: tensão do isolamento térmico, falhas, verificação/limpeza de sujidade, pressão.

##### **Verificação da protecção contra congelamento**

A protecção contra congelamento é verificada com um densímetro (instrumento para medir densidade). Para este propósito, uma dada quantidade de fluido térmico é recolhido. Com essa amostra, pode ser medida a temperatura de congelamento específica ou a densidade específica do fluido. A densidade específica permite saber o ponto de congelamento do fluido através do diagrama de concentração/densidade.

##### **Verificação da protecção contra corrosão**

###### *Circuito solar*

A verificação da protecção contra a corrosão do fluido térmico é efectuada indirectamente através do estabelecimento do valor de pH. A utilização de fitas de pH são apropriadas para este objectivo. Se o valor de pH estiver abaixo do valor original e abaixo de 7, a mistura água/glicol deve ser substituída.



**Figura 5.25 - Estojo de análise**

**Fonte: Resol, Hattingen**

###### *Tanque de armazenamento*

Tem de se testar o estado do ânodo de magnésio, através de medição da corrente eléctrica entre o cabo e o ânodo com um amperímetro. Acima de 0,5 mA não é necessário mudar o ânodo. Se houver uma corrente parasita no ânodo, a verificação de corrosão é reduzida à verificação do estado do LED verde.

## Monitorização dos parâmetros do sistema

As variáveis do sistema, pressão e temperatura, assim como o controlador devem ser verificados. Durante a operação, a pressão do sistema varia dependendo da temperatura. Depois de ser efectuada uma purga completa a pressão não pode variar mais do que 0,3 bar e nunca deve baixar mais do que a pressão de admissão do Vaso de expansão. A diferença de temperatura, em sistemas de elevado fluxo, entre a linha de alimentação e retorno, no caso de irradiação máxima não deve estar acima de 20 K (se estiver acima existe ar no circuito solar que o bloqueia devido a contaminação) e abaixo de 5K (se estiver abaixo existe depósito de calcário no permutador de calor). O controlador e respectivas funções devem ser testados. Se o controlador foi instalado com um programa de monitorização dos dados, estes podem ser gravados e analisados. Dos vários dados que podem ser monitorizados destacam-se:

- número de horas de operação da bomba do sistema solar;
- quantidade de energia produzida.

A bomba do circuito solar deve ter um tempo de funcionamento anual aproximado de acordo com as horas de luz na respectiva localização e a média anual de calor ganho através do sistema deve ser semelhante à média do local em causa, para o tipo de colectores instalado.

### 5.4.6 Detecção e rectificação de defeitos

#### Fontes de erro típicas

##### *Colectores*

1. Sobreposição mínima das telhas / cobertura do telhado (mínimo 8 cm) não é assegurada: fugas no telhado.
2. Uso de diferentes materiais no telhado (cobre em cima de alumínio): risco de corrosão.
3. Colector com sombra: baixas temperaturas de alimentação.
4. Sensor do colector sujeito a sombra, p.e. uma chaminé ou inserção incorrecta dentro do colector (especialmente para colectores de tubos de vácuo): o colector responde muito tarde.
5. Esquecimento de instalação de ventilador no topo: purga incompleta.
6. Degradação do isolamento térmico devido aos UV ou ao tempo ou não está protegido contra danos mecânicos: perdas de calor.
7. Linhas de retorno e alimentação misturadas: vibração do sistema.
8. Sobredimensionamento da área da superfície do colector: temperatura de estagnação atingida frequentemente (elevadas temperaturas de carga desnecessárias, nos materiais do colector e no fluido térmico).
9. Não é possível aceder ao telhado e aos colectores para inspecção: não é possível a manutenção, limpeza e reparação.

##### *Circuito solar*

10. Má purga: não é possível haver transporte de calor devido ao bloqueio pelas bolhas de ar.
11. Caudal volumétrico muito baixo: baixa produção de calor.
12. Linha de alimentação e retorno misturadas: danos na bomba devido ao sobreaquecimento.
13. Proporção de anti-congelante na mistura de água/glicol elevada (>50%): baixo transporte de calor.
14. Se instalado no Inverno: água residual dos testes de pressão no colector, danos no colector devido ao congelamento.

15. Enchimento com irradiação máxima: formação de vapor, enchimento total impossível.
16. Isolamento térmico insuficiente e/ou com falhas: perdas de calor.
17. Pressão do sistema muito baixa: baixo transporte de calor com possibilidade de interrupção da circulação solar.
18. Dimensões do recipiente de expansão muito pequenas: purga do fluido térmico pela válvula de segurança.

#### *Tanque de armazenamento*

19. Sensor de temperatura muito elevado/muito baixo ou mal fixado no tanque: sistema de controlo deficiente.
20. Linha de alimentação e retorno misturadas no permutador de calor do circuito solar: baixa transferência de calor do tanque de armazenamento de água, baixa eficiência do colector devido à elevada temperatura de retorno.
21. Sobredimensionamento do tanque de armazenamento: necessidade frequente de aquecimento adicional.
22. Tanque de armazenamento muito pequeno: o sistema de energia solar desliga frequentemente dado que a temperatura máxima do tanque é atingida.

#### *Controlador*

23. Parâmetros de controlo errados: desregulação do arranque e paragem do circuito solar.

#### *Organização*

24. Deficiente informação das necessidades de outros serviços ao cliente (instalação eléctrica, telhado, canalização): interrupção da sequência de instalação.
25. Problemas de comunicação entre o cliente e o instalador: sistema diferente do que o cliente espera.

### **Exemplos de detecção e ratificação de falhas**

#### *Diminuição da pressão do sistema*

Quanto melhor for a purga de ar no enchimento do sistema mais baixo vai ser o número de falhas causadas devido a ar no sistema – possivelmente nenhuma falha.

Variações de pressão entre 1-2 bar devidas à variação de temperatura são expectáveis durante a operação normal. A comparação da pressão só tem significado e utilidade se os testes forem feitos para uma mesma temperatura do sistema.

A pressão do sistema não deve diminuir abaixo do valor da pressão estática + 0,5 bar, dado que pode ser criado um vácuo parcial na área superior do sistema solar e pode entrar ar no sistema.

Ventilação fechada depois de enchimento e purga do sistema?	não	Fechar ventiladores e aumentar a pressão
sim		
Fluido térmico escapa através da válvula de segurança? (Verificar nível de enchimento do circuito)	sim	Vaso de expansão defeituoso? substituição Vaso de expansão desligado? abrir Vaso de expansão pequeno? recalcular e instalar unidades adicionais Pressão de admissão no vaso de expansão muito elevada? Pressão de enchimento muito elevada? reduzir pressão Válvula de segurança mal dimensionada? Pressão de resposta muito baixa? substituição
não		
O circuito solar não tem perdas? Verificar pontos de soldagem e ligações aparafusadas	não	Esvaziar sistema, Corrigir falhas, Encher e purgar sistema

*Existência de irradiação solar disponível com sistema em repouso*

O écran do controlador está a funcionar ou a luz do LED está ligada?	não	O controlador não tem energia. verificar cabos eléctricos e fusíveis
sim		
A temperatura máxima do tanque foi atingida?	sim	Verificar temperatura máxima do tanque de água sanitária $T_{\max} = 60^{\circ}\text{C}$ Tanque de regulação $T_{\max} = 90^{\circ}\text{C}$ alterar
não		
A bomba de circulação funciona em manual?	sim	Diferença de temperatura para arranque muito elevada? (5-8 K) verificar A medição de temperatura é plausível? O sensor de temperatura pode estar estragado ou não está a fazer contacto
não		
O controlador controla a bomba?	sim	Bomba bloqueada O eixo da bomba está bloqueado? Verificar eixo (Atenção desligar da corrente!) Bomba contaminada? Limpar bomba Se não fizer efeito trocar bomba
não		
Controlador estragado, enviar para o fabricante		

O tanque de armazenamento está quente mas abaixo da temperatura máxima. A radiação do Sol não é suficiente para atingir o elevado nível de diferença de temperatura de arranque. O comportamento do sistema está bom.

**Diferença de temperatura entre o colector e o tanque muito elevada**

A bomba do circuito solar está a funcionar?	não	O tanque atingiu a temperatura máxima? (água sanitária 60°C, regulação 90°C) Se sim o comportamento é normal
sim		não
		Verificar as definições de controlador e corrigir se necessário A bomba do circuito solar está a funcionar?
		não
		Verificar a bomba e o controlador ver 2
O medidor de caudal apresenta fluxo?	não	Existe ar no sistema purgar, ver 4
sim		
O fluxo volumétrico está bem definido? Fluxo-elevado: 40 l/m²h Fluxo-baixo: 10-15 l/m²h	não	Aumentar o fluxo volumétrico
sim		
A temperatura de retorno é quase igual à de alimentação?	sim	Permutador de calor afectado por depósitos de calcário, bloqueado ou pequeno? Limpar, ou recalcular/mudar permutador Ou estão tem ligações misturadas no circuito do permutador? Ligar alimentação na entrada do topo e retorno na de baixo

**Bomba em funcionamento mas medidor de caudal não detecta fluxo**

Os elementos de seccionamento estão todos abertos?	não	Abrir ligações e assegurar que não voltam a fechar
sim		
Provavelmente existe ar no circuito solar. purgar Detecta-se fluxo?	sim	Verificar pressão e encher com fluido térmico se necessário, até atingir a pressão de operação
não		
Filtros bloqueados?	sim	Limpar filtros
não		
Freio de gravidade bloqueado?	sim	Substituir freio de gravidade

**Purga do circuito solar**

Dado o risco de formação de vapor em condições de elevada irradiação esta operação deve ser efectuada ao início da manhã ou ao fim da tarde:

- abertura de todos os ventiladores;
- aumento da pressão do sistema com uma bomba de enchimento;
- operação manual do circuito solar, na sua capacidade máxima, com breves arranques e paragens;
- se necessário retirar o ar concentrado na bomba de circulação;
- fecho de todos os ventiladores.



*Arrefecimento rápido do tanque de armazenamento durante a noite sem consumo de água quente*

A bomba do circuito solar funciona de noite?	sim	Verificar funções do controlador e sensores
não		
A temperatura do colector é mais elevada do que a temperatura do exterior durante a noite	sim	Verificar válvulas anti-retorno nas linhas de alimentação e retorno. Sensor estragado?
não		
O isolamento térmico do tanque é suficiente? (Min. 100 mm espuma flexível, min. 70 mm espuma rígida)	não	Reforçar o isolamento térmico
sim		
O isolamento térmico está bem ajustado ao tanque?	não	Ajustá-lo correctamente
sim		
As conexões estão todas com isolamento térmico?	não	Isolar conexões
sim		
A água quente é retirada do topo do tanque?	sim	Alterar conexões para a parte lateral e instalar um sistema de sifão
não		
A bomba funciona durante muito tempo?	sim	Alterar definições do relógio e acrescentar termóstato
não		
Desligar bomba de circulação e fechar válvulas de seccionamento. As perdas no tanque são menores?	sim	Limpar ou substituir válvulas anti-retorno
não		
A circulação por gravidade é muito forte. Instalar válvulas anti-retorno melhores.		



## 6 SISTEMAS DE LARGA ESCALA

### 6.1 Os princípios fundamentais do dimensionamento do sistema

#### 6.1.1 Áreas de possível aplicação

Os grandes sistemas de energia solar para aquecimento de água podem ser usados numa grande variedade de edifícios, que têm uma necessidade correspondente de água quente ou uma necessidade de aquecimento durante todo o ano.

**Tabela 6.1 - Potenciais utilizadores de sistemas solares térmicos**

Hospitais	Cabeleireiros
Lares de terceira idade	Ginásios
Complexos turísticos	Lavandarias
Parques de campismo	Vacarias
Alojamento de estudantes	Talhos
Apartamentos	Padarias
Escolas	Hotéis
Quartéis	Complexos desportivos
Edifícios de escritórios	Piscinas internas
Lavagem de carros	Aquecimento de pavimentos em estábulos
Agricultura	Sistemas de lavagem de camiões
Indústria Alimentar	Indústria de Lacticínios
Indústria Têxtil	Indústria de Papel
Indústria Química	Indústria Automóvel e Auxiliares
Indústria Corticeira	Fabrico de Cerveja e Malte

#### 6.1.2 Informação inicial necessária para o planeamento do sistema solar

Para o dimensionamento de um sistema de energia solar, e devido ao fornecimento variado de potência e da energia do Sol, é necessário conhecer as quantidades de consumo, o perfil de consumo e a temperatura desejada para a água quente. Estes dados são depois utilizados no dimensionamento do projecto.

Os valores de consumo de água quente apresentados na literatura revelaram-se na prática elevados e o seu uso leva ao sobredimensionamento na planificação de sistemas de energia solar. Os valores de consumo são frequentemente antigos, não reflectindo a realidade actual e foram calculados com o objectivo de ter segurança no abastecimento. A determinação dos dados necessários para o perfil de consumo deve, se possível, ser levado a cabo através de medições do consumo de água quente, a longo prazo. Se tal não for possível ou se levar muito tempo, então pode usar-se o seguinte método para adquirir os dados de consumo e o seu uso, para cálculo nos programas de simulação.

##### 6.1.2.1 Perfil de consumo e quantidade

Os dados reunidos devem estar de acordo com os potenciais utilizadores.

Tabela 6.2 - Exemplos dos dados necessários para calcular sistemas solares térmicos

Tipo de edifício	Diariamente	Semanalmente	Anualmente	Ritmo ocupacional sazonal	Variação diária para Água Quente	Tempos de operação da circulação de Água Quente	Outros utilizadores em fases de baixo consumo de água
Residências multifamiliares	X	X	X			X	
Edifícios de administração	X	X				X	X
Hotéis, restaurantes	X	X	X	X	X	X	X
Escolas, Centros desportivos	X	X	X	X	X	X	X
Complexos desportivos	X	X	X	X	X	X	X
Comércio, indústria	X	X		X	X	X	X
Piscina ao ar livre	X			X	X	X	X
Piscina ao ar livre, piscina interior			X				X
Parques de campismo	X	X	X	X	X	X	X

Apresenta-se como exemplo um questionário com os dados necessários para o consumo de água quente:

#### Questionário de inventariação de consumo de água quente

DADOS DE CONSUMO DE ÁGUA QUENTE																																																																																												
<b>Perfil:</b> <input type="checkbox"/> Casa unifamiliar <input type="checkbox"/> Residência multifamiliar <input type="checkbox"/> Lar de terceira idade <input type="checkbox"/> Refeitório <input type="checkbox"/> Alojamento de estudantes <input type="checkbox"/> Parque de campismo <input type="checkbox"/> Hotel <input type="checkbox"/> Restaurante <input type="checkbox"/> Escola <input type="checkbox"/> Enfermaria <input type="checkbox"/> Centro desportivo <input type="checkbox"/> Indústria <input type="checkbox"/> Outro																																																																																												
<b>Pico de consumo*:</b> l/h    ou    pessoas/h** *água quente a 38°C     ** válido para chuveiros																																																																																												
<b>Consumo:</b> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>Dias da semana</th> <th>2ª</th> <th>3ª</th> <th>4ª</th> <th>5ª</th> <th>6ª</th> <th>S</th> <th>D</th> <th>exemplo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Consumo em l* (total = 100%)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1000 l</td> </tr> <tr> <td>De .....horas para....horas</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>De .....horas para....horas</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>40%</td> </tr> <tr> <td>De .....horas para....horas</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>De .....horas para....horas</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>15%</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>Meses do ano</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> <th>12</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Consumo em %***</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>***utilização completa = 100%, isto é, com baixa utilização, colocar por exemplo 40%</p>													Dias da semana	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	S	D	exemplo	Consumo em l* (total = 100%)								1000 l	De .....horas para....horas								20%	De .....horas para....horas								40%	De .....horas para....horas								25%	De .....horas para....horas								15%	Meses do ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Consumo em %***												
Dias da semana	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	S	D	exemplo																																																																																				
Consumo em l* (total = 100%)								1000 l																																																																																				
De .....horas para....horas								20%																																																																																				
De .....horas para....horas								40%																																																																																				
De .....horas para....horas								25%																																																																																				
De .....horas para....horas								15%																																																																																				
Meses do ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																																																
Consumo em %***																																																																																												
<b>Circulação de água quente:</b> <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não																																																																																												
<b>Tempo de funcionamento:</b> De    horas a    horas e de    horas a    horas e de    horas a    horas e de    horas a    horas																																																																																												
<b>Medição ou cálculo de água quente existente:</b> l/ano																																																																																												

Os dados do perfil de consumo assim obtidos são usados, por exemplo, nos programas de simulação para calcular o rendimento e o comportamento do sistema. Com este objectivo, os dados são inseridos numa tabela no programa de simulação. Alternativamente, os diferentes programas de simulação oferecem perfis de consumo, para diferentes edifícios e grupos de utilizadores.

De modo a permitir o planeamento, mesmo onde não há possibilidade de medir o consumo da água ou no caso de incertezas, é possível ter acesso aos dados disponíveis do consumo de água dos edifícios que já foram medidos. Os seguintes valores foram determinados para residências multifamiliares: 30-35 l (60°C) por dia e por pessoa.

Além disso, a ocupação dos apartamentos (uma unidade de habitação = média 3,5 pessoas) deve ser examinada detalhadamente. Para alguns edifícios, as medidas mostraram um consumo médio de 70l (60°C) por dia e por apartamento.

Se inicialmente se necessita de uma estimativa para apartamentos de vários pisos, podem ser usados valores seguros de 20-30l (60°C) por dia e por pessoa ou 70l (60°C) por dia e por apartamento

#### 6.1.2.2 Temperatura de água quente requerida

A temperatura requerida de água quente de aplicação é significativa para o posterior rendimento da energia do sistema solar. O nível de temperatura mais baixo requerido para aquecer a água em piscinas é de 25°C. Em habitações de uma ou duas famílias bem como em várias aplicações de produção é suficiente uma temperatura de 45°C. Edifícios maiores, geralmente requerem uma temperatura de 60°C à saída do tanque de armazenamento, para restringir o volume do tanque de água quente ou para preencher requisitos dos regulamentos e/ou padrões técnicos. Para a indústria as necessidades de água quente (na ordem dos 50%) são para temperaturas abaixo dos 250°C, sendo de realçar as seguintes gamas: baixas temperaturas (< 60°C), médias (60°C-150°C) e médias-altas (150°C-250°C). Sempre que seja razoável, o aquecimento da água deve ser limitado ao nível da temperatura que é realmente necessário para poupar energia.

O rendimento do colector solar e de todo o sistema aumenta significativamente com a redução da temperatura requerida no circuito do colector. A redução na temperatura da água gerada pelo Sol causa um aumento em todo o sistema no rendimento da energia por m<sup>2</sup> do colector por ano.

#### 6.1.3 Planeamento e dimensionamento de um sistema

No início da fase de planeamento são necessários para o planeamento preliminar e para a estimativa de custos, números aproximados das dimensões dos componentes mais importantes do sistema, isto é, a área do campo colector e o volume do tanque de armazenamento. Os sistemas são projectados ou para um grau particular de fracção solar usando condições estruturais existentes (por exemplo, tamanho do telhado ou tamanho desejado pelo cliente) ou para o maior rendimento de energia possível por metro quadrado do campo colector.

Um possuidor de uma habitação unifamiliar gostaria de obter um sistema solar com um grau de fracção solar elevado para que no Verão pudesse usufruir de água aquecida a energia solar com a caldeira desligada. O administrador de uma residência multifamiliar que quer manter os custos de operação baixos, pede ao projectista um preço de aquecimento solar baixo e daí baixos custos por metro quadrado. Outro investidor tem um orçamento restrito e gostaria de conseguir uma maior substituição de energia primária. Uma vez que os sistemas de pré-aquecimento atingirão uma utilização mais elevada do sistema, no seu caso dois sistemas de pré-aquecimento em duas destas casas preenchem este requisito, melhor do que um sistema solar com uma fracção solar elevada numa das casas.

Durante as discussões sobre sistemas solares com elevada utilização do sistema e os consequentes rendimentos elevados de kWh por metro quadrado do campo colector, são muitas vezes considerados os objectivos desejados. Por outro lado, os sistemas de energia solar com altos graus de fracção solar são descritos sem justificação, como sobredimensionados. Ambas as variáveis de projecto são igualmente boas se o objectivo definido é atingido pelo projecto. Um desvio dos rendimentos esperados, devido aos dados incorrectos ou uma alteração posterior no requisito de água quente, não pode ser atribuído ao desempenho do sistema solar. O que se torna decisivo na avaliação da função ou desempenho de um sistema solar térmico é a comparação dos rendimentos actuais com os resultados dos cálculos simulados com base no consumo actual de água quente.

#### Objectivo do projecto: Elevada substituição de energia primária

De modo a obter a maior poupança possível de combustíveis convencionais no projecto considerado (=elevada substituição de energia primária), o grau de cobertura solar em todo o sistema deve seleccionar-se de modo a ser o mais alto possível. Tal projecto é frequentemente procurado principalmente no caso de sistemas solares mais pequenos em habitações de uma ou duas famílias ou em sistemas solares para aquecimento ambiente. No caso de uma fracção solar desejada para aquecimento de água sanitária acima de 60%, o aquecimento convencional pode ser desligado no Verão o que contribui grandemente para a satisfação do operador e para evitar perdas de imobilização nas caldeiras de aquecimento. Em sistemas solares maiores, o grau de cobertura solar de 50% deve ser atingido para se conseguir o objectivo do projecto.

**Objectivo do projecto:** Baixo preço do aquecimento solar

A maior utilização possível do sistema é decisiva para a eficiência do sistema solar, o que conduz a um elevado rendimento kWh (específico) por m<sup>2</sup> e por ano. Como já foi descrito, elevadas utilizações do sistema conseguem-se com baixos graus de fracção solar. Estes sistemas são também descritos como sistemas de pré-aquecimento. Uma vez que este tipo de sistemas apenas consegue o pré-aquecimento da água no Verão, o sistema convencional de aquecimento mantém-se em funcionamento durante todo o ano. O grau de cobertura solar para este objectivo do projecto está entre 10 e 45%. Para considerações posteriores assumir-se-á 25%.

**Dimensionamento com a utilização de uma fórmula de aproximação**

Como ponto de partida os valores são dados na seguinte secção para dimensionamento do campo colector e para o tamanho dos tanques de armazenamento. Para isto, são usados os seguintes factores:

- uma temperatura de água quente de 60°C;
- saída contínua de água quente;
- local com radiação solar média (aproximadamente 1.000 kWh/m<sup>2</sup>);
- um alinhamento do colector virado a sul com um ângulo de 40°C.

Os valores aplicam-se a colectores planos com um bom desempenho ( $\eta_0=0,8$ ,  $U_L < 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Os dados relacionados com o sistema devem ser então determinados com base nas simulações específicas do edifício.

**Tabela 6.3 - Fórmula de aproximação para dimensionamento dos campos colectores e tanques de armazenamento**

Grau de fracção solar	Área de superfície do colector
25%	0,5 m <sup>2</sup> por 50 l consumo de AQ (60°) por dia
50%	1,25 m <sup>2</sup> por 50 l consumo AQ (60°) por dia

Grau de fracção solar	Tamanho do tanque de armazenamento
25%	30-50 l volume do tanque por m <sup>2</sup> da superfície do colector
50%	50-70 l volume do tanque por m <sup>2</sup> da superfície do colector

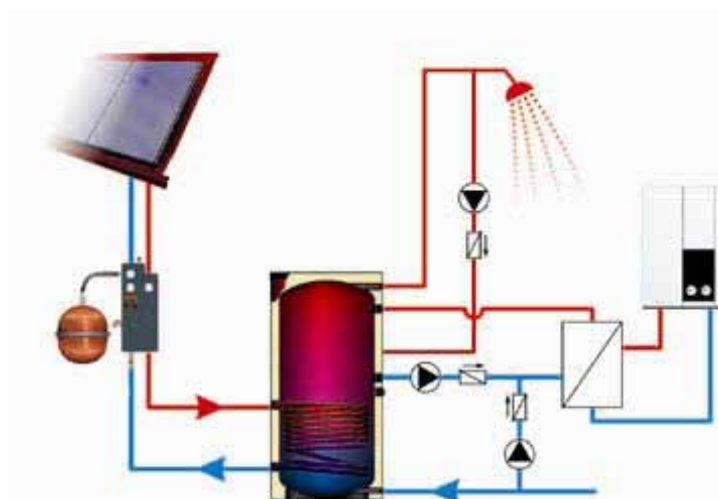
Para o dimensionamento de pequenos sistemas de energia solar, 1 m<sup>2</sup> da área da superfície do colector considera-se apropriado para um consumo de água quente de 50 l por dia. Esta regra geral de dimensionamento refere-se contudo para uma temperatura de água quente de 45°C. São necessários então cálculos de simulação posteriores, para transformar níveis de temperatura diferentes. O volume do tanque de armazenamento deve ser dimensionado com o objectivo de opções económicas e espaço disponível.

O planeamento detalhado relativo ao edifício deve realizar-se com a ajuda de programas de simulação reconhecidos.

## 6.2 Sistemas

### 6.2.1 Sistemas com tanques de armazenamento de água sanitária

Os sistemas mais simples de energia solar, até 30m<sup>2</sup> de campo colector, são sistemas com um ou dois tanques de armazenamento de água sanitária e a opção de desinfecção térmica. O dimensionamento dos tanques corresponde aos projectos de habitações para uma ou duas famílias. Como alternativa aos permutadores de calor imersos fornecendo calor auxiliar, é possível usar uma unidade de enchimento com tanque de armazenamento externo (ver figura 6.1). Este método de aquecimento auxiliar também permite a desinfecção térmica de todo o sistema de armazenamento de água doméstica.



**Figura 6.1 - Sistema de energia solar com tanque de água sanitária e possibilidade de desinfecção térmica**

Comparado com os sistemas de armazenamento com tanque de regulação, apresenta as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- projecto de dimensionamento simples;
- melhor utilização de colectores a baixas temperaturas;
- menos componentes de sistema;
- baixos custos se os materiais forem bem seleccionados;
- não necessita de reguladores de descarga e permutadores de calor.

Desvantagens:

- menores rendimentos devido à desinfecção térmica;
- sob certas circunstâncias, os tanques de armazenamento de água sanitária podem envolver custos mais elevados do que os sistemas de armazenamento de regulação.

A desinfecção térmica conduz todo o sistema de tanques a um alto nível de temperatura. De modo a minimizar a perda de rendimento solar, este processo deve ser feito ao final da tarde antes que uma grande quantidade de água quente seja retirada, obtendo baixas temperaturas de armazenamento à tarde e no dia seguinte o que permite ao sistema iniciar o mais cedo possível na manhã seguinte. Com um sistema deste tamanho podem ser utilizados permutadores de calor, tanto exteriores como interiores.

Devido ao aquecimento directo da água pelo sistema solar, um permutador de calor pode ser dispensado em comparação com um sistema com tanques de armazenamento de regulação. Há assim perdas de temperatura mais baixas (diferença de temperatura no segundo permutador de calor). Deste modo o sistema de energia solar contribui para níveis de temperatura baixos e consegue assim elevados rendimentos.

A desinfecção térmica serve, entre outras coisas, para diminuir o risco de problemas com a bactéria *Legionella*. Desta forma é desaconselhada a utilização desta configuração de sistema para grandes sistemas. O aquecimento diário de todo o sistema de armazenamento da água doméstica a 60°C, conforme requerido na folha de trabalho, incluindo as fases de pré-aquecimento, requer por um lado bastante energia e por outro, o processo de aquecimento diário reduz o volume de enchimento disponível do circuito solar e daí o rendimento solar do sistema.

A desinfecção térmica não é necessária se o operador monitorizar a água doméstica (por amostra) ou se for usado outro método efectivo de desinfecção da água quente (por exemplo, radiação UV).

### 6.2.2 Sistemas com tanque(s) de armazenamento de regulação

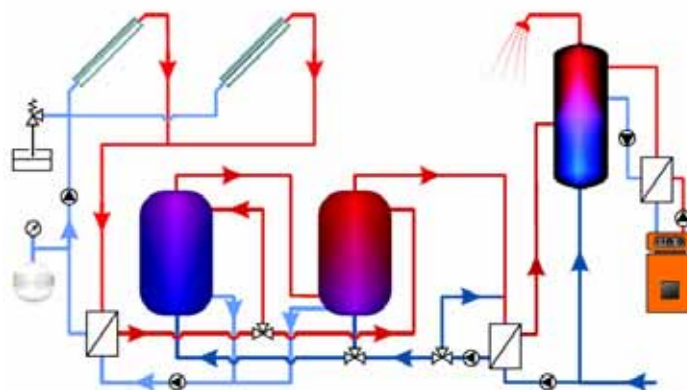
Um aumento no nível de temperatura de todo o tanque de armazenamento de água doméstica, por forma a minimizar os riscos de aparecimento da bactéria *Legionella*, leva automaticamente a perdas de energia mais elevadas no sistema considerado. Com tanques de armazenamento de água sanitária maiores, que servem como sistemas de armazenamento de energia solar, as perdas são maiores do que nos sistemas convencionais para aquecimento de água quente com tanques correspondentes mais pequenos. Além disso, o aquecimento do tanque de energia leva a uma redução na utilização do circuito colector devido às perdas de calor relacionadas com temperaturas mais elevadas. O rendimento de energia pode diminuir em 15% em condições limite.

Para os seguintes sistemas, o ponto em comum, é o facto de o calor ganho no circuito colector ser primeiro armazenado nos tanques de regulação e é apenas conduzido ao tanque de água sanitária quando necessário. De modo a obter um rendimento de sistema igualmente elevado, tal como com os sistemas de armazenamento directo de energia, nos tanques de água sanitária usam-se permutadores de calor externos - com excepção dos tanques de armazenamento estratificados (e o seu enchimento interno) – sendo o tipo de enchimento idêntico nos diferentes sistemas.

Quando se alcança o mínimo de radiação solar, a bomba do circuito do colector arranca primeiro e aquece-o. Se existir então uma temperatura adequada à entrada do permutador de calor do circuito colector, a bomba de enchimento do circuito de regulação liga-se e os tanques respectivos são aquecidos por meio de um sistema de interruptor, por exemplo uma válvula de três vias ou um dispositivo de enchimento estratificado no tanque de regulação.

#### 6.2.2.1 Sistemas de armazenamento de regulação usando o princípio do enchimento do armazenamento

Se a temperatura, na zona mais quente do armazenamento de regulação, atingir um nível de temperatura adequado para o aquecimento da água sanitária no tanque de regulação, ou se este for arrefecido devido à água retirada, a bomba de enchimento do circuito de regulação e a bomba de enchimento do tanque de armazenamento de água sanitária arrancam. O tanque de água sanitária é carregado com energia solar. Se possível, este tanque deve estar dividido numa zona de reserva para aquecimento auxiliar e numa zona (mais baixa) para enchimento pelo sistema solar.



**Figura 6.2 - Sistema de armazenamento de regulação usando o princípio do enchimento do armazenamento, aquecimento completo no tanque de reserva**

A zona de espera superior é mantida continuamente a um nível de temperatura necessário, para um fornecimento seguro pelo aquecimento auxiliar convencional. Tendo em conta a necessidade de minimizar o aparecimento da *Legionella* toda a área de armazenamento de água sanitária é assim aquecida uma vez por dia a 60°C.

Deste modo, o aquecimento completo da água sanitária e a desinfecção térmica é levada a cabo exclusivamente no tanque de água sanitária, através do aquecimento convencional. Em comparação com os diferentes conceitos de aquecimento auxiliar da água sanitária para atingir a temperatura necessária, este provou ser vantajoso em relação à máxima utilização do sistema solar.



**Vantagens:**

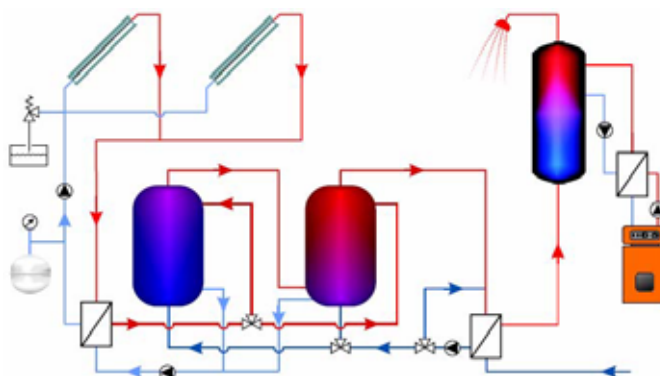
- a descarga do tanque de regulação é possível independentemente do consumo de água corrente (ver o sistema de armazenamento de regulação com o princípio de fluxo de calor de uma só passagem);
- atinge-se uma utilização elevada para todo o sistema com aquecimento auxiliar somente no tanque de água sanitária (a zona solar não é aquecida via aquecimento auxiliar e está sempre ao nível mais baixo de temperatura possível);
- o permutador de calor pode ter uma dimensão pequena e pouco dispendiosa.

**Desvantagens:**

- o tanque de água sanitária requer uma zona solar na área mais baixa, ou a temperatura do aquecimento auxiliar deve ser reduzida, para permitir o enchimento pelo sistema solar, mesmo para baixos níveis de temperatura;
- a descarga do tanque de armazenamento de regulação deve ser controlada, de modo a manter a temperatura tão baixa quanto possível na zona inferior do tanque de regulação.

### 6.2.2.2 Sistema de armazenamento de regulação usando o princípio do fluxo de calor de uma só passagem

Com este tipo de sistema, o tanque de armazenamento de regulação é descarregado usando o princípio do fluxo de calor de uma só passagem. Quando a água sanitária é retirada e se ao mesmo tempo existe um nível de temperatura adequado no tanque de regulação, a bomba do circuito de descarga começa a trabalhar. O calor solar transfere-se para a água sanitária. Controlando o caudal no circuito de descarga, o tanque de regulação pode assim ser arrefecido até, por exemplo, 5 K acima da temperatura de entrada da água sanitária fria. Contudo, a pré-condição tem uma correspondência muito exacta entre o caudal no circuito de descarga do tanque de regulação e o volume de descarga instantâneo que requer sistemas de controlo precisos e rápidos.



**Figura 6.3 - Sistema de armazenamento de regulação usando o princípio do fluxo de calor de uma só passagem**

O arrefecimento do tanque de regulação é possível para grandes ou pequenas velocidades de descarga, e a zona mais fria de armazenamento do tanque atinge temperaturas o mais baixo possíveis. O rendimento solar aumenta devido à transferência de calor do circuito solar para este baixo nível de temperatura.

**Vantagens:**

- os tanques de água sanitária existentes podem continuar a operar sem alterações, depois da instalação do sistema solar. Até sistemas de fluxo de calor de uma só passagem puros podem ser complementados com um sistema solar;
- o sistema solar pode ser ligado muito facilmente à rede de água potável existente, através da instalação do permutador de calor no circuito de descarga;
- um rendimento solar mais elevado pode ser atingido, através do retorno de água fria ao tanque de regulação, se o controlador de descarga trabalhar perfeitamente.

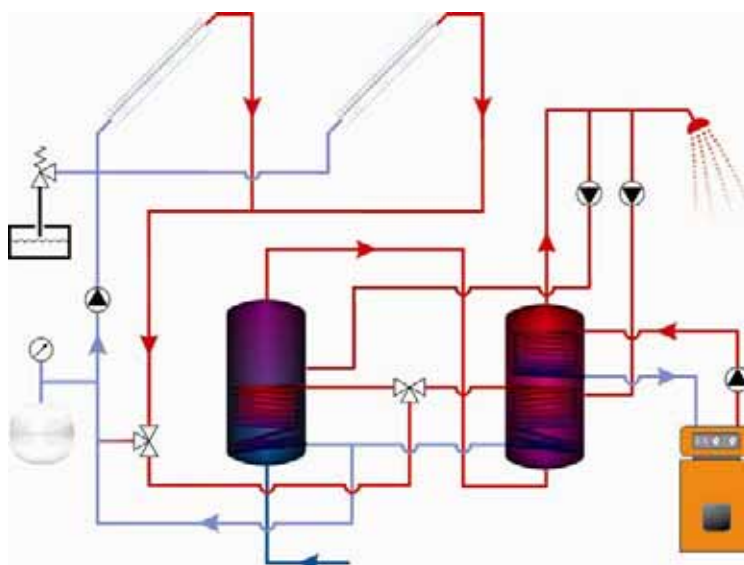
**Desvantagens:**

- o controlo da descarga deve ser executado de modo exacto (na prática não acontece);

- se a velocidade de descarga variar consideravelmente e o volume do tanque de regulação for elevado, este sistema torna-se lento e não consegue fornecer calor suficiente a partir do tanque de regulação;
- o permutador de calor do circuito de descarga deve ser projectado para picos de descarga e é assim maior e mais caro;
- os permutadores de calor causam perdas de pressão que conduzem a variações de pressão no fornecimento de água doméstica com alteração de velocidades de descarga que podem causar variações de temperatura desagradáveis nas torneiras misturadores.

### 6.2.3 Integração dos sistemas de circulação

Para usar o aquecimento solar para cobrir perdas de circulação devem observar-se as seguintes condições gerais. Em geral, sistemas de circulação atingem temperaturas mínimas  $>35^{\circ}\text{C}$  na linha de retorno; quando projectados por forma a minimizar problemas com Legionella mantêm-se temperaturas  $>55^{\circ}\text{C}$ . Este nível de temperatura é reconduzido ao tanque de água quente numa dada posição. Dependendo do tempo em que decorre a circulação um aumento de temperatura mais ou menos violento pode ocorrer na zona mais fria de um tanque. Além disto, esta circulação conduz a um processo de mistura no tanque, que também resulta num rendimento solar mais baixo.



**Figura 6.4 - Integração da linha de circulação de acordo com a temperatura quer à meia altura do tanque de pré-aquecimento quer do tanque de reserva**

O aquecimento da zona solar (mais baixa) do tanque pela linha de circulação deve ser evitado, tanto quanto possível. O nível de temperatura que é significativamente mais alto do que a temperatura da água fria, deveria, por outro lado, conduzir a uma redução na utilização no circuito colectores.

No caso de sistemas de pré-aquecimento ou sistemas com baixo grau de fracção solar em ligação com um sistema de circulação, e um retorno  $>55^{\circ}\text{C}$ , faz pouco sentido ter a ligação de uma linha de circulação ao sistema solar. Num sistema solar com um baixo grau de fracção solar, atinge-se um nível de temperatura  $>55^{\circ}\text{C}$  apenas para alguns dias de Verão o que torna praticamente desnecessária a cobertura das perdas de circulação para este nível de temperatura.

### 6.3 Controlo dos sistemas

Em sistemas solares com tanques de armazenamento de regulação devem ser controlados e regulados dois sistemas:

- o circuito colectores/circuito de enchimento do armazenamento;
- o circuito de descarga do tanque de armazenamento.

Com o objectivo de simplificar, em vez de diferenciar entre regulação e controlo será usado nos próximos capítulos o termo "controlo" para ambos os casos.

### 6.3.1 Circuito colector/ circuito de enchimento do armazenamento

#### 6.3.1.1 Função básica

Se houver uma diferença de temperatura adequada, entre o campo colector e o tanque solar, a bomba do circuito colector e, se separadamente disponível, a bomba de enchimento do tanque de armazenamento são accionadas e o tanque de armazenamento enche-se. Se o enchimento do tanque de armazenamento já não é possível, devido a um decréscimo da diferença de temperatura, o controlador desliga as bombas e assim evita-se a descarga do tanque solar via campo colector. Quase todos os conceitos de controlo são baseados no princípio da medição da diferença de temperatura e em programas correspondentes para controlar os diferentes sistemas.

Os permutadores de calor usados no circuito colector também influenciam a ligação ou interrupção das bombas. Um pequeno permutador de calor no tanque de armazenamento, com uma diferença de temperatura reduzida entre o meio de transferência de calor e o tanque de armazenamento, pode apenas fornecer uma pequena quantidade de calor à água armazenada. Em vez de temperaturas mais altas no colector, o controlador deve desligar a bomba de circuito do colector para evitar, neste caso circulação deficiente no circuito colector. É, portanto, necessário adaptar a diferença de temperatura de interrupção ao funcionamento do permutador de calor.

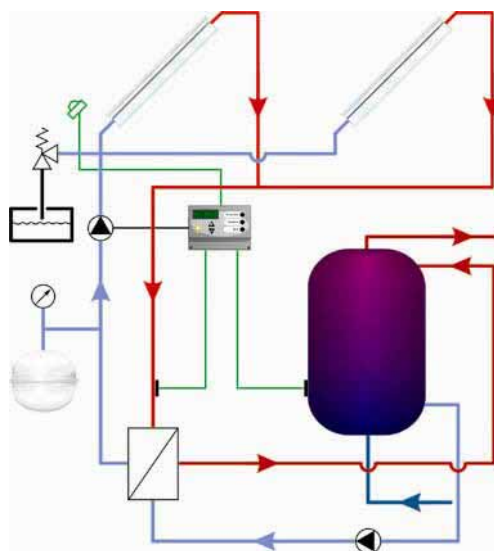


Figura 6.5 - Controlo do enchimento do tanque de armazenamento

#### 6.3.1.2 Estratégia de controlo

A maior parte dos sistemas e conceitos de controlo, que se encontram hoje em dia no mercado, seguem a estratégia de enchimento do tanque solar quando se atinge uma diferença de temperatura pré-estabelecida entre o campo colector (temperatura de alimentação no permutador de calor externo) e o tanque (temperatura na zona mais baixa). Desta forma, nos sistemas com armazenamento de água sanitária, o enchimento do circuito colector inicia-se, p.e., assim que se atinge a temperatura de 13°C no colector (entrada de água fria a 8°C mais 5K de diferença de temperatura). Durante o enchimento este nível de temperatura aumenta, até se atingir a temperatura máxima do tanque de armazenamento (60-95°C).

Os colectores, linhas e fluido de transferência de calor têm uma determinada capacidade calorífica. Quanto mais compridas são as linhas no circuito colector e maior o diâmetro do tubo, maior é a capacidade calorífica no circuito colector e portanto a inércia do sistema aumenta. De modo a encher o tanque de armazenamento para um nível de temperatura adequado no mesmo, é necessário primeiro aquecer o circuito solar. Em sistemas de grande capacidade é usual permitir, ao circuito colector, aumentar o aquecimento através de um circuito by-pass (isto evita o arrefecimento do tanque de armazenamento). O circuito by-pass não é usado em sistemas solares pequenos, com curtas linhas de percurso devido às baixas capacidades caloríficas no circuito colector.

### 6.3.1.3 Circuito de by-pass com permutador de calor interno e válvula de três vias

Independentemente da bomba do circuito colector, o controlador do circuito colector controla também uma válvula de três vias. Após se alcançar uma temperatura adequada na linha, imediatamente antes da entrada no tanque, o circuito colector é ligado a uma operação by-pass e é conduzido através do permutador de calor do tanque de armazenamento. Este sistema de ligação é apenas usado em ligações com permutadores de calor internos.

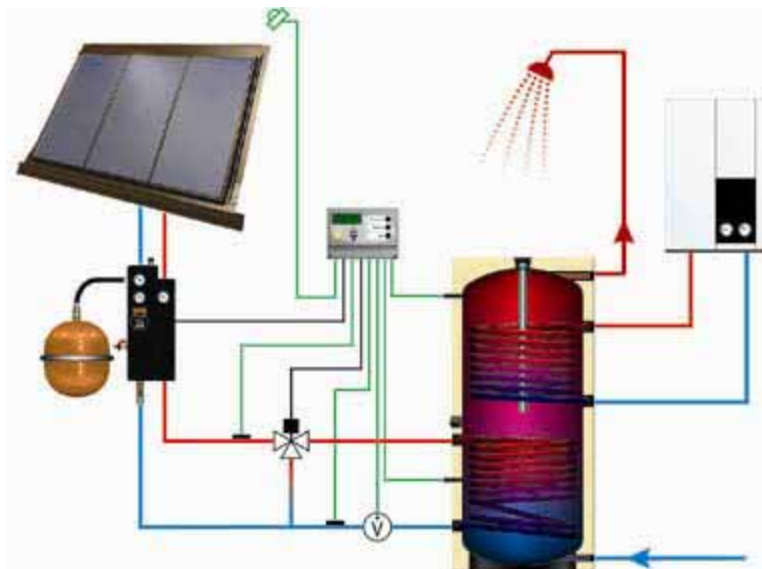


Figura 6.6 - Circuito de by-pass com válvula de três vias

### 6.3.1.4 Circuito de by-pass com permutador de calor externo e duas bombas

Independentemente da bomba do circuito colector, o controlador do circuito colector também controla a bomba de enchimento do circuito de armazenamento. Até se atingir uma temperatura adequada na linha imediatamente antes da entrada para o permutador de calor externo só a bomba do circuito colector é que funciona. Quando a temperatura desejada é atingida, a bomba de enchimento do circuito de armazenamento começa a funcionar.

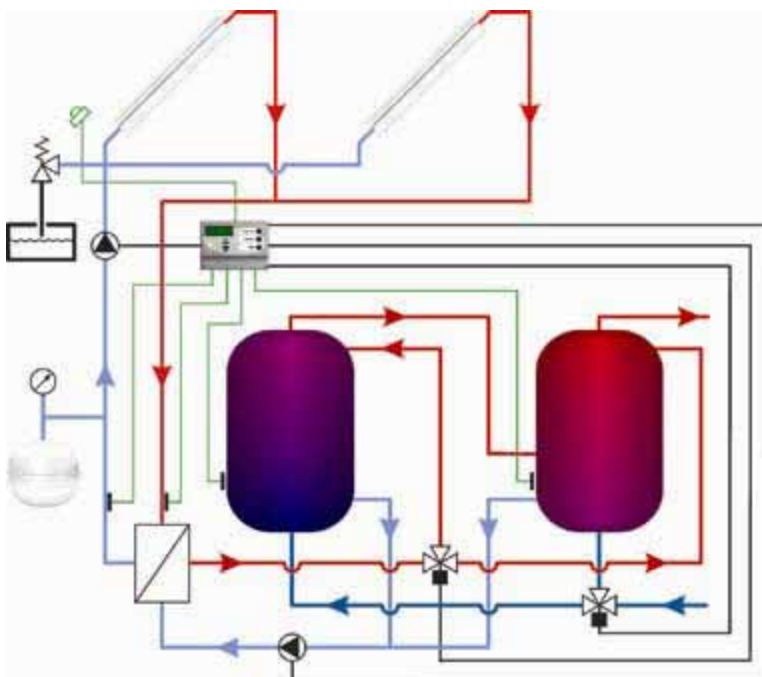


Figura 6.7 - Circuito by-pass com controlo separado das bombas do colector e do circuito dos tanques de regulação

Nas considerações seguintes, esta variante será examinada com maior detalhe tendo em conta a utilização generalizada do uso dos permutadores de calor externos.

### **Controlo do circuito colector por meio de sensores de radiação e de temperatura**

Um sensor de radiação está ligado ao campo colector e ao controlador do circuito do colector. Com radiação solar suficiente, a bomba do circuito do colector arranca. Para iniciar o funcionamento da bomba é aconselhável comparar o valor de radiação medido, com a temperatura do tanque de armazenamento. Durante a operação do sistema, o controlador reúne continuamente informação das condições de paragem da bomba do circuito do colector, com os valores correspondentes de radiação, bem como a temperatura do tanque de armazenamento. A uma temperatura do tanque de armazenamento de 50°C, a bomba do circuito do colector não arranca, enquanto a radiação não exceder os 500 W/m<sup>2</sup>. A uma temperatura do tanque de armazenamento de 10°C a bomba arranca, assim que se atinge 150 W/m<sup>2</sup>. Desta forma evita-se que a bomba do circuito do colector arranque para um nível de radiação solar que seja muito baixo para posterior enchimento do tanque de armazenamento. O controlador está ainda associado às variáveis de mudança de ganhos ou perdas no circuito colector, através da comparação contínua de novos valores de temperatura e de radiação.

Se o fluido de transferência de calor no circuito do colector (medição da temperatura no sensor localizado à entrada do permutador de calor) atingir uma diferença de temperatura adequada de 2 a 5K acima da temperatura do tanque de armazenamento, a bomba de enchimento do tanque de armazenamento arranca. Se  $\Delta T$  descer até 1 a 3K, a bomba de enchimento do circuito do tanque de regulação pára. Se, além disso, a intensidade da radiação do Sol medida no sensor de radiação descer, a bomba do circuito colector também é desligada. O sistema só volta a arrancar quando a intensidade da radiação do Sol aumentar novamente.

No caso de modelos de controladores mais antigos, a bomba do circuito colector arrancava a um valor fixo, por exemplo, 130 W/m<sup>2</sup>. Este tipo de controlador é muito simples e pode conduzir a tempos de operação extremamente longos da bomba, sem rendimentos. Por exemplo, a radiação solar pode estar ligeiramente acima deste valor durante todo o dia mas o colector não atingirá um nível de temperatura adequado. Também quando o tanque de armazenamento está muito quente, um novo arranque da bomba do circuito colector no by-pass não tem significado (por exemplo, se após uma tarde de tempestade, o Sol aparecer, a temperatura do colector não irá nem sequer exceder a temperatura do tanque de armazenamento no final da noite).

Deve ser evitada a sombra no sensor de radiação. Por exemplo, a célula solar pode ser desligada por obstrução física, este tipo de acidentes deve ser considerado em caso de defeitos.

### **Controlo do circuito do colector por meio de sensores de temperatura**

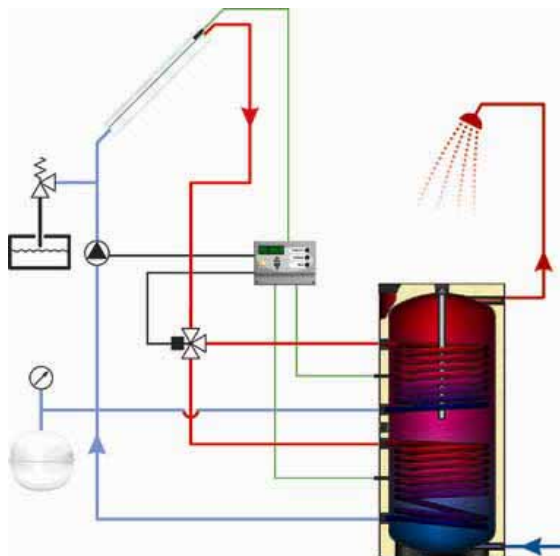
A bomba do circuito do colector é ligada, se a temperatura no respectivo sensor estiver 5-7K acima da temperatura, mais baixa, no sensor do tanque de armazenamento. Se for medida uma temperatura no sensor, acima de 2-5K da temperatura do tanque de armazenagem à entrada no permutador de calor, a bomba de enchimento do tanque de armazenamento também arranca. Se a diferença de temperatura descer 4-2K, as bombas são desligadas uma após a outra.

#### **6.3.1.5 Enchimento do tanque de armazenamento a níveis de temperatura diferentes**

Para atingir rapidamente temperaturas adequadas nos tanques de armazenamento, estes devem ser divididos em diferentes níveis de temperatura. Isto pode ser feito por ligações em série no lado da descarga, no qual o tanque é enchido alternadamente na área de armazenamento fria ou quente. Com o uso de válvulas e bombas para controlar os diferentes tanques, os níveis de temperatura devem ser limitados a dois, independentemente do tamanho do sistema, uma vez que, com o aumento do uso de bombas e válvulas, a possibilidade de existirem falhas aumenta sem que o benefício seja aumentado significativamente.

O enchimento dos dois níveis pode ter lugar alternadamente, por meio de uma válvula de três vias ou uma segunda bomba de enchimento. Depois de ter sido medida uma temperatura adequada para o enchimento de um nível de armazenamento no sensor de temperatura no circuito colector, a seguir à entrada do permutador de calor, a válvula de três vias é aberta ao atingir o nível de enchimento correspondente. Com o uso de duas bombas de enchimento do tanque de armazenamento em vez de uma válvula de três vias, a bomba de enchimento do tanque de armazenamento correspondente é accionada para encher o nível

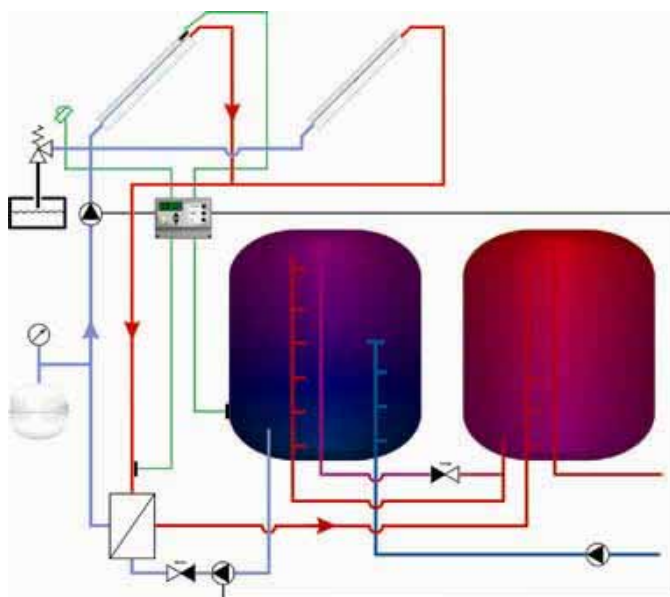
correspondente. Uma área de armazenamento prioritária (nível de enchimento) é geralmente definida nos controladores de enchimento. Este nível de enchimento é preenchido prioritariamente e só se não for possível um aumento posterior da temperatura é que o segundo nível de enchimento é usado.



**Figura 6.8 - Enchimento de um tanque com diferentes níveis de temperatura (permutador de calor interno)**

#### 6.3.1.6 Enchimento do tanque de armazenamento no caso de tanques com equipamento de enchimento estratificado

Quando se usa equipamento de enchimento com estratificação é possível encher uma série de tanques, num sistema ligado em série. A água aquecida sai através do equipamento de enchimento, no tanque mais quente ao nível de enchimento correspondente à sua temperatura. Deste modo, no caso de níveis altos de temperatura, o tanque mais quente é preenchido até à área superior. Se o nível da temperatura de enchimento descer, a água aquecida sai do equipamento de enchimento sempre a níveis mais baixos. Se o nível de temperatura do circuito de enchimento no tanque mais quente já não puder ser usado, a água é alimentada ao nível de temperatura correspondente, no segundo tanque (mais frio) através do percurso alternativo da camada mais baixa.



**Figura 6.9 - Enchimento de tanque de armazenamento no caso de tanques que utilizam equipamento de enchimento estratificado**



O sistema de enchimento do tanque de armazenamento requer um controlador especialmente adequado. Este mede a temperatura no tanque mais frio, o enchimento dos diferentes níveis faz-se automaticamente através do equipamento de enchimento por camadas sem o uso de outras válvulas ou bombas.

### 6.3.2 Descarga do circuito do tanque de regulação

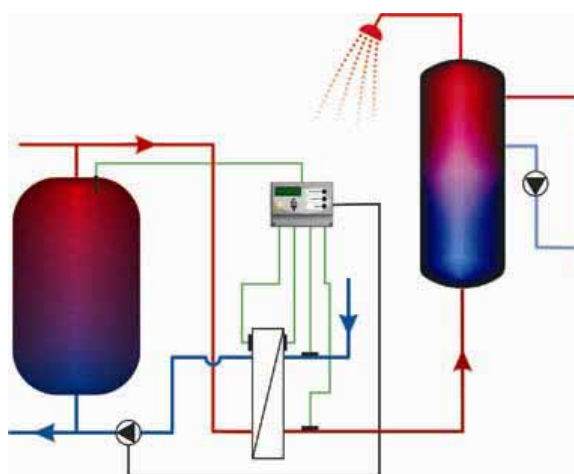
De acordo com a estratégia de descarga, são usados correspondentemente conceitos de controlo, de acordo, ou com o princípio de enchimento do armazenamento, ou com o princípio do fluxo de calor de uma só passagem.

Para evitar a possível formação de calcário na descarga do permutador de calor do sistema de armazenamento e além disso estabelecer uma temperatura máxima para o dimensionamento do permutador de calor, a temperatura à saída da descarga do permutador de calor é limitada, p.e., a 55°C. Isto passa-se, através de um processo de mistura, à entrada da válvula de mistura ou através de um misturador na linha de retorno do permutador de calor. A válvula termostática de mistura é programada para a temperatura de entrada máxima desejada para o permutador de calor. A válvula de três vias ou o misturador de três vias na linha de retorno é controlada por meio de um controlador de valores fixos ou no caso de sistemas mais pequenos, por um termostato com sensor remoto. A exactidão do controlador depende do tempo de funcionamento da válvula/misturador e da velocidade do processamento do sinal no controlador de valor fixo. No caso de sistemas com controladores de descarga para controlar o princípio de fluxo de calor de uma só passagem, que reagem muito rapidamente, é muitas vezes dispensada a restrição de alimentação, uma vez que a sua velocidade de controlo é demasiado baixa, em comparação com a regulação de descarga.

#### 6.3.2.1 Princípio do fluxo de calor de uma só passagem

O objectivo deste princípio é obter o melhor arrefecimento possível do tanque de armazenamento de regulação, durante a descarga ou o aumento de temperatura máximo na água sanitária. Para se atingirem ambos os objectivos, o caudal do circuito de descarga deve corresponder ao caudal (variável) do lado da água sanitária. Isto é feito por actuação cíclica da bomba (ou controlando a velocidade). Na secção seguinte discutir-se-á mais detalhadamente o objectivo do “melhor arrefecimento possível do tanque de armazenamento de regulação” durante a descarga.

O controlador de descarga mede a diferença de temperatura entre o tanque de regulação (mais quente) no topo e a água fria. Se o tanque intermédio estiver 2-5K mais quente do que a entrada da água fria, a bomba para o circuito de descarga deste tanque é accionada a, p.e., 10% do seu caudal nominal. Deste modo, é ultrapassada a inércia do circuito de descarga e é atingida uma temperatura adequada no descarregador do permutador de calor, para uso imediato, nas torneiras de água quente. O controlador monitoriza o caudal do lado da água sanitária. Se se registar um caudal, a bomba de descarga do tanque de regulação é accionada e o caudal da mesma é regulado de acordo com o critério “fluxo de retorno mais frio possível”. Para este objectivo, com a bomba de descarga a trabalhar, a diferença de temperatura é medida entre a temperatura de entrada da água fria e a temperatura de saída do caudal de retorno.



**Figura 6.10 - Descarga do tanque de regulação de acordo com o princípio de fluxo de calor de uma só passagem**

**Fonte: Wagner & Co Solartechnik, GmbH, Cölbe**

Se a bomba de descarga do circuito do tanque intermédio é mantida em ciclos pelo controlador (ou regulada pela velocidade) é mantida uma diferença de temperatura seleccionável, entre a entrada de 5 K da água quente e o caudal de retorno do circuito de descarga do tanque intermédio. O circuito do tanque intermédio pode assim ser descarregado para a temperatura de entrada de água fria mais 5K.

Para esta variável de controlo é necessário usar sensores precisos e de reacção rápida. Além disso, o controlador deve ter uma elevada precisão na obtenção de valores. Os sensores devem ser instalados de acordo com as instruções do fabricante, usando mangas de imersão. Para evitar perdas de pressão ou possíveis fontes de erro, a medição do caudal deve efectuar-se, se possível, no circuito de água sanitária por meio de comparações de temperatura, em vez de medidores de caudal. Devem ser tidas em conta as instruções adicionais do fabricante para posição dos sensores no que diz respeito aos rendimentos.

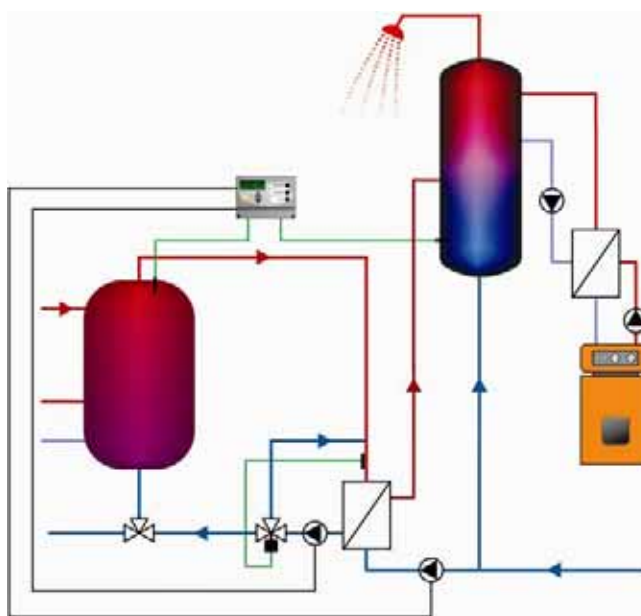
Na prática estes sistemas operam com algumas falhas. Devem ser apenas usados em unidades de descarga que tenham sido pré-configuradas pelo fabricante. Em qualquer caso é necessário muito cuidado ao instalá-los.

### 6.3.2.2 Princípio de enchimento do tanque de armazenamento

O controlador de descarga compara as temperaturas no tanque de regulação (quente) e na área inferior do tanque da água sanitária. Se a temperatura no tanque de regulação é 2-5K mais alta, as bombas arrancam para descarregar este tanque. Se a diferença de temperatura desce abaixo de 1-2K ambas as bombas desligam.

Durante o enchimento, a temperatura no tanque de água sanitária aumenta e dessa forma, também na linha de retorno para o tanque intermédio. Para evitar um aumento tão acentuado nas temperaturas do caudal de retorno para o tanque de regulação, a temperatura na zona mais baixa do tanque de água sanitária é muitas vezes limitada. Para descarregar o tanque de regulação, os controladores de diferença de temperatura devem ser instalados a uma temperatura máxima limite, através do sensor de medição (=sensor do tanque de armazenamento mais baixo). A temperatura máxima pode ser, p.e., estabelecida a 30°C.

Se o tanque de armazenamento de água sanitária arrefecer, devido à retirada de mais água, então o enchimento continua, se existir um nível de temperatura adequada no tanque de regulação.



**Figura 6.11 - Descarga do tanque de regulação usando o princípio de enchimento de armazenamento**

Para evitar o aquecimento indesejável do tanque de regulação mais frio, durante a operação de enchimento, pode ser instalada uma válvula adicional de três vias na linha de retorno do circuito de descarga. Se no sensor de temperatura for medida uma temperatura mais alta do que no tanque de regulação mais frio, então a válvula de três vias liga o fluxo de calor para o tanque de regulação mais quente.



A válvula de três vias não é necessária no caso dos tanques de regulação terem equipamento de enchimento estratificado, uma vez que a linha de descarga de retorno deste tanque é levada respectivamente ao nível de temperatura correspondente, através do equipamento de enchimento estratificado.

## 6.4 Permutadores de calor

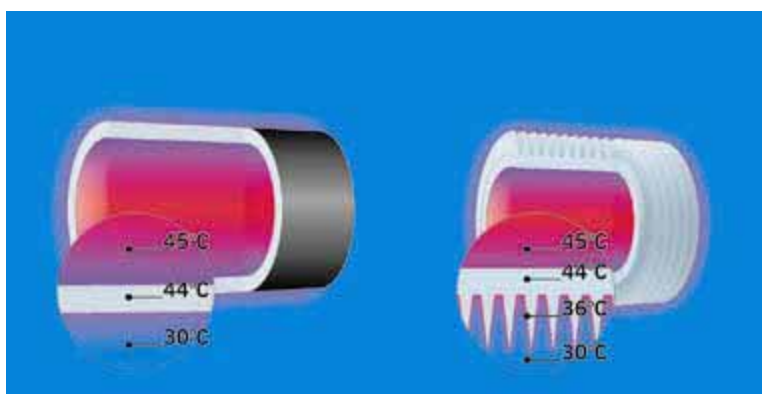
### 6.4.1 Tipos de permutadores

#### Permutadores de calor internos

Os tanques de armazenamento com permutadores de calor internos são geralmente instalados em sistemas solares para habitações de uma ou duas famílias. Estes permutadores de calor internos são em serpentina de tubos com alhetas ou tubos lisos de aço normal ou inox. Para o seu dimensionamento e para uma diferença de 10K na temperatura média logarítmica são válidas as seguintes fórmulas aproximadas:

Permutador de calor de tubo liso:  $0,2 \text{ m}^2$  de superfície por  $\text{m}^2$  do campo colector

Permutador de calor de tubo com alhetas:  $0,3\text{-}0,4 \text{ m}^2$  de superfície por  $\text{m}^2$  do campo colector



**Figura 6.12 - Progressões da temperatura em permutadores de calor com tubo liso e com tubo com alhetas**

No caso de permutadores de calor de tubo liso, a energia é transmitida através da superfície do tubo. Uma vez que as temperaturas da superfície total do tubo e do fluido no interior do tubo são muito aproximadas, a mesma diferença de temperatura entre o fluido no tubo e o meio envolvente está disponível, em toda a superfície. Por outro lado, o valor médio da diferença de temperatura entre a superfície do permutador de calor de tubos com alhetas e o meio envolvente é mais baixa do que a dos permutadores de calor de tubo liso devido à temperatura mais baixa nos terminais das alhetas (ver Fig. 6.12).

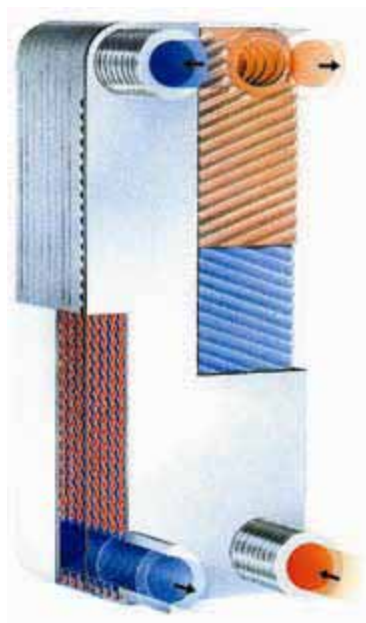
Um metro quadrado de superfície no permutador de calor de tubo liso pode assim transmitir mais energia, do que um metro quadrado de superfície de um permutador de calor de tubo com alhetas. A área de superfície de um permutador de calor de tubo com alhetas aumenta significativamente, de modo a que um permutador de calor deste tipo, embora tenha um funcionamento com transmissão mais baixa por metro quadrado, é mais compacto do que um permutador de calor com tubo liso, com o mesmo funcionamento, ou seja, troca mais calor por unidade de comprimento de permutador

No caso de grandes sistemas de energia solar os permutadores de calor internos, associam-se a um volume significativo, de modo a aumentar a eficiência do campo colector, especialmente se a diferença de temperatura média logarítmica está limitada a 5K. Se forem usados vários tanques de armazenamento então é necessário para cada tanque um permutador de calor com transmissão total, o que conduz a custos mais elevados. Portanto, em grandes sistemas solares são instalados geralmente permutadores de calor externos, para que todos os tanques possam ser cheios apenas com um permutador de calor. Mesmo se uma bomba adicional for necessária para estes sistemas, esta variante é preferível.

## Permutadores de calor exteriores

No caso de permutadores de calor exteriores, estes podem diferenciar-se entre tubulares ou de placas. Os permutadores de calor tubulares feitos de aço inóx são usados principalmente em sistemas de energia solar para aquecimento de água em piscinas.

Para evitar o perigo de corrosão não devem ser usados permutadores de calor com placa soldada para aquecimento das águas das piscinas.



**Figura 6.13 - Corte de seção da placa do permutador de calor**

**Fonte: SWEP, Hildesheim**

No caso de permutadores de calor de placas podem diferenciar-se entre modelos soldados e aparafusados.

Na versão soldada, placas de aço inox comprimidas são soldadas juntas. Na versão aparafusada, as placas de aço inox são ajustadas com vedante e aparafusadas com varas de rosca. Os permutadores de calor de placa soldada podem ser obtidos até tamanhos de funcionamento específicos e com uma área de funcionamento mais pequena. São mais baratos do que as variantes aparafusadas. Para os sistemas de energia solar considerados neste capítulo, escolheram-se os permutadores de calor de placa soldada usando o princípio de contra-corrente.

Os permutadores de calor diferem uns dos outros, com base na geometria da placa, no fluxo de calor de uma só passagem e na construção. Um permutador de calor não pode ser substituído por um outro modelo do mesmo ou doutro fabricante sem se voltar a fazer cálculos de dimensionamento.

## Comparação entre permutadores de calor exteriores e interiores

Vantagens dos permutadores de calor interiores:

- construção simples do sistema com poucos componentes.

Desvantagens dos permutadores de calor interiores:

- com vários tanques, um permutador de calor dimensionado para funcionamento completo do campo colector é necessário para cada tanque, o que conduz a custos elevados;
- sistemas de enchimento estratificados podem apenas ser usados com permutadores de calor especiais.

Vantagens dos permutadores de calor exteriores:

- com vários tanques, custos mais baixos do que para os permutadores de calor internos;
- sistemas de enchimento estratificados são mais simples de implementar.

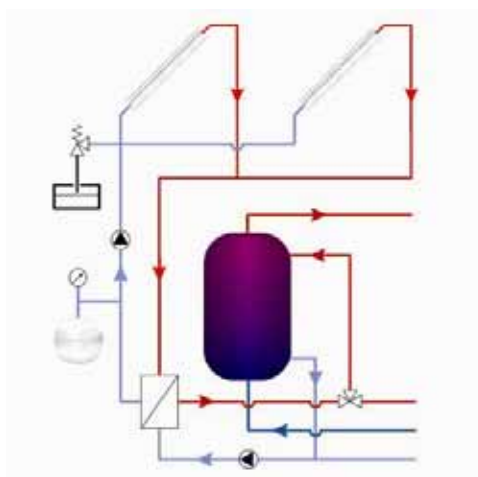
Desvantagens dos permutadores de calor exteriores:

- componentes adicionais, instalação complicada no local;
- se houver uma combinação desfavorável dos caudais de alimentação no lado de enchimento, o efeito de estratificação da temperatura nos tanques, pode ser destruído.

#### 6.4.2 Permutadores de calor do circuito colector

Os permutadores de calor do circuito colector são projectados para um funcionamento máximo de  $600 \text{ W/m}^2$  do campo colector.

O valor  $600 \text{ W/m}^2$  é um valor guia que resulta de valores médios para a energia irradiada do Sol e a eficiência dos colectores. Esta hipótese baseia-se na disponibilidade de radiação de  $1.000 \text{ W/m}^2$  do campo colector e uma eficiência assumida de 0,6.



**Figura 6.14 - Permutador de calor externo do circuito colector**

Através da dinâmica da energia radiada e das condições de operação no circuito colector este valor é obtido raramente. Por outro lado, o valor de  $600 \text{ W/m}^2$  do campo colector pode também ser ligeiramente excedido. Para estes casos o subdimensionamento temporário do permutador de calor e o aumento resultante no nível de temperatura no circuito colector são aceites, para manter os custos do permutador de calor dentro de um limite aceitável.

O aumento de temperatura no circuito colector (entrada/saída do permutador de calor) obtém-se pela seguinte fórmula:

$$\Delta T = \frac{Q_{col}}{m \times c_{G/H_2O}}$$

Onde  $Q_{col}$  = Desempenho do colector (W),  $m$  = caudal (kg/h) e  $c_{G/H_2O}$  = calor específico do fluido solar (Wh/kgK)

Os sistemas colectores têm temperaturas diferentes em diferentes alturas do dia, dependendo da radiação solar e das condições de enchimento do tanque de armazenamento. Para dimensionar o permutador de calor é usada a temperatura à saída do enchimento do tanque de armazenamento. À saída do permutador de calor (linha de retorno do circuito colector) é usada uma temperatura de  $22^\circ\text{C}$ , para sistemas com tanques de armazenamento de regulação e é usada uma temperatura de  $17^\circ\text{C}$ , para sistemas com tanques de água sanitária.

A temperatura de 12°C para tanques de água sanitária corresponde a uma temperatura assumida de entrada de água fria. Um circuito com tanque de regulação, que está ligado entre o circuito colector e o sistema de água sanitária, tem um valor de temperatura acima dos 12°C, por causa da diferença de temperatura necessária para o permutador de calor. A uma temperatura de água fria de 12°C atingem-se assim 17°C no circuito do tanque de regulação e 22°C no circuito colector, devido à transferência de calor adicional necessária.

De notar que devido aos diferentes projectos dos permutadores de calor, cada fabricante atinge valores diferentes para permutadores de calor de placas, com as mesmas superfícies de troca. Portanto, os permutadores de calor usados devem ser calculados com o programa do respectivo fornecedor.

#### 6.4.3 Permutadores de calor do circuito de descarga do tanque de regulação

Para sistemas, que além do permutador de calor do circuito colector, requerem um permutador de calor adicional para transferir o calor para o circuito de água sanitária, são necessárias as seguintes considerações:

- para evitar a formação de calcário, deve seleccionar-se uma temperatura de entrada constante, antes da entrada para o permutador de calor, através de uma válvula de mistura de três vias controlada termostaticamente. Deve estar entre 55°C e 60°C e com aquecimento auxiliar no tanque intermédio de 65°C a 70°C;
- ao seleccionar o permutador de calor, é necessário considerar a possibilidade de limpeza de manutenção, tendo em conta, particularmente, o conteúdo de calcário da água. Considerando as melhores possibilidades de limpeza e evitando o aparecimento de fissuras nas soldaduras do permutador de calor por corrosão, recomendam-se permutadores de calor com parafuso de ajuste. Estes podem ser reactivados, através de desmontagem e limpeza, se os processos normais de lavagem/limpeza forem ineficazes. Contudo e tendo em conta o seu elevado preço, quando este tipo de permutadores apresenta eficiências baixas, é preferível a utilização de permutadores de calor soldados.

##### 6.4.3.1 **Princípio de enchimento de armazenamento com aquecimento auxiliar na zona de reserva**

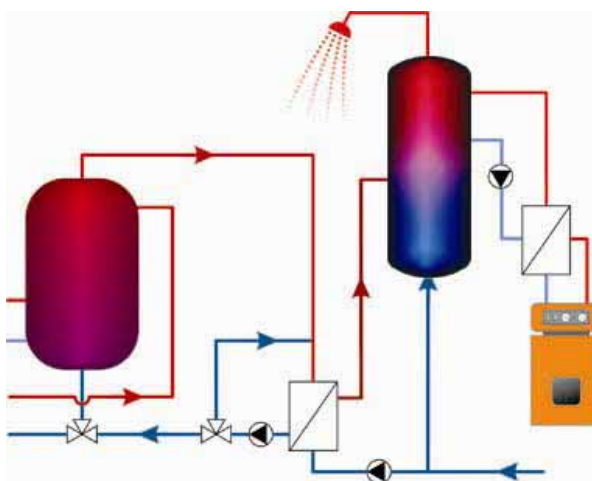
Os seguintes pares de temperaturas podem ser usados para o dimensionamento inicial do permutador de calor do circuito de descarga do tanque de regulação:

circuito do tanque de regulação:  $T_{entrada} = 55^{\circ}\text{C}$  e  $T_{saída} = 17^{\circ}\text{C}$ .

circuito da água sanitária :  $T_{entrada} = 12^{\circ}\text{C}$  e  $T_{saída} = 45^{\circ}\text{C}$ .

No caso de alguns fabricantes, ou em certos locais especiais, onde as temperaturas da água fria são baixas durante todo o ano, temperaturas de 8-10°C são dadas como valores de entrada para o lado da água sanitária. Estes valores de temperatura devem ser adaptados correspondentemente, em cálculos posteriores.

Devido a um grande aumento de temperatura no circuito de descarga do tanque de armazenamento de regulação, consegue-se um arrefecimento o mais elevado possível deste tanque – mesmo com condições de carga a níveis de temperatura elevados. Estes aumentos de temperatura são estabelecidos com base na experiência prática, na qual a temperatura de entrada da água sanitária é pré-seleccionada na tubagem de água doméstica. Os caudais para o cálculo do permutador de calor são obtidos da energia térmica a ser transferida. A energia transferida deste sistema de enchimento do tanque de armazenamento é dimensionada, dependendo do perfil do consumo de água ou em relação à eficiência do campo colector.



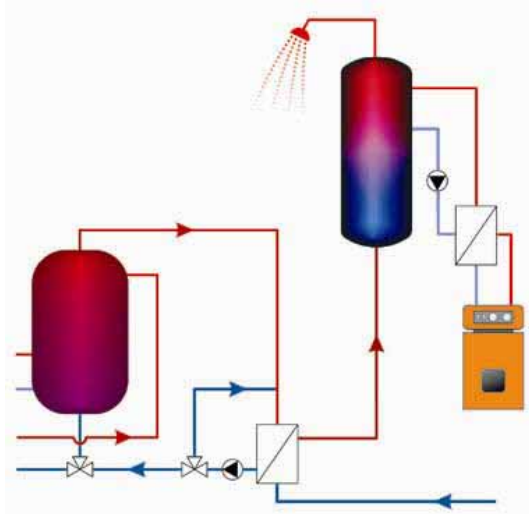
**Figura 6.15 - Permutador de calor, usando o princípio de enchimento de armazenamento**

Do mesmo modo que para os tanques de armazenamento em habitações de uma ou duas famílias, o tanque de água sanitária – no caso em que o tanque de armazenamento é carregado através do circuito do tanque de regulação – deve ser, se possível, carregado na área mais baixa, o que significa que tem uma área de armazenamento solar. Para além da desinfecção térmica regular, pela caldeira de água quente, este tanque é apenas carregado pelo aquecimento solar no circuito de regulação. O aquecimento auxiliar pela caldeira de água quente é apenas levado a cabo para a secção de reserva superior do tanque de água sanitária.

O perfil diário do consumo de água quente contém muitos picos pequenos, isto é, quantidades consideráveis de água que são retiradas numa sequência variável em termos de tempo. Depois de um pico de consumo, o circuito do tanque de regulação deve transferir o seu calor, tão rápido quanto possível, para a secção de reserva do tanque de água sanitária, de modo a enchê-lo imediatamente. Deste modo, a temperatura no circuito do tanque de regulação é simultânea e rapidamente reduzida e o sistema solar pode encher este tanque com um nível de temperatura baixo. Neste caso, a actuação do permutador de calor é estabelecida como 100% da actuação máxima do campo colector.

#### 6.4.3.2 Princípio do fluxo de calor de uma só passagem

Com o princípio do fluxo de calor de uma só passagem, o permutador de calor é igualado ao pico de consumo máximo de água sanitária, para ser capaz de descarregar o circuito do tanque de enchimento, no momento do consumo mais elevado. Esta é uma condição prévia essencial, uma vez que de outro modo, o calor no tanque de regulação não é transferido eficientemente nos picos e o tanque pode ser descarregado de forma insuficiente. Se apenas uma parte de todo o consumo é retirado nos tempos de pico, o permutador de calor pode ser projectado, p.e., para 50% do pico de retirada, calculado ou medido.



**Figura 6.16 - Permutador de calor, usando o princípio do fluxo de calor de uma só passagem**

Na prática, os sistemas são projectados para se conseguir uma temperatura de saída ajustável no lado da água sanitária (apenas para sistemas com elevada fracção solar ou aquecimento auxiliar no tanque de armazenamento de regulação) ou para a temperatura de retorno mais baixa possível, no circuito do tanque de regulação.

Os pares de temperatura seguintes são usados para o projecto:

circuito do tanque de regulação:  $T_{entrada} = 55^{\circ}\text{C}$  e  $T_{saída} = 17^{\circ}\text{C}$ .

circuito da água sanitária:  $T_{entrada} = 12^{\circ}\text{C}$  e  $T_{saída} = 45^{\circ}\text{C}$ .

Como base para calcular o rendimento máximo requerido, os picos de retirada mais elevados devem ser estabelecidos, p.e., com a ajuda de um modelo de simultaneidade. O rendimento é calculado a partir da quantidade de caudal no pico de retirada e das temperaturas desejadas de entrada e saída. O cálculo do pico de rendimento (em kW) é dado por:

$$Q = m \times c_{H_2O} \times \Delta T$$

Onde  $m$  provém do cálculo de simultaneidade para o pico de retirada,  $c_{H_2O} = 1,16 \text{ Wh/kgK}$  e  $\Delta T = 45^{\circ}\text{C} - 12^{\circ}\text{C} = 33 \text{ K}$ .

Nesta variante de fluxo de calor de uma só passagem, é essencial ter em conta o aumento da perda de pressão (através do permutador de calor) no sistema de água sanitária. Na altura dos picos de retirada podem ocorrer problemas de fornecimento (na forma de variação de pressão e temperatura).

Contudo nem todos os permutadores de calor projectados para estes picos funcionam satisfatoriamente na área parcial de carga. O facto de não haver virtualmente perdas de pressão no permutador de calor, o cálculo mostra claramente uma transferência de calor que é demasiado baixa na área de carga para o exemplo calculado. Isto deve-se ao baixo valor para  $K$  do permutador de calor, causado pelo fluxo laminar neste campo de actuação. Durante o projecto e instalação o permutador de calor seleccionado deve ser calculado novamente, em diálogo com o fabricante. Este problema pode ser evitado ou contornado, projectando o permutador de calor, p.e., para um máximo de 50% da quantidade do pico de retirada.

#### 6.4.3.3 Comparação entre princípio do fluxo de calor de uma só passagem e os conceitos de enchimento do tanque de armazenamento

As maiores vantagens do princípio de fluxo de calor de uma só passagem são (teoricamente), uma temperatura baixa de retorno ao tanque de regulação e integração simples no sistema existente. A vantagem de uma temperatura baixa de fluxo de calor de retorno pode contudo, conforme foi descrito, ser apenas atingida na prática, com o dimensionamento correcto do permutador de calor e com a instalação exacta do sistema de controlo. No caso de sistemas solares, com grandes volumes do tanque intermédio e dimensões da canalização, a inércia do sistema deve ser considerada em relação ao controlo do princípio de fluxo de calor de uma só passagem. Considerando os problemas que ainda existem, recomenda-se um cuidado extremo na utilização deste princípio.

O princípio de enchimento do armazenamento pode também ser usado quando rendimentos muito altos têm de ser transferidos, com permutadores de calor baratos e sem quaisquer efeitos na rede de água sanitária (sem variações de temperatura). Com um controlador adequado, a sua função é a mesma que a do princípio de fluxo de calor de uma só passagem, ou seja, se este for implementado, o sistema comporta-se no seu funcionamento como um enchimento de armazenamento combinado com princípio de fluxo de calor de uma só passagem. Se a quantidade de água quente retirada for baixa, todo o caudal sanitária é conduzido através do permutador de calor. Senão, a água quente é retirada e o sistema opera de acordo com o princípio de enchimento de armazenamento, usando uma bomba de enchimento de armazenamento. Se forem retiradas grandes quantidades de água quente, a água fria é conduzida através do permutador de calor de acordo com o caudal da bomba de enchimento. O resto corre para o tanque de armazenamento e pode mais tarde ser aquecido pela energia solar.

## 6.5 Tecnologia de segurança

### 6.5.1 Campo colector

Se o sistema colector for visto como um sistema de caldeira a vapor até 50 litros de volume, então, um campo colector maior deve estar dividido em campos parciais com 50 litros em cada. Os campos colectores individuais devem estar fornecidos com dispositivos de fecho, que devem estar protegidos contra encerramentos involuntários e válvulas de segurança. A respectiva válvula de segurança deve permanecer aberta, em relação ao ramal do colector. As válvulas de segurança na secção do campo/ramal do colector devem estar dimensionadas para temperaturas até 225°C e ter uma descarga comum para um tanque de recolha no edifício. As linhas de descarga devem ser feitas de cobre (à prova de corrosão). A sua secção de saída e a secção das válvulas de segurança devem respeitar os requisitos das normas. As linhas de descarga das válvulas de segurança devem ser à prova de vapor e descarga, sem perigo para o pessoal. As dimensões para as válvulas de segurança podem ser encontradas na tabela 6.4.

Se o sistema de energia solar não está projectado como um sistema de caldeira a vapor, é ainda necessário testar a capacidade de fecho e, em conformidade, assegurar as partes individuais do campo colector, de modo a poder efectuar a manutenção necessária aos colectores sem muitos encargos.

Se o trajecto do telhado para a válvula de segurança principal for longo, a descarga das válvulas de segurança no campo colector devem estar em contentores individuais próximos do campo, para poupar dinheiro. Estes contentores devem ser resistentes à temperatura e às intempéries, pelo que não deve ser usado aço galvanizado, de modo a evitar reacções com o fluido de transferência térmica.

### **Evaporação no campo colector**

Com as elevadas temperaturas provocadas pela estagnação dos colectores, a ebulição do fluido de transferência de calor não pode ser regulada simplesmente através de pressões acima de 10 bar. A formação de vapor é assim possível no campo colector a 6 bar. Se o sistema solar está projectado com um elevado grau de cobertura solar, podem esperar-se períodos longos e frequentes de estagnação.

Se tais sistemas são operados a alta pressão, então a ebulição no colector não pode ser evitada de forma segura, contudo – devido à pressão – efectua-se a uma temperatura mais alta.

Assim, todo o volume dos colectores fica sujeito a uma carga térmica elevada. As misturas convencionais de glicol podem ser sujeitas a um envelhecimento acelerado por causa deste efeito, portanto os sistemas, em que se esperam longos períodos de pausas, devem ser colocados a uma pressão máxima de, p.e., 4 bar ou deve ser seleccionado um fluido de transferência de calor com uma resistência térmica elevada, no caso de instalações utilizando tubos colectores planos de vácuo e parabólicos compostos.

Abaixo das condições de pressão e temperatura descritas no quadro de pressão de vapor para o fluido de transferência de calor, não se formará nenhuma fase de vapor. Uma mistura de glicol/água de 40:60 de volume, vaporizará acima de uma temperatura de cerca de 170°C à pressão de, p.e., 8 bar no circuito colector. Abaixo desta temperatura ou com uma pressão mais alta, o fluido de transferência de calor permanecerá no estado líquido.

Os colectores são projectados para a evaporação e a condensação resultante do fluido de transferência de calor. Isto afecta todo o conteúdo do colector, bem como uma parte das linhas de ligação, por causa da progressão da temperatura no colector e no circuito colector. A evaporação pode também afectar todo o circuito colector (particularmente com linhas curtas, p.e., em sistemas de aquecimento central no telhado), dependendo do tipo de colector. Este volume de vapor deve ter-se em conta quando se calcula os reservatórios de expansão. É essencial ter em conta os perigos da fuga de vapor, durante a instalação de purgadores automáticos ou válvulas de segurança, nas zonas de formação de vapor. As aberturas de saída nas válvulas de segurança, nas zonas potenciais de formação de vapor, devem ser ajustadas para que não haja perigo para o pessoal.

### 6.5.2 Circuito do colector

As válvulas de segurança (principais) devem ser dimensionadas de acordo com as normas, nas quais o diâmetro nominal corresponde a um mínimo com os seguintes valores:

**Tabela 6.4 - Válvulas de segurança (diâmetro de entrada) para campos colectores**

Tamanho da válvula (diâmetro de entrada)	Área de superfície do colector (m <sup>2</sup> )
15	50
20	100
25	200
32	350
40	600

As válvulas de segurança devem estar preparadas para as temperaturas máximas do ramal do colector e/ou do campo colector e devem poder descarregar o calor máximo do campo colector, em forma de vapor. Em sistemas inerentemente seguros (nos quais, até na estagnação do sistema, o reservatório de expansão é capaz de receber o aumento, em volume, do conteúdo do sistema e o correspondente volume, em vapor, no campo colector) a descarga é também permitida no estado líquido, na válvula de segurança principal. Esta deve estar dimensionada para temperaturas até 120°C. A pressão de reacção da válvula de segurança deve corresponder ao máximo excesso de pressão de funcionamento permitido para o colector. A pressão de fecho da válvula deve estar a um mínimo de 90% da pressão de reacção.

A pressão de reacção da válvula de segurança principal no circuito colector deve ser projectada, de modo a que fique significativamente abaixo da pressão de reacção das válvulas de segurança do campo (1 bar). Isto assegura uma monitorização melhor do funcionamento do sistema (o excesso médio escapa primeiro para o espaço de ligação). No caso de sistemas com uma altura de carga de água de mais do que 10 metros, no local de instalação da válvula de segurança principal, podem ter a mesma pressão de reacção que as válvulas no campo colector. Devido a uma pressão do sistema mais elevada, no local da instalação (pressão do campo + pressão estática), a válvula de segurança principal será a primeira a abrir, no caso de haver um aumento de pressão.

A linha de descarga deve ser instalada, para que, no caso de haver um escape de vapor, não haja risco para o pessoal. Esta linha conduz a um tanque de recolha para receber a mistura glicol/água. As linhas de descarga das válvulas de segurança no campo colector devem terminar neste tanque. Este deve ser resistente à temperatura e deve conseguir conter, pelo menos, o volume líquido (= conteúdo do colector + linhas de ligação) deslocado pelo vapor no campo colector. Se possível, uma capacidade para conter todo o conteúdo do sistema para enchimento e trabalho de reparação. Para encher novamente a instalação, deve existir uma bomba que opere manualmente.

#### Exemplo:

Um sistema de energia solar com 100 m<sup>2</sup> de campo colector tem um conteúdo colector de 60 l (incluindo as linhas de ligação). De acordo com um projecto para um sistema de caldeira a vapor até 50 l de volume, o campo colector está dividido em dois campos de 30 l. São usadas duas válvulas de segurança (225°C) macho esférico para fechar e uma válvula de segurança principal (120°C). A altura estática do sistema é 10 m, de modo que todas as válvulas de segurança podem ser projectadas para uma pressão de reacção de 6 bar (as válvulas de segurança no campo colector abrirão mais tarde, por causa da elevada pressão na válvula de segurança principal).

As altas temperaturas ocorrem durante as pausas do sistema, i.e., quando acontece uma falha ou uma paragem voluntária da bomba no circuito colector. Se o sistema reinicia, depois de tal paragem a altas temperaturas, podem surgir temperaturas até 130°C no circuito colector.

De modo a operar o sistema em segurança até mesmo a altas temperaturas, é geralmente permitida uma pressão máxima de 6 bar no circuito colector e para sistemas com altas pressões estáticas de 10 bar. A pressão de operação é usualmente de 0,5 a 0,8 bar, acima da pressão estática do sistema, para evitar em segurança a penetração do ar. No âmbito do planeamento individual uma pressão de operação de 4 bar foi seleccionada para evitar evaporação no circuito colector durante a operação completa do sistema.

#### 6.5.3 Circuito do tanque de regulação

Os tanques de armazenamento de regulação podem classificar-se em reservatórios de pressão de acordo com as seguintes especificações:



- contentores, nos quais a pressão é aplicada apenas por líquidos, cuja temperatura não exceda a temperatura de ebulição à pressão atmosférica (i.e., 100°C para a água), pertencem ao grupo dos Reservatórios de pressão com um excesso de pressão de operação permitida  $p_{max}$  menor do que 500 bar ( $p_{max} < 500$  bar). Os tanques de armazenamento deste grupo podem ser instalados sem a aprovação de um perito ou técnico competente. O teste de confirmação e marcação adequada do contentor são suficientes;
- se as temperaturas máximas no tanque de armazenamento de regulação são  $> 100^\circ\text{C}$  à pressão atmosférica, é classificado como: Reservatório de pressão com um excesso de pressão de operação permitida  $p$  não mais do que 1 bar e um produto da pressão permitida do conteúdo  $p_{max} \times$  conteúdo em litros menor do que 200. Estes contentores devem estar sujeitos a testes repetidos. Estes testes devem ser levados a cabo por um técnico competente (não necessariamente por um perito).

Em geral, recomenda-se que os contentores estejam limitados a temperaturas de operação abaixo de 100°C e projectados de acordo com o grupo de Reservatórios de pressão, com um excesso de pressão de operação permitida  $p_{max}$  não mais do que 500 bar, de modo a evitar o custo dos testes.

Nos tanques de armazenamento de regulação, as temperaturas devem ser restritas para permitir a temperatura máxima do grupo de reservatório de pressão seleccionado. Isto pode ser feito seleccionando a temperatura máxima do tanque de armazenamento no controlador solar, por meio de um limitador de temperatura de segurança adicional. Este equipamento deve ser especificado, no caso de aquecimento indirecto, para temperaturas no fluido térmico  $> 110^\circ\text{C}$ . Nesta questão, devem ser contudo consideradas as temperaturas acima dos 110°C no fluido térmico que apenas ocorrem muito ligeiramente no circuito colector. No caso de certos fabricantes, o uso de dispositivos de segurança, limitadores de temperatura na ligação com os tanques de armazenamento solar, é apenas necessário a partir de uma certa área de superfície do colector por litro de conteúdo do tanque.

Se um dispositivo de segurança limitador de temperatura for accionado, por se ter excedido ligeiramente a temperatura de resposta, o aquecimento suplementar do tanque de armazenamento pára, uma vez que a bomba fica permanentemente desligada. Neste caso, o sistema pode apenas ser reiniciado manualmente. Para evitar paragens não detectadas, é essencial para um dispositivo de segurança limitador de temperatura, estar ligado a um sinal de alarme de falha.

Quando as normas para sistemas de aquecimento convencional, não puderem ser totalmente aplicadas a sistemas solares, deve ser solicitado ao fornecedor de componentes um comentário escrito em caso de incertezas.

O tanque de armazenamento deve ser equipado com uma válvula de segurança correspondente, que é adequada ao tamanho do tanque e das saídas térmicas do campo colector. As válvulas de segurança devem exibir os seguintes tamanhos mínimos.

**Tabela 6.5 - Válvulas de segurança para tanques de armazenamento de regulação**

Conteúdo nominal de volume de água (l)	Capacidade máxima de aquecimento (kW)	Capacidade máxima correspondente ao tamanho do campo colector (m <sup>2</sup> )*	Diâmetro de ligação da Válvula de Segurança, min
até 200	75	125	DN 15
200-1000	150	250	DN 20
1000-5000	250	417	DN 25
acima de 5000			1 ¼"

\* capacidade máxima do colector de 600 W/m<sup>2</sup>

#### 6.5.4 Vaso de expansão

Se o tanque de armazenamento de regulação estiver integrado num sistema fechado, é necessária a instalação de um reservatório de expansão. Os programas de cálculo que sigam as imposições normativas podem ser usados para o dimensionamento.

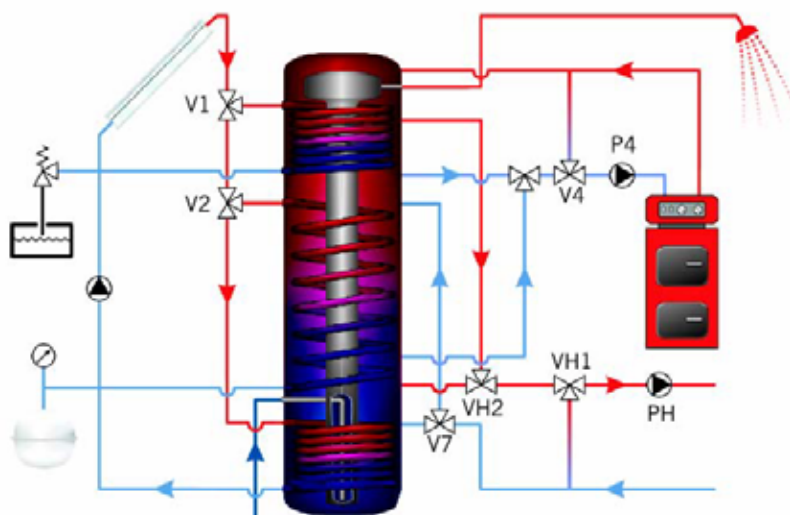
**Exemplo:**

O reservatório de expansão é calculado para um tanque de armazenamento de regulação com uma capacidade de 8.000 l, com uma temperatura de enchimento de 10°C e uma temperatura máxima de 90°C. A pressão de reacção da válvula de segurança é 2,5 bar, a pressão de enchimento do tanque 0,2 bar. A informação da pressão representa um excesso de pressão contra a pressão atmosférica. Como resultado do cálculo, é obtido um volume mínimo de 543 l. De acordo com a informação do fabricante são seleccionados dois reservatórios de expansão com um volume de 280 l para reduzir custos.

À temperatura máxima de 90°C no tanque de regulação deve assegurar-se através de uma tubagem de arrefecimento ou um reservatório auxiliar, que uma temperatura máxima de 70°C não seja permanentemente excedida na membrana do reservatório de expansão.

### 6.5.5 Ligações na linha de água sanitária

As válvulas de segurança no tanque de armazenamento de água quente são dimensionadas conforme o descrito na tabela para o tanque de regulação. A válvula de segurança é instalada na alimentação de água fria e não pode ser fechada em relação ao tanque de água doméstica. Para evitar que a válvula de segurança responda à expansão do aquecimento da água, a instalação de um reservatório de expansão é também recomendada para o tanque de água doméstica.



**Figura 6.17 - Aparelhos de segurança para aquecimento de água sanitária**

## 6.6 Contractualização solar

Uma alternativa económica para a operação individual de um sistema de aquecimento é a contractualização. Ao contratar uma companhia de fornecimento de energia, também chamada de fornecedor, esta fornece na globalidade o edifício com aquecimento ambiente e água quente. Os sistemas solares térmicos são ideais para incluir nas disposições do contrato, onde o financiamento por terceiros estabelece, financia e opera o sistema convencional de aquecimento de água quente e o sistema térmico solar.

O calor gerado bivalentemente é vendido ao consumidor, o qual poderá ser a empresa imobiliária ou o proprietário directo. O empreiteiro está, assim, interessado na melhor operação possível do sistema global, incluindo o sistema solar térmico. A operação óptima do sistema solar térmico é reduzida aos seus custos correntes de operação. O risco de investimento e operação é transferido para o empreiteiro. A sociedade melhora o potencial de rentabilização no mercado actual, através da prática de protecção ambiental e do uso de tecnologia inovadora.

O fornecimento de aquecimento solar, através da contractualização solar contribui para uma melhor penetração no mercado dos grandes sistemas solares térmicos, em edifícios de vários andares, com apartamentos para aluguer. Através da sua competência especializada, o empreiteiro (fornecedor de calor)

ajuda a ultrapassar a relutância existente, como falta de conhecimento ou falta de confiança na funcionalidade dos sistemas solares térmicos.

Os custos adicionais para os sistemas solares térmicos, que resultam das condições limite correntes, poderão ser reduzidos, pelo uso de grandes sistemas normalizados e grandes quantidades de contratos.

O proprietário do edifício pode, independentemente, instalar sistemas convencionais de geração de calor, bem como sistemas solares térmicos suplementares, por sua própria conta e risco. Regra geral, porém, as soluções de contractualização são mais vantajosas economicamente, do ponto de vista do cliente.

Na tabela seguinte apresenta-se um exemplo de cálculo de contratação solar para a situação actual do mercado em Hamburgo (bruto).

**Tabela 6.6 - Comparação de custo – Caldeira de aquecimento auto-operada a gás natural, aquecimento por áreas, contratação convencional**

Posição	Unidade	Caldeira de aquecimento auto-operada a gás natural	Aquecimento municipal (carvão/gás)	Contratação convencional	Contratação solar
Sistemas centrais de aquecimento	€	57.520		53.686	53.686
Sistemas solares térmicos	€				51.129
Planeamento	€	6.902		6.442	10.481
Programa solar de Hamburgo	€				15.339
Concessão	€				12.782
Custos de capital	€/a	7.527		7.025	10.184
Combustível/custos de aquecimento por área	€/a	18.410	28.379	16.748	14.878
Operação, manutenção	€/a	1.519	623	1.626	2.124
Preço do calor	€/MWh	68,5	72,6	63,4	68
Custos de distribuição	€/m²/mês	0,45	0,48	0,42	0,45

A Tabela 6.6 compara os custos de distribuição para o aquecimento auto-operado de edifícios pelo seu proprietário, com os custos de distribuição, no caso de uma ligação de aquecimento por áreas, um contrato convencional e um contrato solar. O cálculo é baseado num projecto novo de um edifício em Hamburgo, com dois blocos de andares com apartamentos, num total de 70 unidades de habitação, com um total de 5.000 m² de área habitável, usando um método de construção de baixa energia. A carga térmica instalada é de 250 kW, já o total de calor necessário para o aquecimento de uma assoalhada e para água quente é de 400 MWh.

O gerador convencional de calor consiste numa caldeira a gás natural. O preço do gás corresponde a uma tarifa especial e o preço do aquecimento municipal corresponde a uma tarifa padronizada. Foram tidas em conta as vantagens existentes na compra, pela parte do empreiteiro, relativamente à tecnologia do sistema e à energia primária. O sistema solar térmico tem uma área de superfície de absorção de 100 m², com um rendimento total de 45.000 kWh/a.

A solução de contractualização solar chega a ter uma semelhança aproximada de preços com os custos de distribuição de 0,45 €/m² por mês, contra a geração auto-operada de calor. Em oposição à solução contratual convencional, a solução contratual solar deverá competir com os custos mensais adicionais de distribuição de 3 cent. €/m². Em comparação com a solução de aquecimento municipal, todas as outras soluções investigadas proporcionam vantagens de preços. Isto mostra que uma solução contratual solar se encontre entre a série de custos normais de distribuição de aquecimento para fornecimento de calor. Os custos de aquecimento para edifícios, por exemplo em Hamburgo, mudam rapidamente entre 0,51 e 1,31 €/m² por mês. Além disto, a instalação do sistema solar térmico aumenta a atractividade e a rentabilidade do apartamento.

A relação de custo entre um gerador auto-operado de calor convencional e a contractualização solar depende dos preços do combustível e dos custos de investimento para o sistema solar térmico.

A solução contratual solar mostra uma menor dependência do aumento do preço do gás natural do que a solução contratual convencional, pela parte solar gerada. Ambas as soluções contratuais têm mais vantagens de custo do que a geração auto-operada de calor.

Os custos de investimento dos sistemas solares térmicos dependem fortemente do tamanho do sistema. Os colectores com uma grande área de superfície podem ser fabricados e instalados mais economicamente. Os sistemas com superfícies de colectores de 30 m<sup>2</sup> e mais, são adequados para a contractualização solar.

A pré-condição para implementar com sucesso projectos de contractualização solar é a conformidade do edifício e, claro, o interesse do seu proprietário na contratação de terceiros para geração de calor. O sistema solar térmico deverá ser incorporado no planeamento. No caso do edifício, devem ser tidos em conta a inclinação do telhado (resistência estrutural, requisitos de reparação, alinhamento, inclinação e sombra) e o trabalho de incorporação da parte hidráulica (tubagem do circuito solar, espaço disponível para o tanque de regulação).

Regra geral, a companhia contratante oferece um contrato padronizado de fornecimento de calor, no qual se controla rigorosamente o preço do calor, o preço do serviço de adaptação, manutenção e reparação, os métodos de cálculo, a fiabilidade e seguro das instalações de produção de energia durante o período do contrato.

Se as pré-condições acima mencionadas forem cumpridas, os contratos solares oferecem ao proprietário privado do edifício ou à cooperativa um fornecimento de calor solar calculável com poucos custos ou nenhum (dependendo da situação de subsídio local), sem acarretar grandes riscos. Daqui decorre não só uma vantagem para ambos os parceiros de contrato, mas também uma vantagem para o ambiente.

## 6.7 Serviço de Venda de Água Quente

Apresenta-se aqui o sistema de Serviço de Venda de Água Quente como sistema de fornecimento local de calor para aquecimento e água quente de imóveis ou complexos de edifícios, como hospitais.

No caso dos sistemas de aquecimento solar municipal, o calor é introduzido numa rede local de aquecimento a partir de um ou de vários campos colectores e, daí será distribuído para os lares ligados a esta rede. Um tanque de armazenamento, de curto ou de longo-prazo dependo da situação, é acoplado na rede distribuidora de calor.

O conceito de sistemas de aquecimento solar municipal deve ser tido em consideração, principalmente, com a construção de novos imóveis ou grandes complexos de edifícios, que forem concebidos como edifícios que gastam pouca energia, e encarado como uma variante de fornecimento “amiga do ambiente”. Nestes projectos, é importante que, desde o início, sejam criadas as melhores pré-condições técnicas possíveis para o uso da energia solar, por meio de um planeamento integrado da energia. Estas incluem:

- um plano de desenvolvimento com a orientação dos edifícios que são favoráveis à utilização activa ou passiva da energia solar (alinhamento ao sul);
- imóveis/edifícios planeados de acordo com critérios arquitectónicos solares;
- aumento da protecção térmica nos edifícios (método de edifícios com baixo consumo de energia);
- sistemas de aquecimento a baixa temperatura, que permitem uma baixa temperatura de retorno da rede e um maior rendimento solar;
- centrais de aquecimento e tanques de armazenamento colocados centralmente para minimizar as perdas na distribuição;
- espaço suficiente para o tanque de armazenamento de calor.

Os sistemas de aquecimento solar municipal representam um conceito pouco dispendioso e sensível ao ambiente para a utilização da energia térmica solar, e pode ser instalado caso as condições técnicas sejam favoráveis.



**Figura 6.18 - Este sistema com uma área de superfície do colector de 3,000 m<sup>2</sup>, em Ry, na Dinamarca, fornece os imóveis ao fundo através de uma rede de aquecimento municipal**

#### 6.7.1 Sistemas de energia solar com armazenamento de calor a curto-prazo

No caso dos sistemas de aquecimento solar municipal com armazenamento a curto-prazo, é integrado na rede um tanque de armazenamento de regulação, com diversos metros cúbicos de capacidade. O projecto destes sistemas é feito com base na fracção solar de 80 – 100% da necessidade de aquecimento de água nos meses de Verão. Isto dá um grau de fracção solar de 40 a 50% da necessidade anual de água, i.e. cerca de 20% da necessidade total, para aquecimento de espaços e produção de água quente.

Em comparação com sistemas locais pequenos em edifícios individuais, os grandes sistemas de energia solar, que fornecem calor para uma distribuição central de calor, podem ser instalados por menos de metade dos custos de investimento:

#### 6.7.2 Sistemas solares com armazenamento de calor a longo-prazo

Um sistema solar de aquecimento local, com armazenamento a longo-prazo, pode fornecer imóveis com mais de 100 apartamentos, com água quente e aquecimento dos espaços. A decalagem de tempo entre a radiação solar disponível no Verão e o máximo de aquecimento necessário no Inverno é compensada pelo sistema de armazenamento térmico sazonal. Os sistemas de aquecimento solar municipais com armazenamento térmico a longo-prazo ainda se encontram numa fase de desenvolvimento.

#### 6.7.3 Valores orientadores para o projecto de sistemas de aquecimento solar municipal

O projecto de sistemas de aquecimento solar municipal deve ser levado a cabo através de cálculos detalhados, tendo em conta o tamanho do imóvel, padrões de isolamento térmico e o grau de fracção solar a ser atingido.

A seguinte tabela apresenta os valores orientadores para o dimensionamento aproximado de um sistema de aquecimento solar deste tipo.

**Tabela 6.7 - Valores orientadores para o dimensionamento aproximado de um sistema de aquecimento solar municipal**

Tipo de sistema	Aquecimento solar municipal com armazenamento térmico a curto-prazo	Aquecimento solar municipal com armazenamento térmico a longo-prazo
Tamanho mínimo do sistema	De 30-40 habitações ou desde 60 pessoas	De 100-150 habitações (com 70 m <sup>2</sup> de área habitável cada)
Área de superfície do colector	1-1,3 m <sup>2</sup> /pessoa	1,4 – 2,4 m <sup>2</sup> /MWh/a 0,14 – 0,2 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> área habitável
Volume do tanque de armazenamento	70-100 litros/m <sup>2</sup> superfície do colector	1,5 - 4 m <sup>3</sup> /MWh/a 1,4 – 2,1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> área do colector
Energia solar útil	350-500 kWh/m <sup>2</sup> /a	230-350 kWh/m <sup>2</sup> /a
Grau de fracção solar	Total 10-20%	Total 40-70%

#### 6.7.4 Componentes dos sistemas de aquecimento solar municipal

##### 6.7.4.1 Tanques de armazenamento

Como tanques de armazenamento a curto-prazo, são usados tanques de regulação em aço, em tamanhos normalizados (até 6 m<sup>3</sup>), nos quais o volume total desejado pode ser atingido pela ligação de vários tanques individuais sucessivos, ou então são elaborados projectos especiais à medida. São usados princípios diferentes na selecção de sistemas de armazenamento de calor a longo-prazo.

##### Reservatórios subterrâneos

Este sistema de armazenamento é projectado como um contentor de betão, que está parcial ou completamente enterrado no solo. Ele é feito à prova de difusão de vapor e isolado termicamente. O meio de armazenamento é a água.

Exemplos práticos:

- Hamburg-Bramfeld: Estrutura do tanque com tomadas de água, isolamento térmico na área da parede com 20 cm, na área de cobertura com 30 cm, volume: 4.500 m<sup>3</sup>.
- Friedrichshafen-Wiggenhausen: Estrutura em betão auto-suportada, isolamento térmico na área da parede com 30 cm, na área de cobertura de 40 cm, volume: 12.000m<sup>3</sup>, concebido internamente com uma chapa de aço inox de 1,2 mm de espessura e à prova de difusão de vapor.

Outra variante, mais simples, é o tanque de armazenamento de cascalho-água. Um fosso concebido com uma película plástica aderente impermeável é preenchido com uma mistura de água e cascalho, como meio de armazenamento. O tanque de armazenamento está isolado termicamente, pelo menos nos lados e no topo.

Exemplo:

Chemnitz: Um tanque de armazenamento com enchimento de cascalho/água, que assume a função estrutural das paredes, tem um volume de armazenamento de 8.000 m<sup>3</sup> com 5.300 m<sup>3</sup> equivalente a água, consegue-se uma boa selagem através de uma película PEAD com 2,5 mm de espessura.

##### Ensaio do sistema de armazenamento subterrâneo

Para este tipo de sistema de armazenamento, os tubos permutadores de calor são colocados horizontalmente no solo ou verticalmente em buracos feitos com broca (ensaios com tubos em U) e são isolados termicamente até à superfície. O solo circundante também serve directamente como meio de armazenamento e aquece ou arrefece. Na prática, é possível qualquer dimensão de volume de armazenamento. Contudo, as características do solo têm uma função muito importante.

Exemplos:

Neckarsulm: Volume de armazenamento de cerca de 175.000 m<sup>3</sup>.

Arnstein: Aproximadamente 3.000 m<sup>3</sup> de volume de armazenamento; com uma utilização de cerca de 36%.

## Sistema de armazenamento tipo aquífero

São feitos buracos aos pares em camadas de solo impermeáveis, com uma profundidade de 50 – 300 m. A água quente é comprimida no solo, que serve como meio de armazenamento através de um furo (poço), a água é novamente descarregada por outro furo. Não há necessidade de isolamento térmico, mas sim de formações de solo com reduzida velocidade de caudal.

Exemplo:

Berlim: No âmbito da reconstrução do Reichstag (edifício do Governo) e dos edifícios vizinhos, foram implementados dois sistemas de armazenamento aquífero para armazenamento frio, a 60 m de profundidade, e armazenamento quente, a 300 m (em combinação com uma bomba de calor e um óleo vegetal)

### 6.7.4.2 Redes de aquecimento municipais

São utilizadas diferentes estruturas de redes para distribuir o calor:

Rede condutora 2+2:

Duas linhas condutoras de fornecimento de calor para os edifícios (o aquecimento de água sanitária ocorre localmente nos edifícios individuais) e duas linhas condutoras adicionais para o circuito solar.

Rede condutora 4+2:

Quatro linhas condutoras para o fornecimento de calor: duas linhas para água quente solar (AQS) e aquecimento de espaços + duas linhas adicionais para o circuito solar – permite aquecimento central de água sanitária, mas aumenta as perdas na circulação.

Rede de 3 linhas condutoras (2 variantes)

Uma variante (mais antiga) utiliza uma alimentação separada para o aquecimento de espaços e o aquecimento da água, bem como um retorno comum. Em conexão com o aquecimento solar municipal, utiliza-se frequentemente uma alimentação do sistema, um retorno comum e uma alimentação solar (novo conceito).

### 6.7.4.3 Estações de ligação às residências

Podemos diferenciar aqui duas grandes opções de ligação ao edifício: Integração directa e indirecta do aquecimento.

A ligação directa, sem um permutador de calor intermédio, é mais barata e envolve menores perdas de calor. O aquecimento indirecto desacopla a rede de aquecimento municipal através de um permutador de calor das linhas que se encontram no edifício. Esta variante é normalmente utilizada por parte do proprietário da habitação.

### 6.7.5 Experiência prática

Os sistemas piloto com sistemas de armazenamento de calor a curto e longo-prazo implementados até agora, mostraram que a nova e ainda pouco familiar tecnologia comporta uma grande necessidade de informação, bem como pequenos problemas. Contudo, todos os sistemas foram colocados em funcionamento sem grandes dificuldades. Os sistemas solares funcionam bem e são de confiança e os sistemas de armazenamento de calor a longo-prazo excedem as expectativas. Os principais problemas dizem respeito à sua combinação com a tecnologia de sistemas convencionais, bem como com o seu dimensionamento e implementação.

Na maioria dos sistemas, ocorreram temperaturas de retorno demasiado elevadas na rede de distribuição de calor. Muitas vezes, os aquecedores, que eram demasiado pequenos, eram instalados e operados, o que tornava impossível haver baixas temperaturas de retorno. Por exemplo, em Friedrichshafen (Alemanha), isto deveu-se à regulação deficiente do sistema interno de aquecimento da casa, numa média de 10 – 15 K superior ao valor estabelecido por simulações de carga. As altas temperaturas de retorno da rede distribuidora de calor (média mensal acima dos 55° C) conduziram, por um lado, a altas temperaturas de armazenamento e à baixa eficiência do colectores e, por outro lado, o tanque de armazenamento de calor não podia ser descarregado a baixas temperaturas pré-calculadas. Desta forma, parte do conteúdo de calor

não era usado no tanque de armazenamento. Entretanto, as temperaturas de retorno foram reduzidas para um valor máximo de 45° C.

Geralmente, os resultados iniciais do funcionamento mostram que através do sistema de energia solar e a monitorização instrumental detalhada e interligada de toda a fábrica, os problemas de funcionamento anteriormente irreconhecíveis, relacionados com a tecnologia do sistema convencional tornaram-se evidentes. Estas dificuldades não podem, porém, ser apontadas contra os sistemas solares, uma vez que elas ocorrem em muitos edifícios, sem sistemas de energia solar e muitas vezes ainda nem foram detectadas. Pelo contrário, a utilização de um sistema de energia solar com a correspondente instrumentação, conduz à descoberta e rectificação destes problemas. A optimização do rendimento do sistema de energia solar requer sempre a optimização da tecnologia de sistemas convencionais.

## 6.8 *Potencial no calor de processo industrial*

Os sistemas industriais solares térmicos podem cobrir uma parte significativa das necessidades de calor industrial. Estas necessidades constituem cerca de 1/3 das necessidades totais de energia nos países da Europa do Sul. Cerca de 7% da energia total final é consumida em calor de processo na indústria a temperaturas abaixo dos 250°C. O calor a estas temperaturas é necessário em vários processos industriais, tais como geração de vapor, lavagem, secagem, destilação, pasteurização, etc...

De acordo com a gama de temperaturas necessárias ao processo industrial, podem utilizar-se colectores com diferentes tecnologias, assim como diferentes formas de integração do sistema solar no sistema convencional do processo.

De seguida apresentam-se alguns dos processos industriais onde esta tecnologia pode ser instalada descrevendo os processos para os quais pode ser utilizado calor solar.

### 6.8.1 Fabrico de Cerveja e Malte

#### **Malte**

A acção mais importante do calor no processo de fabrico do malte é na secagem do malte germinado, de forma a reduzir a sua percentagem de humidade. Como tal é usado ar pré-aquecido entre os 35 e os 80°C com um fluído auxiliar (vapor a baixa pressão saturado ou água sobreaquecida). O consumo de calor a baixas temperaturas no fabrico de malte é muito elevado.

Além do consumo de calor referido acima há também necessidade de produção de frio para a germinação, onde a temperatura deve ser mantida a 14-15°C

#### **Cerveja**

As necessidades energéticas para a preparação de cerveja são as seguintes:

- aquecimento sucessivo até à temperatura de fervura do licor de cerveja para a produção do mosto, usando vapor saturado a baixa pressão e algumas vezes água sobre-aquecida ou mesmo combustão directa;
- refrigeração do mosto, pré-aquecendo a água de alimentação e usando sistemas de refrigeração convencionais.

Como tal, é possível usar energia térmica solar neste sector industrial para a produção de calor (a 104-110°C) e frio usando sistemas de absorção.

### 6.8.2 Indústria Alimentar

#### **Vinho e outras bebidas**

O mais importante consumo de calor neste sector, com bom potencial para o uso de energia solar, é a produção de água quente para limpeza e desinfecção das garrafas. A temperatura de água quente necessária situa-se na gama dos 70-90°C. Em muitas indústrias deste sector, o volume produzido aumenta no verão, existindo portanto uma correlação positiva entre a procura e a disponibilidade de calor solar. Na produção de vinho, o arrefecimento das adegas, que algumas vezes se situam em locais remotos é outra aplicação potencial.



## Carne

O maior consumo de calor na produção de produtos derivados da carne é na água quente para lavagem, fervura e limpeza. A temperatura de água quente necessária situa-se entre os 60 e os 100°C. Na produção de carne enlatada, a maior procura de calor situa-se ao nível do processo de esterilização, que é levada a cabo em autoclaves usando o vapor como fonte de calor.

## Conservas Vegetais

Neste sector devem ser distinguidos dois processos principais: o pré-cozimento e a esterilização. O vapor seco é normalmente utilizado para o pré-cozimento de alguns produtos. A imersão em água a ferver durante um tempo variável também pode ser usada, dependendo do produto. Este processo é caracterizado pelo elevado consumo de combustível. A esterilização é executada usando vapor directamente pressurizado em autoclaves com alguns minutos, alcançando uma temperatura entre 110-125°C. Na produção de vegetais altamente congelados, o processo de pré-cozimento é feito por imersão do produto num banho de água quente a temperatura entre 95-100°C durante 2 a 6 minutos. Este processo consome a maior parte da energia térmica necessária.

## Conservas de Peixe

Neste sector existe uma grande variedade de processos no sector de produção de peixe enlatado, que necessitam de água ou vapor, quer para a limpeza e cozimento de produtos quer para tratamento das latas nas quais os produtos são conservados:

- no processo de descamação e limpeza, as peles e as escamas dos peixes são removidas aplicando duchas de vapor e água;
- para o pré-cozimento do produto, é aplicado vapor directamente durante um período de tempo apropriado;
- o processo de selagem das latas é executado em condições de vácuo, normalmente suportado por jactos de vapor;
- na limpeza das latas, estas são introduzidas numa máquina de lavar de água quente pressurizada, de forma a eliminar vestígios de óleo e sujidade;
- a esterilização é feita em autoclaves horizontais descontínuos, que usam vapor para aquecer os produtos acima da temperatura de esterilização. Este é o processo que consome a maior parte de energia térmica necessária;
- no processo de cozimento, na produção de óleo e farinha de peixe, o produto cortado às postas é colocado num cozedor-secador, onde o peixe ou sub-produto é aquecido a altas temperaturas (95-110°C) por meio de vapor durante 3 a 20 minutos por forma a eliminar a humidade.

## Produtos de Nutrição Infantil

Os processos de cozimento e esterilização são os mais interessantes neste sector. O cozimento é um dos processos mais significativos no consumo energético. É normalmente levado a cabo em recipientes de vapor descontínuos usando água aquecida a 70-98°C através de vapor saturado. A esterilização é o processo onde existe o maior consumo de calor na produção deste tipo de produtos. Assim que os frascos tenham sido selados hermeticamente e colocados nas chamadas jaulas, eles são introduzidos em esterilizadores rotativos descontínuos, onde são submetidos a um processo de aquecimento-arrefecimento de acordo com a curva adequada do produto e o tamanho dos frascos. O vapor é usado de modo a alcançar temperaturas entre 110-125°C.

## Indústria de Lacticínios

Devido ao período de laboração desta indústria (7 dias por semana) a utilização de energia solar é muito vantajosa. São particularmente interessantes os processos de desidratação (produção de leite em pó) devido ao elevado consumo de calor. Na produção, tanto o leite como o soro de leite coalhado, são pulverizados em grandes torres com ar aquecido entre os 60°C e os 180°C. A pasteurização e esterilização são outros processos interessantes neste sector.

No processo de pasteurização, é possível distinguir entre LTLT (baixa temperatura, muito tempo) em que o produto é aquecido a 62-65°C durante 30 minutos e é arrefecido até 4°C, e HTST (alta temperatura, pouco tempo), que opera com temperaturas entre 72 e 85°C e é também arrefecido até aos 4°C.

Na esterilização UHT (ultra alta temperatura) a temperatura necessária varia entre os 130-150°C com uma aplicação que dura 2 a 3 segundos. Este efeito é conseguido directamente através de jactos de vapor, ou indirectamente, num permutador de calor.

### 6.8.3 Indústria Têxtil

#### **Acabamento**

De entre as operações de produção têxtil, o processo de acabamento é o mais dispendioso a nível energético. A maior parte das necessidades de calor correspondem às operações de preparação e tinturaria. As mais representativas são a lavagem, branqueamento, mercerização e tinturaria. O aquecimento de banhos líquidos (usualmente através de vapor, por injeção directa no fluido ou indirecta num tubo submerso) é efectuado para temperaturas entre os 70-90°C, e para a secagem dos têxteis com ar quente e cilindros de secagem aquecidos por vapor.

#### **Produção de Lã**

No armazenamento, bombagem e pulverização do velo, são necessárias temperaturas entre 40 e 130°C. Neste sector são usadas variadas técnicas na recuperação do calor do efluente.

### 6.8.4 Indústria de Papel

#### **Produção de Pasta de Papel**

A parte fundamental em toda a produção de pasta de papel é o processo de cozimento. Na produção de pastas de papel branqueadas com sulfato, os pedaços são postos em contacto com a lixívia a uma temperatura de 170-180°C e de 8 a 10 kg/cm<sup>2</sup> de pressão, durante o processo de lixiviação.

#### **Produção de Papel**

Mais de 90% do consumo de calor para a produção de papel é efectuado em processos de secagem tanto com ar quente como com cilindros aquecidos a vapor, a cerca de 135°C. O consumo de calor nesta indústria é contínuo, 24 horas por dia e quase 365 dias por ano.

### 6.8.5 Indústria Química

Há muitos processos diferentes que consomem grandes quantidades de calor na indústria química (p.e. colunas de destilação, processos de secagem, fusão e transformação de plásticos, etc...).

### 6.8.6 Indústria Automóvel e Indústrias Auxiliares

#### **Produção de Pneus**

O consumo de calor é principalmente para produção de vapor. Este vapor é usado em processos característicos de tratamento da borracha e o restante usado na climatização dos edifícios.

#### **Pintura**

Nesta secção são usados banhos líquidos a temperaturas bastante baixas (35-55°C) para limpeza e desengorduramento.

### 6.8.7 Indústria dos Curtumes

Os processos de consumo de calor são processos húmidos (água quente a temperaturas entre os 30-60°C) e processos de secagem (aquecimento de ar).

### 6.8.8 Indústria Corticeira

Nos processos de armazenagem e bombagem do combustível, o nível de temperatura usado para aquecimento é respectivamente de 40-45°C e 60-70°C. Para a pulverização do combustível, este é aquecido a temperaturas de 100-130°C, quer dentro quer fora do queimador. A cortiça é fervida em água a

uma temperatura de 100°C, de maneira a extrair o ácido tânico, a aumentar a sua flexibilidade e a expandi-la. A eliminação total da humidade da cortiça para as rolhas é levada a cabo aquecendo o ar a 40-55°C. O mesmo procedimento é aplicado à produção de elementos amortecedores e processamento de compósitos, sendo que neste caso a temperatura do ar atinge os 150°C. No entanto o valor mais elevado de temperatura é atingido na produção de aglomerado negro de cortiça, em que o vapor é aquecido acima dos 300-370°C na entrada da autoclave usando um queimador alimentado por cortiça em pó.

Em síntese apresenta-se uma tabela com os processos e respectivas temperaturas que são passíveis de utilizar sistemas solares para geração de calor.

**Tabela 6.8 - Sectores e processos industriais com condições favoráveis para a aplicação de calor solar**

**Fonte: POSHIP**

Sector	Processos	Nível de Temperatura (°C)
Cerveja e Malte	Fervura do mosto	100
	Limpeza do vasilhame	60
	Arrefecimento	90
	Secagem	60
Lacticínios	Pasteurização	62-85
	Esterilização	130-150
	Secagem	n.d.
Alimentos em Conserva	Esterilização	110-125
	Pasteurização	< 80
	Cozedura	70-98
	Escaldadura	95-100
	Branqueamento	< 90
Carne	Lavagem, esterilização, limpeza	< 90
	Cozimento	90-100
Vinho e Bebidas	Limpeza de vasilhame	60-90
	Arrefecimento	85 (*)
Indústria Têxtil (inclui lanifícios)	Lavagem, branqueamento, tinturaria	< 90
	Cozimento	140-200
Indústria Automóvel	Secagem de pinturas	160-220
	Desengorduramento	35-55
Indústria do papel	Polpa de papel: cozimento	170-180
	Caldeira da água de alimentação	< 90
	Branqueamento	130-150
	Secagem	130-160
Curtumes	Aquecimento de água para processos de tratamento.	Vapor a 165-180
	Secagem	
Indústria da Cortiça	Secagem, cozimento da cortiça, outros	40-155

Para que se possa avaliar então o potencial concreto de cada caso é necessário saber quais os tipos de colectores para as diferentes temperaturas nos processos industriais. Assim, apresenta-se na tabela seguinte uma síntese dos mesmos.

**Tabela 6.9 - Selecção do tipo de colector de acordo com a temperatura de funcionamento**

**Fonte: POSHIP**

Gama de temperatura	Processo
< 40 °C	Collectores sem cobertura ou colectores planos comuns de baixo custo
40-70 °C	Collectores planos selectivos ou colectores do tipo CPC
70-100 °C	Collectores do tipo CPC, colectores de tubos de vácuo ou outros colectores estacionários de rendimento elevado. Collectores concentradores para sistemas de média e grande dimensão
> 100 °C	Collectores concentradores, colectores de tubos de vácuo com CPC

### 6.8.9 Critérios de avaliação de sistemas solares para aquecimento industrial

Apresentam-se os principais critérios a ter em conta para a avaliação de sistemas solares para aquecimento industrial.

#### **Temperatura de funcionamento**

Temperaturas não superiores a 150°C, melhor comportamento abaixo de 100°C.

#### **Clima**

No Sul e centro da Península Ibérica existem muito boas condições. Nas regiões com níveis médios e baixos de radiação ( $< 1,66 \text{ kWh/m}^2$ ) pode considerar-se a instalação deste tipo de sistemas, se todas as outras condições forem favoráveis (baixa temperatura de funcionamento, consumo constante).

#### **Continuidade do consumo**

As paragens no Verão afectam o comportamento do sistema. As perdas dos potenciais ganhos solares são proporcionais à duração dos períodos de paragem. São favoráveis os consumos contínuos ou com picos no período diurno.

#### **Dimensão do sistema**

A viabilidade económica dos sistemas solares térmicos depende muito da dimensão do sistema. O custo da energia fornecida pelos grandes sistemas ( $> 1.000 \text{ m}^2$ , potência solar de pico  $> 0,5 \text{ MW}$ ), pode ser cerca de 50% inferior ao dos pequenos sistemas ( $< 100 \text{ m}^2$ , potência solar de pico  $< 50 \text{ kW}$ ).

#### **Ganhos solares anuais**

Para garantir a viabilidade económica, os ganhos anuais de um sistema solar devem ser de pelo menos  $500 \text{ kWh/m}^2$ .

#### **Fracção solar**

Os sistemas devem ser projectados para terem fracções solares não superiores a 60% (para consumos contínuos).

#### **Área de solo ou telhado disponíveis**

Deve existir uma disponibilidade de área de instalação no solo ou em telhado que permita obter fracções solares entre 50 a 60 %. A orientação dos colectores virados a Sul e com inclinações de aproximadamente  $30^\circ$  é óptima. São aceitáveis pequenos desvios relativamente a estes valores ( $\pm 45^\circ$  relativamente à direcção Sul), ( $\pm 15^\circ$  da inclinação óptima). Devem ser evitados grandes comprimentos de tubagem.

#### **Aspectos de resistência estática do telhado**

A necessidade de reforçar a estrutura de suporte do telhado aumenta o custo do sistema e reduz a viabilidade económica. A carga estática devida à instalação de colectores é de  $25\text{-}30 \text{ kg/m}^2$  para colectores comuns.

#### **Recuperação do calor de efluentes e cogeração**

Numa primeira fase, devem ser exploradas todas as possibilidades de melhorar o rendimento energético do processo industrial por aproveitamento do calor de efluentes e por cogeração. Os sistemas solares devem ser concebidos de modo a cobrir (parte das) as restantes necessidades de aquecimento.

### 6.9 *Sistemas de concentração solar*

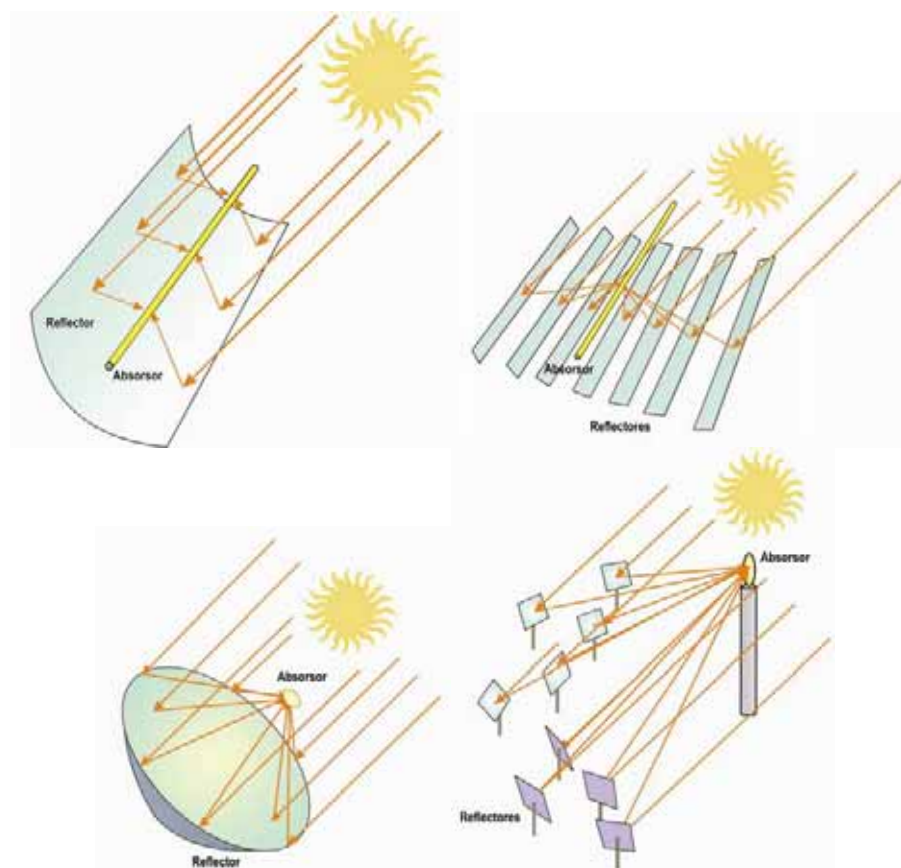
O nível de temperatura pode ser atingido sem limitar a concentração solar térmica do colector. Para a maioria dos sistemas um nível de aproximadamente  $200^\circ\text{C}$  pode ser alcançado com colector de tubo de vácuo de elevada qualidade. Um aumento de temperatura para um nível superior é tecnicamente muito

difícil de alcançar. Acima de 100°C a eficiência do colector diminui muito. Contudo, olhando para o nível de temperatura solicitado no mercado de segmentos de processos de calor ou geração de electricidade através de processos térmicos é necessário atingir temperaturas muito mais elevadas. Tais temperaturas só podem ser criadas através da concentração da luz solar.

#### 6.9.1 Concentração de radiação solar

A concentração de luz solar para aplicações de larga escala é geralmente feita com um concentrador de reflexão os sistemas de lentes não podem ser usados devido ao elevado preço e limitações de tamanho. Um concentrador de reflexão em forma parabólica centraliza a radiação solar, tanto numa linha focal como também num ponto focal. Para concentrar a luz solar o concentrador necessita de seguir a trajectória solar, de modo a que os raios incidentes sejam sempre perpendiculares à área de abertura.

Em princípio, os sistemas de acompanhamento da trajectória da luz solar estão divididos em sistemas com um único eixo e sistemas com dois eixos (ver figura X-1). Sistemas com um eixo concentram a luz solar sobre um tubo absorvedor numa linha focal do centralizador, enquanto que com um sistema de dois eixos foca-se a luz num ponto focal de um absorvedor com forma arredondada.



**Figura 6.19 - Varias opções de concentração de radiação solar (em cima: reflectores com um eixo de acompanhamento, em baixo: reflectores com dois eixos de acompanhamento)**

**Fonte: DLR-PSA**

O valor teórico de concentração mais elevado é 46.211; é limitado pelo facto do Sol não ser uma fonte de radiação pontual. Através da concentração de radiação solar pode ser atingida uma temperatura máxima de 5.500°C – que corresponde a um valor próximo da temperatura da superfície do Sol. Contudo, na prática este valor nunca é atingido e na maioria dos casos não é necessário atingi-lo. Com o aumento da taxa de concentração a temperatura que teoricamente pode ser atingida também aumenta. Na prática a temperatura que se está a operar, geralmente não apresenta valores de temperatura iguais aos teóricos. As principais razões para este facto são:

- não é possível produzir uma instalação ideal e absoluta;
- o calor é transportado, o que reduz a temperatura de um modo contínuo.

Contudo, nos casos em que há uma interrupção de remoção de calor, a temperatura aumenta drasticamente.

**Tabela 6.10 - Razão de concentração de vários sistemas**

Tipo / sistema de colectores	Razão de concentração	Temperatura de operação	Temperatura limite teórica
Concentrador Parabólico Cilíndrico LS-3 e "EuroTrough"	82	Cerca de 400 °C	910 °C
Torre de concentração com receptor "REFOS-pressurizado"	Cerca de 500	Cerca de 1.100 °C	1.590 °C
Concentrador parabólico "Eurodish Sistema Dish/Stirling"	2.500	650 °C	2.510 °C

### 6.9.2 Sistemas de concentração para processos térmicos

A geração de energia e os custos de eficiência para níveis de temperatura acima dos 150°C só é possível com sistemas solares que utilizam colectores concentradores, ao contrário de sistemas sem concentração ou colectores com baixas taxas de concentração (p.e. colectores CPC). Geralmente a exigência dos processos de calor é elevada em gamas de temperatura entre 80 a 250°C e entre 900 a 1.500°C. De particular interesse, são o mercado dos segmentos de processos de baixas temperaturas, de 80 a 250 °C. A indústria química, as indústrias têxteis, alimentares e a indústria de papel assim como a indústria de processos alimentares consomem grande parte deste calor. As áreas de aplicação são numerosas e incluem processos muito diferentes como o aquecimento de banhos (p.e. banhos de galvanização ou de limpeza), os processos de secagem, processos químicos (processos de separação térmica), os processos de fusão ou ebulição mas também a geração de processos de baixa temperatura, evaporação e fornecimento de calor ao sistema de condução dos sistemas de refrigeração.

Relativamente aos aspectos económicos, os processos de fornecimento de calor, em particular para os concentradores parabólicos cilíndricos são muito interessantes.

Colectores parabólicos concentram a radiação solar linear, através de um reflector com curva parabólica sobre um tubo absorvedor revestido de negro. Geralmente a abertura a atravessar nestes colectores varia entre 2 a 4 metros. O tubo absorvedor recolhe a radiação solar, converte esta radiação em calor e transfere o calor ao fluido de transferência térmica. Geralmente o fluido utilizado é composto por água (água quente ou vapor), mas também se utiliza ar e óleos térmicos.

Ao contrário dos colectores planos estes sistemas tem uma menor perda de calor. Esta menor perda de calor, é sobretudo devida ao facto da área de superfície do absorvedor ser pequena comparada com a área de abertura e também por causa do revestimento especial do tubo absorvedor, que reduz a emitância de radiação infravermelha e logo as perdas por radiação. Para encontrar a melhor eficiência do colector, devem atingir-se mais elevadas temperaturas de operação, e o espaço entre o vidro e o tubo absorvedor deve ser evacuado.

Um dispositivo de acompanhamento da trajectória solar – geralmente um motor e um dispositivo de transmissão – permite ao concentrador parabólico cilíndrico acompanhar o Sol num único eixo. A maioria destes concentradores são instalados com uma orientação Norte-Sul. Esta orientação permite uma produção de energia anual mais elevada, comparada com a orientação Este-Oeste. Contudo, com a orientação Este-Oeste a produção de energia está mais distribuída ao longo do ano. No caso de dois eixos os requisitos necessários para a construção, controlo e manutenção são maiores e logo mais caros, portanto os concentradores com um único eixo demonstram por si só, ser mais confiáveis e mais eficientes. Desenvolvimentos na tecnologia de concentradores parabólicos cilíndricos apontam para o aperfeiçoamento da eficiência óptica e ao mesmo tempo para o uso de menos material.

Outra diferença significativa entre os sistemas de colectores concentradores e os sistemas solares térmicos convencionais, tais como colectores planos, é verificada nos conceitos operacionais e de segurança.

No sentido de reduzir o aumento da temperatura devido à estagnação, os colectores concentradores utilizam as respectivas rotinas de controlo de segurança, que desfocam o colector para prevenir temperaturas de estagnação excessivas.

Alguns colectores de tubos de vácuo integram CPC's dentro da protecção de vidro no sentido de aumentar a abertura. São também utilizadas faixas de absorvedor planas para este propósito.



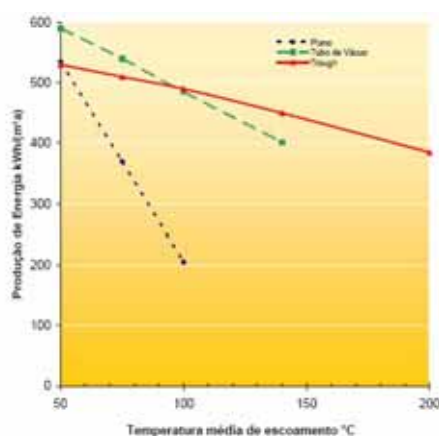
**Figura 6.20 - Estrutura esquemática de um colector CPC**

**Fonte: Consolar**

A figura 6.21 mostra a eficiência de vários tipos de colectores, através da produção anual de energia por metro quadrado de área do colector versus a temperatura média. O rendimento da energia para colectores não-concentradores diminui significativamente, com o aumento da temperatura, a partir de uma temperatura máxima do 100°C, a diminuição é consideravelmente menor para tubos colectores de vácuo com CPC's e colectores parabólicos cilíndricos.

Geralmente os colectores e tubos colectores de vácuo utilizam a radiação solar total (i.e. a irradiação directa e a irradiação difusa no céu) em contraste com os sistemas solares de concentração, que usam apenas a irradiação directa. A produção de energia ilustrada na figura 6.21 foi calculada para colectores com orientação para o Sul e com um ângulo da inclinação de 40° situado na cidade de Würzburg, Alemanha.

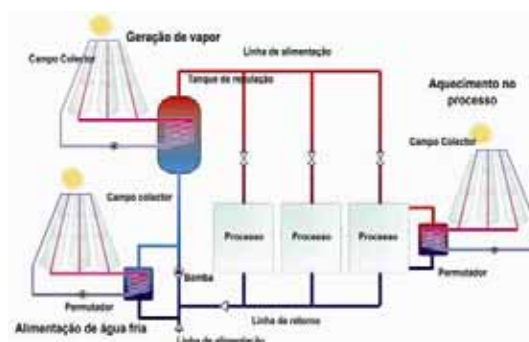
A produção de energia de um sistema colector não depende apenas do dimensionamento do colector mas também da quantidade de irradiação directa. Würzburg recebe uma média anual de cerca de 1.066 kWh/m<sup>2</sup>a de irradiação. Comparando os concentradores parabólicos cilíndricos de construção simples com os colectores solares térmicos convencionais conclui-se que mesmo no clima da Europa Central os concentradores tem muitas vantagens, em particular quando é necessário ter uma temperatura de operação elevada.



**Figura 6.21 - Produção de energia vs. Variação de temperatura média para vários tipos de colectores em Würzburg, Alemanha**

**Fonte: Klaus Hennecke**

O sistema de integração de colectores concentradores para fornecer calor não difere muito dos sistemas convencionais para fornecimento de calor. A peça central do sistema é o campo de colectores, ou seja o arranjo dos colectores. O fluido de transferência térmica circula através deste campo de colectores. Através da medição da temperatura do fluido, na saída do colector, um controlador regula a taxa de fluxo de calor tendo em conta a irradiação. O calor ganho é transferido para o permutador de calor onde é usado directamente (p.e. para aquecer um banho ou pré-aquecer água de alimentação ou ar de combustão) ou então é armazenado a curto ou longo prazo no tanque de armazenamento de calor.



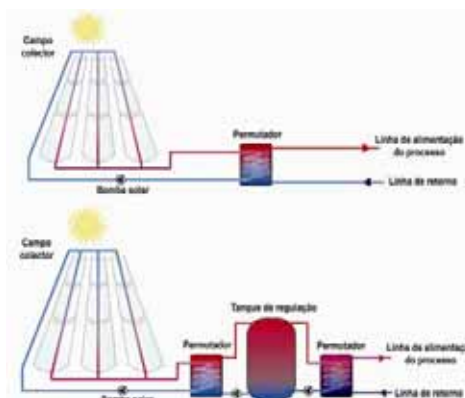
**Figura 6.22 - Esquema de várias opções de integração de sistemas solares num processo de fornecimento de calor convencional**

Fonte: DLR

A integração directa de calor solar no processo é a mais simples e a que apresenta um menor custo. Esta variante apenas faz sentido se o processo for contínuo e se o calor necessário for muito elevado para ser fornecido por um sistema de energia solar. O esquema mostra um sistema indirecto, onde o circuito do colector é separado por causa da corrosão e do congelamento, para aplicação através de um permutador de calor. Por motivos económicos o dimensionamento do campo colector deve assegurar que a energia solar máxima produzida não exceda as necessidades de calor, em qualquer momento.

Os processos mais comuns são os que funcionam apenas 5-6 dias por semana ou processos com interrupções frequentes. Tais situações exigem o uso de um tanque de armazenamento, que armazena qualquer excesso de calor. O calor necessário pode ser fornecido a qualquer hora.

O dimensionamento do tanque de armazenamento e do respectivo campo de colectores não depende apenas do calor necessário, do nível de temperatura e da concepção, mas também da capacidade de armazenamento e do tempo que o calor demora a ser fornecido. Geralmente distingue-se entre um curto tempo de armazenamento com uma capacidade para cobrir algumas horas de flutuações diárias e um sistema de armazenamento com capacidade para vários dias e armazenamento sazonal. O dimensionamento de um tanque de armazenamento deve ser feito de acordo com as necessidades específicas.



**Figura 6.23 - Sistema solar sem (em cima) e com armazenamento (em baixo)**

Fonte: DLR

Ao contrário das centrais de produção de energia a partir de sistemas solares térmicos, os sistemas solares térmicos de processo devem ser instalados directamente no lugar onde o calor é necessário no sentido de evitar perdas por transporte do calor. Para tal é necessário haver bastante espaço para o campo de colectores e valores elevados de irradiação anual no local em causa.

A título indicativo apresentam-se os custos típicos de investimento para sistemas solares térmicos de processo.



**Tabela 6.11 - Custos de investimento para vários tipos de colectores**

Tipo de colector	Custos em €/m <sup>2</sup>
Colector plano	275
Colector Parabólico Composto	300
Colector Parabólico tipo "Trough"	315
Colector de Tubo de Vácuo plano	400
Colector de Tubo de Vácuo	440
Colector de Tubo de Vácuo com CPC	440

Considerando os custos para o sistema total e para os componentes simples, cerca de 80% dos custos do investimento são para o campo de colectores (para o tamanho de um campo de  $>1.000 \text{ m}^2$ ) incluindo a elevação, a estrutura de suporte e os tubos. Os restantes 20% do investimento são para os permutadores de calor, bombas, sistema de controlo e planeamento. Enquanto que a integração de tanques de curto prazo não influencia os custos de investimento significativamente, os tanques de armazenamento para períodos longos são caros, atingindo cerca de 10 a 20% do total dos custos de investimento.

Concluindo os custos totais de investimento para sistemas solares térmicos para processos caloríficos estão numa gama de 250 a 1.000 €/kWt da capacidade de instalação.

Num futuro próximo é importante demonstrar a integração e a segurança dos sistemas solares térmicos, para processos em aplicações adequadas. Um obstáculo para estes sistemas é o espaço que é preciso disponibilizar, para montar o campo colector. Os elevados custos comparados com os sistemas de calor dos processos convencionais é outra barreira. Contudo, uma redução de custos é vista na modificação da concepção dos colectores e pequenas unidades de módulos de colectores são mais apropriadas para serem levantadas num telhado de topo ou para uma integração no telhado. Um maior potencial é esperado com o aumento da mecanização das operações, logo com a redução dos custos de operação e de manutenção. Com uma produção em massa, redução dos custos de operação e manutenção e aperfeiçoamento do design do sistema, espera-se que a eficiência dos colectores diminua os custos para metade no ano de 2010.

Hoje em dia o mercado Europeu não disponibiliza sistemas de concentração para aplicação em processos de calor. Contudo, diversos projectos Europeus apontam para o desenvolvimento de colectores comerciais para um futuro próximo. Algumas companhias de Israel e dos EUA já disponibilizam estes sistemas no mercado. Existem também alguns sistemas que estão a operar nos EUA com campos de colectores numa gama de 200 a 3.000 m<sup>2</sup>.

Com a "Campaign for Take-Off" a Comissão Europeia prossegue com o objectivo de ter 2 milhões de metros quadrados de colectores instalados para processos industriais de calor e arrefecimento solar. Através desta iniciativa, é esperado economizar, em energia primária, cerca de 2 milhões de MWh/a.

Em 2001, colectores solares térmicos com uma área total de 10.000 m<sup>2</sup> foram utilizados em processos industriais de calor na Europa. No futuro, a médio e curto prazo, os colectores concentradores podem desempenhar um papel importante na divulgação de processos solares de fornecimento de calor.

### 6.9.3 Sistemas solares térmicos de concentração para produção de electricidade

A utilização de aproximadamente 1% da área de superfície do Sahara, para projectos de centrais solares, seria suficiente para cobrir as necessidades de energia eléctrica para todo o planeta. Alguns projectos de centrais solares, sem contar com as fotovoltaicas, oferecem a oportunidade de produzir electricidade nalguns pontos da Terra a baixo custo. Estas centrais aplicam o calor na geração de electricidade. Existem três tipos diferentes de projectos de centrais:

- centrais de calha parabólica
- centrais solares em torre
- sistemas Dish/Stirling

#### 6.9.3.1 Centrais parabólicas "Trough"

Em 1906 foram efectuados os primeiros desenvolvimentos de projectos de centrais solares nos EUA. As primeiras centrais de demonstração foram construídas e testadas com sucesso nos EUA e próximo do Cairo/Egipto que naquela altura era uma colónia inglesa.

Estes sistemas eram muito parecidos com os sistemas usados hoje em dia. Contudo, problemas relacionados com materiais e dificuldades técnicas puseram fim à primeira geração de electricidade solar em larga escala, em 1914, pouco antes da explosão da Primeira Guerra Mundial.

Em 1978 os EUA lançaram as bases para o renascimento da tecnologia solar eléctrica. Os utilizadores da electricidade pública no estado da Califórnia foram obrigados através da “Public Utilities Regulatory Policy Act” a adquirir electricidade de produtores independentes, com uma tarifa claramente definida. Depois da multiplicação dos custos de electricidade em apenas alguns anos, devido às crises de petróleo, a Southern California Edison (SCE) oferece condições a longo prazo para o fornecimento de electricidade através de sistemas de energias renováveis. Em conjunto com incentivos, tais como isenção do pagamento da taxa de propriedade pelas centrais solares, o desenvolvimento de projectos de centrais solares começou a ficar atractivo a nível financeiro. Em 1979 a companhia LUZ foi fundada e concretizou, em 1983, um contrato com a SCE para fornecer electricidade por mais de 30 anos.

O primeiro projecto de central solar comercializado com tecnologia de concentradores parabólicos cilíndricos foi construído em 1984. Desde então centrais solares com tamanhos maiores e aperfeiçoamento tecnológico apareceram nos anos subsequentes. Nos meados dos anos 80 o preço da electricidade reduziu outra vez e depois da extinção da taxa de isenção no fim de 1990, a LUZ faliu antes do início da construção da décima central térmica solar.

Embora a geração de electricidade das centrais solares fosse significativamente mais barata do que os sistemas fotovoltaicos não foi construída mais nenhuma central solar desde 1991. Actualmente estão a ser desenvolvido alguns projectos de centrais solares. O Banco Mundial determinou um financiamento de 200 milhões de US\$ para suportar financeiramente a construção de centrais solares, combinando solar térmico e gás térmico e natural, em países em vias de desenvolvimento tais como Egipto, México, Índia ou Marrocos. Em Espanha e noutros países do sul da Europa estão a ser preparadas medidas semelhantes para a construção de centrais solares. As centrais solares, com tecnologia de concentradores parabólicos cilíndricos foram as únicas a operar comercialmente até hoje. Depois da crise do petróleo nove centrais foram construídas entre 1984 e 1991 no deserto de Mojave na Califórnia, numa área de mais de 7 quilómetros quadrados. Foram chamados as centrais-SEGS (Solar Electric Generation Systems).



**Figura 6.24 - Central com Concentradores “Trough” na Califórnia**

**Fonte: KJCOC**

Mais de um milhão de espelhos com uma abertura total de 2,3 milhões de metros quadrados focalizam a luz solar nestas centrais, com uma capacidade eléctrica de 354 MW. Cada ano as centrais SEGS geram cerca de 800 milhões de kilowatt-hora de electricidade, o suficiente para cobrir as necessidades de 60.000 Americanos. Oito das centrais SEGS também podem operar com combustíveis fósseis, de modo que a electricidade possa ser fornecida durante a noite ou em períodos de mau tempo. Contudo, de acordo com a lei, a taxa de combustíveis fósseis e gás natural está limitada a 25% da entrada térmica anual.

O investimento total para as centrais SEGS é mais de 1,2 bilhões de US\$. Até hoje, estas centrais forneceram mais de 10 bilhões de kilowatt-hora de electricidade à rede eléctrica. Os custos de electricidade podem diminuir de sistema para sistema com 27 US cents/kWh para a primeira SEGS e 12-14 US cents/kWh para as centrais que foram construídas por último.

O princípio de funcionamento das SEGS é simples de perceber. Grandes reflectores, arrançados num colector em forma cilíndrica, focam a luz do Sol numa linha focal. Diversos colectores são ligados em linha de três a seis centenas de metros.

Cada colector pode girar em torno do seu eixo longitudinal para acompanhar o Sol. A luz solar é centralizada 80 vezes mais sobre o absorvedor, que está posicionado no centro da linha focal. Uma protecção de vidro é colocada em torno do absorvedor para reduzir as perdas de calor. As perdas de radiação são minimizadas aplicando um revestimento especial sobre o absorvedor, resistente às altas temperaturas.



**Figura 6.25 - Colectores parabólicos “trough”**

**Fonte: Volker Quaschnig**

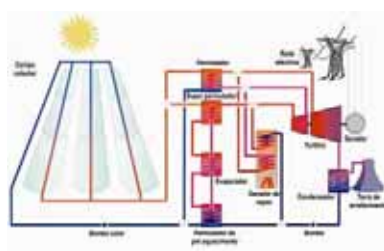
**Tabela 6.12 - Características de diferentes colectores de calha parabólica**

Tipo de colector	LS-1	LS-2	LS-3	“EuroTrough”
Ano da 1ª instalação	1984	1986	1988	2001
Taxa de concentração	61	71	82	82
Largura da abertura em m	2,5	5,0	5,76	5,76
Comprimento do colector em m	50	48	99	150
Abertura em m <sup>2</sup>	128	235	545	825
Diâmetro do tubo absorvedor em mm	42,4	70	70	70

Nas centrais da Califórnia o fluido térmico utilizado é um óleo térmico específico que é aquecido a temperaturas acima dos 400°C.

Um concentrador parabólico cilíndrico pode também ser projectado de acordo com o princípio de Fresnel. Um protótipo, onde é aplicado este princípio, foi construído na Bélgica.

Os permutadores de calor transferem o calor solar do fluido térmico para um ciclo-água-vapor. A água de alimentação está a uma pressão muito elevada, é pré-aquecida, evaporada e super-aquecida pelo fluido térmico. O vapor super aquecido é conduzido para uma turbina de vapor convencional para gerar a electricidade. Em turbinas de dois estágios, com alta e baixa pressão, parte do vapor é re-aquecido entre os dois estágios. Quando deixa a turbina o vapor é expandido e começa a ser condensado antes de atingir a bomba de água da alimentação. Quando há mau tempo ou é noite o ciclo do vapor pode também operar com uma caldeira paralela de combustível fóssil.



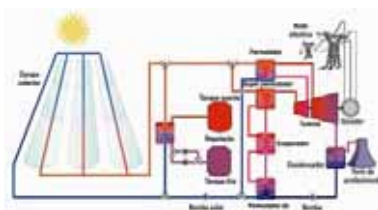
**Figura 6.26 - Esquema de uma central SEGS**

**Tabela 6.13 - Dados técnicos para os concentradores das centrais SEGS da Califórnia**

Central	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Ano de instalação	1984	1985	1986	1986	1987	1988	1988	1989	1990
Capacidade em MW	13,8	30	30	30	30	30	30	80	80
Área utilizada em 1000 m <sup>2</sup>	290	670	800	800	870	660	680	1.620	1.690
Abertura em 1000 m <sup>2</sup>	83	165	233	233	251	188	194	464	484
Fluido de transferência térmica - temp. de saída em °C	307	321	349	349	349	391	391	391	391
Eficiência									
Turbina a vapor(solar)	31,5	29,4	30,6	30,6	30,6	37,6	37,6	37,6	37,6
Turbina a vapor (Gás)	-	37,3	37,3	37,3	37,3	39,5	39,5	37,6	37,6
Campo solar (térmico)*	35	43	43	43	43	43	43	53	50
Solar-para-Electrico (net)*	9,3	10,7	10,2	10,2	10,2	12,4	12,3	14,0	13,6
Custo de investimento específico em US\$/kW	4.490	3.200	3.600	3.730	4.130	3.870	3.870	2.890	3.440

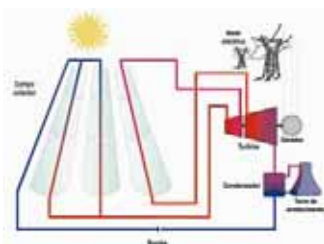
\* Projecto

Em contraste com os sistemas fotovoltaicos, uma central solar pode garantir a segurança de fornecimento diário. Este aspecto aumenta a atractividade da tecnologia térmica solar para centrais solares. O fornecimento de electricidade pode ser feito através de sistemas híbridos com combustíveis fósseis ou apenas com energia solar permitindo não haver emissões de CO<sub>2</sub>, através do armazenamento térmico. Um princípio utilizado no armazenamento de calor a temperaturas elevadas, é o uso de dois tanques de armazenamento com sal fundido. No caso do excesso de calor solar este é transferido, através do permutador de calor, ao sal fundido que é bombeado da parte morna do tanque de armazenamento para a parte quente. Em períodos com menor radiação solar o sal fundido líquido quente pode ser bombeado para o tanque de aquecimento acima do fluido de transferência térmica, que depois conduz o ciclo do vapor

**Figura 6.27 - Esquema de uma central solar com armazenamento térmico**

O gerador paralelo de vapor (caldeira) pode também ser abastecido por biomassa ou por hidrogénio (produzido por electricidade renovável). Esta é uma outra opção para gerar electricidade sem emissão de CO<sub>2</sub>.

Os desenvolvimentos tecnológicos actuais visam a melhoria da eficiência e consequentemente a redução dos custos. Por exemplo, no sul de Espanha perto da cidade de Almería a produção de vapor solar está em demonstração. Os concentradores parabólicos cilíndricos aquecem e evaporam directamente a água em condições de alta pressão a uma temperatura de 400°C. O vapor em tais circunstâncias pode directamente dirigir uma turbina de vapor, de modo que as centrais podem dispensar o fluido de transferência térmica e os permutadores de calor.

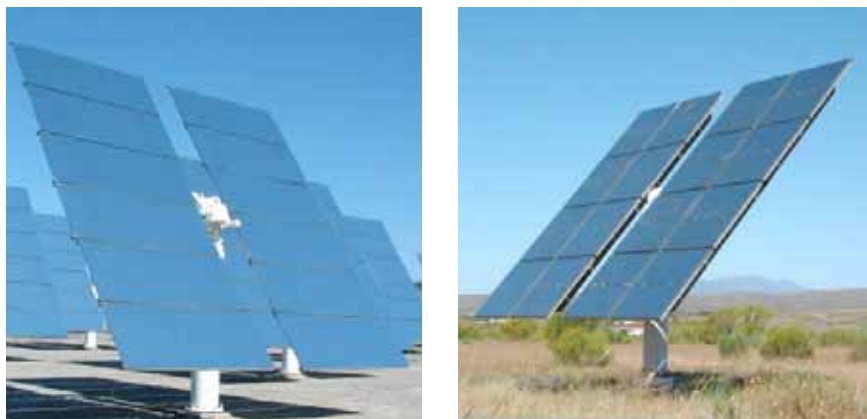
**Figura 6.28 - Esquema de central solar com geração directa de vapor**

Embora, o maior efeito a respeito de uma redução de custo se possa esperar na produção em grande escala de centrais solares, empregando as economias da escala, a redução dos custos, a longo prazo, de 15€ para 5€ são vistas como possíveis. Isto conduz a menores custos, em comparação com uma ordem de

grandeza similar de centrais de combustíveis fósseis convencionais, mas sem a emissão dos gases com efeito de estufa.

### 6.9.3.2 Centrais solares em torre

As centrais solares em torre são outra opção para produzir electricidade solar térmica. Centenas ou milhares de reflectores são posicionados à volta de uma torre central. Cada um dos reflectores, também chamado helióstato, segue o Sol controlado por um computador no sentido de focar directamente a luz solar no receptor central que está no topo da torre. A precisão do acompanhamento da trajetória solar é muito importante para assegurar que os raios solares reflectidos atingem o ponto focal.



**Figura 6.29 – Helióstatos**

**Fonte: Volker Quaschning**

Um absorsor é posicionado no ponto focal. A luz solar centralizada aquece o absorsor a uma temperatura acima dos 1.000 °C. Ar ou sal fundido líquido transferem o calor para o ciclo de vapor – um ciclo de turbina a vapor ou a gás – onde o calor é então convertido em electricidade.

Em contraste com a tecnologia dos concentradores parabólicos cilíndricos, não existe nenhuma central em torre comercial a operar. Em Almería (Espanha), Barstow (EUA) e Rehovot (Israel) estão a funcionar centrais piloto, a configuração dos sistemas está a ser optimizado e novos componentes estão a ser testados. Também em Espanha, a primeira central solar em torre com fins comerciais está numa fase de planeamento muito avançada.



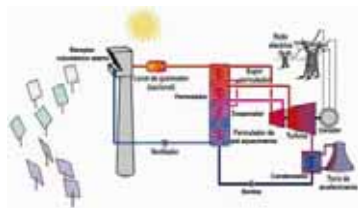
**Figura 6.30 - Instalações de torre solar testadas em Almería (Sul de Espanha)**

**Fonte: Stefan Franzen, CIEMAT**

O conceito da torre, com receptores volumétricos abertos trabalha da seguinte forma: uma ventoinha suga o ar para dentro, para o receptor onde os helióstatos focam a luz solar. Geralmente uma malha feita de arame, espuma cerâmica ou metálica ou uma estrutura em forma de favo de mel de cerâmica é utilizada como receptor.

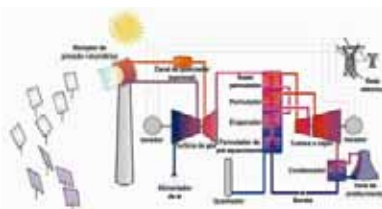


Esta estrutura é aquecida pela radiação solar e transfere o calor para uma corrente de ar. O ar ambiente refrigera a parte dianteira do absorvedor, enquanto que a temperatura aumenta na parte traseira do material absorvedor. Assim, as perdas de radiação são minimizadas. O ar aquecido com temperaturas entre 650°C a 850°C é empurrado para uma caldeira de calor, onde a água é evaporada e superaquecida. Mais uma vez, o vapor superaquecido é conduzido para um gerador de turbina de vapor para produzir electricidade. Uma variante desta central pode utilizar outros combustíveis.



**Figura 6.31 - Central solar em torre com um receptor volumétrico aberto**

Um outro conceito de torre que está a ser desenvolvido apresenta um potencial a médio prazo: O receptor volumétrico fechado (conceito-REFOS). Um vidro transparente em forma de cúpula de silicone separa o ar ambiente do absorvedor. O ar é aquecido num receptor pressurizado com uma pressão de aproximadamente 15 bar até a temperaturas de 1.100°C. O ar neste nível de temperatura é dirigido para uma turbina de gás.



**Figura 6.32 - Centrais solares com um receptor pressurizado para operações solares de gás e turbina de vapor (REFOS)**

Geralmente a eficiência eléctrica de ciclos combinados é mais elevada (numa gama de 50-55%) do que a eficiência dos ciclos a vapor (cerca de 35-40%). A integração de energia solar térmica em ciclos combinados permite aumentar a eficiência de solar-para-eléctrico em mais de 20%. Esta melhoria e a exploração tecnológica justificam o esforço e o aumento do investimento nesta tecnologia de receptor. Espera-se que os custos da electricidade sejam um pouco maiores, em comparação com centrais de concentradores parabólicos cilíndricos, uma vez que, não existem séries de centrais solares em torre em operação. Contudo, devido à elevada eficiência a média prazo espera-se uma diminuição dos custos.

### 6.9.3.3 Sistemas Dish/Stirling

A operação comercial de centrais solares parabólicas cilíndricas e em torre são economicamente viáveis com capacidades eléctricas de vários megawatts, os sistemas chamado de Dish/Stirling podem também ser usados em unidades menores, como por exemplo em sistemas autónomos para abastecer povoações, sem ligação à rede eléctrica.

Com o sistemas Dish/Stirling um espelho côncavo com a forma de grande satélite que centraliza a irradiação solar para um ponto focal onde o receptor se encontra. No receptor, a radiação solar é convertida em calor e transferida para o coração do sistema, o motor Stirling. Este motor converte calor directamente em força motriz, que alimenta um gerador para produção de electricidade. No sentido de direccionar a radiação solar para o receptor é necessário mover o espelho côncavo em dois eixos.

O calor solar não é o único calor que pode alimentar o motor Stirling, pode ser usado calor de qualquer processo de combustão. Combinado com um queimador de biogás o sistema Dish/Stirling permite produzir electricidade durante a noite e em períodos de mau tempo não havendo emissão de CO<sub>2</sub>.

Alguns protótipos de sistemas Dish/Stirling foram construídos e operados na Arábia-Saudita, Espanha e EUA. Os custos de electricidade continuam relativamente elevados em comparação com a torre solar ou concentradores parabólicos cilíndricos. Contudo, uma drástica redução de custos é possível quando estes sistemas forem produzidos em grande número e em produção em série.



**Figura 6.33 - Sistemas de demonstração Dish/Stirling em Almería (Sul de Espanha)**

**Fonte: Volker Quaschnig**

**Tabela 6.14 - Características técnicas do Sistema Dish/Stirling "EuroDish"**

**Fonte: Schlaich Bergemann und Partner, Stuttgart**

Diâmetro do concentrador: 8,5 m	Reflectividade: 94 %
Abertura: 56,7 m <sup>2</sup>	Fluido térmico: Hélio
Distância focal: 4,5 m	Pressão do gás: 20 – 150 bar
Taxa média de concentração: 2.500	Temperatura do gás de entrada: 650 °C
Capacidade eléctrica bruta: 9 kW	Velocidade max. do vento para operação: 65 km/h
Capacidade eléctrica: 8,4 kW	

#### 6.9.3.4 Aspectos económicos

Sistemas de concentração solar apenas utilizam a parte directa da radiação solar, enquanto que sistemas não concentradores tais como os fotovoltaicos usam a parte difusa também. As tabelas 6.15 e 6.16 mostram que a irradiação directa aumenta com a diminuição da latitude até ao equador mais rapidamente que a radiação global horizontal.

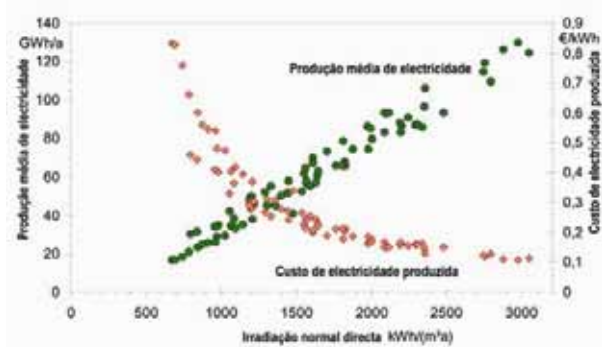
As centrais solares também podem operar em regiões com baixa irradiação directa, mas a viabilidade económica diminui significativamente. Regiões mais adequadas exibem uma irradiação normal directa anual na ordem de 2.000 kWh/m<sup>2</sup>a ou acima. Olhando para a Europa as regiões mais convenientes podem ser encontradas no Sul da Espanha, Sul da Itália ou Grécia. De destacar também a zona do Norte de África.

**Tabela 6.15 - Valores da irradiação normal directa e irradiação global horizontal para vários capitais Europeias**

	Unidade	Londres	Berlim	Paris	Roma	Madrid	Lisboa
Latitude	°N	51,5	52,5	48,9	41,9	40,5	38,7
Irradiação Directa – normal	kWh/m <sup>2</sup> a	690	787	842	1.565	1.593	1.764
Irradiação Global Horizontal	kWh/m <sup>2</sup> a	957	993	1.088	1.561	1.582	1.686

**Tabela 6.16 - Valores da irradiação normal directa e irradiação global horizontal para vários regiões que interessam para a instalação de centrais solares**

	Unidade	Bari (Itália)	Tabernas (Espanha)	Oujda (Marrocos)	Cairo (Egipto)	Luxor (Egipto)
Latitude	°N	41,1	37,1	34,2	30,1	25,4
Irradiação directa – normal	kWh/m <sup>2</sup> a	1.884	2.180	2.290	2.350	2.975
Irradiação Global Horizontal	kWh/m <sup>2</sup> a	1.659	1.832	1.995	2.093	2.438



**Figura 6.34 - Produção de energia eléctrica e custos de electricidade de uma central “Trough” parabólica para 75 locais no mundo inteiro vs. Irradiação normal directa**

Hoje em dia, numa boa localização podem obter-se custos de electricidade na ordem de 0,15 €/kWh. A produção em série e o aperfeiçoamento técnico podem baixar estes custos para 0,10 €/kWh. Tecnicamente a electricidade solar térmica pode também ser transportada do Norte de África para a Europa.



## 7 AQUECIMENTO SOLAR DE PISCINAS

O aquecimento solar de piscinas ao ar livre apresenta algumas vantagens decisivas em relação a outros métodos de utilização da energia solar térmica.

### Necessidades térmicas

O nível de temperatura que se pretende é comparativamente baixo, entre os 24°C e os 28°C. Isto permite a utilização de absorsores pouco dispendiosos em plástico.

### Radiação solar e período de utilização

O período de maior radiação solar é compatível com o período de maior utilização. Geralmente, as piscinas ao ar livre são utilizadas de Maio a Setembro. Durante este período ocorre aproximadamente 60% da radiação solar anual.

### Projecto simplificado do sistema

A água da piscina circula directamente através do absorsor. Os tanques de armazenamento geralmente necessários para os sistemas de energia solar não são necessários, já que a piscina em si faz esta função. Embora existam alguns exemplos de instalações em piscinas o potencial de instalação em Portugal é muito elevado.

**Tabela 7.1 - Número e área de Piscinas por região**

		PISCINA COBERTA	PISCINA AR LIVRE	TOTAL
Alentejo	nº	33	59	92
	m²	7.164	24.713	31.877
Algarve	nº	6	24	30
	m²	1.469	6.561	8.030
Centro	nº	77	96	173
	m²	17.811	29.526	47.337
Lisboa e Vale do Tejo	nº	115	51	166
	m²	30.329	23.099	53.428
Norte	nº	124	93	217
	m²	34.329	32.566	66.895
TOTAL	nº	355	323	678
	m²	91.102	116.465	207.567

De acordo com o estudo elaborado pelo FORUM “Energias Renováveis em Portugal” existe um elevado número de piscinas cobertas, cerca de 90000, com potencial de aplicação de sistemas solar térmicos. De referir no entanto que por diversos factores, nomeadamente a falta de espaço disponível para instalação destes sistemas, se consideram apenas 80% do total como realmente exequíveis.

**Tabela 7.2 - Potencial de aplicação de sistemas solares em piscinas cobertas**

Fonte: FÓRUM, Energias Renováveis em Portugal

	PISCINA COBERTA (m²)	Área de Colector (m²)	Energia Anual (MWh)
Alentejo	7.164	5.014,8	4.262,58
Algarve	1.469	1.028,3	874,055
Centro	17.811	12.467,7	10.597,545
Lisboa e Vale do Tejo	30.329	21.230,3	18.045,755
Norte	34.329	24.030,3	20.425,755
TOTAL	91.102	63.771,4	54.205,69

Este capítulo incide no aquecimento solar de piscinas ao ar livre e cobertas. Também se discutem opções combinadas, com sistemas de aquecimento de água de consumo doméstico e para apoio ao aquecimento.



**Figura 7.1 – Piscina com sistema solar**

## 7.1 Componentes

### 7.1.1 Absorsores

No sector do aquecimento de piscinas que funcionem maioritariamente no Verão, utilizam-se colectores sem cobertura (constituídos apenas por absorsores de plástico ). Estes colectores caracterizam-se pela inexistência da cobertura transparente e isolamento térmico do absorsor, assim como da estrutura de suporte. Estes colectores simplificados podem ser utilizados uma vez que os sistemas operam com baixas diferenças de temperatura entre o absorsor e a envolvente e com temperaturas de alimentação relativamente uniformes (10°C – 18°C).

No caso de haver instalação de colectores com absorsores de cobre, estes só podem ser operados em sistemas solares para aquecimento de piscinas, se for instalado um circuito solar separado, devido ao risco de corrosão térmica.



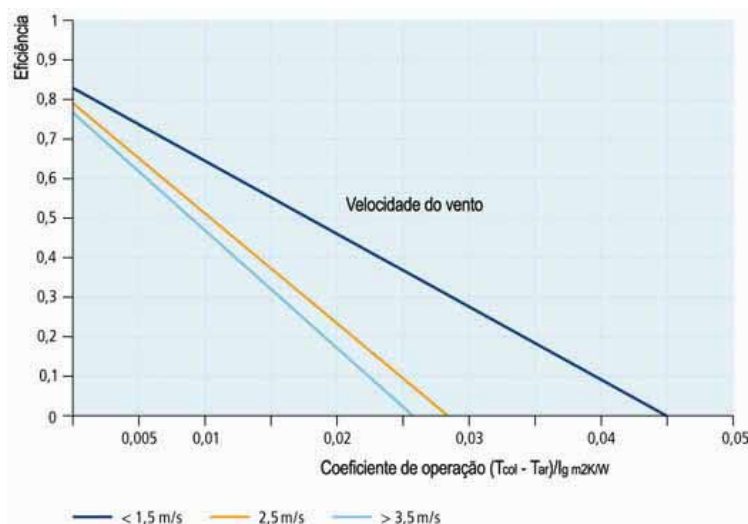
**Figura 7.2 - Sistema solar com absorsor para uma piscina privada**

#### 7.1.1.1 Eficiência e desempenho

A utilização de absorsores sem cobertura e sem isolamento no aquecimento solar de piscinas exteriores apresentam algumas vantagens devido a condições de operação especiais:

Na gama de operações típica, com uma diferença de temperaturas  $\Delta T$  entre a temperatura exterior e a temperatura média do absorsor de 0-20 K, os absorsores muitas vezes operam com uma eficiência mais

elevada que os colectores com cobertura. Isto pode ser explicado pelo facto de não ocorrerem perdas ópticas (normalmente entre os 10 e os 15% no que respeita à quantidade de radiação solar) através da cobertura transparente, e que as perdas solares não são tão significativas devido à baixa diferença de temperaturas  $\Delta T$ . Estas perdas térmicas aumentam, com o aumento das temperaturas de operação, o que no entanto ocorre raramente devido às temperaturas moderadas, que são obtidas sob condições de operação normais no absorvedor. Um dos factores decisivos para as perdas térmicas é a velocidade do vento que tem um efeito negativo na eficiência do absorvedor, sendo de salientar que para velocidades superiores a 1 m/s conduzem a uma diminuição drástica do rendimento dos absorvedores.



**Figura 7.3 - Curva característica dependendo da velocidade do vento**

#### 7.1.1.2 Tipos

Para além de alguns tipos especiais de absorvedores, os absorvedores em plástico podem ser subdivididos em dois grupos:

- absorvedores de esteira;
- absorvedores planos.

O tipo de absorvedor mais simples é o absorvedor de esteira. Uma quantidade de tubos lisos ou com alhetas são dispostos paralelamente e de acordo com o projecto são ligados com uma rede intermédia ou por tubos de recolha com dimensões pré-determinadas. Podem ser obtidas extensões de absorvedores até 100 m e as obstruções como chaminés ou clarabóias podem ser facilmente evitadas.



**Figura 7.4 - Um by-pass na zona da chaminé com um absorvedor de tubo EPDM**

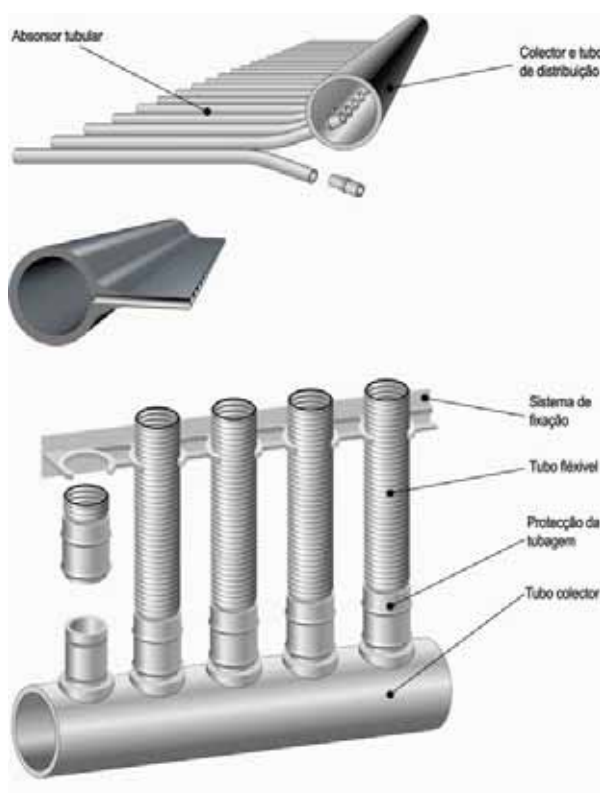
**Fonte: DGS**

No caso dos absorvedores planos, os canais são interligados estruturalmente. Desta forma produzem-se placas de diferentes dimensões com uma superfície lisa tendo a vantagem de não existirem rugosidades em

que a sujidade ou as folhas se possam acumular. O efeito de auto-limpeza durante as chuvas também é melhorado. Para além disso os absorsores são muito fáceis de manusear.

A influência da forma dos absorsores no factor de conversão com ângulos de inclinação diferentes pode ser quantificada, mas é muito reduzida. As variações do ângulo de incidência conduzem a pequenas diferenças no factor de conversão apenas para colectores planos. No caso de absorsores com alhetas estes podem conduzir a variações maiores que as obtidas com absorsores lisos.

A figuras seguinte mostra os diferentes métodos de conexão do absorsor às tubagens de recolha e distribuição.



**Figura 7.5 - Diferentes tipos de ligações do absorsor às tubagens de recolha/distribuição**

### 7.1.1.3 Perdas de pressão

Durante o dimensionamento do sistema solar é importante considerar as perdas de pressão do absorsor. Visto que a perda de pressão para todo o sistema define a potência da bombagem, o objectivo do planeador deve ser, obter a potência mais baixa com o maior desempenho térmico.

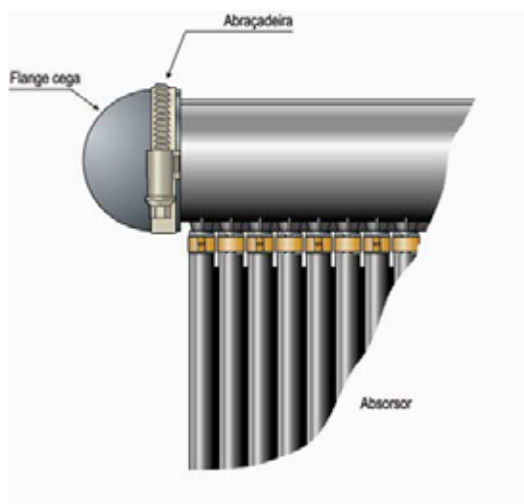
Seguidamente discutem-se as perdas de pressão que apresentam uma grande variabilidade para cada tipo de absorsor. Em geral a pressão de operação máxima admissível é bastante baixa (0,5 – 1,5 bar). Apenas os absorsores de tubo liso têm um valor mais elevado (3,0 bar). A secção ou diâmetro das tubagens são as variáveis com maior influência na perda de pressão. Ao usar absorsores com diâmetros de tubo mais pequenos podem obter-se extensões maiores, comparadas aos absorsores com diâmetros maiores. Isto deve ser tido em consideração durante o planeamento do sistema.

### 7.1.2 Tubagens e colector comum de distribuição

Em princípio, os componentes utilizados no circuito solar são semelhantes aos da construção de piscinas. De salientar que as tubagens de cobre ou aço não podem ser usadas, por causa do risco de corrosão. Desta forma as tubagens de plástico são as únicas que podem ser usadas.

O colector comum de distribuição é feito especificamente para o respectivo tipo de absorsor e fornecida pelo fabricante juntamente com este, estando por vezes integrada directamente no absorsor.

De acordo com o sistema podem ser fornecidos com o colector e tubagens de distribuição as flanges cegas, as protecções da tubagem e as uniões que podem ser fixadas por colagem, soldagem, ou com abraçadeiras. No caso de tubagens de plástico longas e rectas devem ser tidas em conta as variações de comprimento que podem ocorrer com mudanças de temperatura (coeficiente de expansão térmico até 0,2 mm/mK). Devem ser instalados tubos que permitam expansão, que são fixados de modo a que possam deslizar na direcção da tubagem.



**Figura 7.6 - Flange cega de uma tubagem de colector fixada com abraçadeiras**

### 7.1.3 Materiais

Os absorsores solares são feitos exclusivamente de plástico. Podem ser duros e rígidos ou moles e flexíveis de acordo com a mistura plástica. A utilização de plástico permite o funcionamento do sistema solar com água clorada na piscina. No entanto é necessário considerar o conteúdo em cloro. Uma dose elevada (a partir dos 5 mg/l) pode danificar o absorvor. Os limites exactos, a partir dos quais ocorrem danos, dependem da composição do plástico.

Os plásticos também são usados para as tubagens. Estas são, no entanto, feitas a partir de materiais rígidos.

Os tipos de plástico que podem ser usados são os abaixo indicados:

- EPDM, Monómero de Etileno Propileno;
- PP, Polipropileno;
- PE, Polietileno;
- ABS, Poliacrílo/Butadieno/Estireno co-polímero;
- PVC, Policloreto de vinilo (rijo ou macio).

Devido às suas boas propriedades há dois materiais para absorvor que são líderes de mercado, apesar dos elevados custos: EPDM e PP.

### 7.1.4 Bombas, permutadores de calor e outros componentes

#### Bombas

As propriedades dos materiais das bombas têm que satisfazer os requisitos de protecção contra corrosão. Normalmente não é possível usar as bombas sem materiais metálicos. Desta forma devem ser usados materiais resistentes à corrosão. O propulsor, por exemplo, é geralmente feito de bronze fundido, enquanto o eixo da bomba é de aço cromo-níquel. O encapsulamento consiste geralmente em ferro fundido cinzento mas também podem ser usados plásticos. Alguns fabricantes fornecem também bombas de piscina feitas inteiramente de plástico, tais como fibra de vidro reforçada PP ou POM (polioximetilina). Existem também, bombas em que o eixo não entra em contacto directo com a água da piscina devido ao seu design. Se a capacidade da bomba, existente no sistema da piscina, não for suficiente para bombear água da piscina através do sistema solar, devem ser usadas uma ou mais bombas suplementares. Devido ao elevado caudal, em comparação com os sistemas solares de água doméstica, e aos diâmetros das tubagens, as

bombas têm de ser dimensionadas de modo correspondente e com potências de vários kW, no caso de sistemas de grandes dimensões.



**Figura 7.7 - Bomba circular para o circuito solar, encapsulamento de ferro fundido, com eixo de aço crómio-níquel e propulsor de ferro fundido ou gunmetal**

**Fonte: Herborner,Herborn**

### **Permutadores de calor**

Os sistemas solares padrão para aquecimento de piscinas ao ar livre têm um sistema simples de construção, em que não é necessário permutador de calor. Se, contudo, for necessário outro tipo de aquecimento, são necessários permutadores de calor. O permutador de calor deve naturalmente adequar-se aos mesmos requisitos do material para o sistema das piscinas. É usado geralmente aço inoxidável. Todos os tipos de fontes de calor, tais como, bombas de calor ou caldeiras a gás podem ser ligadas e deve ser instalado um sensor de temperatura para fins de controlo. Certas configurações de sistemas requerem contudo a utilização de permutadores de calor.

### **Outros componentes**

De acordo com a ligação do sistema, são necessárias bombas e/ou válvulas controladas parcialmente por meios mecânicos para a operação do sistema. Também aqui se usam plásticos para as válvulas. As juntas (acessórios padrão), podem ser obtidas tanto em PVC como em PE ou materiais semelhantes. Visto que o fluxo é regulado por válvulas controladas mecanicamente, alguns fabricantes de equipamento de controle oferecem também juntas para a operação de sistemas de piscinas. Para além disso, são necessárias válvulas de segurança, válvulas anti-retorno, válvulas de fecho total, válvulas de passagem e ventiladores.



**Figura 7.8 - Válvula de 3 vias controlada mecanicamente, em PVC**

#### **7.1.5 Controladores diferenciais**

O controlo do sistema de absorvedores de uma piscina utiliza o princípio do controlo das diferenças da temperatura. Contudo, as diferenças de temperatura, que conduzem ao procedimento de arranque e paragem da bomba circuladora, são significativamente menores do que no caso de sistemas de



aquecimento de água doméstica. Assim, o arranque de uma bomba solar ou o posicionamento da válvula de 3 vias acontece a 2 – 4K, enquanto que atingida a diferença de temperatura de 0,5-1K a bomba é desligada novamente, ou no caso da válvula de 3 vias, é ligada para outro percurso.

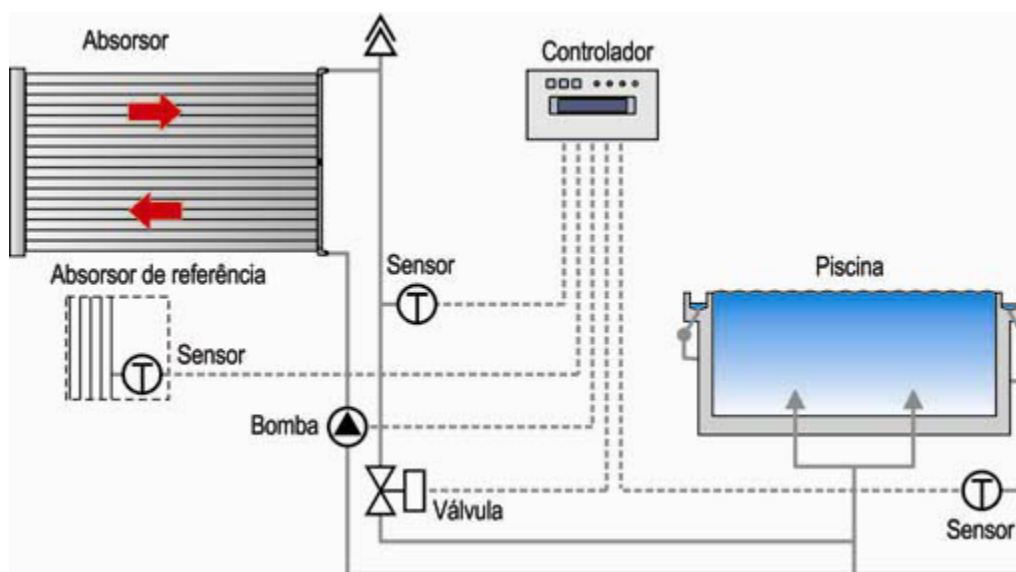
Para além da diminuição da diferença de temperatura, o sistema solar também se desliga quando a temperatura da piscina excede um dado valor (p.e. valor aproximado de 28°C). A temperatura máxima deve ser cuidadosamente seleccionada, dado que, por um lado se obtém um efeito de arrefecimento da temperatura, que é agradável aos utentes, e por outro, a temperatura máxima seleccionada não deve ser demasiado baixa, visto que a piscina pode funcionar como um reservatório de calor para os dias sem Sol.

Um aspecto importante, para qualquer forma de controlo, é o posicionamento correcto dos sensores de temperatura. Para fazer arrancar a bomba do circuito do absorvador, a temperatura é comparada com a temperatura da piscina. A temperatura da piscina não é, contudo, medida dentro da própria piscina, mas no sistema de filtração. Para um controlo mais preciso do sistema, os sinais de ligado e desligado para os sistemas solares estão separados um do outro. Isto significa que a temperatura do absorvador não é usada para desligar, pelo contrário, a temperatura de alimentação é comparada com a temperatura da piscina. Sensores calibrados aumentam o desempenho térmico do sistema solar mas devem ser comparados aos pares, sendo de importância secundária a medição correcta da temperatura.

Considera-se útil, especialmente em casos de grandes sistemas solares, medir a temperatura do absorvador por meio de uma secção separada do absorvador, não submerso, em contraposição aos sensores embutidos ou imersos. Deste modo, o efeito das variáveis relevantes da radiação, temperatura do ar e vento são registadas com um diferencial temporal de controlo muito baixo.

O controlo diferencial para sistemas de grandes dimensões de absorvadores em piscinas podem medir também outras variáveis, como a potência irradiada e o caudal, para que possa ser feito um equilíbrio e a determinação da eficiência do sistema solar. Existem também controladores que podem operar diferentes piscinas com níveis de temperaturas distintos. Uma piscina de pequenas dimensões para crianças tem uma temperatura pré-determinada mais elevada que uma piscina normal ou de mergulho. Se a potência irradiada é baixa, diminuindo o calor disponível do sistema solar, este pode no entanto ser fornecido, por exemplo, directamente para a piscina de crianças(devido à sua pequena dimensão), visto que o calor obtido no absorvador é suficiente, mas não é suficiente para piscinas maiores.

A Fig. 7.9 mostra um esquema de controlo padrão para o aquecimento solar de uma piscina exterior. O posicionamento correcto e sensores adequados têm aqui um papel fundamental. Alguns controladores são também capazes de controlar o aquecimento auxiliar. De modo a usar energia racionalmente é particularmente importante considerar a temperatura máxima desejada no caso de aquecimento auxiliar. Se se escolher uma temperatura alvo mais elevada, as perdas aumentam e portanto o consumo energético também aumenta. Se a temperatura aumentar por exemplo de 25°C para 25,5°C, o consumo de energia aumenta em cerca de 10%.



**Figura 7.9 - Esquema de controlo para um sistema de aquecimento solar para uma piscina exterior**

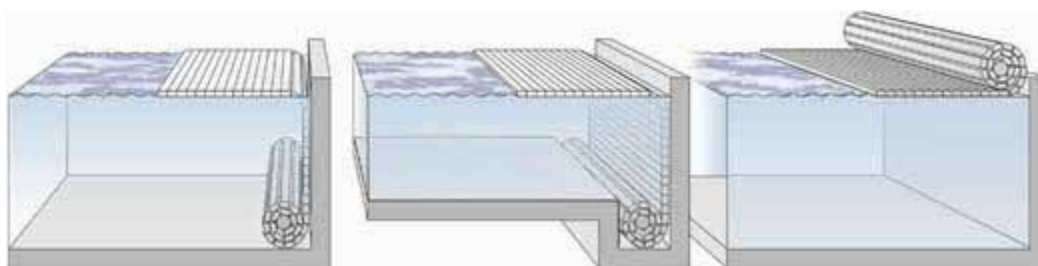
### 7.1.6 Cobertura da piscina

As perdas de calor numa piscina ocorrem principalmente à superfície da água através da evaporação, mas também por convecção e radiação. Para minimizar as reduções de temperatura da piscina durante a noite, recomenda-se uma cobertura sobre a superfície da água, evitando na totalidade a ocorrência de evaporação nocturna da água da piscina. As perdas por radiação e convecção são também significativamente reduzidas.

A cobertura das piscinas é especialmente eficaz se a água da piscina for mantida a uma temperatura elevada ( $>25^{\circ}\text{C}$ ), ou se a piscina estiver numa posição pouco protegida das condições atmosféricas. Com estas coberturas é possível poupar entre 30 a 50% da energia em piscinas ao ar livre, de acordo com a localização e posição da piscina, ou se a temperatura for mantida a um nível mais elevado. Relativamente a piscinas cobertas esta poupança cifra-se entre os 10% a 40%, reduzindo ainda o tempo de funcionamento dos equipamentos de tratamento de ar e consequentemente, a energia utilizada nestes. Devido aos custos consideráveis associados à cobertura da superfície de piscinas grandes, nas piscinas municipais ao ar livre estas coberturas não são geralmente usadas.

No caso de piscinas privadas podem sempre ser instaladas coberturas simples e económicas. No dimensionamento do sistema solar pode-se reduzir a superfície do absorsor, como consequência da poupança devida à cobertura e o custo total do investimento pode assim ser reduzido apesar dos custos extra da cobertura. Tal como o absorsor, as coberturas devem ser resistentes aos UV e à temperatura. São também feitas de plástico tal como o Polietileno com tratamento anti UV, bolhas ou PVC. As coberturas mais simples e económicas são melhores para manter a piscina limpa. Com as coberturas de Polietileno o calor pode ser mantido mais facilmente na piscina do que com perfis de PVC.

Os custos típicos de cobertura de piscinas privadas estão entre os 30-60 Euros/m<sup>2</sup> do plano de água.



**Figura 7.10 - Diferentes variantes de cobertura para piscinas para reduzir perdas de calor**



**Figura 7.11 - Fotografias de coberturas de piscinas, Fam. Worna**

## 7.2 Sistemas

### 7.2.1 Aquecimento solar de piscinas privadas exteriores

A superfície das piscinas privadas raramente ultrapassa os 100m<sup>2</sup>. Geralmente apenas os circuitos de filtros mais simples são instalados. Actualmente existem algumas empresas no mercado Português que fornecem



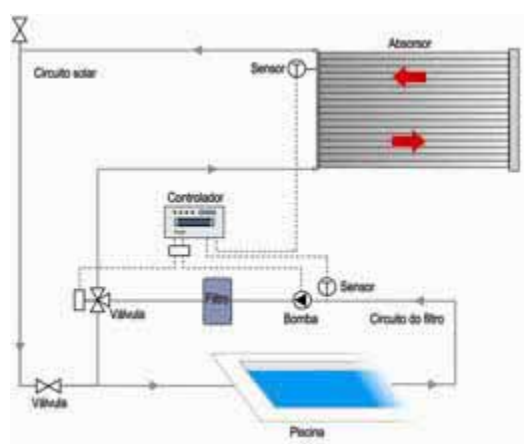
sistemas solares para aquecimento de água de piscinas. Existem diversos métodos de implementar o circuito hidráulico e a operação do circuito dos absorvedores. Os dois sistemas mais adequados e mais usados são descritos em detalhe na secção seguinte.

### 7.2.1.1 Sistemas com válvulas de 3 vias

O circuito do absorvedor está integrado no circuito de filtros existentes com uma válvula de 3 vias (p.e., as piscinas privadas). Isto significa que a bomba de filtração deve ser adequadamente dimensionada de modo a compensar a perda de pressão adicional no circuito do absorvedor. Esta perda de pressão depende grandemente da diferença de alturas entre a superfície da piscina e o absorvedor. E no caso de ser maior que 5 m é geralmente necessária uma bomba adicional no circuito do sistema solar.

Se existe uma diferença de temperaturas adequada (2-4 K) entre o absorvedor e a água da piscina, o controlador da piscina inicia a operação de bombagem. Uma válvula mecânica de 3 vias é instalada, de modo a que a água circule através do absorvedor, aqueça e seja então reconduzida para a piscina.

Existem soluções ainda mais simples em que a válvula de 3 vias é operada manualmente em detrimento do uso de um controlador. Contudo, estas raramente são utilizadas.



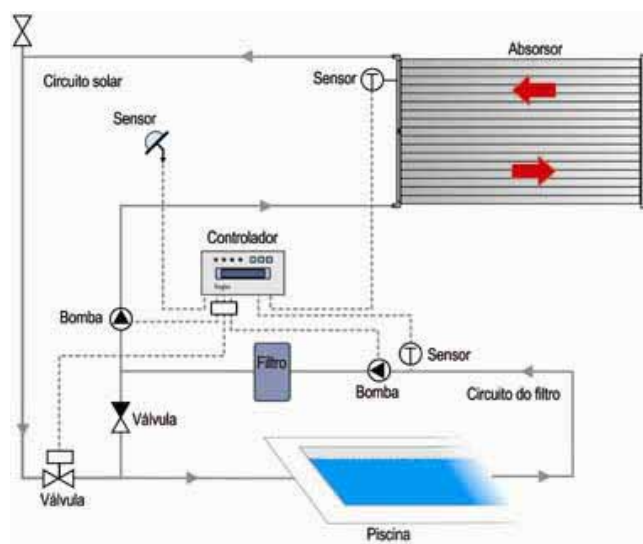
**Figura 7.12 - Diagrama de circuito de um sistema solar com uma válvula de 3 vias**

### 7.2.1.2 Sistemas com bomba adicional para circuito solar

Nestes sistemas uma bomba adicional opera o circuito solar e é accionada independentemente da bomba de filtro. Uma válvula anti-retorno deve ser instalada na alimentação do circuito solar para prevenir o esvaziamento do sistema depois de desligada a bomba. Esta pode ser accionada electricamente ou pneumaticamente. Para qualquer caso, a válvula anti retorno deve ser instalada no circuito do filtro para evitar fluxos incorrectos.

Numa variante sem válvula anti retorno um sistema de ventilação deve ser instalado. Se o absorvedor ficar vazio quando a bomba é desligada, pode ocorrer uma situação de vazio, que pode danificar o absorvedor. Um equipamento simples de ventilação permite que o ar circule dentro do absorvedor. Quando a bomba é ligada o ar no absorvedor é forçado a sair através do absorvedor e do circuito de filtros para a piscina. Um equipamento de ventilação assegura a saída imediata do ar do absorvedor quando a bomba é ligada novamente.

Num sistema com uma bomba adicional no circuito solar, existe ainda um modo alternativo de operação. Se o circuito do filtro da piscina não está permanentemente a funcionar, o circuito solar pode ser ligado independentemente do circuito do filtro. A água da piscina é retirada antes do sistema de filtragem, e bombada através do absorvedor pela bomba do circuito solar. Nestes casos, o circuito solar deve ter um filtro fino instalado a montante.



**Figura 7.13 - Diagrama do circuito solar com uma bomba adicional**

### 7.2.1.3 Integração de aquecimento auxiliar

A integração de sistemas de aquecimento auxiliares em piscinas privadas pode ser efectuada.

### 7.2.2 Aquecimento solar de piscinas públicas exteriores

Uma aplicação possível do aquecimento de piscinas exteriores é aquela que pode ser usada em piscinas públicas. Aqui, de acordo com o tipo de complexo de piscinas, existem uma ou mais piscinas que são aquecidas com o sistema solar. O número de piscinas que são aquecidas com o calor solar depende da configuração do sistema e da superfície disponível para a instalação dos absorvedores. Em piscinas de grandes dimensões, uma área de superfície do absorvedor de várias centenas de metros quadrados pode ser necessária.

#### 7.2.2.1 Circuito hidráulico

Os circuitos solares em piscinas ao ar livre são normalmente operadas com um circuito solar separado, ou com uma bomba no circuito do absorvedor. A construção hidráulica é muito mais complexa do que para piscinas privadas devido aos requisitos de higiene e saúde.

Um sistema numa piscina ao ar livre de grandes dimensões funciona de acordo com o seguinte princípio.

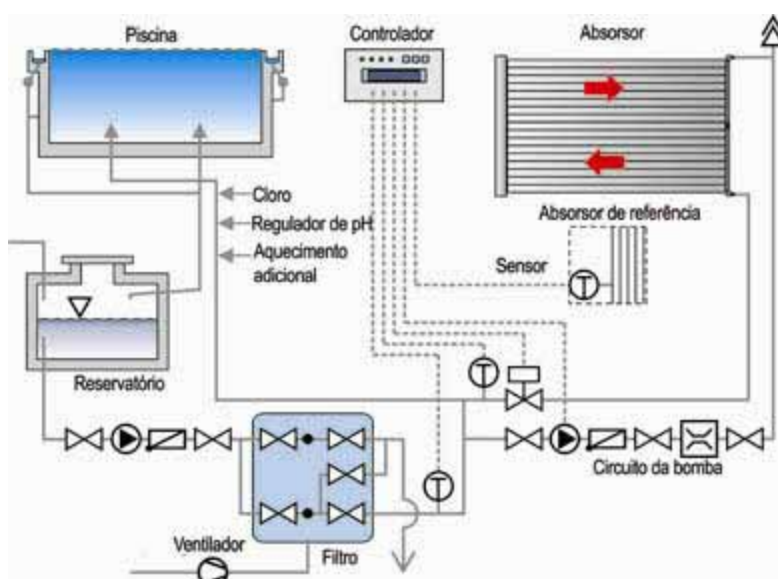
A água residual é levada desde a piscina para um tanque central de armazenamento. Este tanque funciona como um “medidor de nível da água” para todo o circuito da água da piscina. A quantidade de água que evaporou é compensada com a adição de água sanitária. Do tanque de armazenamento a água é bombeada através de um filtro, a jusante do tanque. Uma ou várias bombas de filtração, de acordo com o projecto do sistema de filtração em paralelo, são responsáveis pela depuração da água que é posteriormente reposta na piscina.

A jusante do sistema de tratamento da água encontra-se o circuito solar, ligado ao circuito da água da piscina através de um sistema de by-pass. A bomba do circuito solar desvia parte do caudal e bombeia-o através do campo de absorvedores. O caudal parcial depende da dimensão do campo de absorvedores. Posteriormente, a água aquecida pelo sistema solar é conduzida para o fluxo principal e finalmente é reposta na piscina.

Uma válvula mecânica deve ser instalada na linha de alimentação do circuito solar e a respectiva válvula anti retorno depois da bomba. Estes dois componentes evitam a possibilidade de funcionamento em vazio, no campo de absorvedores, quando o sistema não está em operação.

Antes da água chegar à piscina, são definidos parâmetros de saúde e higiene. Cloro e outros químicos, são introduzidos para regular o valor de pH, conforme necessário. O ponto de injeção do cloro deve estar integrado antes do desvio da água para o circuito solar, já que a concentração de cloro neste circuito não

deve exceder os 0,6 mg/l. Se em casos excepcionais houver uma concentração demasiado elevada de cloro (em certas circunstâncias até 10 mg/l), o campo de absorsores pode sofrer danos.



**Figura 7.14 – Diagrama do circuito solar com circuito hidráulico**

### Outras variantes do circuito

O circuito hidráulico descrito acima é o mais simples e o mais económico. Significa, no entanto, que todas as piscinas devem ser operadas através do mesmo sistema de filtragem.

Se cada piscina de um complexo ao ar livre tiver o seu próprio circuito de filtragem, o circuito solar deve ser integrado de outra forma. Uma das opções é ligar o campo de absorsores hidráulicamente a vários circuitos de filtragem. Um fluxo parcial deve no entanto ser sempre desviado de um circuito de filtragem e aquecido pelo sistema de absorsores. Por exemplo, na primeira fase, uma piscina pode ser aquecida e se existir ainda calor solar residual este pode ser fornecido a outra e assim sucessivamente.

Outras disposições do circuito hidráulico permitem o fornecimento de água aquecida pelo sistema solar a apenas uma, algumas ou todas as piscinas, de acordo com o output térmico da unidade de absorsores.

Ao dimensionar tal circuito, a posição das piscinas e dos seus circuitos de filtragem, assim como a sua distância à unidade de absorsores deve ser tomada em consideração, tanto por razões hidráulicas como por razões financeiras.

#### 7.2.2.2 Ligações do sistema de absorsores

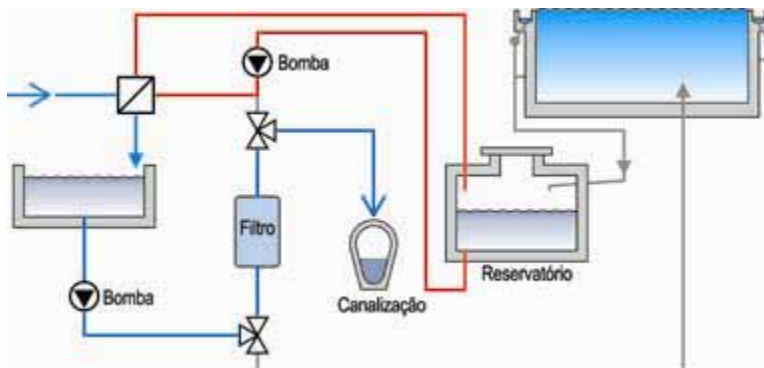
A instalação do sistema solar em piscinas exteriores, tem por vezes constrangimentos no que respeita ao sistema de absorsores, uma vez que este tem que ser instalado em diversas áreas de telhado, implicando que cada sistema de absorsores não tenha o mesmo tamanho, nem o mesmo comprimento de tubagens.

Deve-se tentar instalar um circuito de acordo com a teoria de Tichelmann, mas tal nem sempre é exequível. É portanto ainda mais importante que todos os subsistemas de absorsores tenham um fluxo uniforme entre si. Isto exige uma disposição cuidada das tubagens e das bombas dos subsistemas. Devem ser instaladas válvulas de seccionamento nos locais adequados para garantir o esvaziamento e o enchimento fáceis da tubagem do sistema solar.

#### 7.2.2.3 Recuperação de calor na limpeza dos filtros em fluxo inverso

O sistema de filtragem deve ser limpo em intervalos regulares ou o próprio filtro, depois de sofrer contaminação/colmatação. Esta limpeza pode ser efectuada pela passagem de água fresca em fluxo inverso. A água circulando através do filtro deve ser descarregada no esgoto, o que significa que o calor acumulado neste se irá perder. A água fresca, que substitui a água descarregada para o esgoto, pode ser previamente aquecida através de um permutador de calor.

Tal como noutras aplicações, devem ser consideradas cuidadosamente as questões económicas da recuperação de calor. As instalações feitas no âmbito de uma substituição completa do sistema de tubagens e uma época longa de utilização da piscina podem também aumentar a viabilidade económica destes sistemas.

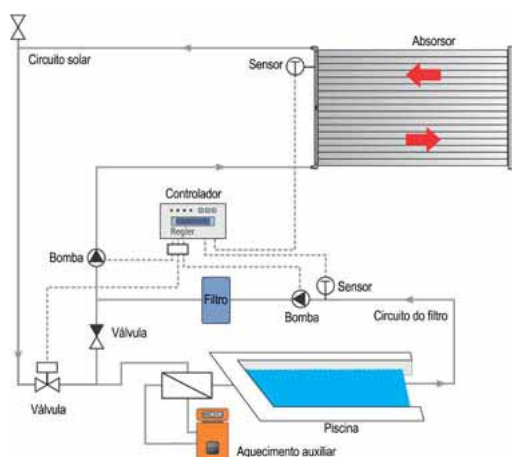


**Figura 7.15 - Diagrama de fluxo com sistema de recuperação de calor da água de lavagem do filtro em fluxo inverso**

#### 7.2.2.4 Integração de aquecimento auxiliar

Se a água da piscina tiver que ser mantida a uma temperatura constante é necessário aquecimento auxiliar com funcionamento convencional. Algumas piscinas ao ar livre oferecem aos seus visitantes água da piscina quente, independentemente da radiação solar, o que requer um aquecimento suplementar quando a radiação solar é insuficiente.

O aquecimento auxiliar é operado através de um sistema convencional (de preferência sistemas de aquecimento a gás) e um permutador de calor adicional. Num sistema bivalente de aquecimento o apoio deve estar montado em série e a jusante do aquecimento solar, dando prioridade ao Sol. Se a água não estiver à temperatura pretendida, depois da recirculação para o sistema de filtragem, o aquecimento auxiliar cobre as necessidades de aquecimento residuais.



**Figura 7.16 - Diagrama de fluxo com integração de aquecimento auxiliar**

#### 7.2.2.5 Integração na tecnologia existente na piscina

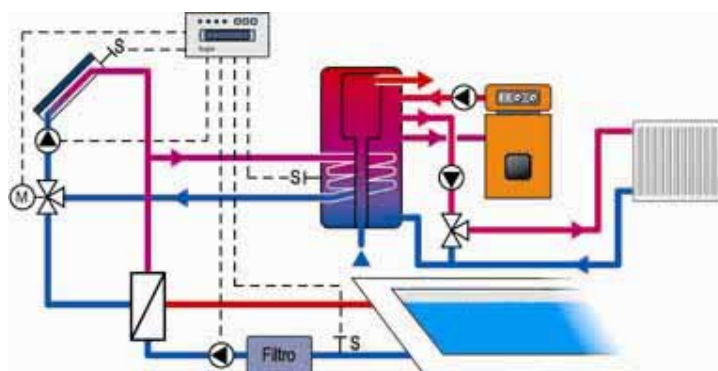
A inclusão de um sistema solar numa piscina exterior já existente, geralmente, não apresenta problemas de maior. Numa localização adequada do sistema de tubagens existente, a totalidade ou parte do caudal de água da piscina é desviada para a unidade de absorvedores. A localização mais favorável para a ligação do by-pass para o absorvedor é depois do sistema de filtros e antes da estação de tratamento de água. Se a integração não for possível por razões estruturais, deve ser encontrada uma alternativa (por exemplo a ligação dum by-pass do absorvedor depois do ponto de injeção do cloro). Contudo, é necessário considerar as desvantagens desta alternativa.

Visto que a tecnologia utilizada para tubagens é a mesma para o sistema solar e para o sistema existente, as uniões não constituem um problema.

O aquecimento auxiliar deve sempre ser instalado depois do by-pass do absorsor para o circuito do filtro, para que possa ser controlado de modo simples e operado eficazmente.

### 7.2.3 Combinação de aquecimento solar de água de consumo doméstico e aquecimento de piscinas exteriores

Um sistema solar para aquecimento de água sanitária pode ser combinado com o aquecimento solar de piscinas. Estes sistemas são projectados para dar prioridade ao aquecimento da água para a piscina, devido à menor necessidade térmica. Assim que a temperatura da água da piscina atinge o valor desejado, o sistema passa a abastecer o depósito para água quente sanitária. Estes sistemas combinados implicam a instalação de colectores solares com cobertura planos, CPC ou de tubo de vácuo, determinando a separação dos sistemas solar e da piscina através da transferência de calor por permutador, uma vez que os materiais utilizados para estes sistemas de colectores não são compatíveis com o cloro contido na água. Os permutadores devem ser fabricados em materiais adequados (ex. aço inoxidável ou eventualmente ligas de cobre especiais), de modo a evitar a corrosão.



**Figura 7.17 - Diagrama de controlo para um sistema solar para aquecimento de piscinas exteriores e aquecimento de água doméstica**

### 7.2.4 Uso racional de energia em piscinas públicas ao ar livre

Geralmente a maior fatia da despesa destes equipamentos está na factura energética, sendo por isso vital a sua redução com vista a assegurar o funcionamento deste tipo de infra-estruturas.

Na realidade, em muitos casos, os elevados custos de exploração causam adiamentos sistemáticos das obras de manutenção. Com a introdução de preocupações de utilização racional de energia pode conceber-se um cenário de reduções significativas nos custos de exploração.

Para além da instalação de sistemas solares em piscinas municipais, destacam-se outras medidas de racionalização de consumos de energia, relacionados com a produção, distribuição e consumo de água quente, nomeadamente:

- instalação de bombas circuladoras de maior eficiência energética;
- colocação de isolamento térmico eficaz em toda a rede de tubagem de água quente;
- instalação de chuveiros com temporizadores e/ou misturadoras;
- instalação de quebra ventos para piscinas ao ar livre;
- instalação de relógios com timers nas circuladoras do anel de retorno;
- afinação periódica de queimadores das caldeiras;
- instalação de coberturas do plano de água nas piscinas.

## 7.3 *Planeamento e dimensionamento*

### 7.3.1 Considerações fundamentais

No que diz respeito a sistemas solares térmicos para aquecimento de água doméstica, as condições existentes de radiação solar e consumo de calor são críticas. Para o planeamento de sistemas de

aquecimento de piscinas acontece o mesmo. O consumo de calor em piscinas é ao mesmo tempo determinado pela dimensão da área superficial da piscina, a profundidade da água, a temperatura da água desejada e as condições meteorológicas ambientes (temperatura do ar e velocidade do vento)

Nas piscinas exteriores, a água da piscina pode ser aquecida numa fracção solar até aos 100%, com o dimensionamento do sistema correspondente. As ligeiras variações de temperatura que resultam na água da piscina, não afectam a satisfação dos visitantes, visto que há mais utentes durante o Verão do que durante o Inverno. No caso destes sistemas de aquecimento solar monovalente, o volume da água da piscina funciona como o meio de armazenamento, amortecendo as variações de temperatura. No entanto, em períodos mais prolongados, de dias pouco soalheiros, os utilizadores regulares devem aperceber-se e aceitar temperaturas da água mais baixas, em comparação com piscinas aquecidas convencionalmente.

A tabela seguinte fornece um inventário de ganhos e perdas de calor que ocorrem numa piscina assim como das variáveis de que dependem.

**Tabela 7.3 - Ganhos e perdas de calor e as variáveis que as influenciam numa piscina**

Ganhos de calor	Perdas de calor	Variáveis
Radiação solar directa para a piscina	Evaporação	Área da superfície da piscina
Conversão da energia da bomba	Convecção	Temperatura da água da piscina
Aquecimento (solar ou convencional)	Radiação	Condições climáticas no local
	Terreno em redor	Condições de vento na superfície da piscina
	Limpeza dos filtros por fluxo inverso de água fresca	Número de utentes da piscina
		Condições da água superficial

O objectivo do planeamento do sistema solar para o aquecimento de água de piscinas deve ser, tanto quanto possível, o equilíbrio entre as perdas térmicas das piscinas e os ganhos solares, de modo a que não haja necessidade de aquecimento auxiliar. Apesar disso, discute-se também o projecto de grandes piscinas exteriores com aquecimento auxiliar convencional.

### 7.3.2 Fórmulas de aproximação para estabelecimento da área dos absorsores, caudal e perda de pressão

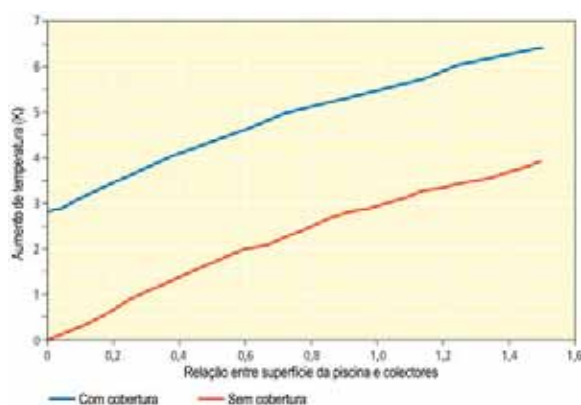
#### 7.3.2.1 Piscinas privadas ao ar livre

A dimensão da unidade de placas absorsoras do sistema solar depende da dimensão da superfície da piscina. No caso de piscinas privadas, a gama de projectos possíveis – de acordo com o qual o nível médio de temperatura deve ser obtido – é muito vasta, visto que neste caso, ao contrário de piscinas públicas ao ar livre, os aspectos económicos prevalecem.

Em princípio, a razão para o dimensionamento do sistema solar, entre a superfície do absorsor e a superfície da área da piscina, podem ser definidas do seguinte modo:

*Superfície do absorsor = 0,5 a 1 x área superficial da piscina.*

Devido à pequena área de superfície das piscinas privadas, estas devem estar equipadas com coberturas relativamente económicas. Se for utilizada uma cobertura, pode seleccionar-se uma razão de dimensionamento mais pequena:

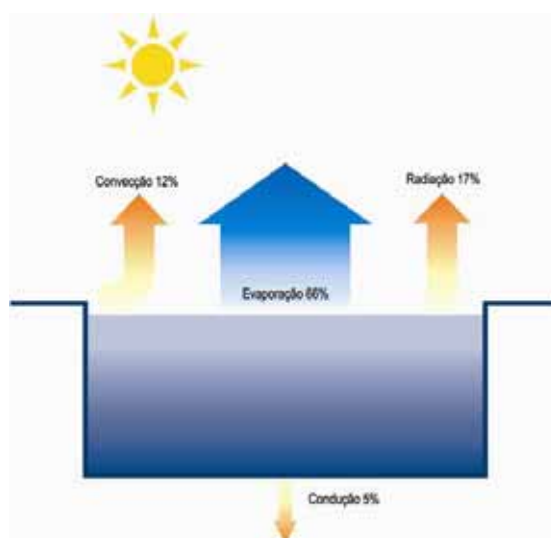


**Figura 7.18 - Aumento da temperatura dependente da razão do absorvitor/área superficial da piscina, com e sem cobertura**

Para piscinas privadas, ao contrário de piscinas públicas ao ar livre, a unidade de placas absorvedoras é muitas vezes instalada nos telhados das casas. No que diz respeito ao alinhamento do telhado, pode dizer-se que com uma inclinação de telhado acima dos 15°, deve ter uma orientação entre sudeste e sudoeste (-45° a +45°). Quanto menos favorável for o alinhamento da superfície dos absorvedores, maior deverá ser a razão de dimensionamento seleccionada.

### 7.3.2.2 Piscinas exteriores municipais

A figura seguinte mostra as perdas de calor de uma piscina ao ar livre. De acordo com esta, as perdas por evaporação na superfície da piscina representam mais de 60% das perdas totais



**Figura 7.19 - Perdas de calor de uma piscina ao ar livre**

A cobertura de uma piscina pode reduzir significativamente as perdas por evaporação. No caso de piscinas públicas ao ar livre, com áreas grandes de piscina, isto requer custos de investimento elevados. Sob determinadas circunstâncias, parte das perdas por evaporação podem ser compensadas, a um custo mais baixo, aumentando a área de superfície dos absorvedores, em vez da aplicação de uma cobertura da piscina.

Para além das perdas de calor à superfície da piscina, as condições climáticas (radiação, temperatura e velocidade do vento) devem ser tidas em consideração durante o dimensionamento. Na base de uma relação forte entre a área superficial da piscina e as perdas de calor (e o calor necessário para fazer a sua compensação), a relação entre a superfície do absorvitor é um critério decisivo para o dimensionamento da unidade de placas absorvedoras.



## Aquecimento monovalente

Muitos anos de experiência na operação de aquecimento de piscinas ao ar livre mostraram já que a razão de superfície deve estar dentro da gama seguinte:

*Superfície do absorsor = 0,5 a 0,7 x área superficial da piscina.*

Com o dimensionamento em condições padrão é estabelecida uma temperatura média da piscina entre os 22 e os 23°C.

O dimensionamento exacto depende de outras condições gerais. Se se pretende uma temperatura de piscina elevada, a área superficial da unidade de absorsores, e portanto a razão de dimensionamento, deve ser diminuída. Na prática o espaço disponível para a unidade de absorsores é muitas vezes o factor que define esta razão. O alinhamento dos absorsores não é muito importante para o projecto.

## Aquecimento bivalente

Se a água da piscina for mantida a uma temperatura de 21-22°C, através de aquecimento auxiliar convencional, a razão para o dimensionamento do sistemas de absorsores para a superfície da piscina é seleccionada de modo semelhante ao aquecimento monovalente. A temperatura média da piscina é significativamente mais elevada em comparação com o aquecimento monovalente. Apesar disto, a energia usada para o aquecimento auxiliar não se reduz da mesma forma, visto que os ganhos solares aumentam com maiores áreas superficiais de absorsores e existem perdas de calor mais elevadas, decorrentes de temperaturas na água da piscina mais elevadas.

O aquecimento bivalente deve ser sempre analisado de modo crítico numa perspectiva ecológica. No caso de uma razão de projecto típica de 0,6, a operação bivalente aumenta a temperatura média da água da piscina em 1K, quando comparada com uma operação monovalente. Para este aumento de conforto comparativamente baixo, tem que ser usada uma quantidade de energia relativamente elevada, o que conduz a custos de operação acrescidos.

## Considerações acerca do comportamento dos utentes

O comportamento dos utentes pode ajudar a seleccionar o sistema (monovalente, bivalente) mais adequado para aquecer a piscina. Estudos efectuados nesta área demonstraram que durante períodos de menor calor, p.e., com temperaturas abaixo dos 17°C, o número de utentes diminui, para ambos os tipos de aquecimento. Numa piscina exterior aquecida o número de utentes pode ser vários pontos percentuais mais elevado, mas considerando as questões económicas relacionadas com a operação, o operador pode considerar que este nível elevado de conforto, envolvendo temperaturas constantes da água da piscina de p.e., 21°C, apenas será usufruído por um número reduzido de utentes. Geralmente, apenas se consegue receber um número elevado de visitantes em dias soalheiros, em que as funções de aquecimento monovalentes funcionam bem com o sistema solar.

### 7.3.2.3 Fluxo do absorsor e perdas de pressão

Um fluxo uniforme através da superfície do absorsor é o critério mais importante para ganhos importantes, especialmente para unidades de grandes dimensões de absorsores em piscinas públicas exteriores.

Para além do mais, o caudal relacionado com a superfície é importante para uma transferência de calor eficiente. O caudal deverá encontrar-se dentro do seguinte intervalo:

*80 a 110 litros por hora por metro quadrado de superfície do absorsor.*

Este valor é geralmente aceite; contudo, a informação do fabricante deve ser tomada em consideração. Com este caudal e uma irradiação solar de 800 W/m<sup>2</sup> é estabelecida uma diferença de temperatura de 6 – 8K entre as linhas de alimentação e de retorno.

Em princípio, o desempenho térmico de um campo de absorsores aumenta com o aumento do caudal. De um caudal específico de aproximadamente 80 l/hm<sup>2</sup> o desempenho térmico fica perto do valor máximo. Ao mesmo tempo a energia eléctrica auxiliar necessária aumenta. De modo a alcançar um fluxo uniforme, através da superfície do absorsor devem ser tomados em consideração os seguintes pontos:

- $\Delta p_{\text{campo}}$  de placas absorsores > 0,5  $\Delta p_{\text{sistema}}$ . A perda de pressão ao longo do absorsor deve ser pelo menos o dobro do nível da soma das perdas de pressão do campo de tubagens;



- de modo a manter esta situação, devem ser usados campos de absorsores longos e estreitos e tubos de distribuição largos com uma velocidade de fluxo baixa;
- devem usar-se tubagens em conformidade com o princípio de Tichelmann, mas sozinha, esta medida é insuficiente;
- no caso de vários campos individuais, as válvulas de fecho parcial mostram ser eficientes. Com fluxómetros de área variável o fluxo através dos circuitos individuais pode ser monitorizado e conjugado.

Como regra, 0,2 bar é suficiente para cobrir a perda de pressão nas extensões de absorsores para assegurar um fluxo uniforme, se o distribuidor for dimensionado correctamente. Se o sistema de absorsores for relativamente curto a perda de pressão pode ser aumentada de modo correspondente, por ligações em série ou em curvas de modo a obter um fluxo uniforme.

Para uma boa transferência de calor entre o absorsor e a água da piscina, a velocidade do fluxo no canal dos absorsores deve ser turbulenta. A diferença entre a velocidade do fluxo no tubo de distribuição e o canal do absorsor não deve contudo ser demasiado elevada, pois de outro modo surgem perturbações no fluxo, tais como o efeito turbilhão nas paredes da tubagem e efeitos de sucção.

Se as condições fronteira descritas acima forem cumpridas, obtém-se um fluxo óptimo com um mínimo de consumo de energia da bomba. O consumo de energia eléctrica para as bombas não deve exceder em mais de 2% a energia solar disponível.

#### 7.3.2.4 Selecção da bomba solar

A selecção da bomba solar é efectuada com os cálculos descritos no Capítulo 5 para sistemas de aquecimento de águas domésticas. O caudal total do sistema é obtido depois de calculada a superfície total dos absorsores e tendo em conta o caudal específico. Para além disso, a perda de pressão através do absorsor, tubagens e todas as juntas no circuito do absorsor, assim como a diferença de alturas, entre a superfície da piscina e o sistema de absorsores, deve ser determinado. Usando o caudal total e a perda de pressão, podem ser encontradas bombas adequadas.

#### 7.3.3 Dimensionamento de sistemas assistido por computador

A simulação com software adequado também é possível para o aquecimento de piscinas exteriores, em particular para estimar a produção de energia solar. Contudo, devem ser feitos cálculos separados para um correcto dimensionamento do campo de absorsores, no que respeita ao fluxo uniforme, visto que os programas de simulação comuns, não conseguem mostrar as relações de fluxo em diferentes campos de absorsores.

### 7.4 Instalação

#### 7.4.1 Absorsores

Os absorsores podem ser instalados em telhados inclinados ou planos, com disposições diferentes, sendo também possível instalá-los ao nível do chão. Visto que o tempo de utilização preferencial se refere aos meses de Verão, quando os ângulos de elevação do Sol são maiores que 50°, a instalação com cabos de suporte para otimizar os desempenhos não é necessária. No caso de se utilizar uma superfície inclinada, então um alinhamento para Sul (podendo variar entre -45° a +45°) é vantajosa.

A instalação do absorsor é dependente do tipo de absorsor (em tubo ou plano) e das propriedades do suporte. A resistência estrutural do telhado tem apenas importância secundária. O absorsor em si, quando cheio, tem um peso baixo entre os 8 e os 12 kg/m<sup>2</sup>, de acordo com as suas características. As placas de betão utilizadas para fixar os absorsores tem pesos mais elevados, sendo necessário avaliar a resistência estrutural do telhado para estes suportes.

Sempre que são feitas aberturas no telhado, estas devem ser fechadas de novo e impermeabilizadas. São preferíveis os suportes que não necessitem de modificar a estrutura do telhado, p.e., a instalação em terraços com placas de betão.

##### 7.4.1.1 Aspectos adicionais sobre a instalação de absorsores

No caso de telhados inclinados o colector sem cobertura deve instalar-se preferencialmente ao longo do eixo cumeeira/goteira. Deste modo as poeiras que se acumulam entre as tubagens podem ser removidas

pela água das chuvas. As extensões dos colectores podem ser instaladas simplesmente por suspensão destas no colector e tubagens de distribuição. Pode evitar-se que deslizem, através de cintas. Se, por razões hidráulicas, e por causa da superfície do telhado, muitas vezes mais larga, for seleccionada uma instalação transversal, a superfície dos colectores deve ser limpa pelo menos uma vez em cada estação do ano (no início da estação) por aspersão. É também aconselhável para campos de placas absorvedoras montados em telhados planos visto que a poeira não pode ser removida naturalmente pela chuva.

### Instalação no nível térreo

Pode suceder que a área disponível no telhado seja insuficiente, especialmente no caso das piscinas públicas onde são necessários vários campos de absorvedores de 100m<sup>2</sup>. Sob certas circunstâncias, pode ser possível instalar o sistema ao nível do chão. Pode ser garantida a segurança contra a força do vento do mesmo modo que para os casos de instalação no telhado. É também essencial que o campo de absorvedores esteja protegida contra a invasão de plantas ou ervas. Para isso, deve ser preparada uma área tão plana quanto possível, de modo a permitir a drenagem fácil da água da chuva e que evite o crescimento de plantas no longo prazo. Deve ser colocada uma camada de gravilha fina por baixo dos absorvedores, para estes não serem danificados por pedras angulosas quando for necessário caminhar por cima deles.

Para obter protecção adicional, a área do absorvedor pode ser vedada. Uma sebe baixa a uma distância adequada protege o campo de absorvedores do vento e reduz as perdas de calor por convecção.

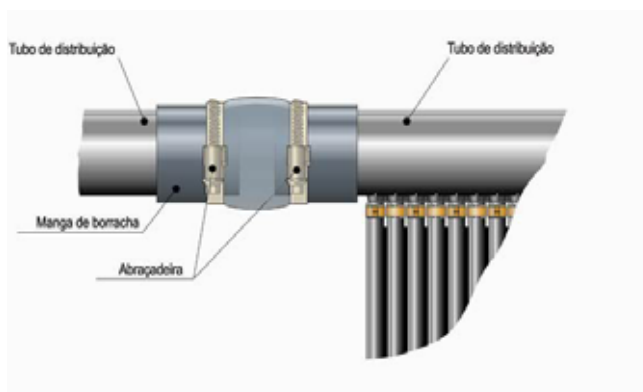
#### 7.4.2 Instalação da tubagem

As especificações técnicas relevantes tais como a EN 805 devem ser utilizadas durante os trabalhos de instalação. Adicionalmente, as extensões de tubagem entre o campo de absorvedores e a piscina devem ser seleccionadas de modo a que sejam o mais curtas possível. Devido às baixas temperaturas de operação, não é utilizado normalmente isolamento para as tubagens. Deve ser dada especial atenção à expansão térmica, em comprimento, das tubagens de plástico.

##### 7.4.2.1 Tubagens de recolha e distribuição

Em geral, o tipo de fixação depende do sistema de absorvedores utilizado e do tipo de revestimento do telhado. As tubagens de recolha e distribuição ou estão ligadas ao telhado com parafusos, ou com grampos semelhantes àqueles usados para as montagens sobre o telhado em colectores planos.

Visto que as tubagens de recolha e distribuição de absorvedor são geralmente feitas de Polietileno de Alta Densidade ou PVC a expansão relacionada com a temperatura deve ser tida em conta. Tubagens individuais podem por exemplo ser conectadas através de camisas de borracha. Se as tubagens ligadas não conectam directamente uma com a outra, a expansão pode ser compensada pela instalação de mangas de borracha.



**Figura 7.20 - Mangas de borracha para tubagens de colector para compensar a expansão relacionada com a temperatura**

##### 7.4.2.2 Circuito solar

A tubagens para o circuito solar são formadas por tubos de plástico. Os tubos de PVC são muitas vezes usados, mas se possível devem ser usados tubos de PE ou PP, por razões ambientais. Os tubos são ajustados à estrutura do edifício com grampos de parafuso. Entre o edifício e a piscina os tubos devem ser

subterrâneos. Os tubos de PVC são ligados com um adesivo adequado. Os tubos vulgares de PVC cinzentos não devem estar sujeitos a radiações UV e devem portanto estar debaixo do telhado, enterrados ou devem ter uma camada protectora. Os tubos negros de PVC e as juntas correspondentes são contudo resistentes aos UV.

Os tubos longos devem ser ligados a um ponto fixo, numa disposição livre, para permitir a expansão ao longo do comprimento. A gama de temperaturas, em que o tubo opera é muito ampla, atingindo valores superiores aos 70°C, quando a bomba do absorsor se encontra desligada (estagnação). Com um coeficiente de expansão devido ao calor de 0,2 mm/mK (em comparação, o cobre é de 0,016 mm/mK) e uma tubagem de 30 m, resulta numa alteração de comprimento de 540 mm. A tubagem deve ser ajustada em apoios livres. Para além do mais, devem ser instaladas secções flexíveis e ângulos de expansão em intervalos regulares a partir dos pontos fixos (10-15m).



**Figura 7.21 - Exemplo de instalação móvel de tubagem com grampos de fixação**

### 7.5 Operação e manutenção

Os sistemas solares em piscinas exteriores operam normalmente de um modo completamente automático. O controlador toma conta da operação e acciona o interruptor para os modos ligado e desligado. Depois de uma nova instalação, pode ser necessária uma intervenção na estratégia de controlo, o que deve apenas ser realizado por um perito.

No início de uma estação, a superfície do absorsor deve ser inspeccionada para detecção de contaminação e escovada ou lavada conforme necessário. A utilização de agentes de limpeza sob pressão não é recomendada, por causa do risco de danos. No início da estação o sistema deve ser totalmente purgado, o que no caso de campos de absorres grandes e múltiplos representam um custo significativo devido ao trabalho manual necessário.

Especialmente no caso de piscinas públicas é recomendável que seja dada aos trabalhadores alguma informação básica acerca do funcionamento do sistema solar. Isto significa que os trabalhadores podem verificar os parâmetros de operação, em intervalos regulares e devem ser capaz de reconhecer funções de erro. Um sistema de controlo que memorize os desempenhos torna esta tarefa mais fácil. Estes valores podem depois ser usados para verificações regulares, e também para fornecer aos utentes a informação visual num local adequado.

Danos individuais nos absorres podem ser facilmente rectificadas. Um tubo danificado pode ser substituído total ou parcialmente, entre o colector e o distribuidor. A parte danificada é cortada e reparada com um novo tubo de absorsor, mangas e os grampos necessários.

No final da estação a unidade de absorres deve ser esvaziada. Mesmo que os absorres EPDM não tenham danos durante o Inverno, podem formar-se germes na água que não circula durante algum tempo. Os absorres de PP, por outro lado, devem ser esvaziados visto que não são resistentes à geada. É normalmente usado ar comprimido para o processo de esvaziamento. As tubagens do colector, do distribuidor e do ciclo solar são esvaziadas através das válvulas de descarga.

### 7.6 Custos e desempenhos

A decisão de investir num sistema solar depende fundamentalmente da vontade de aumentar o período de funcionamento das piscinas ao ar livre e também de reduzir as despesas de exploração dos equipamentos de aquecimento de água. O investimento em colectores solares por parte das autarquias revela-se

interessante, mesmo não sendo possível recorrer aos incentivos económicos disponíveis. São particularmente interessantes nos casos em que estejam instalados sistemas de aquecimento a propano. Com gás natural e gasóleo o período de retorno do investimento é de 8 anos em muitas situações.

Modelos específicos de contratos podem ser interessantes para as autoridades locais, no caso de inexistência de capacidade de financiamento. Neste caso, um investidor e operador de um sistema solar poderá vender “água quente para piscina” à autoridade local. Esta alternativa, financeiramente atraente, também minimiza o risco para o operador.

## 8 SISTEMAS SOLARES DE AQUECIMENTO AMBIENTE

Os sistemas solares para aquecimento ambiente através do aquecimento de ar são comparáveis a sistemas solares cujo meio de transferência de calor é um líquido. Contudo, o ar, o meio de transferência de calor nestes sistemas solares, tem características físicas diferentes da água, o que conduz a consequências profundas. Uma comparação das diferentes propriedades torna esta questão mais clara.

**Tabela 8.1 - Alguns dados para ar e água a 25°C e 1 bar**

	Ar	Água
Densidade	1,185 kg/m <sup>3</sup>	998,200 kg/m <sup>3</sup>
Capacidade calorífica específica c (massa)	0,28 Wh/kgK	1,16 Wh/kgK
Capacidade calorífica específica c (volume)	0,31 Wh/m <sup>3</sup> K	1,16 Wh/m <sup>3</sup> K
Conductividade térmica	0,026 W/mK	0,559 W/mK

As consequências que resultam destas características são:

- Velocidade de aquecimento: o ar aquece mais depressa que a água devido à sua capacidade calorífica muito mais baixa. Isto significa que em colectores solares de aquecimento ambiente podem ser alcançadas temperaturas úteis, mesmo a níveis baixos de irradiação;
- Armazenamento indirecto: o armazenamento de energia em sistemas de aquecimento ambiente é mais caro e apenas pode ser feito indirectamente, pois o meio de transferência de calor (ar) é em si mesmo inadequado para o armazenamento de energia;
- Conductividade térmica baixa: a transferência de calor do absorber para o fluido de transferência de calor é pior num colector solar de aquecimento ambiente, quando comparado com um colector de tamanho idêntico usando um meio líquido;
- Fluxos mássicos e volúmicos elevados: os sistemas de aquecimento ambiente requerem um dimensionamento e instalação cuidadosos de modo a minimizar o uso de energia auxiliar.

Como meio de transferência de calor, o ar oferece as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

A estrutura simples do sistema pode ser encarada como uma vantagem. Ao contrário dos líquidos, não há problemas em relação à segurança do sistema. O ar não pode congelar nem ferver, e portanto não são necessárias medidas de protecção contra o congelamento, nem são necessárias medidas de protecção para situações de estagnação. Para além do mais, o ar é pouco corrosivo. Isto aumenta o tempo de vida dos colectores. Uma vantagem genérica da utilização dos sistemas solares térmicos de aquecimento ambiente é a necessidade de temperaturas mais baixas do ar que entra nas divisões, ao contrário da temperatura de alimentação clássica, com superfícies de aquecimento estáticas. É portanto possível utilizar temperaturas mais baixas, obtendo-se um efeito positivo na eficiência do colector. Para além disto, as perdas na transferência de calor decorrentes do aquecimento da água clássico não existem.

Desvantagens:

Por causa da capacidade térmica mais baixa e da fraca conductividade térmica, em comparação com os líquidos, são necessárias tubagens de maior diâmetro e permutadores de maiores dimensões para a transferência de calor.

De um modo geral, estas propriedades permitem um sistema muito simples para o aquecimento solar directo de edifícios, visto que não é necessário um circuito separado para esta tarefa. O ar que passa através dos colectores pode ser directamente introduzido no edifício.

Para uma integração adequada de um sistema solar de aquecimento ambiente num edifício, é vantajosa a existência de um sistema para o controlo da ventilação do edifício; caso não exista, deverá ser instalado. Com os requisitos existentes de eficiência energética em edifícios novos, a ventilação controlada é instalada com cada vez maior frequência. As perdas por transmissão, mais baixas, juntamente com a recuperação de calor, podem conduzir a consumos de energia ainda mais baixos. Através de uma combinação adequada, com um sistema solar de aquecimento ambiente é também possível obter ganhos solares, para além da diminuição do consumo energético. Tanto os sistemas de ventilação, como os sistemas solares de aquecimento ambiente operam no mesmo meio, sendo possível integrar um destes sistemas sem grandes

despesas. A utilização de um sistema solar, como sistema de fornecimento de ar quente, é possível sem um sistema de ventilação controlado.

Em edifícios solares passivos, contudo, a utilização de colectores solares de aquecimento ambiente é muito crítica por razões económicas, pois a necessidade de energia térmica nestes edifícios na Primavera e Outono é muito baixa, devidos aos ganhos passivos elevados. Isto conduz à necessidade de armazenamento de energia, para a qual os sistemas solares térmicos de aquecimento ambiente standard pouco dispendiosos, são mais adequados.



**Figura 8.1 - Exemplo de um sistema solar de aquecimento ambiente**

**Fonte: Grammer, Amberg**

## 8.1 Componentes

### 8.1.1 Tipos de colectores

Os colectores solares podem ser diferenciados utilizando critérios distintos:

- tipo de padrão de absorção;
- tipo de cobertura do colector.

#### 8.1.1.1 Distinção de acordo com o tipo de padrão do fluxo do absorção

Os colectores solares de aquecimento ambiente podem ser classificados em três tipos de construção. Esta classificação depende do modo como o meio de transferência de calor “ar” é colocado em contacto com o absorção.

Podemos distinguir entre:

- colectores de fluxo superior;
- colectores de fluxo inferior;
- colectores de fluxo superior e inferior.

O desenho é o mesmo para os três tipos de colectores. Na parte de trás do colector existe isolamento térmico de modo a minimizar as perdas de calor para a envolvente. A caixa é fechada em cima através de uma cobertura transparente.

No caso de colectores de fluxo superior, o absorção está instalado directamente no isolamento térmico e o ar a aquecer circula sobre o topo. Os colectores de fluxo inferior têm um canal de ar entre o absorção e o isolamento térmico, através do qual o ar circula. Isto evita que o ar quente circulante entre em contacto com a cobertura, o que reduz significativamente as perdas de calor convectivo pela frente. Quanto aos colectores de fluxo superior e inferior, têm em princípio o mesmo design que os de fluxo inferior, mas aqui o absorção tem o fluxo de ar nos lados superior e inferior. A transferência de calor a partir do absorção é assim melhorada. No entanto ocorrem perdas de calor pela parte superior.

Com base nestes três tipos básicos, são conhecidas muitas variantes e desenvolvimentos de colectores solares de aquecimento ambiente. A optimização da transferência de calor é geralmente o tema central no desenvolvimento. No entanto, ao avaliar estes desenvolvimentos, é necessário considerar que as perdas de pressão devem ser minimizadas. Em última análise, os desenvolvimentos pretendem a optimização do sistema, com dois objectivos contrastantes: o melhoramento da transferência de calor e a minimização das perdas de pressão.

#### **8.1.1.2 Classificação de acordo com a cobertura do colector**

Tal como no caso de colectores para aquecimento de água, para os sistemas solares de aquecimento ambiente existem variações nos colectores, com o objectivo de ter o colector mais simples e portanto mais económico. Um colector de aquecimento ambiente sem cobertura, tem uma perda de calor maior, devido à inexistência de cobertura transparente, em particular com temperaturas mais altas no absorvedor, sendo a sua eficiência menor. Este desenho pode, contudo ser de interesse para temperaturas do absorvedor mais baixas, porque os custos de material são reduzidos e a produção simplificada. Com este tipo de colector e condições térmicas adequadas, podem obter-se custos de produção muito baixos. Este tipo de colector solar é usado principalmente para o pré-aquecimento de ar fresco. Para aplicações em que são necessárias temperaturas de operação mais altas no colector solar, os colectores solares de aquecimento ambiente cobertos devem ser seleccionados.

#### **8.1.1.3 Colectores de aquecimento ambiente standard**

Um colector padrão corresponde a um colector de fluxo inferior. Tem uma caixa, isolamento térmico nas partes traseira e laterais, uma cobertura transparente e também um absorvedor. O absorvedor consiste numa folha forrada a alumínio, desenhada com um perfil em U. Quando colocados lado a lado, estes perfis produzem um perfil ondulado para a transferência de calor, para o ar que circula através dele.

Os colectores estão disponíveis em diferentes versões, com diferentes espessuras, dependendo da dimensão do sistema. Um caudal de ar maior pode ser admitido, com o aumento da espessura.

Adicionalmente, por causa da ligação em série dos colectores de caudal específico, existem diferentes módulos disponíveis. O colector central está ligado no seu lado mais estreito aos colectores finais, através de ligações em flange. Os colectores terminais têm uma ligação ao sistema de ventilação. Este sistema é projectado, quer como uma ligação em tubo, p.e., para conduzir o excesso de ar desde o edifício através de colectores, ou é-lhe adaptado um filtro de ar, integrado na abertura posterior, de modo a conduzir o ar fresco directamente através dos colectores.

#### **8.1.1.4 Outras variantes de colectores de aquecimento ambiente**

Para permitir uma operação independente da circulação do ar nos edifícios, sem necessidade de instalação de uma fonte de energia independente podem ser usados colectores com um módulo integrado de fotovoltaico. Este fornece a energia eléctrica necessária para alimentar um ventilador de corrente contínua, quando existe radiação directa. No entanto, esta variante pode ser usada no topo de edifícios que têm uma fonte de alimentação. O sistema é nesse caso operado pelo módulo de fotovoltaico, de acordo com as condições climáticas e não há custos adicionais devidos ao ventilador.



**Figura 8.2 - Colectores de aquecimento ambiente em suportes no telhado de uma fábrica**

**Fonte: Grammer, Amberg**

#### **8.1.1.5 Colectores de fachada**

Outra aplicação interessante para sistemas solares de aquecimento ambiente é a integração nas fachadas. Aqui, os colectores podem substituir completamente a fachada ou podem ser colocados numa fachada existente.

Porque o aquecimento de um edifício se faz geralmente durante o Inverno, e nos períodos de transição, p.e., com ângulos de elevação solares baixos, a disposição vertical dos colectores traz algumas vantagens. Por razões económicas, a integração nas fachadas de colectores solares de aquecimento ambiente pode ser interessante, pois durante a construção ou recuperação de uma fachada podem ser evitados alguns custos. Estes podem então ser comparados com os custos de integração de colectores solares aéreos nas fachadas.

#### **8.1.1.6 O sistema Solarwall**

Para além dos sistemas de colectores de fachada com revestimento transparente, o colector sem cobertura é um dos mais usados (sistema Solarwall). Este tem um revestimento de alumínio perfurado e escurecido, como o revestimento exterior de uma fachada. Através de um processo de sucção regulada da camada limite do ar aquecido, no lado exterior do revestimento de alumínio, o calor é recolhido e transmitido ao sistema de ventilação, para fins de aquecimento.



**Figura 8.3 - Escritórios e instalações de produção na MBE Metallbau Eisenach, com uma fachada solar**

**Fonte: Solarwall International Ltd., Göttingen**



### 8.1.2 Ventiladores

Os ventiladores, que são normalmente usados em sistemas solares de aquecimento ambiente, são semelhantes aos utilizados em sistemas de ventilação normais. Para além destes ventiladores radiais, mais comumente usados, existem também ventiladores axiais e de fluxo cruzado. A utilização dos ventiladores axiais pode ser maximizada para tubagens de secção redonda; contudo são usados principalmente, em sistemas de exaustão de ar. Os ventiladores de fluxo cruzado operam silenciosamente, mas têm uma taxa de descarga baixa e são usados em casos muito particulares. Tendo em conta as possibilidades de ligação flexíveis e a sua taxa de capacidade de descarga mais elevada, os ventiladores radiais são preferidos. Através de diferentes desenhos da pá (curvada, para a frente ou para trás) a adaptação óptima pode ser obtida para os caudais e diferenças de pressão existentes.



**Figura 8.4 - Ventilador radial**

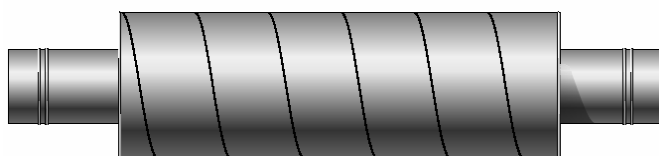
Para sistemas solares de aquecimento ambiente, em fábricas com taxas de circulação muito altas, os ventiladores operam a vários quilowatts. Com uma média anual de 2.000 a 2.500 horas de operação, o consumo de energia é significativo. Para a avaliação dos requisitos energéticos adicionais, as perdas de pressão nos colectores solares de aquecimento ambiente e nas tubagens necessárias são decisivas. Com um bom planeamento e dimensionamento do sistema é possível reduzir a energia eléctrica adicional, para 2 a 5 % dos ganhos térmicos.

### 8.1.3 Tubagens

As tubagens nos sistemas solares de aquecimento ambiente correspondem aos requisitos para um sistema de ventilação normal. Os materiais mais usados são o aço e aço inoxidável. Sob certas condições, pode ser utilizado alumínio.

As secções circulares são usadas para canais mais pequenos, as tubagens são feitas de um sistema de espiral enrolada. No caso de canais largos, são normais as secções quadradas ou rectangulares. Tubagens flexíveis são usadas em curvas, que ultrapassem passagens inacessíveis e se desviam de valores padrão (ligação do colector em inclinações diferentes de 45°). Para tubagens no exterior do edifício, é recomendável a utilização de isolamento térmico para UV e para as condições climáticas. No entanto, no interior do edifício tal não é necessário.

De modo a reduzir o ruído, a utilização de componentes de atenuação de ruído recomenda-se, sendo particularmente importante para sistemas com requisitos de conforto elevados. Níveis elevados de ruído ocorrem com velocidades de circulação do ar elevadas e também em curvas, devido à fricção do ar e devido à utilização de tubagens de baixa fricção. Como resultado, é geralmente instalado um absorvedor de ruído à entrada das divisões, de modo a reduzir a carga sonora.



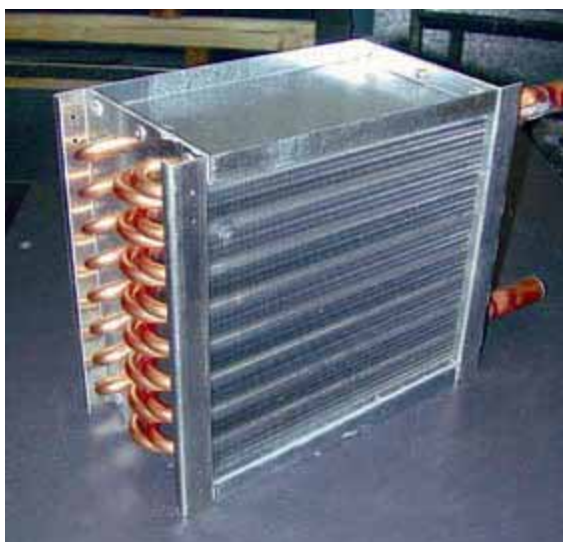
**Figura 8.5 - Absorvedor de ruído**

#### 8.1.4 Permutadores de calor, unidades de recuperação de calor

Em sistemas solares de aquecimento ambiente, os designados recuperadores ou permutadores de calor planos (coeficiente de recuperação de calor normalmente de cerca de 65%, para taxas elevadas de circulação) ou permutadores de calor rotativos são utilizados. Estes podem alcançar coeficientes de recuperação de calor até 90%, e simultaneamente permitir a troca de humidade, que pode ser usada para ar condicionado.

O coeficiente de recuperação de calor indica as trocas de calor que podem ser alcançadas, pela recuperação de calor, no que respeita à saída do ar. No caso de equipamentos com transferência simultânea de humidade, existe também, de modo semelhante, um coeficiente de recuperação de humidade.

De modo a utilizar o excesso de calor de um colector solar de aquecimento ambiente no Verão, são usadas unidades de transferência de calor ar-água. Estas podem transferir o excesso de calor para a água sanitária e permitir uma contribuição adicional, para a redução dos requisitos energéticos convencionais.



**Figura 8.6 - Unidades de transferência de calor ar-água**

**Fonte: Solarwall International Ltd., Göttingen**

#### 8.1.5 Controladores

Para o controlo de colectores solares de aquecimento ambiente, podem ser usados controladores diferenciais de temperatura. O controlador compara a temperatura da divisão aquecida e a temperatura do colector. Se for alcançada uma diferença de temperatura (normalmente 3K), o ventilador é activado. No caso de sistemas de aquecimento bivalentes, as temperaturas definidas nas divisões podem ser controladas, de modo independente do controlador solar, pelo regulador de temperatura da divisão, acima da temperatura definida no sistema clássico de aquecimento.

Os sistemas que transferem o excesso de calor para a água doméstica requerem um controlador de prioridade. O aquecimento da água é então controlado por uma prioridade baixa. Se o sistema solar de aquecimento ambiente alcançou a temperatura ambiente desejada, o caudal de ar é usado para o aquecimento de água. Em situações de ausência de necessidade de aquecimento do ar ambiente, a água quente é exclusivamente aquecida por energia solar.

Para sistemas de grandes dimensões, em edifícios com uma ventilação complexa e sistemas de ar condicionado, o sistema solar de aquecimento ambiente pode ser ligado ao controlador para o sistema da ventilação /ar condicionado.

## 8.2 Tipologias de sistemas de aquecimento ambiente

### 8.2.1 Sistemas de colectores de aquecimento ambiente em construções urbanas

Os sistemas de colectores de aquecimento ambiente podem ser operados em diferentes configurações de sistemas. De seguida são apresentados alguns sistemas que podem ser usados na construção de edifícios.

#### 8.2.1.1 Sistemas solares de ar fresco

Este sistema representa o tipo mais simples de sistema solar de aquecimento ambiente. O ar fresco circula no interior dos colectores sendo ventilado para as divisões do edifício. Não existe nenhum sistema de exaustão forçada de ar. Se a renovação do ar, necessária por exigências de higiene, for feita para o edifício, através do sistema de colectores solares de aquecimento ambiente, todos os graus de aumento de temperatura implicam também uma poupança energética. Por exemplo, para uma temperatura exterior de  $-10^{\circ}\text{C}$  e uma temperatura no interior pretendida de  $20^{\circ}\text{C}$ , ao aumento de temperatura no colector solar de apenas 15K, reduz a necessidade de ventilação-aquecimento em 50%.

#### 8.2.1.2 Ventilação doméstica com base num sistema solar

Devido aos constantes melhoramentos nos padrões de isolamento térmico de novos edifícios, o isolamento das paredes dos edifícios está constantemente a melhorar. Isto requer o uso de um sistema para controlar a alimentação e o escape dos caudais de ar, no qual pode facilmente ser integrado, o sistema solar de aquecimento ambiente. O sistema de recuperação de calor fornecido em muitos sistemas de ventilação fornece o aquecimento adicional ao ar fresco. Em sistemas mais complexos, uma porção do ar circulado pode ser devolvido aos colectores.

#### 8.2.1.3 Aquecimento de ar por sistema solar com armazenamento

De modo a poder usar o sistema de aquecimento solar de um edifício em períodos que não coincidem com a disponibilidade de radiação solar, o calor tem que ser armazenado.

Para armazenar o calor gerado, este deve ser transferido para um meio adequado. Para este fim, podem ser usados recipientes em gravilha ou pedra que estão, no entanto, geralmente associados a custos elevados.

Um método relativamente barato de armazenamento intermédio do calor solar é possível com os sistemas designados por hipocaustos, desde que o sistema solar de aquecimento ambiente esteja planeado para um edifício, na fase de projecto. Neste caso o calor é transferido para as paredes e pavimentos do edifício sendo transferido calor para as divisões adjacentes. O aquecimento convencional necessário pode ser também operado através deste sistema, de modo a ser usado em condições óptimas.

Em habitações equipadas com um sistema deste tipo, a área de superfície do colector está muitas vezes subdividida. Uma parte do sistema alimenta o sistema hipocaustico, outra alimenta um sistema controlado de aquecimento directo das divisões.

#### 8.2.1.4 Aquecimento solar e aquecimento doméstico de água

Uma extensão do sistema solar de aquecimento ambiente pode ser, a transferência do excesso de calor nos meses de Verão para o aquecimento de água doméstica. Nos meses de Verão não é necessário, geralmente, o aquecimento das divisões, entre Maio e Setembro o ar aquecido pelo sistema solar pode ser usado quase exclusivamente para o aquecimento de água doméstica.

Durante os outros meses, o aquecimento de água doméstica é operado com uma baixa prioridade, visto que os colectores de aquecimento ambiente operam de modo mais eficaz para o aquecimento de ar ambiente, alcançando melhores desempenhos. Uma vez alcançada a temperatura ambiente, é accionada uma válvula de by-pass. O sistema passa a funcionar como um circuito solar térmico de aquecimento de água. A unidade de transferência ar-água que transfere o calor do ar para um circuito líquido independente, com um módulo de segurança e bomba, é instalado no circuito de bypass. Desta forma o calor é transferido para o tanque de armazenamento de água doméstica, através de um permutador de calor. O fluido de transferência térmica é operado com protecção contra a formação de gelo, visto que de outro modo podem ocorrer estragos no permutador, para temperaturas ambiente abaixo dos  $0^{\circ}\text{C}$ .

A razão custo-benefício para este investimento adicional, para a unidade de transferência de calor, circuito de água doméstica e módulo de segurança deve ser verificada criteriosamente, mas para a maior parte dos sistemas poderá valer a pena.

### 8.2.2 Fábricas, pavilhões e edifícios de escritórios

Para fábricas e edifícios de escritórios, a integração de sistemas solares de aquecimento ambiente é uma aplicação interessante e económica. Aqui, a alimentação de ar controlada e as linhas de retorno estão muitas vezes instaladas. Adicionalmente, o calor é necessário quando a radiação solar está disponível, visto que os edifícios são usados geralmente durante o dia. Desta forma, o sistema solar de aquecimento ambiente pode ser facilmente instalado.

Tais sistemas podem ser usados em numerosas aplicações, tais como, pavilhões desportivos, piscinas interiores, armazéns e edifícios fabris, supermercados, edifícios de escritórios e escolas. Uma aplicação especialmente prometedora para a tecnologia dos colectores solares de aquecimento ambiente é nas piscinas interiores. Aqui existe a necessidade de aquecimento durante todo o ano, com uma necessidade simultânea de elevadas taxas de renovação de ar, por razões de higiene.



**Figura 8.7 - Sistema solar de aquecimento ambiente numa loja de mobiliário com substituição parcial de fachadas (fachadas sul e oeste)**

A construção do sistema é semelhante aos sistemas pequenos em casas de habitação. Devido às dimensões da área do colector é essencial assegurar uma instalação adequada para o colector e circuito do campo de colectores, para manter uma circulação de ar óptima, entre os colectores.

## 8.3 *Planeamento e dimensionamento*

### 8.3.1 Considerações fundamentais

O dimensionamento de um sistema solar de aquecimento ambiente depende do tipo de aplicação. Como condição prévia deve-se saber a taxa de renovação do ar do edifício. Esta define a frequência com que o ar de uma divisão tem de ser renovado. A taxa de renovação do ar depende do tipo e utilização do edifício e do número de pessoas no edifício.

Para além do mais, os limites definidos para os requisitos de ventilação horária, dependem do tipo de actividade, por exemplo um mínimo de 40 m<sup>3</sup>/h por pessoa para trabalho sentado e pelo menos 70-90 m<sup>3</sup>/h por pessoa, para actividades físicas. A relação entre a taxa de renovação do ar e os requisitos de ventilação pode ser calculada através do volume do edifício:

$$\text{Necessidade de ventilação (m}^3\text{/h)} = \text{taxa de renovação do ar (h}^{-1}\text{)} \times \text{volume do edifício (m}^3\text{)}$$

Para o dimensionamento do sistema, deve-se ter em conta o caudal específico (m<sup>3</sup>/h para cada m<sup>2</sup> de colector) que é necessário para um aumento de temperatura útil no ar.

### 8.3.2 Cálculo da taxa de circulação, a área da superfície do colector e as ligações dos colectores necessárias

Considere-se um armazém com uma superfície de  $25 \times 38 \text{ m} = 950 \text{ m}^2$  e um pé-direito de 8 m. A taxa de ventilação recomendada é de 2-6 renovações por hora. Neste exemplo, pretende-se renovar o ar 3 vezes por hora. A partir desta informação o requisito de ventilação é calculado do seguinte modo:

$$\text{Necessidade de ventilação} = 3 \text{ (h}^{-1}\text{)} \times 7.600 \text{ m}^3 = 22.800 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para além disto, o fabricante recomenda um caudal, por metro quadrado de superfície de colector entre 40 e 80  $\text{m}^3/\text{h}$ . Daqui resulta um aumento máximo de temperatura de cerca de 35K, para um caudal específico de  $60 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ .

A superfície do colector, pode ser obtida a partir dos requisitos de ventilação e do caudal específico.

$$\text{Superfície de colectores (m}^2\text{)} = \frac{\text{Requisito de ventilação (m}^3/\text{h)}}{\text{Caudal específico do colector (m}^3/\text{m}^2\text{h)}}$$

Daqui obtém-se uma área de superfície de colector de:

$$A = \frac{22800 \text{ m}^3 / \text{h}}{60 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{h}} = 380 \text{ m}^2$$

A velocidade do caudal através da secção em superfície livre, deve estar na gama dos 2 m/s, como valor mínimo (por razões térmicas) e 7 m/s, como valor máximo (por razões dinâmicas). A secção em superfície livre pode ser encontrada na documentação fornecida pelo fabricante do colector.

O número mínimo e máximo de colectores ligados em série podem ser calculados a partir das condições seguintes:

A área mínima dos colectores que podem ser ligados em série é:

$$A_{\min} = \frac{A_Q \times v_{\min}}{v_{\text{tot}}}$$

Onde  $A_Q$  = Secção em superfície livre do colector ( $\text{m}^2$ ),  $v_{\min}$  = Velocidade mínima do caudal ( $\text{m/s}$ ) e  $v_{\text{tot}}$  = Caudal específico de ar volumétrico ( $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ).

A secção em superfície livre é o produto da altura pelo comprimento de um canal de circulação, sendo para exemplo do armazém igual a  $A_Q = 0,96 \text{ m} \times 0,095 \text{ m} = 0,0912 \text{ m}^2$ . Assim, a área mínima dos colectores ligados em série pode ser calculada através de:

$$A_{\min} = \frac{0,0912 \text{ m}^2 \times 2 \text{ m/s} \times 3600 \text{ s/h}}{60 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{h}} \approx 11 \text{ m}^2$$

Para a área máxima dos colectores ligados em série, é necessário usar a velocidade máxima do caudal  $v_{\max}$ :

$$A_{\max} = \frac{0,0912 \text{ m}^2 \times 7 \text{ m/s} \times 3600 \text{ s/h}}{60 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{h}} \approx 38 \text{ m}^2$$

Estes resultados estabelecem a disposição dos módulos dos colectores, dentro de um campo de colectores. O princípio do fluxo uniforme através dos colectores individuais, através da disposição do circuito de acordo com o princípio de Tichelmann deve ser observado (a perda de pressão de cada colector ou de cada agrupamento de colectores é a mesma).

No exemplo do armazém, para a superfície de colectores de  $380 \text{ m}^2$  numa dimensão modular de  $2.4 \text{ m}^2$ , cerca de 160 colectores devem ser interligados em fileiras de pelo menos 5 e no máximo de 16 colectores.

Com a área de telhado disponível de 570m<sup>2</sup> e uma orientação a sul, uma solução possível seria a instalação de 16 fileiras paralelas de 10 colectores, sendo necessário ter em conta a possibilidade de ensombramento mútuo entre as fileiras.

### 8.3.3 Cálculo da potência do ventilador

De modo a ultrapassar as perdas por fricção, que ocorrem ao longo do sistema, uma potência específica de ventoinha  $p_e(W)$  é necessária. A determinação da potência do ventilador exige o conhecimento das perdas totais de pressão do sistema, que é dada através das perdas de fricção nas tubagens do absorvedor, aberturas de admissão e exaustão das fileiras de colectores, cotovelos das tubagens e nas próprias tubagens. Os valores para as perdas de pressão dependentes do caudal e da velocidade do caudal, para os componentes individuais pode ser identificado, através da informação disponibilizada pelos fabricantes.

No exemplo em estudo a perda total de pressão é de 254 Pa.

**Tabela 8.2 – Perda de pressão de diferentes componentes**

Componente	Perda de pressão individual	Quantidade/unidades	Perda de pressão (Pa)
Tubagem	1 Pa/m	49m	49 Pa
Admissão e escape	9,5 Pa	4	38 Pa
Cotovelos	13 Pa	4	52 Pa
Colector	4,6 Pa/m	10 x 2,5 =25m	115 Pa
Total			254 Pa

A potência do ventilador  $p_e(W)$  pode então ser calculada do seguinte modo:

$$p_e = \frac{v_L \times \Delta p_{\text{pressão}}}{\eta_{\text{vent}}}$$

Onde  $v_L$  = Requisitos horários de ventilação (m<sup>3</sup>/h),  $\Delta p_{\text{pressão}}$  = Perdas totais de pressão (Pa) e  $\eta_{\text{vent}}$  = Eficiência do ventilador.

Assumindo uma eficiência de ventoinha de 0,7, a potência do ventilador pode assim ser calculada do seguinte modo:

$$p_e = \frac{22800 \text{ m}^3 / \text{h} \times 254 \text{ Pa}}{0,7 \times 3600 \text{ s} / \text{h}} = 2298 \text{ W}$$

### 8.3.4 Dimensionamento assistido por computador

A simulação de sistemas de colectores solares de aquecimento ambiente pode ser feita com o programa para windows “Luftikuss”. A tarefa principal é desenhar e dimensionar os sistemas de colectores de aquecimento ambiente. O edifício é representado por um modelo estático de zona única. Ao introduzir os dados, o tipo de operação do colector (ar fresco, misto e circulante) o potencial específico do colector, a taxa de renovação de ar, o tempo de operação do sistema de ventilação, assim como a temperatura ambiente desejada, obtêm-se os ganhos solares, a fracção solar (ou a área de superfície do colector para uma determinada fracção solar), os requisitos anuais de energia do edifício, para aquecimento e ventilação, assim como, a poupança de energia e de CO<sub>2</sub>.

## 8.4 Exemplos

### Edifício doméstico, Breite Straße 23, Potsdam

Este bloco de apartamentos de 16 andares no centro de Potsdam foi sujeito a uma recuperação estrutural em 2000. Foi melhorado o isolamento térmico e o sistema de esgotos foi renovado. Foi instalada ventilação com alimentação e renovação de ar controlado, com recuperação de calor nas casas de banho, de cada um dos 93 apartamentos. As velhas janelas foram também substituídas por janelas modernas com bom isolamento. A fachada sul, onde estão apenas instaladas as janelas para os corredores de acesso, foi parcialmente equipada com colectores de aquecimento ambiente.

À esquerda e direita das janelas estão agora instaladas duas vezes 15 colectores, ligados em série do tipo G LK 3M da Grammer, Amberg. Os sessenta colectores equivalem a um total de 150 m<sup>2</sup> de superfície colectora. Os colectores de ar transferem o seu calor para o sistema de ventilação. Nos meses de Verão, ou se por outra razão não for necessário calor nas casas de banho, o sistema solar de aquecimento ambiente é ligado para o aquecimento de água. Neste caso está projectada uma transferência de calor para um desempenho médio de 300 W/m<sup>2</sup>, pelo que os permutadores de calor têm uma capacidade máxima de transferência de calor de 2 vezes 22,5 kW .



**Figura 8.8 - Sistema de aquecimento ambiente solar em Breite Strasse, Potsdam**

O sistema solar de aquecimento ambiente faz o pré-aquecimento do ar das casas de banho do edifício. Dois tanques de armazenamento de 1.000 litros estão instalados para apoiar o fornecimento de água nos meses de Verão. O aquecimento de água convencional ocorre num sistema de passagem de fluxo, via subestação doméstica, que fornece todos as outras divisões com calor.

O controlo de cada um dos dois campos de colectores paralelos ocorre, por meio de um controlador de diferenças de temperaturas, para sistemas gémeos de tanques de armazenamento. O aquecimento das casas de banho é prioritário. Quando a temperatura máxima é alcançada, o sistema faz o by-pass e carrega o tanque de armazenamento de água. Um limite máximo de temperatura (80°C) está também instalado, provocando a paragem dos ventiladores se for atingido este limite.

**Tabela 8.3 - Alguns dados do Edifício doméstico, Breite Straße 23, Potsdam**

Localização	Potsdam
Superfície de colectores	150m <sup>2</sup>
Alinhamento	Inclinação 90° e azimute 0°
Início de funcionamento	2000
Caudal	3.400 m <sup>3</sup> /h
Potência	100 kWpico
Desempenho	65.076 kW/a
Fracção Solar	Aquecimento 56% e água quente: 37%
Poupanças em CO <sub>2</sub>	6.749 kg/a

#### **Pavilhão de vendas e armazenamento (Mercado de móveis, Märkischer Polstermarkt, Falkensee)**

Durante a construção de um pavilhão de exposição e vendas para o Märkischer Polstermarkt em Falkensee, perto de Berlim, esta construção, foi usada para integrar um sistema de colectores de aquecimento ambiente com uma superfície de 510m<sup>2</sup>, na fachada. A fachada integra o sistema de ventilação e de aquecimento de ar, para as zonas de vendas e armazenamento. Juntamente com o sistema de recuperação de calor, o requisito energético pode ser reduzido de 523 para 186 MWh/a. No Verão o sistema é usado para arrefecer ligeiramente o pavilhão durante a noite.

Os colectores foram projectados de forma modular. Os elementos com dimensões exteriores de 5x2,5 m foram pré-fabricados e então instalados na estrutura da fachada. Atrás destes, foi instalado o isolamento térmico, normalmente usado em colectores. Posteriormente, a superfície da fachada foi completamente coberta por vidro para que a fachada esteja camuflada.

Com uma inclinação de 90°, o gráfico de desempenho solar não apresenta uma curva clássica com um pico no Verão; ao contrário, entre Março e Setembro mostra um desempenho relativamente constante, e no Inverno, um desempenho significativamente mais alto. O sistema de fachada oferece portanto, uma vantagem de desempenhos realmente altos nos meses de Inverno e nos meses de transição, assim como desempenhos e temperaturas menores nos meses de Verão, quando o sistema de aquecimento do edifício não está a funcionar. O caudal de 12.000 m<sup>3</sup>/h fornece assim 340 kWpico e carrega aproximadamente 125.000 kWh/a. Isto representa uma fracção solar de cerca de 25% e uma eficiência do sistema de cerca de 30%.

Com base numa construção e instalação muito eficientes, obteve-se um preço do sistema de 450 €/m<sup>2</sup> ficando dentro da gama de preços das fachadas convencionais opacas. Adicionalmente, os custos no gás para o aquecimento do edifício podem ser reduzidos em um terço.



**Figura 8.9 - Loja de móveis Märkischer Polstermarkt**

**Tabela 8.4 - Alguns dados do sistema Pavilhão de vendas e armazenamento (Mercado de móveis, Märkischer Polstermarkt, Falkensee)**

Localização	Falkensee
Superfície de colectores	510 m <sup>2</sup>
Alinhamento	Inclinação 90°, azimute 0° (370 m <sup>2</sup> ), azimute 90° (140 m <sup>2</sup> )
Início de funcionamento	1997
Caudal	12.000 m <sup>3</sup> /h
Potência	340 kWpico
Desempenho	Aproximadamente 126 MW/a
Fracção solar	Aproximadamente 25%



## 9 ARREFECIMENTO SOLAR

Nos últimos anos, a procura crescente por níveis de conforto térmico superiores tem conduzido, de uma forma geral, ao aumento do número de edifícios com equipamentos de ar condicionado. Esta tendência tem sido observada na Europa, com especial destaque nos países do Sul. Na indústria automóvel tem-se também assistido a um desenvolvimento similar, no que concerne ao número de veículos automóveis com aparelhos de ar condicionado. Desta forma, são cada vez mais as pessoas habituadas a viver em ambientes climatizados, conduzindo ao desejo intrínseco de se viver e trabalhar num ambiente com essas características. Demais a mais, está provado que a capacidade de trabalho dos seres humanos decresce consideravelmente num espaço com temperaturas acima dos 24°C.

Uma vez que os consumos energéticos, associados aos sistemas de ar condicionado, são relativamente elevados e dado que os sistemas de refrigeração padrão por compressão utilizam electricidade, as possíveis soluções para uma oferta sustentável de energia, passam pelos sistemas energéticos, recorrendo a fontes de energia renováveis.



**Figura 9.1 - Sistema de ar condicionado equipado com 100 m2 de colectores solares, Freiburg, Alemanha**

**Fonte: Fraunhofer ISE**

A produção de ar frio com utilização da energia do Sol poderá, numa primeira impressão, consistir num paradoxo, uma vez que a visão generalizada é aquela em que o Sol é visto como uma fonte de calor. Contudo, existem processos térmicos para produção de frio, em que a água é arrefecida ou o ar condicionado, directamente através dum input de calor. De uma forma geral, estes processos são apropriados para a utilização do calor, proveniente dos colectores solares térmicos, funcionando estes como fonte principal de energia. De realçar que a radiação solar pode ser convertida em “electricidade solar” pelos sistemas fotovoltaicos, conduzindo aos sistemas convencionais de refrigeração por compressão. Não se procede à análise desta tecnologia, por estar fora do âmbito deste manual.

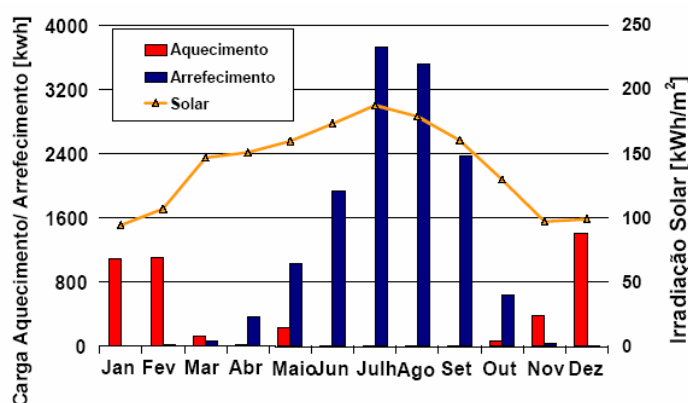
Até à data, a concepção tradicional dos sistemas térmicos de colectores solares, para produção de águas quentes sanitárias, tem-se baseado na ideia de que um excesso de calor nos períodos de Verão deverá ser evitado ou pelo menos nivelado, por níveis mínimos de conforto. Com o desenvolvimento crescente, nos últimos anos, dos sistemas de fornecimento de calor, o excesso de calor no Verão, em princípio, não poderá ser evitado. Por razões económicas, a produção específica do colector decai com o aumento do grau da fracção solar, um colector com uma grande superfície é usualmente rejeitado, mesmo que associado a preocupações ambientais.

Desta forma, a utilização, no Verão, do calor em excesso para arrefecimento térmico solar, oferece a oportunidade para um aumento da eficiência dos sistemas solares térmicos, proporcionando água quente ou aquecimento. Além disso, esta nova aplicação tem a vantagem de eliminar cortes no sistema, provocados por temperaturas elevadas que provocam stress (pressão/esforço) nos materiais. Assim, um novo campo de aplicação surge no ramo da indústria do solar térmico. Existem também novas

oportunidades nos países onde o arrefecimento é já uma prática corrente, como consequência das condições climáticas existentes.

Neste capítulo efectuar-se-á sistematicamente distinção entre arrefecimento e ar condicionado. Por arrefecimento refere-se uma redução da temperatura, p.e., numa divisão, ou mesmo a temperatura de uma máquina num processo industrial. Por ar condicionado, entende-se o “estado” de uma sala no que diz respeito à sua temperatura e humidade, por forma a que as pessoas presentes nela se sintam confortáveis. Assim, o termo “ar condicionado” é mais abrangente e compreende, para além do aumento ou descida da temperatura, durante o Inverno e Verão, a redução ou aumento da humidade do ar da divisão para valores confortáveis. Apesar desta distinção, é usual, nos meios profissionais, utilizar o termo “arrefecimento solar” quando se quer referir o arrefecimento e condicionamento do ar, por meio solar. Desta forma, quando se escreve “arrefecimento solar” refere-se a esta categoria generalizada.

Um outro argumento para o arrefecimento solar, diametralmente oposto ao aquecimento ambiente solar, é o facto de existir uma coincidência cronológica, entre a procura e a oferta de energia, sob a forma de irradiação solar. A figura 9.2 ilustra esta relação, evidenciando a correspondência sazonal entre a irradiação e a carga de arrefecimento a ser dissipada numa divisão. Constata-se que existe uma boa correspondência com os requisitos para arrefecimento, sendo desnecessária a instalação de grandes equipamentos, para o armazenamento sazonal de calor.



**Figura 9.2 - Correspondência entre a irradiação solar e a carga de arrefecimento /carga de aquecimento numa sala de um seminário em Perpignan (sul de França)**

Fonte: Fraunhofer ISE

## 9.1 Bases teóricas

Este capítulo pretende apresentar uma panorâmica geral dos processos de arrefecimento solar térmico, evidenciando os principais desafios associados à integração da instalação dos colectores e da tecnologia para arrefecimento. Como consequência das dificuldades associadas, tem-se assistido, na Europa, a uma escassez de técnicos com capacidades de planeamento de sistemas de arrefecimento solar de raiz, sendo esta tarefa mais exigente quando comparada com o desenho de um sistema solar térmico para aquecimento de águas quentes sanitárias. O dimensionamento destes sistemas tem associada a necessidade de conhecimentos em diversas áreas, desde os sistemas dos edifícios, até à tecnologia dos colectores para arrefecimento. Para além da complexidade destes sistemas, existem poucos exemplos práticos com esta tecnologia, evidenciando-se a existência de 1 projecto piloto em Portugal.

### 9.1.1 Processos de arrefecimento accionados por calor

A tabela 9.1 sintetiza os diversos processos de arrefecimento accionados por calor, disponíveis no mercado, distinguindo-se entre os processos fechados de absorção e adsorção e o processo aberto de arrefecimento por secagem.

**Tabela 9.1 - Tecnologias de arrefecimento accionados por calor disponíveis no mercado**

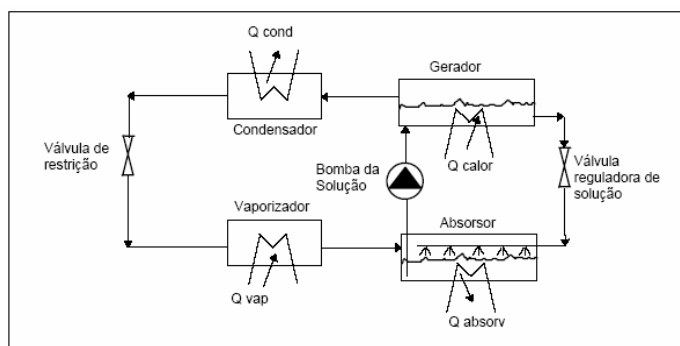
Processo	Absorção	Adsorção	Sistema de arrefecimento por secagem
Tipo de ar condicionado	Arrefecimento de água	Arrefecimento de água	Ar condicionado (arrefecimento, desumidificação)

Nos processos em circuito fechado, o meio arrefecido não se encontra em contacto directo com o sistema, sendo produzida inicialmente água gelada. A água arrefecida pode ser utilizada para arrefecimento do tecto, arrefecimento de pavimentos ou então, e recorrendo à forma tradicional, arrefecimento de ar, como forma de redução da temperatura e/ou humidade.

Por outro lado, nos sistemas em circuito aberto de arrefecimento por secagem, o meio arrefecido e a água entram em contacto directo com o ar a ser condicionado. Desta forma, as funções de arrefecimento e desumidificação encontram-se directamente integradas no sistema de ar condicionado. Esta é a razão pela qual se encontra muitas vezes descrito o termo “ar condicionado sem refrigeração”.

### Arrefecimento por absorção

Os chillers de absorção diferem dos chillers de compressão na medida em que utilizam um compressor térmico em vez de um mecânico.



**Figura 9.3 - Diagrama de um chiller de absorção**

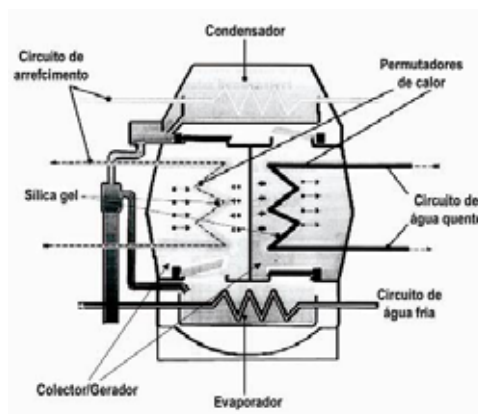
O condensador, a válvula de restrição e o vaporizador compõem a secção de arrefecimento do sistema, através das quais apenas atravessa um fluxo de frio. O compressor térmico, que inclui o absorvador, bomba, gerador e válvula reguladora de pressão, constitui a parte motriz do sistema.

A secção de arrefecimento do Chiller de Absorção funciona da mesma forma que um chiller de compressão, sendo que as necessidades de compressão do fluido arrefecido, são levadas a cabo pelo compressor térmico. O fluido arrefecido é evaporado e flui para o absorvador, onde é absorvido pelo solvente. Assim, e uma vez que a capacidade de absorção do solvente diminui com o aumento da temperatura, a entalpia absorvida libertada deverá ser dissipada. O processo de absorção tem como função o enriquecimento do fluido através do seu arrefecimento. O fluido assim enriquecido é bombeado para o gerador (também conhecido como caldeira), e através de calor este separa-se do solvente. O solvente assim obtido, é então despressurizado, na válvula de regulação de pressão, para a pressão do absorvador, sendo mais uma vez evaporado por forma a que possa absorver de novo o solvente arrefecido.

Para além dos requisitos eléctricos da bomba, o chiller de absorção funciona apenas com energia térmica, sendo contudo os requisitos energéticos da bomba serem baixos, correspondendo aproximadamente a 0,5-2% da capacidade de refrigeração alcançada no vaporizador. A eficiência do chiller de absorção poderá ser aumentada pela instalação no sistema de um solvente que permita a troca de calor. Isto é conseguido conduzindo as duas soluções (uma arrefecida e rica após passar pelo absorvador e outra quente e fraca após passar pelo gerador) através do permutador de calor em direcções opostas. Desta forma, obtêm-se poupanças quer ao nível do gerador (calor) quer no absorvador (água arrefecida).

#### 9.1.2 Arrefecimento por adsorção

Apenas se tem conhecimento de dois fabricantes de chillers de adsorção no mercado, sendo estes japoneses, e apresentando sistemas muito similares quanto ao funcionamento e ao processo físico.



**Figura 9.4 - Esquema de um chiller de adsorção a baixa temperatura**

**Fonte: GBU 95**

O Chiller de Adsorção é essencialmente constituído por um tanque de vácuo dividido em quatro câmaras: i) evaporador (câmara inferior), ii) gerador e colector (câmaras médias) iii) condensador (câmara superior). O gerador e o colector encontram-se ligados por válvulas tipo flap, e como resultado das diferenças de pressão, abrem e fecham automaticamente para o condensador acima destes e para o evaporador abaixo.

O Chiller de Adsorção utiliza a água como meio de arrefecimento e sílica gel como elemento de adsorção, fazendo uso das propriedades físicas destes, como forma de produção de refrigeração. A baixas pressões, a água evapora para temperaturas baixas e a sílica gel poderá adsorver grandes quantidades de água sem perdas, reversivelmente e sem aumento do seu volume, e uma vez aplicado o calor poderá realizar a libertação de água novamente.

O chiller apresenta um funcionamento em ciclo, de cinco a sete minutos, completamente automático, compreendendo quatro passos, que têm a particularidade de ocorrerem simultaneamente.

Num primeiro passo, a água é injectada no evaporador por forma a evaporar e o calor é retirado do circuito de água fria. No segundo passo, a água evaporada é adsorvida no colector, sendo que a duração deste processo se encontra dependente da saturação da sílica gel, e a finalização deste com a passagem da água evaporada para a segunda câmara de adsorção. No passo seguinte, pela aplicação de energia térmica, a água adsorvida é desadsorvida, e o colector passa a gerador. No último passo, a água desadsorvida é condensada no condensador, e o calor de condensação é dissipado através do circuito de água de arrefecimento (sistema de re-arrefecimento). O circuito encontra-se completo quando a água condensada entra de novo no evaporador, através de um mecanismo de válvulas.

Uma das características principais dos chillers de adsorção, é o facto do colector e o gerador serem alternadamente aquecidos e arrefecidos, levando a um funcionamento descontínuo do chiller. Assim, alternando, um dos lados é arrefecido pelo fluxo da água de arrefecimento como forma de dissipação do calor proveniente do fenómeno de adsorção, enquanto o gerador é aquecido para a desadsorção. Esta troca periódica é controlada por válvulas pneumáticas. O chiller é controlado pela medição da temperatura de saída da água gelada. Uma das vantagens do Chiller de Adsorção, comparativamente ao Chiller de Absorção, é o facto deste não se encontrar limitado pelo limite de cristalização do solvente.

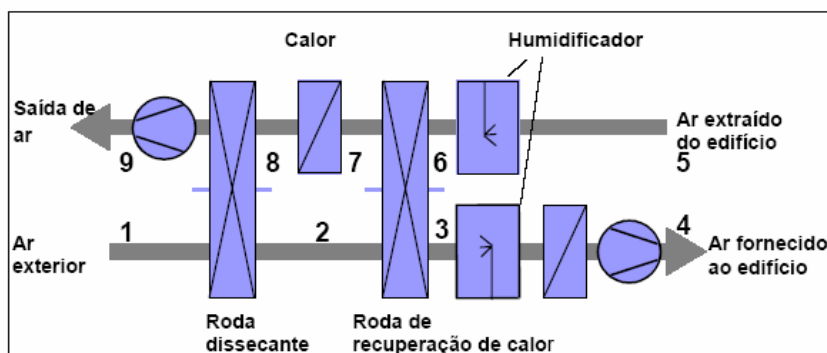
Os chillers de adsorção consistem numa tecnologia nova, com poucos projectos de demonstração em fase de operação, e encontram-se ainda numa fase inicial de introdução no mercado. Quando utilizados no arrefecimento solar, estes chillers poderão ser utilizados para a produção de frio com temperaturas iniciais na ordem dos 55 °C. Por este motivo tanto os colectores de tubo de vácuo, como os colectores parabólicos compostos e os colectores planos podem ser usados como conversores térmicos de energia solar.

### 9.1.3 Sistemas de arrefecimento por secagem

Contrariamente aos processos de absorção e adsorção, os sistemas de arrefecimento por secagem classificam-se como processos abertos, uma vez que nestes o ar é condicionado pelo contacto directo com o meio arrefecido, que neste caso é água, consistindo numa mais valia ambiental para este tipo de sistemas. Para além disso, o sorvente, que poderá ser líquido ou sólido, entra em contacto directo com o ar condicionado, permitindo alcançar a desumidificação necessária do ar.

### 9.1.3.1 Sistemas de arrefecimento por secagem utilizando sorventes sólidos

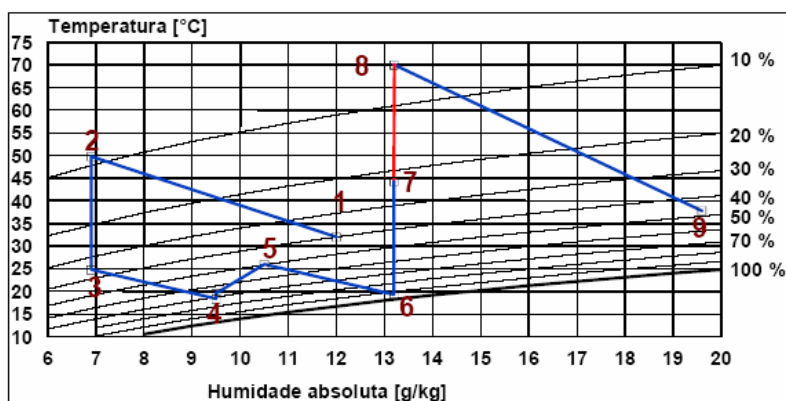
Comparativamente a um sistema convencional, os sistemas de arrefecimento por secagem (SAS) possuem adicionalmente outro tipo de componentes: roda de dissecante, regenerador de ar quente e humidificadores para o ar extraído e ar que entra. Para além disto, o fornecimento de ar arrefecido não será necessário, se se verificar que os níveis de desumidificação são completamente conseguidos pela roda de dissecante. Uma das características principais destes sistemas, encontra-se no facto das fases de desumidificação e de arrefecimento ocorrerem separadamente, o que nos sistemas convencionais ocorre num único passo.



**Figura 9.5 - Diagrama de um sistema SAS com roda de dissecante**

Fonte: Hindenburg, 1998

A figura 9.6 ilustra o processo de um sistema de arrefecimento por secagem, para uma utilização de Verão, através de um diagrama de temperatura/humidade. As isopletas, que representam as linhas com a mesma humidade relativa, são mostradas como um conjunto de curvas.



**Figura 9.6 - Diagrama do processo (verão) de um SAS com roda de dissecante**

Fonte: Fraunhofer ISE

Primeiramente, o ar exterior é sugado para o sistema e seco ao passar pela roda de dissecante (1-2) ao mesmo tempo que a corrente de ar é aquecida pelo calor adsorvido que é libertado.

No passo seguinte, ao nível da roda de recuperação de calor sensível (2-3), o calor é transferido para o sistema de exaustão de ar ou a energia arrefecida é recuperada do ar de saída, e por este motivo o ar que entra seco é pré arrefecido.

No humidificador do ar fornecido (3-4), o ar é humedecido e arrefecido adiabaticamente, verificando-se que o permutador de calor adicional, existente antes deste, só será necessário um cenário de aquecimento. Assim, o ar seco e arrefecido é fornecido ao edifício, passando por um ventilador ligeiramente aquecido (normalmente entre 0,5 e 1K).

Como consequência das variações sensíveis nas cargas de arrefecimento de uma sala, o ar torna-se mais quente, sendo extraído da sala numa forma quente e húmida (4-5). Este ar extraído é então humidificado,

no humidificador do ar de saída, até um nível perto do ponto de condensação, obtendo-se desta forma uma utilização do potencial de arrefecimento do ar extraído (5-6). Esta energia arrefecida é então transferida para o ar fornecido através da roda de recuperação de calor sensível (6-7).

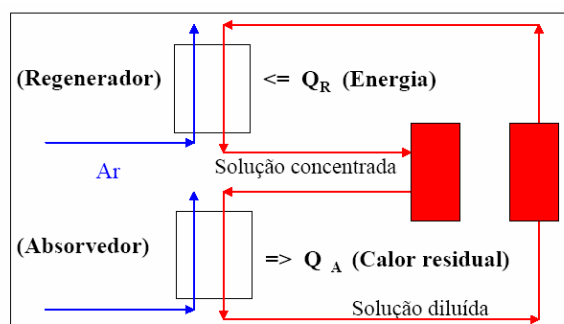
Por forma a obter-se a regeneração da roda de dissecante, o ar de saída deverá ser suficientemente aquecido por forma a que este consiga retirar a humidade da roda. Assim, neste ponto do processo, uma fonte adicional de calor é necessária (7-8). O fluxo de ar de saída aquecido flui então através da componente de regeneração da roda de dissecante sob a forma de ar regenerado, onde recupera a humidade retirada do ar exterior (8-9).

### 9.1.3.2 Sistemas de arrefecimento por secagem utilizando sorventes líquidos

Contrariamente aos sistemas que utilizam sorventes sólidos, os que recorrem a sorventes líquidos encontram-se ainda em fase de desenvolvimento, existindo em fase de teste projectos piloto na Alemanha e Israel, não estando esta tecnologia disponível no mercado a curto prazo.

A principal diferença entre os dois sistemas prende-se com o estado de agregação do material sorvente utilizado. Nos sistemas que utilizam sorventes líquidos recorre-se preferencialmente a soluções de água salina (ex. LiCl ou CaCl<sub>2</sub>). O resultado de diversas investigações tem evidenciado que em termos práticos, as soluções à base de cloreto de lítio apresentam um potencial superior. Para a escolha da solução de sal óptima, para além das propriedades termodinâmicas são também importantes factores como a corrosividade e o custo associado.

A figura 9.7 ilustra um esquema muito simplificado do princípio de funcionamento de um sistema de sorvente líquido, encontrando-se apenas identificados os dois componentes principais deste: o absorvedor e o regenerador. O princípio base inerente ao processo aberto de arrefecimento por secagem, utilizando sorventes líquidos e o processo fechado de refrigeração por absorção apresenta alguns paralelos.



**Figura 9.7 - Diagrama de um SAS com sorvente líquido**

O ar condicionado é desumidificado no absorvedor, através do contacto com o líquido sorvente. Como consequência das suas elevadas características higroscópicas, o meio de sorção absorve o vapor de água do ar, ficando assim diluído. No absorvedor o calor, referido como entalpia de absorção, é libertado, tendo então de ser removido, uma vez que, se tal não acontecer, assistir-se-á a um abrupto aumento da temperatura da solução e o processo de absorção será gradualmente interrompido. Na prática, o calor de absorção libertado poderá ser removido directamente, tanto no absorvedor, como num permutador de calor colocado a jusante do absorvedor. Assim sendo, no absorvedor, e com a aplicação de calor, existe uma redução na concentração da solução salina.

No regenerador, a concentração da solução de sal dissolvido aumentará e como consequência entrará em contacto com o ar novamente. Normalmente é utilizado ar exterior para este processo. Neste componente é necessário o fornecimento de calor ao processo, e uma vez que este deverá situar-se no intervalo entre 60-80°C, a integração de energia solar térmica surge como uma fonte potencial. Assim sendo, no regenerador, e com a aplicação de calor, existe um aumento na concentração da solução salina.

Em princípio, a solução salina à base de água percorre um circuito, entrando em contacto com o ar no absorvedor e no regenerador. Como forma de se prevenir a perda de sal, para além dos potenciais problemas de corrosão nas condutas de ar, uma das tarefas mais prementes associadas ao desenvolvimento desta tecnologia, é a prevenção da descarga de sal no absorvedor e no regenerador. Esta condicionante apresenta influências ao nível do desenho do absorvedor e do regenerador, sendo que estes



dois componentes são muito similares na sua estrutura. A tarefa principal consiste em colocar em contacto, a solução salina com o ar, por forma a que seja assegurada uma elevada transferência das propriedades mássicas e de calor e prevenindo ao mesmo tempo a formação de gotículas.

A desumidificação isotérmica do ar exterior é possível. A possibilidade de desumidificar o ar a ser arrefecido sem aumento da temperatura, deve-se ao facto de ser possível remover directamente o calor absorvido no absorvedor.

A recuperação de calor entre o calor absorvido libertado no absorvedor e o calor de processo necessário no regenerador é possível. Isto permite o aumento da eficiência termodinâmica do processo.

Como consequência do material utilizado ser um absorvente líquido, este poderá ser utilizado por um período mais longo no absorvedor e no regenerador se se encontrarem instalados reservatórios de armazenamento da solução. Esta característica permite, primeiramente, uma desumidificação mesmo na situação em que não se encontre disponível energia solar. Em segundo lugar, a energia solar pode ser armazenada sob a forma de uma solução de sal concentrado. Este facto é muito promotor dado que este tipo de armazenamento de energia solar em princípio não sofre perdas. Por este motivo esta tecnologia oferece o potencial de redução significativa da área de superfície do colector, mantendo a mesma fracção solar elevada, para além de contribuir, desta forma, para a diminuição do custo-eficácia do sistema solar de arrefecimento de ar.

## 9.2 Planeamento integrado dos sistemas de arrefecimento solar e de ar condicionado

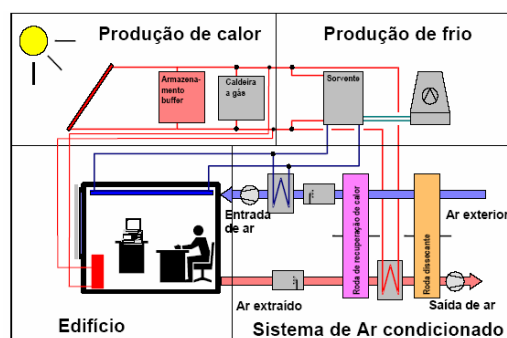
Contrariamente aos sistemas térmicos solares para aquecimento de águas quentes sanitárias, o planeamento e desenho de sistemas solares para arrefecimento do ar é um pouco mais complicado. A figura 9.8 ilustra diversos sub-sistemas, interligados pelo conceito de uma instalação para o arrefecimento solar. Os quatro sub-sistemas são

- edifício;
- sistema de ar condicionado;
- fornecimento de calor;
- fornecimento de frio.

Dependendo dos requisitos aliados à função de arrefecimento do ar pretendida, bem como da região climática, todos os quatro subsistemas, ou alguns destes, encontrar-se-ão em utilização. Assim, deverá fazer-se uma distinção entre o arrefecimento do ar, levado a cabo pela totalidade das quatro funções termodinâmicas de condicionamento (aquecimento, arrefecimento, humedificação e desumidificação) e pela situação parcial de arrefecimento do ar (ex. só aquecimento e arrefecimento).

O principal desafio é a interligação destes sistemas de uma forma inteligente e eficaz, por forma a se obter uma optimização tanto energética como económica. Para tal deverá desde o início da concepção de um sistema destes, proceder-se a um planeamento integrado entre os diversos profissionais envolvidos.

No condicionamento do ar em edifícios não existe uma situação óptima, em vez disso, existe uma solução específica e optimizada para cada situação. Conjuntamente, as condições climáticas são muito importantes, sendo necessário adaptar as variáveis ao clima. Desenhar um sistema utilizando regras empíricas, como no caso do solar térmico para aquecimento de águas sanitárias, integra um vasto número de dificuldades e no seu melhor permite que as variáveis básicas sejam delimitadas.



**Figura 9.8 - Sub-sistemas de arrefecimento solar**

**Fonte: Fraunhofer ISE**

Para a obtenção de uma solução racional do ponto de vista económico, é importante verificar a possibilidade de intervenções ao nível do edifício, que permitam reduzir as cargas de arrefecimento e aquecimento. As estratégias poderão passar por:

- isolamento térmico do exterior do edifício;
- integração de sistemas exteriores de sombra;
- redução das cargas interiores, recorrendo a equipamentos de baixo consumo;
- avaliação da possibilidade de instalação de ventilação nocturna, durante a fase de projecto, bem como da activação da massa térmica do edifício

Os passos mais importantes para um bom planeamento integrado encontram-se descritos seguidamente. Uma vez que o planeamento deverá ser baseado no projecto em questão, esta lista não se encontra de todo completa, nem a ordem apresentada corresponde necessariamente aquela que deverá ser seguida. O método recomendado consiste numa mera orientação para planeamentos futuros.

### **Método recomendado para um planeamento integrado**

a) Cálculo das taxas de renovação de ar para o arrefecimento duma divisão, tendo em conta as questões de saúde humana. Desta forma, poderá ser possível por exemplo, o arrefecimento sem se recorrer a ventilação mecânica, numa divisão utilizada em curtos períodos de tempo. Este facto conduz a grandes reduções nos custos de investimento, uma vez que o subsistema de ar condicionado poderá ser completamente eliminado. Em divisões onde sejam apenas necessários baixas taxas de renovação de ar, deverá verificar-se se tal poderá ser operacionalizado pelos fluxos de ar de outras salas, ou pela ventilação natural proveniente de janelas. Neste contexto, deve verificar-se se a ventilação através das janelas, nas situações em que tal seja apropriado, não resulta no estabelecimento de condições adversas de trabalho, em virtude da poluição sonora (p.e., proximidade de ruas com muito movimento).

b) Se a ventilação mecânica for necessária, deverá então averiguar-se a possibilidade de ser implementada através de um sistema simples de fornecimento de ar ou com um sistema de extracção de ar. Nesta última situação, deverão ser incluídas no projecto aberturas para o fluxo de ar nas fachadas e/ou paredes interiores (ou paredes divisórias), em corredores/divisões adjacentes. Do ponto de vista dos custos de investimento, este tipo de sistemas simplificados devem ser analisados caso a caso e se necessário, deverão ser comparados com os respectivos custos de operação. Isto poderá conduzir a decisões diferenciadas quanto aos sistemas a instalar, dependendo da região climática.

c) Verificar quanto à eficiência da separação do sistema de ar condicionado por diferentes áreas do edifício. Nalgumas circunstâncias esta situação poderá levar à poupança de elevados custos. Neste contexto, a possibilidade de juntar as unidades com grandes quantidades de perdas de calor, deverá ser examinada.

d) Avaliar a existência de potenciais medidas, ao nível do edifício, que permitam reduzir as cargas de arrefecimento e aquecimento, e incluí-las na fase de planeamento. Normalmente, em edifícios com grandes áreas de envidraçado, deverá ser equacionada a instalação externa de sistemas de sombra, levando desta forma a significativas reduções na carga térmica do edifício. Calcular as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento resultantes. Recomenda-se também que sejam tidas em atenção as características da carga parcial, quanto ao arrefecimento e aquecimento, desde o início, uma vez que o sistema opera parte do ano com uma carga parcial, e consequentemente com grande influência no consumo global do sistema. Para edifícios com estruturas mais complexas, a utilização de programas de simulação deve ser tida em conta.

e) Verificar os requisitos existentes para o edifício, por forma a ter uma ideia quanto à flexibilidade no uso de determinado tipo de sistemas de ar condicionado. Esta questão poderá ter uma forte influência na decisão sobre o tipo de tecnologia de ar condicionado a instalar.

f) Avaliar quanto aos valores de temperatura e humidade desejados e aceitáveis no edifício. Além disso, deverá verificar-se se é aceitável para os utilizadores e para o processo técnico, a insuficiência ou excesso destes valores limites, durante algumas horas ao longo de um ano. A verificação deste ponto pode levar à redução significativa dos custos de investimento.

g) Seleccionar a tecnologia de ar condicionado mais apropriada à utilização associada ao edifício (questões como a presença de ar contaminado aspirado, por exemplo, deverão ser verificadas) assim como à região climática. Para grandes edifícios, poderão encontrar-se soluções diferentes para zonas distintas.



h) Verificar quais os sistemas de arrefecimento térmico que devem ser considerados. Avaliar quanto à possibilidade (parcial ou total) de ter sombra no campo do colector.

i) Verificar a disponibilidade de calor para os níveis de temperaturas envolvidos, e se a energia para aquecimento, disponível a partir do calor libertado é suficiente.

j) Avaliar qual a tecnologia solar disponível para a respectiva tecnologia de frio.

k) Planear o sistema solar com o recurso a cálculo de simulações anuais. Nesta fase, as diversas tecnologias dos colectores e os custos específicos associados deverão ser investigados. Na estimativa dos custos do sistema solar deverá ter-se em conta o efeito de escala.

l) Verificar se as superfícies de telhado e das fachadas existentes são suficientes, para a instalação do sistema solar térmico, para parte das necessidades do calor do processo requeridas. Se for possível e do ponto de vista arquitectónico aceitável, deverá equacionar-se a possibilidade de se integrar o sistema de colectores na fachada ou dentro desta. Assim, estes poderão dar resposta a dois propósitos: i) como fornecedores de calor e ii) como sombreamento exterior. Nesta situação, deve-se voltar ao ponto d) e investigar a influência destes nas cargas para aquecimento e arrefecimento.

m) Para uma primeira estimativa dos custos, deverá ter-se em atenção os seguintes pontos:

- preços da electricidade (preço do kWh e potência);
- preços de fornecimento de calor (preço do kWh e potência);
- preços da tecnologia de colectores seleccionada (atenção à influência da dimensão da área do colector, uma vez que em determinadas situações, poderá conduzir a uma redução significativa dos preços. Assim, pelo aumento da área dos colectores de 10 m<sup>2</sup> para 100 m<sup>2</sup>, em determinadas circunstâncias, poderá permitir uma redução dos custos específicos em cerca de 30 a 50%);
- existência de subsídios à instalação de tecnologias solares;
- preços da tecnologia de ar condicionado e da tecnologia de arrefecimento. No processo de planeamento do sistema, devem ter-se em conta as possíveis variações do nível dos preços de equipamento de ar condicionado, como consequência da elevada competição que existe nesta indústria. Esta situação poderá conduzir a grandes diferenças de preços entre os custos estimados e os resultantes de pedidos de orçamentos.

n) Duma maneira geral, pode considerar-se que a potência eléctrica apresenta uma grande influência no custo-eficácia dos sistemas térmicos de arrefecimento accionados por calor, comparativamente a um chiller de compressão eléctrica. Contudo, é necessário verificar se, realmente, os picos de potência para o consumo de electricidade decrescem com a função desempenhada pelo ar condicionado. Se não for este o caso, então estas potenciais poupanças não poderão ser incluídas na avaliação da eficiência económica do sistema. A avaliação do potencial de emissões de dióxido de carbono evitadas, deverá também ser tida em conta, numa avaliação da eficiência económica.

Após estes passos, poderão ainda ser necessários passos iterativos, como resultado de possíveis alterações nas condições base do processo de planeamento. Numa primeira abordagem o processo como um todo poderá parecer requerer um investimento elevado, mas os resultados associados a um planeamento eficaz serão recuperados, do ponto de vista do cliente, em termos de uma solução optimizada energética e economicamente, com poupança de custos devidos à redução no consumo energético.

### 9.3 Tecnologia do Sistema

Apresenta-se em síntese as tecnologias dos sistemas solares de ar condicionado disponíveis, explicando os fundamentos associados aos diferentes conceitos de sistemas solares autónomos e sistemas solares assistidos por energia solar. Focar-se-á ainda nas tecnologias dos colectores a implementar, que melhor se adaptam às respectivas tecnologias de arrefecimento accionadas por calor. Adicionalmente descrevem-se diversas variantes de ligações ao sistema solar.

#### 9.3.1 Sistemas solares autónomos versus sistemas solares assistidos

Os sistemas solares térmicos autónomos (relacionados com a potência calorífica) podem não ser economicamente viáveis como sistemas solares para aquecimento, como consequência das diferentes condições sazonais quanto à irradiação solar. Por outro lado, para os sistemas de arrefecimento solar existem dois conceitos possíveis, diferindo entre si quer em termos técnicos quer económicos:

- sistemas assistidos por energia solar;
- sistemas solares autónomos.

### **Sistemas assistidos por energia solar**

Nos sistemas assistidos por energia solar esta fornece apenas parte do calor necessário para o arrefecimento do ar no Verão. Quando a energia solar é insuficiente no preenchimento das necessidades, tanto por disponibilidade directa como armazenada, poderá ser fornecido calor recorrendo ao sistema auxiliar convencional para aquecimento. Tal, permite que sejam sempre alcançados os requisitos de concepção para o espaço interior (se os sistemas de arrefecimento e condicionamento de ar estiverem correctamente dimensionados).

Nestes sistemas, a fracção solar alcançada é utilizada para a calibragem do sistema. A parte da fracção solar para o aquecimento pode ser calculada com base na fracção de energia calorífica utilizada no fornecimento de calor e/ou através da média para a estação quente e para a fria, baseada na quantidade de calor total utilizado no fornecimento de calor.

O sistema convencional auxiliar para aquecimento é sempre necessário e normalmente é concebido para que o calor do processo seja fornecido, via sistema auxiliar. Com base num planeamento prévio e detalhado (cálculos da simulação para o sistema todo), e dependendo das características do edifício, região climática e tamanho do tanque de armazenamento seleccionado, é possível dispensar-se parte do output térmico do sistema de aquecimento tradicional. Nesta situação, a utilização do sistema solar permite uma poupança dos custos referentes ao sistema de aquecimento auxiliar, representando um impacte positivo, quanto à eficiência económica de um sistema solar de condicionamento de ar.

### **Sistemas solares autónomos**

Nos sistemas solares autónomos o calor de processo total para o arrefecimento de Verão e condicionamento de ar é fornecido pelo campo dos colectores solares. Nestes sistemas será tanto maior a quantidade de ar condicionado quanto maior for a disponibilidade de calor solar, sendo de grande importância a existência de uma estratégia de controlo inteligente.

Pela sua própria definição, este tipo de sistemas dispensa a existência de um sistema auxiliar para aquecimento. Desta forma, a fracção solar para arrefecimento é sempre de 100%, não sendo lógica a concepção destes sistemas recorrendo a este parâmetro. Uma vez que não existe um sistema auxiliar para aquecimento, e dependendo do sistema, poderão existir horas com condições externas extremas, em que os valores limite para as temperaturas exteriores e/ou humidade são excedidas dentro do edifício. O número de horas excedidas, bem como a dimensão dos desvios aos valores limite, poderão ser determinadas através de simulação e utilizados, como critérios no desenho do sistema. Esta é a razão pela qual fará sentido recorrer-se a simulações em que se considere o sistema solar e o edifício numa única simulação, aquando da concepção de um sistema solar autónomo.

Para os edifícios com elevadas correlações temporais entre a irradiação solar e o pico de arrefecimento a remover, os sistemas solares autónomos são bastante interessantes, tanto do ponto de vista técnico como económico. Um edifício de escritórios com fachadas em vidro e em que existe predominantemente uma utilização diária, é um exemplo típico.

A simplicidade da tecnologia consiste numa das vantagens destes sistemas. Obtém-se uma redução dos custos ao dispensar-se o sistema de aquecimento auxiliar, assim como os permutadores de calor suplementares. O planeamento integral do sistema é ainda mais importante para o caso dos sistemas solares autónomos, uma vez que mudanças no edifício, durante a fase de planeamento, sem uma correspondente adaptação ao nível do sistema solar de aquecimento, poderá comportar um impacte nas condições de conforto futuras do edifício

#### **9.3.2 Escolha da tecnologia de colector para diferentes tecnologias de arrefecimento**

Uma das questões mais prementes relacionada com a tecnologia dos sistemas de ar condicionado solares é a escolha da tecnologia dos colectores. Para responder a esta questão é importante comparar as temperaturas de funcionamento das várias tecnologias de arrefecimento accionadas por calor. As temperaturas de funcionamento dos chillers de absorção de fase única estão entre os 85-110°C. Para modelos de duas fases estas temperaturas são ainda mais altas, à volta de 150°C. Para as tecnologias de

adsorção, as temperaturas de condução são um pouco mais baixas, à volta dos 55-90°C. As temperaturas para os sistemas de arrefecimento por secagem (SAS) são as mais baixas, sendo aplicados tanto em sistemas com sorventes sólidos como líquidos. Para os últimos, de acordo com o conhecimento actual, as temperaturas mínimas são ligeiramente superiores (cerca de 55°C); no entanto, existe um potencial de melhoria.

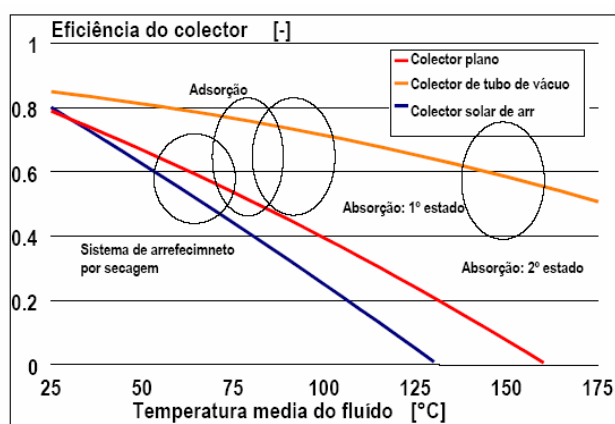
**Tabela 9.2 - Tecnologias de arrefecimento accionadas por calor e respectivas temperaturas motrizes**

Processo	Absorção	Adsorção	Sistema de arrefecimento por secagem
Tipo de ar condicionado	Água arrefecida	Água arrefecida	Ar condicionado (arrefecimento, desumidificação)
Temperatura de secagem	85 – 110 °C	55 – 90 °C	45 – 90 °C

Aquando da decisão acerca d a tecnologia mais adequada de colector para a respectiva tecnologia de arrefecimento, as curvas de eficiência desempenham um papel importante. Na figura 9.9, as curvas de eficiência para os colectores solares mais utilizados estão representadas como função da temperatura média do líquido. Se se assumir que a eficiência do colector para a respectiva aplicação deverá ser de pelo menos 50-60%, então este valor resulta no seguinte diagrama relativo à Tabela 9.2.

Nos sistemas de arrefecimento por secagem, os colectores planos e os colectores solares para aquecimento ambiente podem ser considerados. Em princípio os colectores de tubo de vácuo e parabólicos compostos são também altamente recomendados, tendo contudo como argumento contra, preços mais elevados.

Para os chillers de adsorção, colectores planos de alta eficiência, colectores de tubo de vácuo e parabólicos compostos podem ser utilizados. Para a absorção em fase única os colectores de tubo de vácuo e os colectores parabólicos compostos são os mais adequados. Do ponto de vista económico os colectores planos não deverão ser considerados em aplicações de absorção, mesmo que tecnicamente tal seja viável. A serem utilizados, deverão sê-lo apenas em colectores com áreas grandes. Para absorção em duas fases, apenas os tubos de vácuo e colectores parabólicos compostos deverão ser considerados.



**Figura 9.9 - Eficiência dos colectores típicos**

**Fonte: Fraunhofer ISE**

Para além do aspecto da curva de eficiência, os seguintes factores desempenham um papel importante na escolha do colector mais adequado:

- preço específico de cada colector: comparação entre o preço por metro quadrado de colector instalado, assim como o preço de saída do kW térmico à temperatura definida. A dimensão da área de colector instalado deverá também ser considerada, uma vez que tem um impacte nos custos da sub-estrutura;
- a situação local de sombreamento: é importante a análise das condições de sombreamento do local, podendo influenciar na escolha do tipo de colector, p.e., se não houver área suficiente para a instalação dos colectores planos, devido ao parcial ensombramento da área de telhado;
- a possível integração de colectores solares na fachada: nesta situação os aspectos estruturais e, em particular, o efeito visual poderão ser decisivos na escolha ou não de uma determinada tecnologia de colector. Nestes casos, a possível substituição de componentes da fachada com a implementação de

colectores planos ou colectores solares para aquecimento ambiente é um factor importante. Com muitos dos colectores de tubos de vácuo isto não é possível.

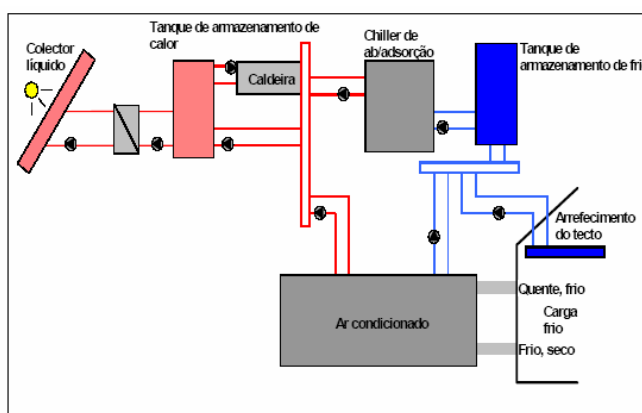
### 9.3.3 Variantes dos circuitos

Quanto à tecnologia do sistema, as possibilidades de conexão do sistema solar à totalidade do sistema de arrefecimento solar é muito importante. Geralmente podem ser diferenciados pelos seguintes sistemas:

- sistemas com colectores solares líquidos;
- sistemas com colectores solares de ar;
- sistemas com input de calor solar, através de um tanque de armazenamento de calor;
- sistemas com input directo de calor solar, no sistema de ar condicionado;
- sistemas com aquecimento auxiliar, recorrendo a tanque de armazenamento de calor;
- sistemas sem aquecimento auxiliar no tanque de armazenamento de calor (apenas tanques de armazenamento de calor solar).

Por outro lado, existem também versões híbridas baseadas nestes sistemas. As figuras abaixo apresentadas têm como objectivo ilustrar simplificada a integração dos diversos elementos num sistema solar, não devendo ser interpretadas como diagramas completos dos circuitos hidráulicos. Em termos da tecnologia de frio são apresentadas todas as possibilidades, não sendo viável, economicamente falando, a implementação conjunta destas. Quando se utilizam os chillers de adsorção deverá ser incorporado um tanque de armazenamento no sistema, por forma a que seja controlada a estabilidade deste. No caso dos chillers de absorção a hipótese de se instalar um tanque de armazenamento consiste também numa vantagem acrescida. A decisão relativa a qual dos sistemas se deve utilizar no final do processo deverá ser levada a cabo na fase de projecto.

Na figura 9.10 encontra-se ilustrado um sistema de arrefecimento solar com colectores solares líquidos, em que o input de calor solar se processa exclusivamente através do tanque de armazenamento de calor. Existe também fornecimento de aquecimento auxiliar no tanque de armazenamento de calor.

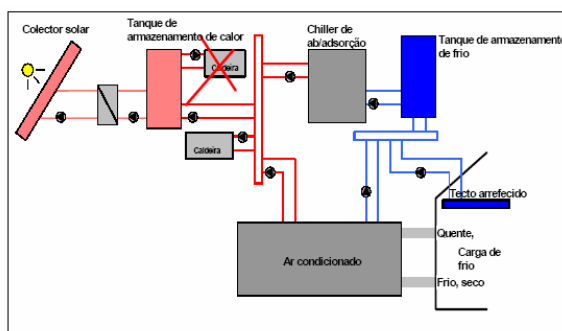


**Figura 9.10 - Sistema de arrefecimento solar com colectores líquidos (o input de calor proveniente do Sol faz-se unicamente pelo tanque de armazenamento de calor) e aquecimento auxiliar no tanque de armazenamento de calor**

O sistema apresenta as seguintes características:

- adequabilidade para chillers de absorção e adsorção assim como em sistemas de arrefecimento por secagem (sólidos e líquidos);
- possibilidade de integrar colectores planos, colectores de tubo de vácuo e colectores parabólicos compostos;
- desacoplamento dinâmico do sistema solar e da tecnologia de frio/ar condicionado, através do tanque de armazenamento de calor;
- aumento das perdas do calor armazenado, através do aquecimento auxiliar no reservatório regulador;
- possibilidade de se controlar de forma “tradicional” o sistema solar térmico;
- controlo elevado de todo o sistema através do desacoplamento dinâmico.

A figura 9.11 ilustra um sistema de arrefecimento solar com colectores solares líquidos, em que o input de calor solar se processa exclusivamente através do tanque de armazenamento de calor, mas sem fornecimento de aquecimento auxiliar no tanque de armazenamento de calor.

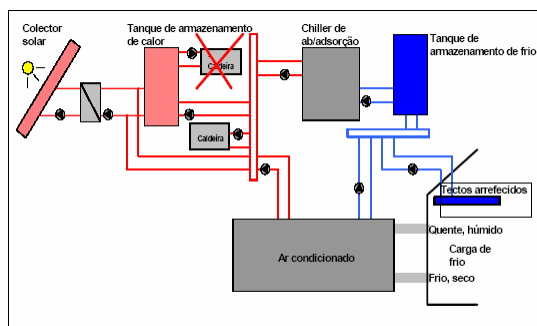


**Figura 9.11 - Sistema de arrefecimento solar com colectores líquidos, onde o input do calor do Sol se faz unicamente pelo calor acumulado, mas sem recorrer ao aquecimento auxiliar**

O sistema apresenta as seguintes características:

- adequabilidade para chillers de absorção e adsorção, assim como em sistemas de arrefecimento por secagem (sólidos e líquidos);
- possibilidade de integração de colectores planos, colectores de tubo de vácuo e colectores parabólicos compostos;
- desacoplamento dinâmico do sistema solar e da tecnologia de frio/ar condicionado, através do tanque de armazenamento de calor;
- redução das perdas do calor armazenado, por causa do aquecimento auxiliar fora do tanque de armazenamento de calor (será preferível a ligação em série do aquecimento auxiliar);
- o tanque de armazenamento contém apenas calor solar;
- a possibilidade de se controlar de forma “tradicional” o sistema solar térmico;
- controlo elevado de todo o sistema através do desacoplamento dinâmico.

A figura 9.12 ilustra um sistema de arrefecimento solar com colectores solares líquidos, em que existe um input directo de calor solar e consequente fornecimento através do tanque de armazenamento de calor, mas em que não existe aquecimento auxiliar no tanque de armazenamento de calor.



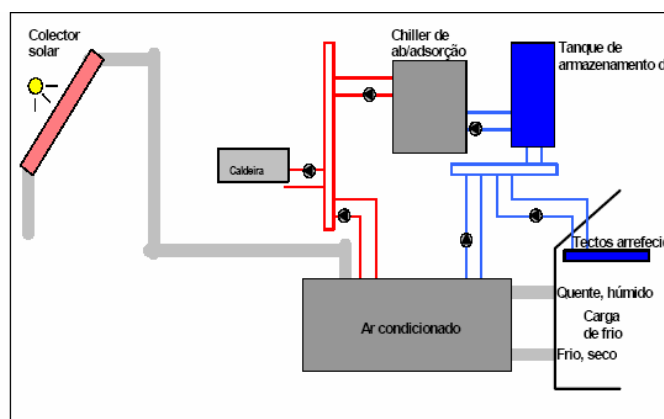
**Figura 9.12 - Sistema de arrefecimento solar com colectores líquidos, onde existe input directo de calor do Sol e input solar através do tanque de armazenamento de calor, mas sem auxílio de aquecimento no tanque de armazenamento de calor**

O sistema apresenta as seguintes características:

- adequabilidade para chillers de absorção e adsorção, assim como em sistemas de arrefecimento por secagem (sólidos e líquidos);
- possibilidade de integração de colectores planos, colectores de tubo de vácuo e colectores parabólicos compostos;
- desacoplamento dinâmico do sistema solar e da tecnologia de frio/ar condicionado, através do tanque de armazenamento de calor;

- redução das perdas do calor armazenado, através do aquecimento auxiliar fora do tanque de armazenamento de calor (será preferível a ligação em série do aquecimento auxiliar);
- o tanque de armazenamento contém apenas calor solar;
- o rendimento do colector é potencialmente superior, como consequência da possibilidade de se poder estabelecer uma ligação directa do calor solar;
- o sistema hidráulico e o controlo são mais complexos, em virtude da existência do desacoplamento dinâmico.

A figura 9.13 esquematiza um sistema de arrefecimento solar com colectores solares para aquecimento ambiente, equipado com entrada de ar ambiente. O sistema ilustrado apresenta um input directo de calor solar mas sem tanque para armazenamento de calor.

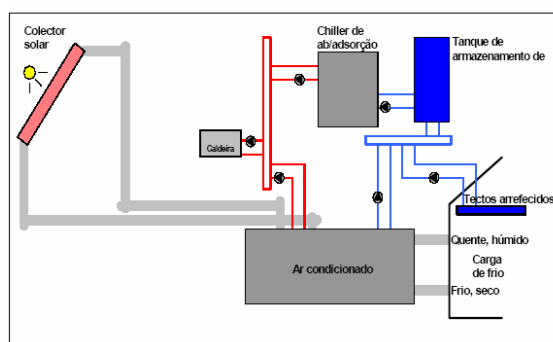


**Figura 9.13 - Sistema de arrefecimento solar com colectores equipados com entrada de ar ambiente e com input directo de calor do Sol, sem tanque de armazenamento de calor**

O sistema apresenta as seguintes características:

- apropriado apenas para sistemas de arrefecimento por secagem (sólidos e líquidos);
- possibilidade de se integrar colectores solares de ar;
- desacoplamento dinâmico directo do sistema solar térmico e do sistema de ar condicionado;
- sistema sem necessidade de armazenamento;
- sistema solar de ar, com entrada de ar ambiente;
- o sistema hidráulico e o controlo encontram-se facilitados como consequência da tecnologia simplificada deste sistema, apesar da adaptação a ter em conta, em relação às flutuações da irradiação;
- custos de investimento reduzidos;
- aplicação em edifícios com elevadas correlações com o tempo entre a irradiação solar e a carga de arrefecimento;
- no aquecimento do ar ambiente pode ser contabilizada a irradiação difusa.

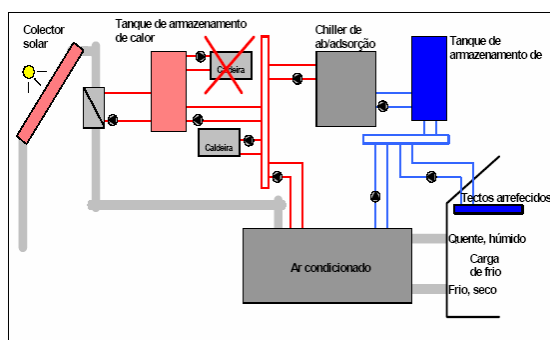
A figura 9.14 mostra um sistema de arrefecimento solar com colectores solares para aquecimento ambiente com regeneração da entrada de ar. O sistema ilustrado apresenta um input directo de calor solar mas sem tanque para armazenamento de calor.



**Figura 9.14 - Sistema de arrefecimento solar com colectores com regeneração da entrada de ar. Com input directo de calor do Sol mas sem tanque de armazenamento de calor**

No sistema de frio o ar regenerado é enviado para o colector solar, depois de passar na roda de recuperação de calor sensível. Esta alteração permite um aumento de temperatura nos colectores para o mesmo nível de irradiação o que pode ser vantajoso em climas húmidos e quentes. Contudo os custos de investimento são mais elevados, devido à instalação de condutas de ar adicionais.

A figura 9.15 apresenta um sistema de arrefecimento solar com colectores solares para aquecimento ambiente com entrada de ar ambiente. O sistema apresenta um input directo de calor solar e integra um tanque para armazenamento de calor, mas sem aquecimento auxiliar no reservatório para armazenamento



**Figura 9.15 - Sistema de arrefecimento solar com colectores com admissão de ar ambiente. Com input directo do calor do Sol e um tanque de armazenamento de calor, mas sem meios auxiliares de aquecimento**

O sistema apresenta as seguintes características:

- apropriado apenas para sistemas de arrefecimento por secagem (sólidos e líquidos);
- possibilidade de se integrar colectores solares para aquecimento ambiente;
- sistema solar para aquecimento ambiente com entrada de ar ambiente;
- acoplamento dinâmico directo do sistema solar térmico e do sistema de ar condicionado;
- possibilidade de desacoplar o calor solar em excesso, para o reservatório de regulação;
- o sistema hidráulico e o controlo encontram-se facilitados, como consequência da tecnologia simplificada deste sistema, apesar da adaptação a ter em conta em relação às flutuações da irradiação;
- custos de investimento reduzidos;
- aplicação em edifícios com correlações temporais médias entre a irradiação e a carga de arrefecimento;
- no aquecimento do ar ambiente pode ser contabilizada a irradiação difusa.

#### 9.4 Concepção do sistema

A concepção dos sistemas de ar condicionado, ao contrário dos sistemas para aquecimento solar de águas quentes, não consiste numa tarefa de resposta fácil, dependendo este da influência de vários factores.

As necessidades referentes às cargas de arrefecimento e aquecimento de um edifício dependem sempre do projecto e poderão apenas ser correctamente determinadas em relação ao projecto.

Esta questão consiste na maior e mais significativa diferença quanto à concepção de sistemas para aquecimento solar de água, onde o número de pessoas e o consequente consumo de água quase por si só, determina a carga de aquecimento solicitada pelo sistema. Apesar de na tecnologia de condicionamento de ar existirem também valores empíricos para a carga interna específica para arrefecimento ( $W/m^2$ ), para utilizações típicas (p.e.: escritórios, salas de conferências) é a arquitectura e a planta do edifício, bem como a região climática onde este se insere, que se revestem de maior influência na determinação da carga de arrefecimento e/ou aquecimento. Por exemplo, a existência no edifício de um bom ensombreamento exterior, numa extensa fachada, em vidro poderá facilmente reduzir para metade as necessidades, quanto à carga para arrefecimento. A utilização de regras empíricas para o desenho sistemático de sistemas solares de ar condicionado é, como questão de princípio, mais difícil, podendo estas apenas ser utilizadas como valores de referência grosseiros. Além do mais, uma quantidade significativa de factores com influência no sistema, deverão ser determinados primeiramente de forma a definirem-se os valores referência. É precisamente neste último ponto que é necessário um planeamento atempado e rigoroso.

Até à data tem sido pouca a experiência relativamente aos sistemas opeconais. Como exemplo refira-se a Alemanha, onde apenas cerca de 20 sistemas solares de arrefecimento foram construídos, sendo que grande parte deste foram desenvolvidos como projectos de demonstração. A maior parte, foram concebidos e planeados por centros de investigação, sendo depois implementados em colaboração com projectistas. Assim, existem poucos projectistas com experiência, na implementação dos diversos tipos de sistemas de arrefecimento solar. Isto é demonstrado pela grande variedade de superfícies específicas de colectores por kilowatt de potência de arrefecimento. Esse intervalo de valores pode variar desde os 0,8 m<sup>2</sup>Col/kWarrefecimento até 8 m<sup>2</sup>Col/kWarrefecimento. Apesar destas diferenças se deverem, em parte, às circunstâncias específicas do projecto (p.e., as áreas do colector nem sempre são determinadas pelo arrefecimento solar), é também claro que em certos casos os planeadores têm incertezas quanto ao desenho do sistema.

#### 9.4.1 Procedimentos gerais no dimensionamento dos sistemas

Apesar da complexidade própria de cada caso, é possível definirem-se linhas orientadoras para o projecto dos sistemas. As vantagens acrescidas associadas a um planeamento integral do sistema deverão ser tidas em atenção, com especial ênfase para o efeito do projecto na viabilidade económica do arrefecimento solar. Em termos económicos, a definição de passos interactivos e de compromissos, entre a optimização energética e o desenho realístico do sistema, é importante.

Para todas as situações deverão ser seguidos os passos abaixo enumerados, aquando do desenho de um sistema de arrefecimento solar:

1. Cálculo da carga para arrefecimento/aquecimento do edifício.
2. Opcional: Cálculo da série temporal das cargas de arrefecimento/aquecimento para cada hora do ano, com base numa simulação do edifício.
3. Desenho da tecnologia de ar condicionado e/ou arrefecimento. Neste ponto, deverá ser verificada qual a tecnologia de ar condicionado e/ou arrefecimento que deverá ser utilizada ou ajustada ao respectivo edifício.
4. Opcional: no caso de se concretizar o ponto 2, deverá decidir-se se o desenho da tecnologia de ar condicionado e/ou arrefecimento deve basear-se no pico de carga, ou se desvios ocorridos durante determinadas horas/dias devem ser aceites. Deverá analisar-se o efeito quantitativo do potencial de redução da tecnologia de ar condicionado e/ou arrefecimento nas condições de ventilação, utilizando uma simulação em que se combine o edifício e o sistema
5. Cálculo da capacidade de condução de calor da tecnologia de arrefecimento accionada por calor.
6. Opcional: Cálculo da série temporal referente ao calor do processo para cada hora do ano, com base numa simulação do edifício.
7. Dimensionamento do sistema solar térmico e, se necessário, do tanque de armazenamento de calor para cobrir por completo, ou parcialmente, a capacidade de condução térmica. Desenho do sistema auxiliar de aquecimento se considerado. Neste ponto deverão comparar-se as diversas configurações dos sistemas existentes, recorrendo a simulações, tendo em conta que só fará sentido para o caso em que o ponto 6 tenha sido levado a cabo. Se tiver sido planeado um sistema solar integrado na fachada, ou um que ensombre parcialmente a fachada, é possível que se tenha de recalcular novos valores quanto à carga de arrefecimento/aquecimento do edifício de acordo com o ponto 1.
8. Cálculo de toda a energia necessária, bem como do consumo de água para todo o sistema.
9. Cálculo dos custos do sistema solar e do sistema de aquecimento auxiliar de acordo com o ponto 7. Deverá ser tido em conta tanto o preço de venda ao consumidor como o preço por unidade de electricidade e calor.
10. Cálculos dos custos associados a todo o sistema.
11. Se os custos calculados não forem aceitáveis, recomenda-se a iteração dos passos entre o ponto 3 o ponto 7.



Para além da concepção técnica e económica é também importante ter em conta as poupanças de energia primária conseguidas, aquando do desenho do sistema, sendo de particular interesse este ponto para os sistemas de arrefecimento solar.

Para a obtenção de um sistema de sucesso é bastante importante o trabalho conjunto com profissionais com experiência adquirida nesta área. Os resultados obtidos serão melhores se se recorrer a software de simulação que permita descrever tanto o edifício, como a tecnologia associada ao sistema, incluindo o sistema solar térmico.

#### 9.4.2 Dimensionamento de sistemas com base em dados empíricos

Baseado na experiência prévia dos sistemas pilotos já implementados os dados abaixo descritos fornecem uma estimativa grosseira da dimensão do campo do colector solar:

- para os sistemas de arrefecimento por condução térmica com sorventes sólidos: aproximadamente 5-10 m<sup>2</sup> colector por 1000 m<sup>3</sup>/h;
- para os chillers de ad/absorção: aproximadamente 1-3 m<sup>2</sup> por kW de capacidade de arrefecimento.

A utilização destes valores deverá significar que qualquer sub ou sobredimensionamento de magnitude elevada pode ser excluído. Estes valores de referência permitem estimar os custos gerais dos sistemas solares, na fase inicial do projecto, durante o planeamento prévio. Existe a possibilidade de ocorrerem desvios a estes valores, quando existem condições especiais associadas ao projecto.

Para os chillers de adsorção e, em particular, para os de absorção que utilizam colectores solares planos, as áreas específicas poderão situar-se acima destes valores. A informação, referente aos sistemas de arrefecimento por secagem, aplica-se aos colectores solares para aquecimento ambiente e aos colectores líquidos.

Enfatiza-se ainda o facto de que os valores de referência não deverão substituir um plano detalhado do sistema.

#### Dimensionamento dos sistemas de acordo com o pico de carga

Outro método de design consiste em dimensionar o sistema solar de forma a que a carga de arrefecimento nominal do sistema de arrefecimento e ar condicionado ( $P_{\text{arrefecimento}}$ ), com irradiação solar máxima no campo do colector (1000 W/m<sup>2</sup>), possa ser fornecido, apenas pelo calor do sistema solar. A área do colector  $A_{\text{col}}$  é calculada de acordo com a fórmula seguinte:

$$A_{\text{col}} = \frac{P_{\text{arrefecimento}}}{COP_{\text{arrefecimento}}} - \frac{1}{\eta_{\text{Col}}}$$

Onde  $P_{\text{arrefecimento}}$  = potência de arrefecimento nominal do sistema de arrefecimento/ar condicionado em kilowatts,  $COP_{\text{arrefecimento}}$  = COP (Coeficiente de Performance) nominal do sistema de arrefecimento/ar condicionado e  $\eta_{\text{Col}}$  = eficiência nominal do colector solar à temperatura necessária para fazer funcionar o sistema de arrefecimento/ar condicionado.

No caso de transferência de calor nos permutadores de calor, as diferenças de temperatura deverão ser tidas em conta. Isto conduz ao aumento das temperaturas nos colectores solares, comparativamente às dadas como temperaturas motrizes nas especificações técnicas dos sistemas de arrefecimento/ar condicionado.

A Tabela 9.3 apresenta as respectivas áreas específicas dos colectores, por potência de arrefecimento por kW, deduzidas da fórmula acima descrita.

**Tabela 9.3 - Áreas específicas dos colectores por potência de arrefecimento**

Arrefecimento	COP	Colector	Temp. motriz	Temp. Colector	Irradiação em kW	$\eta_{col}$	m <sup>2</sup> Col/kW Arrefecimento	kWArrefecimento/1000m <sup>3</sup> /h	m <sup>2</sup> Col/1000m <sup>3</sup> /h
Absorção	0,7	Tubo Vácuo	90°C	100°C	1,0	0,71	2,01	-	-
Absorção	0,7	Plano	90°C	100°C	1,0	0,52	2,75	-	-
Adsorção	0,6	Tubo Vácuo	80°C	90°C	1,0	0,73	2,28	-	-
Adsorção	0,6	Plano	80°C	90°C	1,0	0,57	2,92	-	-
SAS-sólido	0,8	Plano	70°C	85°C	1,0	0,59	2,12	6,00*	12,71
SAS-sólido	0,8	Aquecimento Ambiente	70°C	60°C	1,0	0,63	1,98	6,00*	11,90

\* este valor depende substancialmente das condições climáticas ambientes

Por conseguinte, para um chiller de absorção em fase única com um COP nominal típico de 0,7 e para um colector de tubo de vácuo com uma eficiência nominal de 71% (usual para temperaturas médias de colectores de 100°C), o resultado é um colector com uma área específica de 2,01 m<sup>2</sup>Col/kWArrefecimento

As áreas específicas do colector, para chillers de ad- e absorção, calculadas de acordo com o método de pico de carga estão dentro da área coberta pelos valores de referência. Como nos sistemas de arrefecimento por condução térmica, a potência de arrefecimento do sistema de ar condicionado depende directamente das condições exteriores. As áreas específicas dos colectores são dadas relativamente a uma taxa nominal de fluxo de 1000m<sup>3</sup>/h.

Os valores calculados de acordo com o método do pico de carga assentam claramente acima dos valores empíricos de 5-10 m<sup>2</sup>Col para uma taxa nominal de fluxo de 1000m<sup>3</sup>/h. Assim, usando o método de pico de carga, com sistemas de arrefecimento por condução térmica, resultará geralmente em sistemas sobredimensionados. Desta maneira, para estes sistemas parece sensato reduzir as dimensões calculadas, em pelo menos 30%.

A vantagem de integrar colectores solares para aquecimento ambiente prende-se com o facto de não existirem diferenças de temperatura nos permutadores de calor. Como a eficiência de 63% tem a ver com a temperatura média do colector, e uma vez que existem diferenças de temperatura de aproximadamente 35K nestes, a temperatura de saída do colector necessária de 75°C é alcançada com uma temperatura média do colector de aproximadamente 60°C. Esta abordagem tem em consideração as perdas de temperatura em cerca de 5K, que ocorrem entre a saída do colector e o sistema de ar condicionado.

Da mesma forma que no dimensionamento de sistemas recorrendo a valores empíricos, dimensionar de acordo com métodos de pico de carga conduz apenas a uma situação inicial. Além disso, uma análise detalhada da frequência com que os picos de carga de arrefecimento ocorrem é altamente recomendável, de modo a evitar o sobredimensionamento do sistema. Esta análise poderá também contribuir para o dimensionamento do armazenamento. Deverá ser tido em conta, contudo, que a irradiação máxima de 1000W/m<sup>2</sup>Col ocorre apenas num curto período de tempo por dia.

Simulações de edifícios com sistemas subsequentes ou acoplados, em que os valores de desenho de acordo com o método do pico de carga são usados como valores de partida, geralmente conduzem a resultados substancialmente mais precisos e, consequentemente, mais recomendados.

No caso de um sistema solar de ar condicionado ser usado tanto no Verão como no Inverno, o desenho realizado de acordo com o pico de carga deverá encontrar-se sempre relacionado com o pico de carga de arrefecimento do Verão e a irradiação máxima que ocorre nessa altura. Caso contrário o sistema será sobredimensionado e economicamente inviável.

### 9.4.3 Dimensionamento de sistemas solares autónomos

O dimensionamento detalhado dos sistemas solares autónomos requer sempre uma combinação entre a simulação do edifício e do sistema. O método do pico de carga é adequado para fornecer um valor guia inicial para a dimensão do campo de colectores.

A qualidade do desenho de sistemas solares autónomos pode ser avaliada pelo número de horas em que os valores limite para a temperatura interior e humidade são excedidos. Numa simulação combinada sistema-edifício, o sistema completo é calculado e a resposta dinâmica do edifício é determinada pelas mudanças na potência de arrefecimento do sistema de arrefecimento/ar condicionado, à medida que a irradiação oscila. Neste processo, mudanças eventuais na arquitectura poderão ser examinadas ao mesmo tempo, sendo isto um claro benefício.

Com base nos valores iniciais, as variações do sistema poderão ser efectuadas ao nível dos colectores e, se necessário no reservatório de armazenamento de calor. É importante referir que uma possível alteração na utilização do edifício tem de ser tomada em consideração.

Devido à boa conformidade entre a irradiação e a carga de arrefecimento a ser dissipada, os sistemas solares autónomos, especialmente em edifícios com utilização durante o dia, podem fornecer boas soluções, não só em termos de critérios de conforto interior, mas também em termos do desempenho energético e económico.

### **Dimensionamento dos sistemas de acordo com a poupança de energia primária**

A principal motivação para a utilização dos sistemas solares de ar condicionado é a poupança de energia. Esta, por sua vez, significa uma redução dos custos de funcionamento para o operador. Assim, os sistemas de arrefecimento solar terão oportunidade de vingar no sector industrial a longo prazo, apenas se a poupança energética e a redução de custos puderem ser conciliadas uma com a outra.

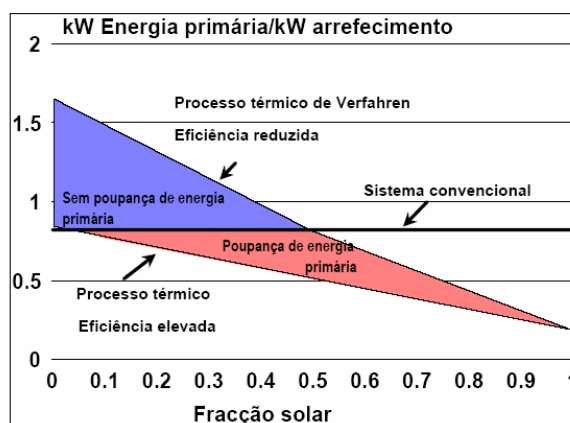
Para além do aspecto relacionado com a diminuição dos custos, é também importante analisar se a energia primária pode ser poupada com o sistema solar de arrefecimento. Energia primária significa o conteúdo energético de uma fonte original de energia antes de ser convertida. Podem distinguir-se entre fontes de energia não renováveis, descritas como fontes convencionais de energia (carvão, petróleo, gás, urânio), e fontes de energia renovável (Sol, vento e água). O conceito de consumo de energia primária é, no entanto, frequentemente utilizado como referência a consumos de energia, a partir de fontes não renováveis. Assim, quando a poupança de energia primária é referida no contexto da utilização da tecnologia solar, é assumido que a energia solar convertida não é uma utilização primária de energia, ou seja, a energia primária é poupada quando o consumo de gás é substituído por energia solar. No sentido estrito do termo esta afirmação não é inteiramente correcta, mas será utilizada ao longo do texto por ser a mais comum.

Por forma a comparar as diversas fontes energéticas (gás, petróleo e electricidade) umas com as outras, estas podem ser convertidas a uma unidade energética comum. Por exemplo, na Europa 3 kWh de energia primária são utilizadas, em média, para produzir 1 kWh de electricidade. Como o consumo de energia primária (com excepção do urânio) está directamente associado com a emissão de dióxido de carbono, a avaliação de sistemas energéticos em termos de energia primária reveste-se de uma importância fundamental, no que diz respeito ao impacte nas alterações climáticas globais.

Pode assumir-se que um bom sistema de arrefecimento accionado por calor, utiliza menos electricidade que um sistema de arrefecimento por compressão de vapor. Se não for o caso, então o sistema não deverá ser instalado. Por esta razão, de forma a verificar a questão da utilização da electricidade, todos os equipamentos utilizadores (incluindo os pequenos utilizadores-parasitas, como as bombas e os motores auxiliares) devem ser registados e avaliados durante a fase de planeamento.

A questão decisiva passa no entanto pela avaliação de um sistema de arrefecimento accionado por calor, numa perspectiva de consumos mais baixos, em comparação com um chiller de compressão eléctrico.

Devido ao COP significativamente elevado de um chiller de compressão eléctrico (tipicamente 3) relativamente a um chiller térmico (tipicamente 0,7 para um chiller de absorção em fase única), este último, alimentado apenas a gás, usará uma quantidade superior de energia primária. Do ponto de vista ecológico, é muito importante fornecer um chiller térmico, pelo menos parcialmente, com formas de energia designadas por “neutras”, do tipo da energia solar ou recorrendo à queima de resíduos.



**Figura 9.16 - Poupança de energia primária em função da fracção solar**

**Fonte: Fraunhofer ISE**

Quanto maior for a fracção solar utilizada para o arrefecimento, relativamente à energia primária total, maior será a poupança desta. A quantidade mínima que terá que ser substituída pela queima de resíduos ou pela energia solar, por forma a se igualar os quantitativos de energia primária, será menor ou maior dependendo da eficiência do processo térmico.

Assim, por forma a se obterem poupanças significativas de energia primária, recorrendo aos sistemas solares de arrefecimento, a fracção solar quanto à energia motriz para arrefecimento, deverá ter um valor superior a 50%. Desta forma, recomenda-se o desenho de sistemas solares para arrefecimento, para fracções solares de pelo menos 70-80%.

## 10 PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO PARA SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS

---

Antes de ser construído um sistema solar térmico, qualquer gabinete de projecto ou empresa de instalação efectua primeiro uma simulação do sistema. Independentemente da apresentação dos resultados ao cliente (efeito de marketing), este processo é também cada vez mais utilizado para apoiar o projecto por meio do respectivo programa.

Potenciais investidores ou operadores de sistemas solares procuram soluções óptimas para o sistema, o rendimento solar esperado e o nível de poupança de energia. Os programas de simulação são essenciais para responder a estas questões.

O planeamento do sistema deve envolver a optimização das variáveis do sistema e dos seus componentes com base na energia, economia e ecologia. No passado, esta optimização era apenas possível tendo por base valores experimentais, o que conduzia a um efeito limitado no desenvolvimento dum projecto. No entanto, esta optimização fica mais facilitada com a ajuda de programas de simulação disponíveis. Apesar disto, a simulação não substitui o draft do dimensionamento, na estimativa do rendimento e na determinação detalhada dos dados necessários para o planeamento. De forma a obter resultados reais na simulação e optimização de sistemas de grandes dimensões ou muito complexos, não é apenas necessário um programa de simulação potente, mas também conhecimento técnico de engenharia do projectista. Os resultados de uma simulação são tão bons quanto a selecção real dos valores de entrada e o método de simulação.

Muitos fabricantes de programas começaram a integrar mecanismos de controlo, enquanto são introduzidos os dados. Isto torna-se útil quando são feitos erros graves de dimensionamento. A optimização só pode ter lugar se o projectista conhecer os parâmetros ou dimensões que podem melhorar o sistema que vai ser planeado, e se o programa oferecer as funções de optimização ou comparações de variáveis. Contudo, recomenda-se ao projectista uma avaliação crítica dos resultados simulados. No final, o programa de simulação assume sempre as condições sintéticas óptimas, que na realidade podem não existir.

As poupanças de tempo e dinheiro, ao usar programas de simulação para dimensionamento e planeamento, têm conduzido ao uso crescente destes programas nos gabinetes de projecto. Para além disso, as empresas de instalação utilizam cada vez mais os programas, para apresentações aos seus clientes.

A determinação do rendimento, os cálculos de viabilidade económica e os detalhes da poupança nas emissões, mostram as vantagens dos sistemas solares e fornecem argumentos aos vendedores. Alguns programas combinam num relatório, pronto para impressão, o projecto do sistema, os respectivos dados e os resultados.

Alguns programas de simulação são adequados para verificar os cálculos dos sistemas existentes ao permitirem a importação, por exemplo, de dados de medições de radiação solar e consumo. O programa que é mais adequado, para cada aplicação, pode ser estabelecido, de acordo com a classificação do programa, mas em última análise, é o próprio utilizador que escolhe.

Tradicionalmente, nas áreas de investigação e desenvolvimento entre os fabricantes de componentes, têm sido indispensáveis os vários programas de simulação. Cada vez mais, os fabricantes de componentes do sistema solar oferecem programas são feitos à medida dos seus produtos.

### 10.1 Avaliação dos resultados de simulação

Os sistemas solares térmicos são geralmente usados em habitações unifamiliares, como sistemas de aquecimento de água doméstica. Os cálculos de simulação estão bem calibrados para esta situação, sendo muito raros os erros de cálculo. Contudo, se os sistemas forem mais complicados, p.e. para um sistema solar de aquecimento ambiente ou no caso de sistemas solares de maiores dimensões, com vários campos de colectores e tanques de armazenamento de regulação, as previsões apresentam um erro associado mais elevado.

No caso de sistemas solares térmicos, a determinação das bases de planeamento tais como os consumos de água e calor necessários, são muito importantes. Se se acharem na realidade consumos alternativos ou necessidades de calor, então os resultados operacionais diferem inevitavelmente dos resultados simulados. A selecção dos sistemas mais adequados e dos componentes é igualmente importante, mas não tem uma influência significativa, p.e., no rendimento solar.

Quanto mais complexo for o sistema solar, maior a quantidade de dados que o utilizador tem de introduzir e maior a quantidade de cálculos necessários nos programas. Um utilizador inexperiente deve certificar-se que está consciente do significado dos parâmetros, antes de os introduzir. A maior parte dos programas fornecem ajuda sobre os dados a introduzir. As funções de ajuda oferecem apoio, embora nalguns programas possam ser melhoradas. Um sistema solar pode ser optimizado por meio da simulação de variações nos sistemas, se o utilizador souber qual o efeito que estas terão.

Os resultados devem ser sempre verificados, com base nos valores experimentais. Um sistema solar com um rendimento específico abaixo dos 250 kWh/m<sup>2</sup>a está geralmente desenhado incorrectamente. Mesmo com bons resultados, por exemplo, um rendimento específico acima de 600 kWh/m<sup>2</sup>a, deverá estar sujeito a considerações críticas.

### *10.2 Simulação tendo em conta o efeito de sombra*

O número de programas de simulação com um editor de sombra integrado tem vindo a aumentar, havendo inclusivamente novas versões dos programas, que integram esta opção de cálculo adicional.

Ao contrário dos sistemas fotovoltaicos, o ensombreamento parcial da superfície receptora, em certas alturas do dia ou ano, tem menos efeito para o rendimento, no caso dos sistemas solares térmicos. Os colectores são capazes de converter a radiação difusa em energia útil. Acima de tudo, a sombra não apresenta risco para a segurança da operação do sistema.

As perdas de rendimento, podem na sua maioria, ser compensadas, se as perdas devidas ao efeito da sombra forem conhecidas, aumentando a área dos colectores. Os graus de utilização são um pouco mais baixos, mas o rendimento desejado do sistema pode ser atingido, com um custo financeiro adicional relativamente baixo.

Com a ajuda de cálculos comparativos, pode mostrar-se ao utilizador ou ao cliente o efeito da sombra, devido a uma árvore de 20 anos, no rendimento do sistema e o prejuízo que pode ser eliminado, sem derrubar a árvore, efectuando um planeamento que tenha esta informação em conta.

### *10.3 Análise de Mercado, classificação e selecção de programas de simulação*

Visto que há múltiplas aplicações para a energia solar, há igualmente muitos programas de simulação. Não interessa se são usados para aquecimento de água doméstica, aquecimento de divisões, de piscinas ou sistemas solares para aquecimento ambiente, qualquer sistema térmico solar pode ser simulado num computador. Contudo, a maior parte dos programas dizem respeito ao aquecimento solar de água doméstica e aquecimento de divisões. De modo a resumir o mercado, os programas de simulação, de acordo com o processo de programação, podem ser classificados em:

- programas de cálculo;
- programas de etapas;
- sistemas de simulação;
- programas de ferramentas ou auxiliares.

O procedimento técnico-científico usado no programa, determina a exactidão, esforço de operação, a flexibilidade, a finalidade da aplicação e o tempo de cálculo. Este último já não é tão importante, devido ao desempenho dos computadores disponíveis hoje em dia. Estas propriedades aumentam continuamente para as categorias de programas de cálculo, até sistemas de simulação dinâmicos. Quanto mais flexível for o programa, maiores serão as necessidades do utilizador.

Os programas acessórios e as ferramentas auxiliares contêm programas com especificações, para problemas detalhados ou para o esboço dos componentes individuais dos sistemas solares. Para seleccionar um programa de simulação, independentemente do próprio processo de simulação, a aplicabilidade é importante, sendo de realçar a necessidade de avaliação do desempenho e as opções de cada programa. Portanto, é importante existir uma simulação para cada tipo de sistema ou configuração de sistema.

## 10.4 Breve descrição dos programas de simulação

Nesta secção faz-se uma selecção dos programas de simulação mais comuns para sistemas solares térmicos. Para muitos programas pode ser pedida ou descarregada via Internet uma versão de demonstração grátis.

Com base nas extensas e variáveis aplicações, certos programas de análise por etapas são descritos detalhadamente.

### 10.4.1 Programas de cálculo

Os programas de cálculo são programas simples, baseados em processos de cálculo estáticos. Geralmente, são incluídos apenas os valores médios mensais para diferentes localizações. Com base no alinhamento, no tipo de colector, no tamanho da área da superfície do colector e no consumo de água quente, determina-se o rendimento para todo o sistema. Obtêm-se resultados rápidos, especialmente na área de sistemas normalizados, para aquecimento de água doméstica. Não pode no entanto ser considerado o comportamento do sistema sob condições específicas e para escalas de tempo pequenas. Por outro lado, podem ser apenas reproduzidas, de um modo muito restrito, as várias configurações de sistemas disponíveis no mercado.

#### 10.4.1.1 f-Chart

O programa de cálculo f-Chart, bem conhecido e bastante difundido, tem um interface de utilizador simples para dimensionar um sistema solar térmico para aquecimento de água sanitária com um tanque de armazenamento solar. Está disponível para o Sistema operativo Windows na versão 7.0. O input de dados é efectuado por meio de um formulário. A função de ajuda inclui também conselhos sobre os limites e dimensão dos parâmetros a introduzir. Cerca de 100 registos de dados atmosféricos europeus estão integrados no programa (médias mensais), juntamente com 98 registos de dados sobre colectores.

A exactidão do processo f-Chart, respeitante ao resultado de uma simulação anual é suficiente, mesmo em comparação com os programas de etapas. O grau de cobertura solar, as poupanças de energia e de emissão são apresentados como médias mensais durante o ano, na forma de gráficos ou tabelas num relatório de três páginas.

Devido à sua apresentação clara e à facilidade de utilização é recomendado para consultores do sector energético e profissionais de empresas de instalação, uma vez que tais pessoas lidam muitas vezes com pedidos para sistemas normalizados, de aquecimento de água doméstica num ou dois lares familiares.

#### 10.4.1.2 Energizer

Este programa de cálculo para Windows, baseado no sistema f-Chart, actualiza constantemente os resultados no caso de novas entradas e alterações dos parâmetros. Deste modo, as optimizações individuais podem rapidamente ser efectuadas de acordo com cada critério de entrada.

Complementarmente ao f-Chart, o Energizer permite um cálculo de viabilidade económica e também uma simulação simples dos sistemas de energia adicionais. (Máquinas de cogeração, FV, sistemas de biogás e sistemas de aquecimento convencionais).

#### 10.4.1.3 Luftikuss

Este programa para Windows permite uma rápida simulação dos sistemas solares térmicos para aquecimento ambiente, servindo principalmente para pré desenhar e para dimensionar esses sistemas. O modelo de um edifício é feito com um modelo de zona simples. Durante a entrada de dados pode seleccionar-se o modo de operação do colector (ar fresco, misturado ou de circulação), o caudal específico do colector, a taxa de alteração do ar exterior, o tempo de utilização do sistema de ventilação e a temperatura desejada na habitação. Uma unidade de aquecimento solar de água doméstica e recuperação de calor pode igualmente ser tida em conta. Como resultado, obtém-se o rendimento solar, o grau de cobertura (ou a área de superfície do colector, se o grau de cobertura é pré introduzido) a necessidade de energia anual do edifício para aquecimento e ventilação, bem como poupanças de energia e CO<sub>2</sub>.

Desde 2001 que a versão 2.0 está disponível. Com esta versão, independentemente dos colectores de ar da firma Grammer, são possíveis simulações com outros colectores de ar. O interface com o utilizador foi também melhorado.

Para projectos de maiores dimensões e integração num sistema de condicionamento de uma divisão deve ser efectuado um cálculo explícito, com sistemas de simulação tais como TRNSYS ou TRNSAIR.

#### 10.4.2 Programas de análise por etapas

Enquanto os programas de cálculo apenas efectuam simulações estáticas, com valores mensais, os programas de simulação por etapas permitem uma avaliação mais dinâmica, num ciclo de tempo particular. A simulação realiza-se com base em dados atmosféricos e valores de consumo, para uma escala horária ou mais curta. Alguns programas permitem apresentações instantâneas, como por exemplo, a determinação da temperatura de armazenamento num dado tempo. O utilizador selecciona o tipo adequado, dos sistemas pré estabelecidos e o colector correspondente da biblioteca de colectores, e introduz os parâmetros para a localização do sistema e posteriores componentes.

Os interfaces de utilizador do programa estão organizados para serem de fácil utilização. Os utilizadores experientes de Windows não necessitam de um período alargado de familiarização.

##### 10.4.2.1 Solterm

O programa Solterm, desenvolvido pelo INETI, está disponível na sua versão 4, que funciona em ambiente Windows. Esta versão apresenta várias melhorias em relação à anterior. As características principais deste software são as seguintes:

- base de dados climáticos com uma resolução espacial de aproximadamente 30 Km, incluindo as ilhas e com a possibilidade de gerar Anos meteorológicos de referência;
- cálculo de sistemas clássicos, com possibilidade de definir depósitos estratificados, perfis de consumo declarados em base horária para cada mês e uma simulação numérica detalhada;
- cálculo de sistemas de passagem única com e sem depósito, processos de consumo constante e possibilidade de declarar paragens nocturnas e fins de semana;
- cálculo de sistemas com temperatura de retorno constante;
- cálculo de sistemas para piscinas exteriores e interiores com possibilidade de definir perfis de utilização e operação em base horária para cada mês;
- cálculo de uma análise económica básica;
- optimização da área de colector, por critérios económicos;
- estimativa de emissões de gases com efeito de estufa evitados com factores de emissão compatíveis com cenários nacionais para o primeiro período de cumprimento do Protocolo de Quioto.

De referir que este software encontra-se homologado pela Direcção Geral de Energia.

##### 10.4.2.2 T\*SOL

Desde o início do ano 2001 que o programa T\*SOL tem estado disponível numa versão totalmente revista de 32 Bit. Esta revisão fundamental, toma em consideração as crescentes necessidades que são colocadas aos programas de análise por etapas. O T\*SOL 4.0 está disponível numa variante (profissional) que é descrita a seguir. Num futuro próximo haverá uma versão para especialistas.

A versão profissional substitui a anterior versão 3.2 e contém todas as funções que eram úteis anteriormente. Os resultados (temperatura, energia, graus de cobertura e utilização) podem ser publicados com uma resolução de até uma hora em tabelas ou gráficos. Tem integrada uma estimativa da viabilidade e um cálculo de emissões. Adicionalmente, apresenta uma característica útil de cópia e exportação/importação de dados de consumo e dados de resultados para uma análise exacta noutros programas (por exemplo, em programas de cálculo em tabelas).

Além disso, são possíveis variações adicionais dos sistemas na versão 4.0, que resultam da integração de dados adicionais. Independentemente da biblioteca de colectores e dados para as localizações, estão também integrados, pela primeira vez num programa de simulação, dados do tanque de armazenamento e da caldeira de aquecimento. Para além dos tanques de armazenamento intermediários estão também incluídos tanques de armazenamento combinados (sistemas tanque-a-tanque). Portanto, é possível simular tais sistemas com os dados exactos do produto tal como foram medidos nas premissas do produtor. Existe também a possibilidade de reproduzir sistemas particulares específicos de empresas, que diferem das opções do programa pré-estabelecido.



Os fornecedores de tais sistemas podem então distribuí-los conforme o desejado e consequentemente disponibilizá-los aos projectistas ou instaladores. O fornecedor do programa Dr. Valentin GbR chegou ao ponto de efectuar o apoio do produto e actualizações via Internet, nomeadamente de colectores e de tipos de armazenamento.

Tal como na versão anterior, foram incluídos no programa numerosos colectores e dados atmosféricos. É também possível continuar a obter do produtor dados atmosféricos adicionais fora da Europa ou importá-los usando o programa METEONORM.

Para melhor calcular os sistemas que suportam o aquecimento de divisões, integrou-se no programa um modelo de zona simples para simular o aquecimento do edifício.

As novas ferramentas adicionais para a versão profissional de T\*SOL 4.0 são um editor de sombra e um assistente de desenho. Isto permite que possam ser efectuados esboços de desenhos para diferentes graus de cobertura e permite também simulações rápidas. A visualização dos resultados e a própria simulação foram também melhoradas e é possível observar como as camadas de um tanque de armazenamento solar funcionam durante a simulação.

Podem ser efectuadas simulações de piscinas (interiores e exteriores) com um módulo suplementar da mesma maneira que na versão 3.2. Um módulo suplementar "SysCat" permite o cálculo de sistemas solares de grandes dimensões com uma configuração do sistema de acordo com o programa de auxiliar alemão "Solarthermie 2000".

Na versão para especialistas, existirão múltiplas opções de variação e simulação. Valores medidos para a radiação e consumo de água podem ser importados com uma resolução horária e depois pode alterar-se a simulação experimental de todos os dados característicos, para colectores e tanques de armazenamento.

Estão a ser efectuados planos para simular diferentes alinhamentos de campos de colectores, para dimensionar o reservatório de expansão e desenhar a bomba de modo optimizado. Através da construção modular do programa, estas opções poderão ser integradas no programa existente sem quaisquer incompatibilidades.

O T\*SOL está disponível em diferentes línguas (Inglês, Italiano, Espanhol e Francês)

#### **10.4.2.3 Polysun**

O programa suíço Polysun para Windows é um programa comparável ao T\*SOL quanto ao âmbito de actuação.

Os dados meteorológicos de mais de 300 localizações na Europa estão integrados num programa com uma resolução horária. Podem ser seleccionadas onze variáveis do sistema, incluindo uma variável com um tanque de armazenamento combinado. A versão 3.3 está disponível desde Dezembro de 2000 e é capaz de simular sistemas com tanques de grandes dimensões. Se as condições no tanque de armazenamento diferirem em mais de 5% dos valores iniciais depois de se ter completado a sequência dos anos, é anexada automaticamente uma outra simulação anual.

A biblioteca de colectores integrada inclui mais de 170 tipos de colectores cujas medições estão de acordo com a nova norma EN/ISO. Podem obter-se actualizações nos respectivos gabinetes de vendas ou na Internet. O consumo de água quente pode ser editado da mesma maneira que no T\*SOL, mas de uma forma mais restrita. Podem ser seleccionados quatro tipos de perfis diários. O período de férias em que não é necessária água quente, pode ser seleccionado. Uma apresentação instantânea de valores não é possível. O tempo de simulação é relativamente curto. Os tempos em que a caldeira e o circuito de circulação estão desligados podem ser apresentados numa escala horária. A entrada ou as alturas de ligação do tanque de armazenamento estratificado e o sensor de aquecimento auxiliar e temperatura podem ser individualmente ajustados.

O programa tem um editor de sombra controlado por cursor e um simulador térmico de edifícios, com uma base de dados com 20 exemplos de tipos de edifícios.

O desperdício energético da bomba de calor pode ser definido como uma percentagem, exactamente como a porção de glicol no fluido de transferência térmica. Complementarmente, a última versão do programa contém a selecção optimizada da bomba, pelo cálculo da perda de pressão do circuito solar, com base em dados apresentados no programa auxiliar TubeCalc.

A versão 3.3 inclui o cálculo das poupanças de emissão, que como para outros programas, pode também ser emitido como um balanço ecológico. Neste caso as poupanças são consideradas respeitando os oito gases estufa mais importantes. Estas poupanças podem ser inseridas no estudo da viabilidade económica para que a optimização do custo possa ser efectuada rápida e simplesmente. Dados específicos dos países, tais como os preços da energia, taxas de juros, etc, podem ser alterados separadamente.

As sequências de temperatura, por exemplo no tanque de armazenamento, não são visualizadas quer no programa, quer nos resultados. Outra desvantagem relaciona-se com o output dos resultados em valores mensais.

Os grupos alvo para o programa são as empresas de instalação, e gabinetes de engenharia e projecto bem como instituições de formação e educação. O programa pode obter-se em Alemão, Inglês e Francês.

#### 10.4.2.4 GetSolar

O programa GetSolar para a simulação dos sistemas solares térmicos, bem conhecido como um programa do DOS, está disponível desde o ano 2000 numa versão Windows. Este software permite a simulação de seis variáveis, incluindo um sistema de tanque combinado. Para além dos dados atmosféricos existentes para os vários locais, os dados do METEONORM podem ser importados. Uma função "time loop" permite a análise detalhada do sistema em momentos críticos.

O GetSolar realiza uma simulação rápida dos sistemas de colectores solares, podendo ser calculado o calor em excesso, para o suporte do aquecimento solar de divisões. Entre outras coisas, contém uma base de dados com mais de 150 registos de dados atmosféricos (médias mensais), uma biblioteca com 120 colectores e um editor de sombra. O cálculo da fracção solar, a insolação, o rendimento, o grau de cobertura e a utilização são possíveis em várias escalas temporais, podendo ser visualizados valores instantâneos. Os resultados podem ser copiados e depois processados noutros programas. Tem características especiais de desenho do reservatório de expansão, o cálculo da temperatura de estagnação do colector, a consideração de um alinhamento de eixo simples ou duplo e as várias inclinações dos absorvedores dos tubos de vácuo. O perfil de consumo pode ser definido para um dia padrão.

O programa não pode realizar a viabilidade económica e os cálculos de emissão. Contudo por causa do seu preço atractivo e respectivos resultados de simulação, este software deve ser tido em conta.

#### 10.4.2.5 Gombis (Praxosol)

O Gombis é um pacote de programas para a optimização completa de sistemas de energia. Permite a comparação de estruturas para sistemas de fornecimento convencionais, com diferentes sistemas de fornecimento alternativos (máquinas de cogeração, sistemas térmicos solares e sistemas FV). A energia necessária para o aquecimento, o processo de aquecimento, a refrigeração e o consumo de energia eléctrica podem ser definidos numa escala horária. Um programa suplementar, permite a simulação de uma construção dinâmica. Os resultados são publicados com valores anuais, mensais ou diários. A simulação de um sistema solar térmico é efectuada por meio do programa integrado Praxosol. Pode ser feita uma selecção de cinco configurações de sistemas solares, três para aquecimento de água doméstica e dois para aquecimento ambiente. Contudo, o Praxosol não pode fornecer valores instantâneos. Por outro lado é possível definir as propriedades do tanque de armazenamento e as características do fluido de transferência térmica. Também é possível introduzir parâmetros de controlo muito compreensivos. Para a rede de tubagem está disponível um ficheiro com diferentes materiais de isolamento, po forma a poder calcular-se, por exemplo, as perdas exactas para o sistema de circulação.

### 10.4.3 Sistemas de simulação

Quando são alcançados os limites de um programa de etapas como no caso de sistemas solares de grandes dimensões com mais de 100 m<sup>2</sup>, torna-se necessário o uso de sistemas de simulação dinâmica. Por causa da sua flexibilidade, quase todo o tipo de configurações do sistema e condições de operação podem ser simulados. Esta versatilidade, contudo, necessita de bons conhecimentos por parte do utilizador. Para estes sistemas de simulação é de esperar bastante tempo de adaptação do utilizador (meses). Os programas permitem a solução de equações diferenciais relevantes, contendo um modelo de construção multizonal e podem ser utilizados nos casos de relações complexas entre aquecimento, ventilação activa e passiva ou arrefecimento.

#### 10.4.3.1 TRNSYS

O programa do Windows TRNSYS é o líder do mercado entre os sistemas de simulação. As mais variadas simulações de aquecimento de edifícios e de sistemas técnicos de energia podem efectuar-se com este programa. A flexibilidade e os numerosos sistemas pré-definidos (componentes normalizados) são as principais características do programa. O TRNSYS é um programa de simulação que foi desenvolvido em 1974 no laboratório de energia solar, na Universidade de Wisconsin, Madison, USA. Está disponível em Inglês e Francês. O programa contém um interface gráfico de utilizador e diversas formas de apresentação de resultados. Estão também disponíveis interfaces para outros programas (CAD e diversos programas de simulação). Para um utilizador experiente em programação, o código fonte (FORTRAN e C++) pode ser editado e está disponível a descrição do modelo matemático. Independentemente dos conhecimentos de informática, o utilizador deve estar familiarizado com a área das estruturas solares e a tecnologia do sistema e ter uma profunda compreensão dos modelos de simulação. O conhecimento básico de programação simplifica o trabalho com o programa; os utilizadores normais terão dificuldades em se familiarizarem com o programa.

O seu uso em construções de edifícios tem provado o desempenho e exactidão das simulações TRNSYS. Os grupos alvo do programa são os grandes gabinetes de planeamento e empresas especializadas em construção e simulação de sistemas. O TRNSYS é também usado em universidades para pesquisa e desenvolvimento. Na área dos sistemas solares térmicos, os vários tipos de colectores são pré-fabricados e podem ser parametrizados. Certos exemplos de sistemas solares estão também incluídos no pacote standard. Deste modo, podem, por exemplo, ser simulados sistemas de termossifão, vários permutadores de calor (fluxo paralelo, fluxo cruzado, etc), colectores de concentração, tanques de armazenamento estratificados.

#### 10.4.3.2 TRNSAIR

O programa de dimensionamento TRNSAIR, para simulações complexas de sistemas de colectores para aquecimento ambiente é baseado no programa de simulação dinâmica TRNSYS. Suporta o trabalho de dimensionamento, contém um catálogo de produtos, simula e transfere os dados de operação relevantes.

O TRNSAIR usa os algoritmos do TRNSYS, em combinação com um interface de fácil utilização. Estão pré-definidos cinco edifícios standard. O utilizador pode seleccionar três padrões diferentes de isolamento bem como um método leve e pesado de construção. Para além disso pode definir-se o tipo de utilização do edifício – escritórios ou habitação. A temperatura da sala, a quantidade de ar fresco etc. podem ser definidos por meio de tabelas temporais. Uma vez configurado o edifício, pode ser ligado a seis sistemas de aquecimento de ar diferentes, pelo que podem ser seleccionados quatro colectores pré-definidos. Se se seleccionar o output dos dados para o écran, são mostrados directamente no monitor os resultados dos cálculos (temperatura da sala, insolação, temperatura do colector etc.). No final de uma simulação, todos os resultados são compilados num ficheiro que pode ser editado dentro do programa ou analisado noutros programas de cálculo (Excel, etc.). Estão integrados no programa, interfaces para os programas CAD.

#### 10.4.3.3 DK-Solar

Este programa do DOS baseia-se na solução das equações diferenciais não lineares (ao contrário do TRNSYS). Tal como para o TRNSYS esta aplicação explora a sinergia entre a construção dinâmica e o sistema de simulação. Um modelo multizonal é usado para simulação do aquecimento dos edifícios. Juntamente com a simulação paralela dos edifícios e sistemas solares, o programa oferece opções para estratégias de controlo para vários sistemas de multi-tanques. Presentemente, é possível simular sistemas até quatro tanques de armazenamento (incluindo tanques de armazenamento estratificados) com permutadores de calor interiores para aquecimento de água doméstica e aquecimento de ar ambiente. É possível efectuar uma simulação dos tanques de armazenamento estratificados até nove níveis de temperatura. Se os colectores estiverem integrados na estrutura do edifício, as perdas do colector são consideradas em relação à carga de calor do edifício. A utilização de permutadores de calor, a ponderação da sombra e as estatísticas de conforto para o ar ambiente das divisões são necessárias para determinação do desempenho do programa. Estão a ser desenvolvidos interfaces com programas de CAD e bases de dados dos componentes. Podem efectuar-se, cálculos de custo para o sistema colector bem como para o edifício.

#### 10.4.3.4 SMILE

O SMILE é um software de simulação desenvolvido pela Universidade Técnica de Berlim e a GMD (Sociedade de Matemática e Processamento de dados). Fornece uma linguagem de programação orientada

por objectos, para descrição de modelos e experiências computacionais, bem como todos os componentes necessárias para as simulações. As aplicações são principalmente na área da energia e estendem-se desde os sistemas solares térmicos, fotovoltaico, tecnologia de aquecimento e ar condicionado, redes hidráulicas por meio de simulação de um edifício, até à tecnologia de uma estação de energia. O ponto forte do SMILE está na sua capacidade de combinar todas estas aplicações, por meio de uma análise integrada.

O SMILE tem provado as suas capacidades na área científica, em vários projectos de investigação. Esta origem científica é evidente quando se usa o SMILE, estando assim a ser desenvolvida uma interface de utilização gráfica que é adequada a utilizadores ocasionais. Como atractivo adicional este programa pode ser obtido de forma gratuita, para uso não comercial.

Para aplicações especiais, tal como simulações de edifícios, já existem interfaces gráficas e ferramentas de visualização. Num projecto de pesquisa em curso, tem sido realizada no SMILE a ligação do software de arquitectura de CAD à simulação térmica de um edifício, por forma a efectuar análises de energia para edifícios geometricamente complexos.

#### 10.4.4 Ferramentas e programas de ajuda

Estão disponíveis numerosos programas de ajuda (ferramentas) que tal como os programas de simulação fornecem ajuda suplementar na área da energia solar. A seguir descrevem-se detalhadamente alguns programas de ajuda.

##### 10.4.4.1 SUNDI

O programa do Windows SUNDI é um programa simples de operar para a análise de sombra. No monitor é possível representar diagramas da trajectória solar, para qualquer localização e introduzir as sombras, sendo capaz de determinar os tempos para os quais a sombra ocorre. Além disso, as perdas de radiação como resultado da sombra podem ser calculadas e visualizadas. O programa SUNDI pode ser obtido gratuitamente na Internet. Os resultados podem ser facilmente copiados e usados noutros programas, tal como os programas de simulação FV ou simulações térmicas de edifícios.

##### 10.4.4.2 Meteonorm

Este programa contém uma base de dados meteorológicos de todo o mundo (com 626 estações atmosféricas e 359 cidades) e um simulador de meteorologia. Calcula os valores horários de insolação e insere a radiação global horizontal e a temperatura de cada local no mundo. Complementarmente, dados climáticos adicionais tais como a humidade do ar, a temperatura do ponto de orvalho, a pressão de ar, a direcção do vento e a velocidade podem ser visualizadas como valores horários. O Meteonorm contém diagramas da trajectória solar em todo o mundo e pode converter a radiação solar global para superfícies inclinadas. Um editor de sombra permite ter em conta a sombra horizontal. Os resultados podem ser lidos em vários programas.

##### 10.4.4.3 Outras ferramentas

A ferramenta adicional específica para empresas, CAS 200, permite o dimensionamento e optimização de unidades de transferência de calor a partir de Alfa Laval, com princípios funcionais diferentes. O SWEP oferece o mesmo, para o desenho de unidades de transferência de calor.

O programa TubeCalc, pode ser usado para calcular a perda de pressão no circuito solar e também noutras partes do sistema de tubagem. É fornecido com o CDROM "Dados e Factos" pelo Swiss SPF Institute e está integrado no programa Polysun 3.3.

Entre os programas de simulação específicos das empresas de sistemas solares térmicos, o SunOptimo salienta-se dos outros com o seu interface profissional, relatório de projecto e a função de cópia dos resultados.

## 11 GLOSSÁRIO

---

### Absorisor

Componente do colector que absorve e converte a radiação solar em energia térmica, através do fluido de transferência térmica. Para um melhor processo de conversão, o absorsor tem de ter um revestimento selectivo (elevada absorvância, baixa emissividade). Está ligado ao sistema de tubagens através do qual é efectuado o transporte do calor através do fluido térmico (normalmente uma mistura de água e anti-congelante).

### Coefficiente de Absorção (Absorvância)

Fracção  $\alpha$  da radiação incidente no absorsor, que é convertida em calor.

### Albedo

Fracção da radiação incidente na superfície terrestre, que é reflectida em todas as direcções.

Exemplos: Neve 0,8-0,9; Madeira 0,05-0,18;

### Área de abertura

Área que corresponde à superfície disponível no colector, para absorção da radiação. Para os colectores planos coincide com a superfície da cobertura, enquanto que para colectores de tubos de vácuo e CPCs não coincide, se estes tiverem superfícies reflectoras.

### Vaso de expansão

Componente do equipamento de segurança de um sistema solar térmico. É um reservatório fechado com uma membrana de separação de nitrogénio, para compensar a expansão do fluido de transferência térmica, devido ao calor.

### Azimute

Desvio angular da superfície dos colectores relativa à direcção Sul (Norte no hemisfério Sul). Na tecnologia solar o ângulo do azimute é  $\alpha = 0^\circ$  para Sul.

### Irradiância

Potência do Sol, para uma área unitária medida em  $W/m^2$ .

### CPC

Colector Parabólico Composto, que tem uma superfície absorSORa constituída por duas alhetas unidas a um tubo e colocadas por cima de uma superfície reflectora.

### Segurança Intrínseca

Um aumento contínuo de calor no sistema, sem ocorrer consumo, pode levar à destruição do sistema. A segurança intrínseca pode ser estabelecida pelo correcto dimensionamento dos componentes do sistema de segurança, evitando a destruição do sistema.

### Emissividade

Quantidade de energia irradiada pelo Sol no absorsor que é emitida como radiação infravermelha para a atmosfera. Uma emissividade  $\varepsilon = 0,12$  indica que 12% da energia solar convertida em calor é emitida para a atmosfera.

### Purgadores e Ventiladores

No circuito solar, o ar que se acumula nas zonas superiores pode interromper a circulação do fluido térmico. Para o remover é necessário instalar purgadores e ventiladores nas partes superiores do circuito solar.

### Radiação solar global

A atmosfera terrestre reduz a potência da radiação solar, através da absorção e dispersão pelas moléculas, nuvens e partículas. A radiação solar é sujeita a alterações de direcção e atinge parcialmente a superfície da Terra como radiação difusa. Se não houver nuvens no céu a radiação solar atinge a superfície directamente. A radiação solar global pode ser descrita como a totalidade da radiação que atinge uma superfície horizontal, consistindo de radiação directa e difusa.

### Inibidor

Se forem utilizados diferentes metais no circuito solar existe risco de corrosão electroquímica. Este problema pode ser eliminado, com a adição de um agente protector no fluido térmico.

**Colector**

Unidade principal do sistema solar, dado que a radiação solar é transformada em calor no colector. A forma mais simples de um colector é o absorvedor (usado apenas para piscinas) mas geralmente o colector é composto pelo absorvedor, cobertura e caixa por forma a reduzir as perdas de calor.

**Eficiência do colector ( $\eta$ )**

Indica a proporção de radiação incidente no colector que pode ser convertida em calor. Depende da diferença de temperatura entre o absorvedor e o meio ambiente, bem como da radiação solar global.

**Convecção**

Líquidos ou gases aquecidos são mais leves e portanto têm tendência a subir transportando consigo o calor. As perdas de calor devidas à convecção no absorvedor devem-se à substituição de ar quente na interface ambiente-absorvedor, por ar mais fresco.

**Factor de perda de calor k**

Perda específica de calor devida ao design do colector, descrevendo as perdas devidas ao isolamento térmico do colector em causa. Quanto mais baixo o valor de k menores as perdas.

**Operação em baixo fluxo**

Uma taxa de fluxo muito reduzida, comparativamente ao fluxo normal, consegue aumentar o aquecimento do fluido térmico.

**Eficiência óptica (factor de conversão  $\eta_0$ )**

A proporção de radiação disponível no colector, que pode ser convertida em calor, define-se como o produto da transmissividade da cobertura com a absorvância do absorvedor:  $\eta_0 = \tau \times \alpha$ .

**Equipamento anti-retorno**

Por forma a evitar que a direcção do fluxo se efectue no sentido contrário ao estabelecido instalam-se válvulas anti-retorno. Esta mudança na direcção do fluxo pode acontecer durante a noite, já que pode haver uma transferência de calor do sistema solar para o meio ambiente.

**Revestimento selectivo**

Para reduzir perdas por emissividade, os absorvedores podem ser revestidos selectivamente, através do tratamento do material do absorvedor. Este tratamento optimiza a conversão dos comprimentos de onda curta em longa e mantém as perdas no seu valor mínimo.

**Fracção Solar**

Percentagem de energia utilizada no aquecimento de água, que pode ser coberta pelo sistema solar.

**Temperatura de estagnação**

Se o circuito solar não transporta calor e na existência de elevada radiação solar o absorvedor atinge temperaturas muito elevadas. Quando as perdas de calor para a atmosfera forem iguais ao calor absorvido pelo absorvedor então o absorvedor atinge a sua máxima temperatura.

**Princípio de termossifão**

Por causa da diferença de densidades entre a água quente e a fria existe uma tendência para que a primeira suba. Este efeito pode ser utilizado para pôr em funcionamento um sistema solar apenas por gravidade, sem ter de recorrer ao auxílio de uma bomba para fazer circular o fluido térmico.

**Transmitância**

Parte da radiação solar não atinge o absorvedor devido à reflexividade da cobertura de vidro do colector. A transmitância  $\tau$  descreve a transparência da cobertura de vidro.

**Conductividade térmica**

A conductividade térmica  $\lambda$  é o valor característico da qualidade térmica de corpos sólidos.

## 12 MARKETING SOLAR

### 12.1 Os princípios do marketing solar

#### 12.1.1 O cliente como tema central

Uma possível definição para marketing é: a totalidade das medidas que fazem com que um cliente decida mais facilmente por uma empresa ou produto. Para analisar melhor este assunto, divide-se em três partes: os princípios, o planeamento sistemático de marketing e a discussão de vendas, como a forma mais directa de contacto com o cliente.

A energia solar é uma energia que tem capital de simpatia junto dos cliente, uma vez que, representa o futuro para as questões da energia e para uma atitude de respeito para com o ambiente natural e humano. A venda de um colector tem subjacente, parte desta ideia. Desta forma os benefícios para o cliente são o tema principal da estratégia de marketing.

#### 12.1.2 O princípio do iceberg

Assim como no caso de um iceberg, em que pode ser visto apenas 1/7 do seu volume, somente 1/7 da comunicação é efectuada conscientemente, a maior parte é invisível. Isto determina, contudo, o comportamento e as decisões do interlocutor, mesmo quando envolve confiança e uma relação duradoura com o cliente, com benefício para ambos.

Isto quer dizer que, para apostar em novos negócios, deve-se planejar deliberada e naturalmente, com a utilização do senso comum. Contudo, para um sucesso contínuo, a atitude, a apresentação e comportamento são importantes.

#### 12.1.3 O conceito “puxar”

A pressão em vender mais e mais rápido, é transferida para os clientes. Estes em reacção, apresentarão resistência. Como tal a aproximação ao cliente deve ser efectuada numa perspectiva de adivinhar os desejos do cliente e apresentar todo o tipo de produtos adequados e serviços disponíveis em seu benefício. Desta forma, para estabelecer contacto, estamos a realizar um “puxão” que atrai o cliente.

O cliente adquire um produto, porque se sente convencido dos benefícios do produto. O inconsciente e os sentimentos têm um papel especialmente importante no conceito do “puxão”. Para além da informação factual, o cliente percepção uma imagem da empresa e do produto. Desta forma, para que o negócio obtenha sucesso é necessário facultar uma imagem atractiva da empresa e do produto.

Na tabela seguinte apresentam-se as principais diferenças entre “empurrar” e “puxar”.

**Tabela 12.1 - A diferença entre empurrar e puxar**

**Fonte: Binder-Kissel**

Empurrar	Puxar
Usar qualquer discussão para “agarrar” potenciais clientes. Venda agressiva.	Primeiro criar confiança nas discussões gerais, para descobrir desde o início os princípios para a cooperação.
Venda a qualquer preço	A venda só se concretiza se o cliente realmente a quiser.
1 discussão = 1 realização	Conselho honesto e sério. Aceitação de um “não”
A imagem da empresa é uma prioridade secundária	A imagem é um factor significativo = atractividade para potenciais clientes
Realização = Factor de sucesso	Recomendação cliente-a-cliente. Uma recomendação a alguém é um sucesso.
Clientes críticos, que foram forçados a comprar: Alta taxa de reclamações. Sensibilidade ao preço	Clientes satisfeitos, que vêm de livre vontade. Menos reclamações. Menor sensibilidade ao preço

O marketing moderno funciona de acordo com o conceito de “puxão”. As diferenças, entre os produtos dos concorrentes são cada vez mais insignificantes, e dessa forma a importância das relações entre a empresa e o cliente é cada vez maior. No entanto, o marketing não acaba na venda, mas encara-a como o início de uma nova venda, que pode consistir num outro produto ou cliente.

## 12.2 Aumento do sucesso através do marketing sistemático

### 12.2.1 Benefício inicial

É essencial conhecer e respeitar, do ponto de vista do vendedor, o produto. Contudo, cada cliente tem também o seu ponto de vista.

O cliente não está muito interessado no facto do sistema solar térmico ter 6,6 m<sup>2</sup> e um revestimento selectivo, com um coeficiente de emissão de 5%. O que ele quer saber é se lhe fornece água quente entre os meses de Abril e Outubro. Os técnicos e os engenheiros concentram-se muitas vezes na informação técnica, como as características significativas do produto. Os clientes, porém, estão mais interessados no que poderão retirar dele, situação diferente para homens e mulheres, bem como para indivíduos particulares e clientes industriais.

Devem-se analisar os produtos e serviços e apresentar os benefícios para o cliente. A Tabela 12.2 mostra alguns exemplos:

**Tabela 12.2 - Das características aos benefícios**

Característica	Vantagem	Benefício (para o cliente)
Vidro temperado	Resistente ao granizo	Elevado tempo de vida, sem problemas e sem custos de reparação
Instalação do colector no telhado	Melhor isolamento térmico	Poupança em combustível. Esteticamente atractivo, através da integração harmoniosa no revestimento do telhado
Sistema colector com 22 m <sup>2</sup>	Maior rendimento térmico	Maiores poupanças em combustível Uso da energia do Sol, mesmo no Inverno. Fornecimento assegurado em caso de necessidades. Redução no risco de custo quando o preço da energia aumenta.
Tanque com armazenamento de 800 l	Grande capacidade de armazenamento	Reservas de água quente em períodos de grande consumo. Melhor utilização da elevada irradiação. Maior capacidade de atravessar longos períodos de condições desfavoráveis de tempo.
Tanque de armazenamento com princípio de fluxo de aquecimento	Higiene	Água potável de elevada qualidade

Existem vários benefícios para cada característica. Devem-se inventariar todos os benefícios possíveis, do ponto de vista do cliente. A seguinte lista de benefícios serve de apoio à inventariação de todos os benefícios possíveis:

- poupança de tempo;
- solução de problemas;
- poupança de custos;
- protecção ambiental;
- segurança;
- prestígio;
- prazer;
- conforto;
- saúde;
- informação;
- entretenimento;
- relações públicas (para empresas clientes);
- motivação do pessoal (para empresas clientes).

### 12.2.2 Os quatro pilares do conceito de marketing

Este conceito de marketing comporta quatro pilares, nomeadamente a análise da empresa, do produto, do mercado e da quantidade de negócios feitos através do marketing. Neste capítulo, abordam-se em mais detalhe os dois últimos pontos. Convém, contudo, examinar as outras duas áreas. Neste caso apresentam-se algumas questões que podem ser importantes:



### 12.2.2.1 A empresa

*Quais são os objectivos do trabalho? O que é importante?*

No marketing, o objectivo deve ser a obtenção de encomendas que sirvam os propósitos da empresa. O conceito que se pretende para a empresa é importante, p.e., ser o mais barato possível, ou defender a qualidade como o aspecto mais importante? Quão importantes são as preocupações ecológicas e sociais? A aparência externa da empresa é coerente com os objectivos?

*Quais são as mais valias da empresa?*

Estas mais valias podem ser, p.e., dimensionamento de sistemas complicados ou projectos de larga-escala padronizados. A concentração nas competências centrais permite um reconhecimento externo mais facilmente.

*Quais são os pontos fracos da empresa?*

Como funciona o sistema de serviço pós-venda? Quanto tempo se demora a responder a um pedido do cliente? Os trabalhadores da empresa, que estão envolvidos nos contactos com o cliente, estão devidamente formados? Se o negócio está a ser bem sucedido, a empresa consegue dar resposta a todas as encomendas, com a qualidade necessária?

### 12.2.2.2 Os produtos

*Quais são os benefícios mais importantes oferecidos ao cliente?*

Os produtos e serviços estão actualizados? Os produtos adequam-se ao público-alvo? Isto envolve não só os serviços (qualidade, serviços de planeamento), mas também o equipamento (colectores, caldeiras, etc.).

*Quais os pontos fracos do produto, em comparação com a concorrência?*

Qual é a opinião dos potenciais compradores que decidem por outras alternativas? Quais as queixas dos clientes que utilizaram o produto?

*Qual dos produtos tem mais sucesso? Qual é o melhor?*

Estas questões podem ter consequências para o marketing e para os objectivos gerais da empresa.

### 12.2.2.3 O mercado

*Quem são as empresas concorrentes?*

Qual é a área de trabalho e qual o público-alvo? Qual a reputação e a estrutura de preços? Qual a dimensão e penetração no mercado? Deve haver trocas de informação ocasionais com os concorrentes, nomeadamente através de campanhas comuns. A determinação correcta do público-alvo, pode trazer mais valias nas relações com a concorrência.

*O que distingue um produto da concorrência (posicionamento)?*

Deve-se prestar atenção ao posicionamento. O preço, o serviço e a qualidade aparecem em igualdade num único sentido. Contudo, os clientes decidirão sobre o produto, se este tiver uma apresentação atractiva, que mostre graficamente o proveito solar.

*Quem é o público-alvo?*

O produto resolve os problemas de quem? Quem deve ser abordado para receber os benefícios do produto? Podem-se desenvolver estratégias separadas de aquisição para cada grupo. Por exemplo, advertências ambientais alternativas, motiváveis e conservadoras podem ser abordadas sob aspectos ecológicos, contudo, cada um dos três grupos tem uma consciência diferente da vida. Igualmente importantes são os elementos periféricos do marketing, nomeadamente a aparência. Esta questão é particularmente evidente nas discussões pessoais.

Deve iniciar-se a análise de públicos-alvo, através das experiências existentes da empresa e dos seus colaboradores. O que move as pessoas? Que grupos respondem aos produtos? Devem ser feitas perguntas a pessoas que não estão envolvidas nesta questão, leigos ou conhecidos, trocar impressões com colegas, questionar clientes, ler revistas especializadas e a secção local do jornal diário.

#### 12.2.2.4 Quantidade de negócios feitos através do Marketing

*Quem faz o marketing na empresa?*

A melhor resposta para esta pergunta é – todos. Desde os operadores de telefone, aos técnicos de serviço ao cliente, todos os empregados devem saber como podem contribuir para obter e manter clientes. O pessoal das vendas está motivado? Existe necessidade de formação?

*Quais os recursos de marketing da empresa?*

Os recursos devem incluir, brochuras, cartas-modelo e procedimentos padronizados. Como discutir as queixas dentro da empresa? Qual o comportamento que se deve ter ao telefone com clientes? Como se lida com um questionário?

*Que experiências de marketing teve a empresa?*

Devem-se avaliar as experiências anteriores, de acordo com o tempo, dinheiro e sucesso. Existem efeitos inesperados, que possam ser estruturados e utilizados? O que não foi experimentado?

Não se deve ficar satisfeito com respostas rápidas. Se, por exemplo, uma exposição/feira não deu os resultados esperados deve-se avaliar porquê. Nomeadamente, tentando perceber se “Foi devido à exposição/feira ou foi devido à empresa? Existem outras exposições/feiras através das quais se possa atingir melhor o público-alvo? Como se deve preparar melhor a aparência da empresa? Foi feito o possível para interessar o público-alvo?

#### Considerações estratégicas: A estratégia dos 7 C's

Antes de se estudarem os vários instrumentos de marketing com mais detalhe, deve-se conhecer a estratégia dos 7 C's (C = Contactos). Esta é a base para a selecção dos instrumentos de marketing. Esta selecção cria um conceito de marketing para lá do marketing ocasional.

É absolutamente normal que, após algum tempo, os clientes se esqueçam da empresa. Como tal, deve-se refrescar a memória através de campanhas regulares.

Uma norma prática diz que são necessários sete contactos para ganhar um novo cliente. Isto pode prolongar-se por vários anos. Não se deve desistir, pois o primeiro contacto quase nunca é bem sucedido.

No próximo capítulo serão apresentados instrumentos importantes de marketing. Por um lado, a selecção do meio de publicidade e dos órgãos de comunicação social encontra-se dependente do público-alvo e da mensagem, por outro lado, depende do orçamento para publicidade. Além dos custos fixos (para publicidade) e custos de difusão (por exemplo, franquias postais para publicidade por correio), aumentam os custos de produção a diferentes níveis. Portanto, a produção de material publicitário impresso é apenas uma fracção do custo total de produção para publicidade televisiva.

#### 12.2.2.5 A cobertura do marketing

Esta lista está ordenada por forma a obedecer a uma sequência crescente de cobertura. Ao mesmo tempo, a forma de comunicação passa de, directa (pessoal) a indirecta (p.e., apresentações) e aumentam os custos absolutos:

- contacto pessoal;
- contacto telefónico;
- evento;
- publicidade por correio;
- jornal, televisão, rádio.

Deve-se ter em atenção que quanto mais reduzido é o público-alvo, mais directa deve ser a abordagem.

### 12.2.3 A variedade de opções de marketing

#### 12.2.3.1 Marketing directo

##### **Contacto pessoal**

O princípio do iceberg torna-se perceptível durante o contacto pessoal. Aqui, pode adquirir-se confiança através da personalidade e criar uma ligação pessoal. O contacto pessoal é utilizado maioritariamente para aconselhar os interessados e consiste na preparação do acordo final.

##### **Contacto Telefónico**

O telefone é uma forma intensiva de contacto pessoal, na qual estão presentes todos os componentes do iceberg. Através do telefone, é criada uma aproximação pessoal ao cliente. Pode-se perceber qual o tipo de cliente. Quão genuíno é o interesse, p.e., se é um cliente ansioso que necessita de segurança, ou se está bem informado e necessita de factos concisos. O contacto telefónico é ideal para ajudar os clientes, que estão hesitantes, a dar o passo seguinte.

##### **Publicidade por correio**

A publicidade por correio é o instrumento de marketing mais utilizado, pelo que se lhe dedica aqui um espaço maior que aos outros instrumentos. Consiste num bom compromisso entre as abordagens directa e indirecta e situa-se dentro de limites financeiros razoáveis. Pode usar-se publicidade por correio, tendo em conta vários objectivos:

- para criar interesse, p.e., criar um contacto inicial;
- para actualizar extensos públicos-alvo (ofertas, eventos, novos produtos), p.e., no âmbito da estratégia dos 7 C's;
- lembranças regulares, no âmbito da construção de relações com os clientes.

Geralmente, devem desencadear-se reacções e, posteriormente, o cliente estabelecerá contacto com a empresa.

Três considerações acerca da publicidade por correio:

- torna-se cada vez mais difícil obter a atenção necessária. Mesmo quotas de feedback de 1-2% são positivas;
- publicidade por correio, sem um telefonema de seguida não faz muito sentido;
- dos pontos anteriores conclui-se que a empresa deve esforçar-se por usar a criatividade, para configurar e organizar a publicidade por correio. É preferível não fazer publicidade por correio, do que não ser eficiente.

##### *Desenho da publicidade por correio*

A publicidade por correio deve desencadear no cliente quatro sentimentos (AIDA):

- A: Atenção;
- I: Interesse;
- D: Desejo;
- A: Acção.

##### Atenção

O primeiro objectivo da publicidade por correio é ser explorada. Esta é portanto, a parte mais difícil na composição da publicidade por correio. Deve concentrar-se toda a criatividade nesta fase. Apresentam-se algumas ideias:

- título apelativo: Tem de se criar uma imagem na mente do cliente. Pode-se apresentar um produto na forma de uma manchete, como "Inverno quente 2003" ou pode-se anunciar uma semana de poupança de energia;

- elegância: A aparência gráfica influencia a primeira impressão. Deve-se levar o tempo necessário para organizar o texto e as imagens, para que sejam agradáveis à vista.

Geralmente, é verdade que:

- se vê como se lê, da esquerda para a direita;
- os elementos centrais são apreendidos com particular intensidade;
- observam-se primeiro as imagens e só depois o texto. Portanto, um texto esclarecedor deverá ser colocado depois ou à direita da imagem, caso contrário, o processo de leitura falha.

Imagem:

Se o produto é fotogénico ou se tem um esquema apropriado, deve usar-se essa imagem para chamar a atenção ou como auxiliar de memória.

Truque:

Algo com que se possa brincar: um método diferente de dobrar, envelopes picotados, uma oferta, um relógio de Sol em papel. Tudo isto reduz a possibilidade da carta não ser imediatamente deitada fora, porém, aumenta o seu custo. O produto e o truque devem ser equilibrados. O conteúdo da mensagem deve corresponder às expectativas criadas pelo truque.

### Interesse

Este conceito significa:

- compreensão;
- reconhecimento dos benefícios.

A empresa deve colocar-se no lugar do público-alvo. Averiguar quais os benefícios que o cliente gostaria de discutir e como fazer com que estes sejam facilmente entendidos. A brevidade é o segredo do entendimento. A publicidade por correio não deve consistir em mais do que uma página. Não é só o texto que tem a ganhar com a brevidade. As frases e palavras: têm de ser concisas e influentes. Uma pessoa consegue visualizar facilmente 12 sílabas num texto. As secções de texto, que são importantes para o entendimento, não deverão ser maiores do que isso.

### Desejo

Para que o desejo seja suscitado pelo reconhecimento dos benefícios, o cliente deve confiar na empresa. Essa possibilidade será maior quanto menos pressão for feita no cliente. Deve haver uma contenção no design da brochura. Numa altura em que tudo reluz e brilha e são feitos mega e giga acordos comerciais, um sentido de modéstia sólido e consciencioso é muito bem aceite.

### Acção

O cliente deve agir no momento. Para tal deve-se facilitar esta acção, p.e., através de:

- ritmo: Frases mais curtas no final do que no início;
- apelo concreto, o que deve ser feito: “Envie-nos esta carta por fax”, “Registe-se até 3 de Julho”;
- testemunhos: Os clientes satisfeitos deverão dar a sua opinião acerca do produto. Desta forma, as declarações serão confirmadas por terceiros, o que diminui a resistência;
- oferta: Se o custo for razoável, deve proporcionar-se uma oferta: “Pessoas atentas que respondam antes de 10 de Agosto, receberão um despertador solar”. Um desconto para as primeiras encomendas também é uma oferta;
- resposta pré-impressa: Será necessário apenas preencher os dados do remetente. Será suficiente enviar de novo a publicidade por fax.

### Lista de verificação

Se o esboço da publicidade por correio está na sua forma final, deve-se mostrar a alguém desinteressado e questionar sobre:

- O desenho é atractivo?
- Consegue perceber-se o seu conteúdo em 5 segundos?

- Está formulado de uma forma clara e positiva?
- Tem o efeito desejado?
- A mensagem é credível?
- Como reage?

#### *Organização da publicidade por correio*

A publicidade por correio, bem formulada e desenhada, deverá ser otimizada através de uma organização excepcional. Apresentam-se algumas dicas:

- Quem telefona depois e quando? Deve dar-se ao receptor entre 1 semana a 10 dias para ligar.
- Como se assegura que cada cliente contacta com um colaborador apenas?
- De que forma fica marcado o interesse do cliente na comunicação?
- O que acontece se estiver interessado? O cliente deverá receber uma resposta dentro de dois dias.
- Existe capacidade para as encomendas, se o interesse for muito grande? Deve enviar-se a publicidade por correio, por fases.

#### Dica de Marketing

Deve usar-se um acontecimento recente na publicidade por correio que, de certo modo, corresponda aos interesses pessoais do receptor. Este acontecimento poderá estar relacionado com as condições atmosféricas, novas leis, p.e., novos regulamentos de poupança de energia, ou um programa de restauração de edifícios.

#### Brochuras e documentos de vendas

É recomendada informação impressa para o marketing, na forma de um folheto, que transmita informação acerca da empresa, p.e., um prospecto com imagem. Este deverá ser desenhado e impresso por profissionais. Funciona como um cartão da casa, particularmente atractivo, bem como um auxiliar de memória e poderá ser oferecido, por exemplo, numa exposição, aos interessados.

É necessário decidir, para cada um dos casos, a quantidade necessária de informação a transmitir. Não são necessárias brochuras dispendiosas para todas as acções. É importante que se tenha à mão informação corrente, para dar resposta às questões mais frequentes. Poderá ser informação auto-formatada ou impressa, p.e., sistemas de referência com uma fotografia. Uma aparência uniforme é conveniente para aqueles que requerem mais informação.

#### **12.2.3.2 Eventos**

Os eventos possuem um charme particular. Existe contacto com diversas pessoas durante um curto período de tempo. A preparação e execução de um evento é uma experiência motivadora para toda a empresa. Além disso, sob determinadas circunstâncias, obtém-se cobertura grátis pela imprensa local. Por outro lado, requer muito trabalho de preparação e o envolvimento intensivo do pessoal. Frequentemente, durante uma exposição, só é possível continuar com o negócio normal de uma forma limitada. Para além dos custos da exposição, pode haver um rendimento baixo durante esse período.

Algumas ideias para eventos:

- participação em exposições e feiras de comércio;
- exposições internas;
- participação em campanhas ou eventos locais;
- apresentações de produtos, por exemplo, num hotel;
- seminários para clientes;
- apresentações.

Os eventos são uma oportunidade tremenda para obter os endereços dos interessados. Não se deve levar todo o material informativo, mas sim fazer um compromisso de envio de informação adicional, e desta forma obter os endereços de potenciais clientes. Assim, impede-se que as brochuras tão dispendiosas se tornem rapidamente um desperdício.

**Dica de marketing**

Deve-se tentar pensar indirectamente, p.e., convidar uma turma de uma escola local para uma manhã solar. Não se está só a passar informação, mas também a obter 20-30 assistentes de vendas, já que ninguém educa tão bem os adultos como as crianças educam os seus pais.

**12.2.3.3 Meios de comunicação social**

Para chegar a muitas pessoas, devem-se utilizar os meios de comunicação social. Alguns exemplos:

- Internet;
- Imprensa;
- Cinema;
- Rádio;
- Televisão.

Hoje em dia, a Internet é praticamente um dado adquirido. Uma secção completa dedicar-se-à a este assunto.

Quando se pensa na imprensa, existem várias opções:

- anúncios;
- suplementos;
- informação;
- posicionamento (o jornalista escreve acerca do assunto que a empresa propõe).

Mesmo as empresas mais pequenas poderão aproveitar bem a imprensa, pelo menos a nível local. Os editores estão sempre interessados em coisas novas, p.e., um sistema solar numa casa que chame a atenção ou se uma turma escolar criou e montou um sistema com a ajuda da empresa.

Por vezes, uma boa imagem é suficiente, p.e., uma grua móvel com um grande sistema no gancho, ou um sistema com uma arquitectura particularmente atractiva. Deve-se perguntar aos jornalistas o que lhes interessa e dar-lhes informação contextual, que será do seu interesse geral. Devem manter-se as relações públicas e a publicidade separadas.

**12.2.3.4 A homepage para pequenos negócios**

A Internet ganhou grande importância no âmbito do marketing, como meio de contacto e apresentação. Virtualmente, todas as grandes e algumas pequenas empresas encontram-se on-line. Apresentam-se de seguida as vantagens deste sistema e como deverão ser optimizados os recursos necessários para estabelecer a presença na Internet.

**Objectivo da página web**

O objectivo de um website, na área comercial, deverá ser sempre obter clientes e reforçar relações com estes. Na prática o objectivo, de um website de uma empresa, é aumentar as suas vendas, quer porque o site na Internet promove e acompanha o desenvolvimento da empresa, quer porque funciona directamente como uma plataforma de venda de artigos.

**Conteúdos de um website de uma pequena empresa**

Os websites deverão ser de fácil utilização para o cliente. Esta exigência conduz à importância do conteúdo de um website de uma empresa. Deve dar-se portanto informação sobre a empresa, nomeadamente:

- quem está a ser apresentado no website;
- o que se pode obter da empresa;
- onde se pode encontrar no mundo real.

Para que o cliente possa relacionar-se com o site de Internet, deverá aparecer o nome completo da empresa e o seu tipo, a localização, bem como o seu logotipo, em todas as páginas. Particularmente na Internet, estes aspectos ajudam à orientação, já que um motor de busca não reconhece normalmente a localização do website. Por outro lado, o cliente tem, muitas vezes, grande interesse em encontrar uma empresa na sua área local.

A informação detalhada sobre a empresa e os seus produtos é apresentada em páginas individualizadas. Aplica-se uma regra fundamental quanto à apresentação da informação, independentemente dos respectivos produtos. Estas páginas poderão ser mais extensas, uma vez que o visitante espera obter informação precisa na Internet.

Para que o texto seja apelativo, deverá ser realçado através de imagens e gráficos significativos. O visitante interessado espera ser capaz de imprimir estas páginas, pelo que devem estar configuradas de forma a não se perder informação importante, quando impressas.

Em todos os sites de empresas, deverá estar sempre presente uma descrição precisa de como chegar até estas. Isto deverá incluir a descrição do percurso, em forma de texto, e também um ou dois desenhos, para mostrar como se chega mais facilmente à empresa. Esta página deverá ser facilmente impressa, uma vez que será necessária durante a viagem.

#### *Contacto por e-mail e formulários especiais*

A Internet é o único meio de publicidade que permite o contacto directo, sem uma mudança no meio de comunicação social, uma oportunidade que não deverá ser negligenciada. Como tal, deverão ser incluídos, em todos os websites, formulários de contacto, os quais possam ser preenchidos, sem problemas, pelo cliente e directamente transmitidos para a empresa, através de e-mail.

Aplicam-se aqui algumas regras simples quanto ao desenho de um formulário. Este deverá ter o menor número de campos possíveis para o utilizador preencher. Normalmente, é suficiente colocar o nome e o endereço de e-mail ou o número de telefone. Um campo para texto livre faz sentido, para que o cliente possa colocar as suas questões. Um campo para um “telefonema de retorno” também é um gesto simpático, sendo que os potenciais clientes são avisados de que a empresa pode arcar com os custos telefónicos. O que é indubitavelmente importante para a eficácia dos formulários on-line é a rapidez de manejo do inquérito. Este trabalho compensa, na medida em que o utilizador já tem um interesse concreto nos serviços da empresa. Muitos dos utilizadores esperam uma reacção no próprio dia ou, no máximo, no dia útil seguinte. Para ter sucesso nesta área, a empresa deverá estabelecer claramente quem lê e quem responde aos e-mails.

É essencial tomar medidas para cobrir férias de trabalhadores, pois uma resposta após diversas semanas é inútil. Como alternativa, o endereço de e-mail da empresa deverá também ser publicado, para que o cliente possa escrever directamente para a empresa através do seu programa de e-mail.

#### **Medição do sucesso**

Outro aspecto específico da Internet é a possibilidade de determinar o número de visitantes do website, a um baixo custo. Quase todos os fornecedores oferecem estatísticas de web com este objectivo. As características variáveis importantes, são o número de páginas visitadas e o número de visitantes. Outras variáveis, como a transferência de informação, são significativas para profissionais informáticos, mas normalmente não têm muito interesse. Um bom website deverá ter, pelo menos, um visitante por dia, caso contrário o custo da presença na web não é justificável.

O sucesso de um website, porém, não se mede somente pelo número de visitantes, mas também pelo número de inquéritos respondidos e, finalmente, pelo aumento nas vendas. Esta variável é muito difícil de estabelecer, uma vez que raramente ocorre uma venda on-line. Contudo, a assistência para a compra realiza-se, muitas vezes, através da Internet.

Um simples cálculo torna tudo mais claro:

Os custos de um website na Internet são compostos por:

*C = Custo do website durante o período de amortização;*

*E = Custo de estabelecimento;*

*O = Custos de operação, por ano;*

*A = Duração de tempo na Internet até à próxima grande revisão (período de amortização).*

$$C = E + A \times O$$

Podem ser conquistados novos clientes durante o tempo na Internet, trazendo rendimentos líquidos adicionais e possível lucro adicional.

$L = \text{Lucro};$

$CI = \text{Clientes adicionais por ano, através da Internet};$

$N = \text{Número médio de negócios por novo cliente, por ano};$

$M = \text{Margem de lucro}.$

$$L = A \times CI \times N \times M$$

Exemplo:

Os seguintes valores podem ser aplicados a um grande negócio:

**Tabela 12.3 – Exemplo de negócio com site na internet**

Novos clientes (CI)	5
Número médio de negócios (N)	5.000 € por ano, por novo cliente
Margem de lucro (M)	10%€
Custo do estabelecimento de um site na Internet (E)	2.500 €
Custos de operação por ano (O)	800 €/a
Período de amortização (A)	3 anos
Custos (E + A x O)	2.500 € + 3a x 800 €/a = 4.900 €
Lucro (A x CI x N x M)	5 x 5.000 €/a x 0,1 x 3a = 7.500 €
Lucro Adicional (L – C)	2.600 €

Isto significa que uma presença na Internet, que custe cerca de 2.500€, incluindo custos fixos anuais de cerca de 800 €, é vantajosa neste caso, pois após três anos começa a gerar um lucro adicional de 2.600 €.

#### *Custo de implementação*

Um website na Internet é composto por quatro factores de custo:

- Web design;
- servidor web;
- directório web;
- acesso à Internet.

Certos valores-chave deverão, contudo, ser usados para o cálculo, que naturalmente dependerá em grande parte dos desejos individuais.

O web design deverá ser efectuado por uma agência profissional, caso contrário não se pode garantir um funcionamento técnico sem problemas. As páginas que não funcionam são, efectivamente, anti-publicitárias. Um site bem desenhado, com dez páginas e um formulário de contacto, poderá custar até cerca de 2.500 €.

O servidor web não se encontra estabelecido na empresa, mas sim num fornecedor. Um simples site não necessita de um servidor de alta performance e, como tal, os custos rondam os 300 € por ano. Um website deverá também ser promovido na Internet, a melhor forma será colocá-lo em websites com temas específicos e um grande número de visitantes. A agência deverá ainda assegurar que o site seja facilmente encontrado através de motores de busca. Isto implicará mais 500 €, por ano no máximo. O próprio acesso à Internet, que é necessário para responder a e-mails, não necessita ser calculado separadamente, já que é usado para outros propósitos e o seu custo é insignificante, quando comparado com outros itens.

#### *Custo de manutenção*

Aqueles que levam a sério o marketing através da Internet e esperam ganhar mais do que uma mão cheia de clientes, deverão também fazer a manutenção do seu site na Internet. A manutenção consiste, principalmente, na actualização dos conteúdos, sem mudanças a nível visual.

Apenas a manutenção contínua dos conteúdos irá conduzir ao sucesso de uma publicidade notável. Nenhum cliente está à espera de notícias diárias de uma oficina e muito menos ofertas “actuais” pelo Natal ou Páscoa. Na maior parte dos casos, três a quatro horas por mês são suficientes para introduzir informação, tais como projectos realizados na lista de referência, anunciar nomeações e apagar informação



desactualizada. Este trabalho pode ser feito, hoje em dia, com sistemas de edição, não muito dispendiosos, que permitem que as páginas web possam ser mudadas sem qualquer conhecimento de HTML e sem colocar o desenho da página em perigo.

### *Publicidade activa na Internet*

A publicidade na Internet difere da publicidade clássica, impressa nos meios de comunicação social, devido ao problema de que o cliente potencial tem de ter conhecimento, em antemão, da existência da homepage. Existem várias formas de fazer isto, sendo que a melhor forma é oferecida pela própria Internet, a qual se descreve de seguida.

### *Motores de busca*

Quem já utilizou a Internet para resolver algum problema, recorre a motores de busca como o Google.com e introduz uma palavra-chave. É visitado um site apropriado, entre os dez primeiros resultados, e se este for útil, poderá dar-se início a uma relação comercial. Porém, é muito importante que este seja encontrado entre os primeiros. Os sites de Internet deverão ser optimizados para os motores de busca pela agência contratada. Para alcançar o sucesso, neste aspecto, o empresário tem de saber quais as palavras-chave que permitem que o cliente o encontre. Deverá ainda ter uma referência regional, na qual aparecerá o nome do local, no site da Internet. O site deverá então ser submetido ao Google.com. Não é necessário fazer esta submissão repetidamente.

### *Portais*

O serviço oferecido por revistas especializadas no mercado clássico dos meios de comunicação social, cujo objectivo é atrair o público-alvo, pode ser igualmente feito através da Internet, por meio de portais organizados por temas. Estes têm um grande número de visitantes, que uma empresa individual nunca conseguiria alcançar. Como tal, faz sentido prestar atenção à homepage da própria empresa dentro deste portal. Tal poderá ser feito através de uma entrada num directório classificado, de um banner publicitário ou de links.

### *Directório classificado*

Existe, hoje em dia, um grande número de directórios classificados na Internet, mas apenas alguns em que vale a pena entrar. Um bom número de referência, demonstrando a importância de um directório classificado, é o número de visitantes desse directório, por ano, em comparação com o número de entradas.

### *Banner publicitário*

A forma mais frequente de publicidade na Internet é o banner publicitário. Com os banners, é possível atrair a atenção de um grande público para uma empresa e incitar novos visitantes a entrar no website. O banner é uma imagem pequena, integrada num website. Esta imagem está ligada ao site, através de uma hiperligação. A configuração visual do banner deverá ser restringida ao essencial. Uma área de 468 x 60 pixel possui muito pouco espaço para texto. O banner publicitário tem maior efeito quando o público-alvo procura produtos e serviços correspondentes. Portanto, as empresas solares deverão colocar o seu banner em websites sobre temas como construção, aquecimento, energia solar e ambiente, uma vez que podem conquistar potenciais clientes.

O preço do banner publicitário é normalmente calculado de acordo com o número de visitas e com seu tamanho.

### *Links*

Um website deverá estar sempre bem ligado, no âmbito da Internet. Para além das opções do directório classificado e do banner publicitário, já descritos, deve-se ter menções nas páginas dos fornecedores, com um link. É possível que clientes satisfeitos estejam preparados para ter um link na sua página.

### **Vendas directas pela Internet**

A Internet não é apenas uma grande montra de loja, mas está a desenvolver-se tornando-se cada vez mais num mercado. Contudo, as mudanças nos comportamentos de compra são muito mais lentas do que a aceitação do novo meio. As oportunidades agora oferecidas serão aqui apresentadas.

### *Produtos adequados*

Nem todos os produtos são igualmente adequados para serem vendidos na Internet. Por um lado, o produto tem de se encontrar numa classe de preços que represente um risco justificável, quanto ao seu despacho e pagamento. Por outro lado, o produto deve poder ser utilizado sem assistência do vendedor. Este não é o caso dos sistemas solares térmicos ou fotovoltaicos. Contudo, muitos outros produtos na área fotovoltaica são adequados para o negócio das encomendas por correio.

### *Custos técnicos*

Uma loja on-line requer um grande investimento, tanto para o software e para as entradas do produto, bem como para as operações quotidianas. Os pacotes de programas padronizados, a instalação e operação, que requerem experiência considerável, servem como software de lojas. Este software deverá correr num computador potente e de grande confiança, caso contrário, se se verificarem muitas visitas, surgem atrasos ou falhas frequentes nos servidores. Recomenda-se, então, que um fornecedor experiente de serviços, que possa demonstrar projectos comparáveis como referência, leve a cabo a implementação. O custo da tecnologia e software nos primeiros três anos será de, pelo menos, 10.000 €. Para além deste, existe um custo de cerca de 50 € para cada produto introduzido no catálogo.

### *Forma de pagamento*

Ainda não foi estabelecido, nenhum processo electrónico uniforme para pagamentos na Internet. Normalmente, é usada a via convencional de pagamento no acto da entrega ou factura e transferência bancária. Internacionalmente, a utilização de cartões de crédito tornou-se geralmente aceite para pagamentos on-line. Se as lojas on-line funcionarem com cartões de crédito, é essencial a utilização de sistemas de transmissão de dados seguros com procedimentos SSL. Os certificados necessários custam cerca de 300 € para um ano de rendimento.

### *Enquadramento legal*

Comprar na Internet é objecto das mesmas normas legais das outras formas de vendas, nomeadamente através da encomenda por correio.

O aspecto central desta questão diz respeito ao direito de cancelamento e devolução, que permite ao cliente devolver os bens, sem razões que o justifiquem, durante um período pré-estabelecido.

#### **12.2.3.5 Relações com os clientes**

Até agora discutiu-se apenas a conquista de novos clientes. Mas o que fazer com os clientes que já foram conquistados. Na maioria das empresas, esta área ainda não está explorada e tendo em conta que é 7 vezes mais fácil reactivar um cliente antigo do que conquistar um novo, a orientação do cliente, como tema, não só é mais agradável, mas é também uma acção de maior sucesso.

Uma orientação consistente para o cliente em todas as relações com este é o estabelecimento de uma cultura, na qual a gestão deverá constituir um exemplo e a qual deverá ser implementada em todas as áreas da empresa. O instalador deverá saber exactamente o que foi prometido ao cliente, quando o contrato foi celebrado. Para além do trabalho de instalação, ele também deverá sentir-se responsável pela limpeza, enquanto trabalha na casa do cliente. Também deverá estar ciente de como lidar profissionalmente com um desejo especial ou uma queixa do cliente. Alguns poderão fazer isto naturalmente, no entanto, como regra, é necessário haver formação.

Os clientes satisfeitos ajudam nas vendas. Se potenciais interessados perguntarem a um cliente acerca da sua experiência e ela for favorável à empresa, esta acção vale mais do que as promessas mais atractivas. A oferta, só por si, reforça a credibilidade. Ao mesmo tempo, demonstra-se cuidado com os clientes. O cliente de referência sente-se honrado e provavelmente irá gostar de transmitir o seu conhecimento.

#### **12.2.4 Atingir o objectivo em 6 etapas**

##### **12.2.4.1 A ideia básica**

Para conquistar clientes para a energia solar é necessário um grande poder de resistência. De seguida recomenda-se um procedimento sistemático com 6 etapas, o ciclo de marketing:

- análise;
- objectivo;
- estratégia;
- planificação;
- realização;
- avaliação.

Para grandes campanhas, é melhor passar duas vezes através deste ciclo. Iniciar com um teste e apenas alguns endereços. Com a experiência ganha, pode-se melhorar a campanha principal.

O marketing sistemático custa menos tempo do que uma acção ao acaso, onde não se obtém o sucesso desejado.

Deve-se reservar, por exemplo, meio dia por mês, para a planificação de marketing. Numa altura mais sossegada, como o Natal e o Ano Novo, devem-se tirar dois dias para reconsiderar o conceito de marketing para o ano seguinte. Consideram-se também importantes os tempos para implementação, tal como para uma feira comercial ou para publicidade por correio. Se for bem planeado, pode-se distribuir o trabalho, para estas campanhas, por diversos colaboradores o que reforça a ligação dos colaboradores à empresa.

As seguintes 6 etapas do ciclo de marketing são discutidas teoricamente.

#### **12.2.4.2 Etapa 1: Análise**

Deve ser efectuada:

- uma avaliação das actividades de marketing anteriores, de acordo com o custo e o benefício;
- uma avaliação da situação do negócio;
- uma atenção especial ao desenvolvimento da empresa no futuro.

#### **12.2.4.3 Etapa 2: Objectivos**

Os objectivos tornam possível estabelecer e seleccionar prioridades. Tornam mais fácil reter uma visão, mesmo em situações complexas.

Para que estes não sejam apenas uma declaração de intenções, devem trabalhar-se os objectivos por forma a que fiquem bem clarificados (utilizar a técnica SMART).

SMART:

- S – Específico: exactamente o quê.
- M – Mensurável: como se verifica o sucesso.
- A – Activo: formular positivamente, em vez de dizer o que não pode ser feito.
- R – Realista: ambicioso mas atingível.
- T – Plano de Tempo: quando se quer conseguir.

Exemplo:

O que pensar do seguinte objectivo: “Para o próximo ano, quero ter mais tempo para a família”? Este objectivo é pouco exacto. É melhor dizer: “A partir do dia 1 de Março, vou para casa às cinco horas da tarde, às terças e quintas-feiras”

#### **12.2.4.4 Etapa 3: Estratégia**

Preparar a estratégia dos 7 C's para o(s) público-alvo(s) e traduzir num esboço da calendarização. Adicionalmente, marcar as actividades de marketing, de mês a mês. Introduzir datas fixas, como feiras comerciais e feriados.

Algumas dicas:

- regra geral, planear quatro a sete contactos por cliente, a cada ano;
- não sobrecarregar os contactos;
- incluir alguma informação e não um pacote completo;
- modificar o meio. Usar uma saudação de Natal;

- a forma de contacto não é tão relevante como a sua permanência.

Considerar os tempos mais e menos favoráveis. E nomeadamente as seguintes datas, em particular:

- publicidade por correio: dias feriados, período do Natal e Ano Novo;
- marketing telefónico: dias feriados e horário de escritório;
- ritmo diário: pausas para almoço, reuniões, sexta-feira à tarde;
- eventos: feriados públicos, feiras comerciais, eventos paralelos e condições meteorológicas.

Reservar meio dia, em cada mês, para actualizar a estratégia dos 7 C's.

#### 12.2.4.5 Etapa 4: Planeamento

Para obter novos negócios, deve haver uma preocupação com o planeamento operacional. Por regra, deve-se preparar um plano de marketing para um ou dois anos. Não se deve desistir se não houver sucesso imediato. Para conseguir novos clientes, é necessária persistência e perspectiva a longo-termo.

A estratégia dos 7 C's fornece o esboço da escala horária. Para um bom planeamento, deve estabelecer-se um horário das tarefas para campanhas individuais (tal como publicidade por correio). Deve estabelecer-se:

- responsabilidades;
- definição de tarefas;
- calendarização.

O planeamento do trabalho inicial e das acções seguintes passa por:

- desenhar o material publicitário, p.e., uma circular;
- incluir o meio publicitário, p.e., os prazos de uma revista;
- obter e fornecer endereços (procura de endereços na própria base de dados);
- disponibilizar envolvimento próprio, o sucesso depende da disponibilidade dos colaboradores e da empresa;
- disponibilidade do pessoal necessário, antes de mais, tem de se reservar tempo para “acções concertadas” de todo o pessoal envolvido no novo negócio. Se assim não for, ninguém terá tempo para este e não haverá um sentimento de união;
- seguir com o trabalho entre os mais interessados. Uma boa organização é digna de valor. Deve-se saber quem consegue o quê, quem são os clientes e quando é realizada a próxima campanha. Deve-se saber também quando reduzir esforços ou quando transferir os endereços da categoria muito promissora para a menos promissora.

#### 12.2.4.6 Etapa 5: Realização

O maior perigo das campanhas de marketing é que quando elas começam, surge sempre algo mais urgente. Deve-se manter o conceito dos 7 C's. O marketing é importante. Os patrões das empresas, devem dar-lhe a urgência necessária.

Os endereços têm uma importância central para a realização de marketing.

##### Obtenção de endereços

Um meio frequente é a lista telefónica ou a lista de endereços. Os membros ou directores das empresas são, muitas vezes, úteis devido aos seus contactos. Podem-se recolher muito facilmente, endereços de interessados num stand de uma exposição ou num centro de informações na cidade. Nunca se deve levar demasiado material publicitário, mas sim enviar o material informativo seleccionado.

A Internet é um bom meio para obter endereços de duas formas:

- é suficiente uma homepage concisa e informativa, não necessita de ser graficamente sofisticada. É importante que a homepage seja registada nos motores de busca. Aí oferece-se aos interessados a possibilidade de encomendar material;
- um registo nos portais mais importantes no ramo. Uma entrada básica é, muitas vezes, gratuita, pelo que vale a pena pagar por um link para a homepage;

- existem muitas empresas de serviços que se especializaram na venda de endereços de clientes. Muitos dos fornecedores de endereços concentram o seu desenvolvimento em regiões. Vale a pena comparar os fornecedores. Os endereços necessários podem ser procurados de acordo com vários critérios.

### Gestão de endereços

Uma base de dados de clientes computadorizada e bem gerida é um recurso valioso para uma empresa. A Tabela 12.4 apresenta uma boa estrutura geral de uma folha de endereços.

**Tabela 12.4 - Os três campos de uma folha de endereços Fonte: Binder-Kissel**

Endereço	Nome da empresa e formulário legal Endereço, telefone, fax, e-mail, n.º cliente, campo, tamanho da empresa e quantidade de negócios.
Perfil	Apelido, primeiro nome, função, posição, n.º telefone fixo e telemóvel, outras informações possíveis, como data de nascimento, ocupações, etc.
Ação	Data do contacto inicial, historial do contacto (minutos de reunião), historial da acção, produtos encomendados, meio de comunicação social através do qual efectuou a encomenda, valor da encomenda, lembranças e posições abertas.

Está provado que os seguintes procedimentos são dignos de valor:

- os endereços deverão ser acedidos e modificados por todos os participantes. Recomenda-se um bloco de notas para o pessoal de vendas externo, para que os relatórios possam ser feitos imediatamente após uma discussão;
- o bloco de notas e o servidor da base de dados devem ser comparados automaticamente;
- incluir um historial do contacto com os endereços, nos quais são registadas as discussões importantes;
- guardar um historial da acção, no qual se anotam todas as actividades de marketing. Que género de documentos é que o cliente possui e que convites recebeu;
- não se deve registar apenas os contactos, mas também informação adicional, que foi obtida durante a aquisição de novos negócios, por exemplo, as preferências dos clientes;
- usar “termos de procura”, marcando os produtos pelos quais os clientes se interessam. Desta forma, é mais fácil reunir as listas de endereços para publicidade por correio;
- distribuir os clientes por 2-3 categorias: No caso dos clientes “A”, concentrar neles a atenção; no caso dos clientes “C”, o interesse nos produtos é menor.

#### 12.2.4.7 Etapa 6: Avaliação

Imediatamente após uma campanha, devem-se avaliar os custos e benefícios, p.e., no planeamento de marketing mensal. No final do ano, vale a pena levar a cabo uma revisão anual. Somente após a avaliação fundamental é que se pode avaliar os frutos do trabalho. Desta forma, um planeamento mais eficaz e eficiente é possível numa fase seguinte.

### 12.3 Uma boa discussão de vendas pode ser agradável

#### 12.3.1 O que significa “venda bem sucedida”

Uma boa venda não significa realização do negócio a qualquer preço. O centro da atenção é a satisfação do cliente. Se o cliente for bem aconselhado, ele irá recomendar a empresa a outros, mesmo que ele próprio não encomende mais nada. Porém, a satisfação do cliente não é tudo. Assim, uma venda bem sucedida significa um bom equilíbrio entre o custo e o benefício da venda.

Comprar e portanto vender é uma questão de confiança. Isto envolve principalmente honestidade e respeito. Um bom vendedor leva a sério os seus clientes mesmo que, à primeira vista, o seu interesse pareça estranho ou que dê uma impressão pouco agradável. A maioria dos produtos numa categoria difere apenas ligeiramente. O vendedor faz a diferença. Esta é uma tarefa necessária, que poderá ser estimulante, porque pode dar lugar à criatividade.

Esta secção oferece as ferramentas e um guia de conversação inteligentemente planeado, com o qual se pode vender eficientemente: desde a descoberta da necessidade à conclusão. Assim sendo, o estilo pessoal é importante, porque o vendedor tem de ser autêntico. O cliente identifica imediatamente palavras ocas.

## Requisitos pessoais

Vender significa tratar bem os clientes. Duas observações:

- o nível do inconsciente afirmar-se-à: o princípio do iceberg diz que, apenas 1/7 da comunicação é visível à superfície, o resto é invisível, mas mesmo assim muito eficaz. Isto é mostrado especialmente nos gestos e expressões faciais, a linguagem corporal não mente. Portanto, podem-se usar “truques” apenas de uma forma limitada, sendo importante que sejam consistentes, e só se houver uma profunda convicção no produto é que se consegue convencer o cliente;
- aquilo que mais rapidamente se consegue mudar é a própria postura. Não se pode mudar clientes difíceis, mas pode-se manipular convenientemente a conversa.

Um bom vendedor constrói uma intensa relação pessoal com os seus clientes. Mostra interesse no cliente, mesmo para além da encomenda imediata. Facilitar o contacto, através da amizade e acessibilidade é benéfico para o cliente e até se estreitam os laços de união.

Durante a discussão de vendas, o argumento central são os benefícios. Contudo, para a discussão ter sucesso os componentes secundários emocionais também são importantes.

## As quatro fases de uma discussão de vendas

Seguidamente, serão discutidas mais detalhadamente as quatro fases de uma discussão de vendas típica:

- construir uma ponte;
- estabelecer uma necessidade;
- oferecer a solução;
- alcançar o resultado.

Estas fases podem ocorrer em vários níveis e podem ser parcialmente repetidas. Após a conclusão bem sucedida do negócio e a instalação de um sistema solar, a tarefa do vendedor ainda não está completa. Ele permanece como parceiro do cliente e oferecer-lhe-à cuidados para que este o ajude nas suas vendas, através de uma recomendação entusiástica.

### 12.3.2 Construir uma ponte

#### Atitude interior

Para conduzir uma discussão com o cliente, é necessário ter uma atitude positiva perante a tarefa e o cliente. Quer seja uma discussão telefónica ou pessoal, quando existe contacto, a pessoa contactada necessita de saber com quem está a falar. Desta forma, é particularmente útil a referência a conhecimentos ou actividades mútuas.

#### Lista de verificação para estabelecer contacto

- Reter o nome do contacto e usá-lo várias vezes;
- Fazer uma auto apresentação e da empresa;
- No contacto inicial, explicar a razão deste contacto;
- Procurar uma abordagem positiva, descobrir algo relacionado com o cliente, como:
  - “Passei recentemente pela sua casa e fiquei bastante impressionado”;
  - “Conheço-o pelas suas actividade na associação de horticultura”;
  - “Obtive o seu endereço através do senhor Silva”.
- Durante o contacto seguinte:
  - “Como está?”;
  - “Que bom vê-lo (que bom falar consigo ao telefone);
  - Outras opções: “Conversa circunstancial” como ponto de partida (o tempo, percurso, etc.).
- Dizer ao cliente qual a razão do contacto:
  - “Estou interessado em saber o que pensa sobre a energia solar”;
  - “Estamos a contactar os nossos clientes para energia solar e gostaríamos de saber a sua opinião sobre o assunto”.
- Não se pode assumir que o parceiro de discussão tem realmente tempo para falar. Com apenas uma questão, pode-se mostrar que não se quer pressionar, dando a opção de escolha:
  - “Tem alguns minutos que me conceda?”;

- “Quanto tempo tem?”.

Nesta fase não se deve falar sobre detalhes dos serviços, uma vez que, ao efectuar a apresentação demasiado cedo, o cliente vai começar a fazer perguntas, em particular, questões sobre o preço.

### 12.3.3 Estabelecer uma necessidade

Esta é a fase mais importante da discussão de vendas. Aqui, tem de se descobrir a necessidade do potencial cliente.

#### **Técnica de conversação**

Se o vendedor for capaz de formular boas perguntas, já tem os melhores pré-requisitos para liderar uma boa discussão. Mas também aqui se aplica o princípio do iceberg: Somente se a outra parte tem um interesse genuíno é que esta não vai achar as perguntas demasiado “forçadas”.

#### *Perguntas fechadas*

Perguntas fechadas para as quais a única resposta é “sim” ou “não” são a forma mais frequentemente utilizada num questionário. Tais perguntas permitem chegar a acordos claros:

“Podemos encontrar-nos na Sexta-feira?”;  
 “Podemos instalar o sistema solar no dia 5?”.

Com perguntas semi-fechadas (em que a resposta é normalmente uma palavra ou um facto) obtém-se informação específica no início da discussão. Estas são: Quem, Quando, Onde:

“Quantas pessoas vivem na sua casa?”;  
 “Quando será coberto o telhado?”.

Este tipo de pergunta é ideal para chegar ao ponto em que o cliente fará um depoimento. Como tal, tem de se assegurar que a pergunta fechada está sempre ligada a um argumento de compra, que torna mais difícil a negação por parte do cliente:

“Gostaria de envoltórios anodizados para que o colector combine melhor com o seu telhado?”;  
 “Gostaria de mais dois módulos para que possa utilizar plenamente o subsídio?”.

#### *Perguntas abertas*

As perguntas abertas são mais utilizadas para encorajar o contacto e tecer considerações. Assim, pode-se prender o cliente à discussão e obter o máximo de informação, ocasionalmente, informação inesperada. No instante pode-se sentir esta informação inesperada de forma desagradável, porque é necessária alguma reflexão e flexibilidade. Contudo, poderá vir a ser muito importante. Pode não se vender nenhum colector solar, mas em vez disso um sistema de tratamento de água para a piscina.

Enquanto se estiver na fase de “estabelecer uma necessidade”, deve-se fazer principalmente perguntas abertas. Desta forma, pode-se levar em diante uma discussão hesitante e abrir o espírito de uma pessoa reservada.

“Como encara os fornecimentos de energia para sua casa, a médio-prazo?”;  
 “O que tem mais valor para si?”;  
 “Que dificuldade encontrou?”.

Pode-se guiar a conversa com perguntas abertas e, mesmo assim, permanecer no tema central. As perguntas abertas parecem inofensivas, mas necessitam de uma boa preparação e alguma prática. Mesmo vendedores experientes tendem a fazer mais perguntas fechadas do que abertas. Debaixo de pressão, as perguntas fechadas são mais espontâneas que as abertas. Vale a pena, formular previamente perguntas abertas, até que fluam quase automaticamente.

#### 12.3.4 Oferecer a solução

Nesta fase pode-se preparar a conclusão do negócio: propor soluções e fazer uma oferta. Só se deve fazer isto quando se sabe exactamente o que o cliente necessita, porque assim que se oferece uma solução, as necessidades do cliente deixam de aumentar.

##### **Benefício**

No início a solução está no benefício. Avaliam-se as necessidades do cliente e pode-se estabelecer o benefício do produto que combine com essa necessidade.

##### **Formulação orientada para o cliente**

Deve-se falar com o companheiro de discussão. Dizer “você”, em vez de “eu” ou “nós” pelo menos cinco vezes, de vez em quando. Se combinarmos isto com a referência ao seu nome, obtém-se a sua total atenção.

Tem de se usar as formulações do cliente: p.e., se falar de “colectores de Sol”, não se deve falar de “colectores solares”.

Deve se prestar atenção à forma como se transmite a informação.

##### **Apresentação**

Nada é tão convincente como um exemplo prático. Deve-se levar o cliente até um sistema de referência. Se tal não for possível, mostrar fotos, ou mostrar modelos ou componentes. Quanto mais se apelar aos canais sensoriais do cliente, maior a atenção ao produto e à sua imaginação. Funções da publicidade que podem ajudar, p.e., mostrar cartas ou testemunhos de clientes satisfeitos, cujo entusiasmo já foi espicaçado pela publicidade. Quando se organiza o folheto de referência, devem-se considerar os argumentos correntes de benefícios. Tem de se calcular um sistema exemplar e enfatizar, p.e., os pagamentos mensais para fornecimento de energia para a rede ou as poupanças mensais.

#### 12.3.5 Alcançar o resultado

Nesta fase é efectuada a transição da discussão não-obrigatória para uma acção de ligação. Não se pode deixar passar o momento correcto; frequentemente, as discussões concludentes são também “faladas até à exaustão”.

##### **A transição**

Lista de verificação de sinais de compra:

- comentários de aprovação:
  - “Isso soa-me bem”;
  - “Isso quer dizer que no futuro, eu....”.
- perguntas detalhadas:
  - “Deverei ter então um colector de tubo de vácuo ou um colector de superfície plana?”.
- Perguntas relacionadas com a compra:
  - “Quanto custaria um sistema completo?”;
  - “Quando poderia fazer isso?”.
- Sinais não-verbais:
  - o cliente move-se em direcção a nós;
  - o cliente vai até junto do produto e toca-lhe;
  - acenos de cabeça de aprovação.

A lista de verificação de sinais de compra ajuda a reconhecer que já se atingiu essa fase em discussão, podendo assim assumir o controlo deliberadamente:

Clarificação final de obstáculos de compra:

“Posso fazer alguma outra coisa por si?”;



“Quem toma a decisão?”;  
 “Qual é o seu horário?”.

Se a estratégia é obter afirmações positivas do cliente, então devem-se usar perguntas fechadas, que podem ser respondidas com “sim”.

“Já falou com o sr. Silva sobre o sistema dele?”;  
 “Confirmou a minha informação?”;  
 “Já olhou para o material promocional?”;  
 “A cobertura é apelativa?”.

Contudo, deve-se estar sempre confiante no sucesso. A compra é uma decisão difícil para o cliente, visto que ele tem de fazer uma escolha quanto ao seu dinheiro que pode ser utilizado para muitas outras coisas. Deve-se, portanto, tentar compreender as dúvidas que levem tempo e sejam difíceis de esclarecer.

### *Lidar com objecções*

As objecções são normais. Devem-se considerar cuidadosamente os prós e os contras de uma decisão a tomar. Infelizmente, é normal tentar contrariar espontaneamente as objecções, para se “provar que se está correcto”. Mas isto pode degenerar numa batalha infrutífera. É melhor levar a sério os pensamentos do interlocutor e adiantar pontos de vista alternativos.

“É verdade: O tanque maior é mais caro. Mas, com ele, armazenará mais energia solar nos bons dias que lhe irá servir durante os períodos de mau tempo”.

É importante que o cliente mantenha a sua escolha, mesmo que esteja convencido ou não.

## **Dicas práticas**

### *Técnica do eco*

Esta técnica é ideal quando existem objecções e contra-argumentos repentinos do parceiro de discussão. Repete-se o que foi dito, por outras palavras, e coloca-se uma questão oposta.

“Está preocupado com o facto do seu telhado não estar isolado? O que quer dizer com isso?”

Desta forma, ganha-se tempo para “digerir” a pergunta. O parceiro de discussão sente que está a ser levado a sério e confirma. De seguida podem-se afastar as suas preocupações ou ficar com a percepção de que quer comprar algo.

### *Deixar assentar*

Quando o cliente resmunga com coisas realmente triviais, talvez porque está a ter um mau dia, é melhor deixá-lo assim. Se houver um interesse genuíno, ele irá aparecer novamente. Dessa forma, evitam-se argumentos desnecessários.

### *Apoiar depoimentos positivos*

Se o cliente se sente mais satisfeito com uma estação solar sofisticada na sua cave do que com um colector no telhado, deve-se abordar esse assunto como lembrança, no final da discussão. Talvez seja possível vender uma unidade sofisticada de aquisição de informação.

### *O poder do silêncio*

Quando já tudo foi dito e para que o cliente possa clarificar os seus pensamentos deve-se dar espaço ao silêncio.

## **A questão do preço**

Não é o preço que está a ser vendido, mas aquilo que está a ser oferecido. Ao ajudar o cliente a realizar os seus desejos, o preço não é a questão principal.

Se possível, não mencionar o preço até chegar à conclusão da discussão, altura em que está claro o que se oferece e como pode ser reduzido, através de concessões ou poupanças. Se o cliente perguntar demasiado cedo pelo preço, a resposta deve ser da seguinte forma:

“Importa-se de aguardar um momento? O preço depende das várias opções e queria mostrar-lhas, em primeiro lugar”.

Se o cliente continuar a perguntar acerca do preço, é melhor dizer, pois caso contrário pode pensar que se está a protelar a questão.

Um sistema solar é um investimento a longo-prazo. Deve-se clarificar bem o período de compra, revelando, p.e., o preço anual ou mensal comparado com o tempo de serviço do sistema. Ou então, calculando imediatamente, no período de concessão e amortização:

“Após deduzir a concessão, este sistema irá custar-lhe 4.000 € e poupará cerca de 200 € por ano. Tendo em conta a tendência crescente dos preços da energia, o sistema será amortizado durante 15 anos e, durante os restantes 25 anos de serviço ainda irá ganhar dinheiro com ele.”.

Um sistema de energia solar difere de outros conversores de energia pelo facto de aumentarem os custos combustíveis contínuos. Deve-se tornar esta vantagem bastante clara.

“Com um sistema solar temos o bónus de não ser necessário combustível para toda a sua vida de serviço. Imagine que compra um carro, com o qual, durante a mesma altura, não terá de gastar 20.000 litros de gasolina”.

Se o cliente insiste muito firmemente num preço e diz que é “muito dispendioso”, deve-se averiguar acerca das razões:

“Acha que é muito dispendioso relativamente ao quê?”

Não se deve oferecer qualquer desconto. Uma vez que o cliente sinta que é fácil jogar com negociações de preços, então tentará fazer com que o preço baixe cada vez mais. Para fazer concessões pode-se oferecer um valor equivalente, pelo mesmo preço, p.e., um melhor medidor de calor ou um interface que lhe permita ver os rendimentos no seu PC.

Se o cliente insistir numa dedução no preço, deve-se perguntar:

“Não se importa então de ficar sem que partes da esfera de performance?”;

“Assumindo que concordamos quanto ao preço, o que continua a ser importante para si?”;

“É possível um desconto, se aceitar uma maior área de superfície”.

Talvez ainda existam opções quanto ao acordo correcto: Adaptando os métodos de pagamento ou o prazo de pagamento, reduzindo as opções e o risco de sobrecargas. O princípio central deverá ser, não há desconto senão houver algo em troca.

Deve se estar totalmente afastado dos preços, para que durante as negociações de preço não existam dúvidas. O potencial cliente irá notar imediatamente a opinião do vendedor quanto a esta questão..

## 13 EMPRESAS DO RAMO SOLAR TÉRMICO

Empresa	Fabricantes	Representantes autorizados	Distribuidores	Instaladores	Manutenção de sistemas	Projectistas	Morada			Telefone	Fax	email	Página Internet
AMEN – Ambiente e Energia / Estudos e Projectos, Lda.						X	Rua Actor António Silva, 6º - 4º Esqº	Apartado 6635 - Venda Nova	2700-006 Amadora.	214766714	214766688	amen@mail.telepac.pt	
AMPERSOL, Lda.			X				Barro da Casinha L15	Estrada das Alcáçova	7000-703 Évora	266708224	266708224		
AO SOL – Energias Renováveis, Lda	X				X	X	Edifício da Petrogal, Lugar da Sasmaria Limpa	Apartado 173 - Porto Alto	2135-002 Samora Correla	263651305	263651295	aosol@aosol.pt	www.aosol.pt
ARMENIO ALBERTO TAVARES DA SILVA	X	X	X			X	Rua Principal, 24 - Sobreda	3405-449 Seixo da Beira	238676318	238676318	238676318	Armeniosilva@net.sapo.pt	
BRC. Hortifloricultura Equipamentos, Lda.		X	X			X	Rua Dr. João de Barros, 7 r/c Dto.	Apartado 150 3001 – Benfica	1500-230 Lisboa	21716 2840	217152924	brc.lda@oninet.pt	
CAUPEL – Rep. Nacionais e Estrangeiras, Lda		X					Rua do Bolhão, 149 – 1º	4000 Porto	223393800 / 800200851	223393808	223393808	job.teixeira@caupel.pt	www.caupel.pt
CLIMACASA – Sistemas de Climatização, Lda.	X		X				Av. General Norton de Matos	Estádio Sport Lisboa e Benfica, Porta 12	1500-313 Lisboa	217276661	217276662	info@climacasa.pt	www.climacasa.pt
CLIMACENTRO – Energias Alternativas, Lda.	X		X				Zona Industrial do Fundão, Lote 104	Apartado 1104	6230-438 Fundão	275776911 / 966033 102	275776911		
CLIMAFARO – Sociedade Termo Eléctrica, Lda		X	X			X	Rua Cunha Matos, 48 r/c	8000-262 Faro	289827033	289827033	289827033		
CONFORTOAMBIENTAL, Lda		X	X			X	R. da Cordaria, nº5-3º Esq	Cruz de Pau	212240628	212240628	212240628	Mop69895@mail.telepac.pt	
DIGAL		X					Estrada Aqueirão, 31 – 1º Dto.	2725 Mem Martins	219229540	219229540	219229540	solahart@digal.pt	www.digal.pt
Eduardo J. D. Monteiro	X		X				Parque Industrial da Boavista dos Pinheiros, Lote 30	7630-033 Oeiras	283386686	283386686	283386686	desolasol@clix.pt	
ELECTRO CONSUL – Consultores de Electridade e Mecânica, S.A.						X	Rua Joaquim António de Aguiar, 27 – 4º Esq	1070-149 Lisboa	213861948	213861948	213864405	electroconsul@teleweb.pt	
ELECTRO REPARADORA GOMES & OLIVEIRA, Lda			X			X	Estrada do Aqueirão, 33	2725-022 Mem Martins	219229710	219229710	219229710		
ELECTROSOLAR		X	X			X	Travessa Matadouro, Nº 4, Loja 2	6000-306 Castelo Branco	272321395	272321395	272321395	electrosdar@clix.pt	
FABRICA DE RADIADORES DO ALVA, Lda	X		X			X	Pólo Industrial da Relvinha	3300 Arganil	235712381 / 235712180	235712381 / 235712180	235712248	solargus@clix.pt	
FALCONER (Import-Export), Lda	X		X			X	Av. Duque de Loulé, 47 – 3º Dto.	1050-086 Lisboa	213147058	213147058	213149136	falconer@clix.pt	
FELIXTERMICA, Climatização e Canalização, Lda.			X			X	Rua Alto dos Ministros, Nº5	Vila Facaia	261911305 / 917628161	261911305 / 917628161	261911305	felixtermica@mail.pt	
FOGÃO SOL	X		X			X	Rua Fogão Sol	Casa Vieira – São Mamede	244440776 / 244449861	244440776 / 244449861	244449744		
Gabinete de Utilização Racional de Energia			X			X	Av. Comendador Ferreira de Matos, 518-2, 5	4450-120 Matosinhos	917323874	917323874	229388890	martins.vasco@hotmail.com	
GEOCICLO – ENGENHARIA E SISTEMAS, S.A.			X				Av. Infante D. Henrique	1100 Lisboa	218810074	218810074	218810075		
HERRMAN - IBERICA, Lda		X	X			X	Parque Vale do Paraíso, Nº 1	8200 Albufeira	289514455	289514455	289515005	ibericasolar@clix.pt	
HIPERClima, S.A.		X					Canhestro – Pousos	2414-033 Pousos – Leiria	244816600	244816600	244816618	geral@hiperclima.pt	www.hiperclima.pt
J. FRUTUOSO FERNANDES	X		X				Barro da Várzea, Lote 1D	2665 Venda do Pinheiro	219662277 / 91506 9014	219662277 / 91506 9014	219662277		
JORO – Import., comerc., distribuição de equipamento e assistência técnica, Lda			X			X	Rua 5 de Outubro, 200	8135-103 Alcançil	289390830	289390830	289390839	joro@jp.pt	
Jose Diogo d'Orey			X					1600-126 Lisboa	919848840	919848840		zborey@hotmail.com	
LAR-BOMBAS	X		X			X	Rua Jorge Afonso 31 CV - Esq	4490-458 Póvoa de Varzim	252616308 / 252681 005	252616308 / 252681 005	252612462	larbombas@mail.telepac.pt	
MELO QUEIROZ, Lda.						X	Praça de S. Paulo, 19 – 2º Dto	1200 Lisboa	213473747 / 213473748	213473747 / 213473748	213472837		
Moreme – Montagens, Reparações e Manutenção Electromecânicas, Lda			X			X	Travessa de S. Paulo, Lt. 117	Serra do Casal de Cambra	219818380	219818380	219806567	renovaveis@moreme.pt	www.moreme.pt
NORAVAC – Soc. Aerodinâmica e Termodinâmica, Lda	X		X			X	Rua Salvador, 56	4100-464 Porto	919355910	919355910		www.noravac.cb.net	
PETROTANK, representações e montagens, Lda		X	X			X	Apartado 1	3740-909 Sever do Vouga	234550010	234550010	234550019	petrotank@mail.telepac.pt	

Empresa	Fabricantes	Representantes autorizados	Distribuidores	Instaladores	Manutenção de sistemas	Projectistas	Morada				Telefone	Fax	email	Página Internet
PROET – Projectos, Engenharia e Tecnologia, S.A.						X	Av. Estados Unidos da América, 55	1700-061 Lisboa			210013100	210013305	proet@edp.pt	www.edp.pt
RX SOLAR – Engenharia e Projectos, Lda.		X		X	X	X	Rua do Emigrante, 6	8200 - 440 Guia – Albufeira			289561656	289561303	geral@rxsolar.pt	www.rxsolar.pt
Senhores do tempo			X				Rua António Andrade n.º 1171	2820-287 Charneca de Caparica			212979600	212979609	senhoresdtempo@senhoresdtempo.com	www.senhoresdtempo.com
SIPEN - Sistemas de Energia, Lda				X		X	Zona Industrial de Vilamoura, Lote 61/32	Amazém E	8125-500 Vilamoura		289316711	289316712	sipen@mail.telepac.pt	
SOLARINOX	X			X			Largo da Feira, 1 A	2665 Malveira			219862777	219862777		
T&T Multieléctrica, Lda.				X	X		Castro da Campia	3670 Campia			232750100	232750107	ti.da@mail.telepac.pt	
TAGUETEC, Comércio de Equipamentos Industriais, Lda				X		X	R. D. Frei Martin Fagundes, 138, R/C	4465 - Leça do Balio			229563121	229563122	taguete@aeiou.pt	
TECNERSOL – Técnicas de Energia Solar, Lda		X		X	X	X	Av. António Augusto de Aguiar, 118 –5º	1050-019 Lisboa			213523681	213523629	tecnersol@netcabo.pt	
TELETERMICA, Lda			X	X		X	Rua Engº Ezequiel Campos, 39-1º	4100-230 Porto.			226170941	226175309	r.s.teletermica@mail.telepac.pt	
TERROL – Técnica, Planeamento e Projecto, Lda.						X	Rua Viriato, 6 – 1º Dto	1050-235 Lisboa			213563130	213532567	terrol@mail.telepac.pt	
VAJRA – Empresa Solar de Alimentação e Energias Renováveis			X	X	X	X	Solar das Amendoeiras – Expansão Sul	8100-626 Loulé			289401040	289413945	aquecimento.encomendas@vajra.pt	www.vajra.pt
VENSOL – Energias Renováveis, Lda.				X			Escritórios e exposição	EN 378 (Km9) Fernão Ferro	2865-413 - Seixal		212123172	212128462	energia@vensol.pt	www.vensol.pt



