



Utilização de Colectores Solares para a Produção de Calor de Processo Industrial



Iniciativa promovida e financiada por



MINISTÉRIO DA ECONOMIA



Utilização de Colectores Solares para a Produção de Calor de Processo Industrial



Edição financiada por



TÍTULO

Utilização de Colectores Solares
para a Produção de Calor de
Processo Industrial

EDIÇÃO

DGGE / IP-AQSpP

DESIGN

2 & 3 D, Design e Produção, Lda.

IMPRESSÃO

Tipografia Peres

TIRAGEM

1000 exemplares

ISBN

972-8268-30-0

DEPÓSITO LEGAL

????????????????????????????????

Lisboa, Abril 2004

Publicação gratuita

Para mais informações:

www.aguaquentesolar.com

INICIATIVA PÚBLICA AQSpP

O Programa Eficiência Energética e Energias Endógenas, Programa E4, lançado em 2001, cujo conteúdo foi retomado pela Resolução do Conselho de Ministros nº623/2003, de 28 de Abril, 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: programa Água Quente Solar para Portugal (AQSpP).

Para implementar este programa e aumentar a contribuição dos colectores solares para aquecimento de água, o POE - Programa Operacional da Economia, (actual PRIME - Programa de Incentivos à Modernização da Economia) aprovou a iniciativa pública IP-AQSpP promovida pela Direcção Geral de Geologia e Energia (DGGE),

potenciando sinergias entre várias instituições com vista à sua concretização: a Agência para a Energia (ADENE), o Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI), a Sociedade Portuguesa de Energia Solar (SPES) e a Associação Portuguesa da Indústria Solar (APISOLAR).

O objectivo específico do programa AQSpP é a criação de um mercado sustentável de energia solar, com ênfase na vertente "Garantia da Qualidade", de cerca de 150 000 m² de colectores por ano, que poderá conduzir a uma meta da ordem de 1 milhão de m² de colectores instalados e operacionais até 2010.

Para contribuir para a sustentabilidade do mercado e uma nova imagem do produto, os profissionais credenciados do sector só instalam equipamentos certificados e oferecem garantias de 6 anos, contra todos os defeitos de fabrico e de instalação, incluindo a manutenção dos equipamentos instalados durante o mesmo período.

AGRADECIMENTOS

O documento "POSHIP - O Potencial da Energia Solar no Calor de Processo Industrial", foi produzido e editado no âmbito do projecto POSHIP e resume os principais resultados desse estudo. Dada a sua limitada divulgação no quadro do referido projecto, optou-se por promover a sua mais vasta divulgação no âmbito da IP-AQSpP.

O documento que surge integrado nesta brochura é uma reimpressão parcial do anterior documento publicado no nº 48 da revista Energia Solar - Revista de Energias Renováveis & Ambiente, (edição do período Janeiro a Julho de 2001).

O projecto POSHIP foi financiado pela Comissão Europeia – Direcção-Geral de Energia e Transporte, através do Programa ENERGIA (5º Programa Quadro; Energia, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; projecto n.º NNE5-1999-0308).

A DGGE agradece às entidades participantes a autorização concedida para o uso deste documento, tendo em vista os objectivos da IP-AQSpP, assim como à SPES – Sociedade Portuguesa de Energia Solar, pela cedência do material gráfico.

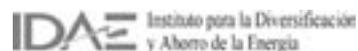
Participaram no projecto POSHIP as seguintes entidades:



AIGUASOL Enginyeria



Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI)



Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)



Institut Català d'Energia (ICAEN)



Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt e.V. (DLR)



Bayern Zentrum für angewandte Energieforschung e.V. (ZAE)



Sociedade Portuguesa de Energia Solar (SPES)

POSHIP - O Potencial da Energia Solar no Calor de Processo Industrial

POSHIP



ENERGIA SOLAR EM PROCESSOS INDUSTRIAIS

A actual tecnologia dos colectores solares já permite a obtenção de calor a temperaturas entre 80° C e 250° C com um excelente rendimento.

Em muitos processos industriais é necessário calor a estas temperaturas: produção de vapor, lavagem, secagem, destilação, pasteurização, etc..

A grande dimensão das instalações industriais permite a aplicação de

sistemas de baixo custo com uma boa rentabilidade económica.

Os campos de colectores solares podem ser integrados nas coberturas das naves industriais, ou instalados em terreno anexo disponível.

Nas páginas seguintes apresenta-se a síntese do estado de arte relativamente a este tema.



ÍNDICE

INTRODUÇÃO

1. POTENCIAL DE APLICAÇÕES.

(página 8)

1.1 Resultados do Estudo POSHIP

1.2 Fabrico de Cerveja e Malte

1.2.1 Malte

1.2.2 Cerveja

1.3 Indústria Alimentar

1.3.1 Vinho e outras Bebidas

1.3.2 Carne

1.3.3 Conservas Vegetais

1.3.4 Conservas de Peixe

1.3.5 Produtos de Nutrição Infantil

1.4 Indústria de Lacticínios

1.5 Indústria Têxtil

1.5.1 Acabamento

1.5.2 Fabrico de Lã

1.6 Indústria do Papel

1.6.1 Produção de Pasta do Papel

1.6.2 Produção do Papel

1.7 Indústria Química

1.8 Indústria Automóvel e Indústrias Auxiliares

1.8.1 Produção de Pneus

1.8.2 Pintura

1.9 Indústria dos Curtumes

1.10 Indústria Corticeira

2. COLECTORES SOLARES.

TECNOLOGIA DISPONÍVEL.

(página 14)

2.1 Introdução

2.2 Tipos de Colectores Solares

2.2.1 Colectores Solares Planos

2.2.2 Colectores de Vácuo

2.2.3 Colectores do Tipo CPC (Concentradores Estacionários)

2.2.4 Colectores Parabólicos

2.3 Concepção de Sistemas Solares Térmicos

2.3.1 Introdução

2.3.2 Sistemas Solares Industriais com Armazenamento de Energia

2.4 Avaliação Térmica e Económica dos Sistemas

2.5 Projectos Existentes

3. REGRAS BÁSICAS PARA AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE E PROJECTO DE SISTEMAS SOLARES.

(página 20)

3.1 Análise de Viabilidade – Critérios de Avaliação

3.1.1 Selecção dos Processo mais Adequados (interfaces) para Acoplamento do Sistema Solar

3.1.2 Influência da Temperatura de Funcionamento

3.1.3 Continuidade da Carga e Armazenamento

3.1.4 Zonas Climáticas na Península Ibérica

3.1.5 Resumo dos Critérios de Avaliação

3.2 Regras Básicas para o Projecto de Sistemas.

3.2.1 Campo de Colectores

3.2.2 Armazenamento

3.2.3 Acoplamento ao Sistema Convencional e Regulação

3.2.4 Sistemas Solares Térmicos e Cogeração

4. ESTUDO DE CASOS.

(página 26)

4.1 Cruzcampo Malthouse, Andaluzia (Espanha)

4.2 Maltibérica, Sociedade Produtora de Malte SA (Portugal)

4.3 Beiralã, Lanifícios SA (Portugal)

4.4 Bodegas Mas Martinet, Tarragona (Espanha)

5. INCENTIVOS E FINANCIAMENTO DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS INDUSTRIAIS.

(página 30)

5.1 Incentivos Públicos

5.1.1 Programas de Incentivos da Comunidade Europeia

5.1.2 Programas de Incentivos Nacionais

5.2 Financiamento de Sistemas Solares Térmicos Industriais

INTRODUÇÃO

Os sistemas industriais solares térmicos, como fonte de energia renovável, podem cobrir uma parte significativa das necessidades de calor e electricidade industrial. Estas necessidades em calor industrial 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 de 250°C. Por outro lado, a instalação de 2 000 000 m² de colectores solares térmicos para obtenção de calor de processo na indústria e para arrefecimento solar, como definido na "Campanha de Arranque" da Comissão Europeia, representaria uma poupança de energia primária de cerca de 2 000 000 MWh/ano. Portanto, a energia solar térmica na indústria pode ser uma importante contribuição para o fornecimento de energia, baseado em fontes de energia renováveis, de confiança, limpas, seguras e competitivas em termos de custo.

Os colectores solares para produção de água quente a baixas temperaturas, constituem uma tecnologia bem conhecida e desenvolvida. Com os colectores solares de alto rendimento recentemente desenvolvidos, pode ser produzido calor a temperaturas acima de 250°C com excelente rendimento. O calor a estas temperaturas é necessário em vários processos industriais, tais como geração de vapor, lavagem, secagem, destilação, pasteurização, etc.

Presentemente, estão em funcionamento na Europa, sistemas solares térmicos industriais com uma superfície total de colectores instalados de cerca de 10 000 m². Campos de colectores solares podem ser integrados em telhados de naves industriais ou instalados em áreas de terreno disponíveis.

A instalação industrial em larga escala conduz a custos de sistema muito baixos, de tal forma que os sistemas solares para obtenção de calor de processo industrial poderão ser economicamente competitivos, a curto prazo, face aos sistemas que usam combustíveis fósseis. Os custos dos investimentos actuais em sistemas solares térmicos variam entre 250 e 500 Euros/m² (correspondendo a 250 – 1 000 Euros/kW de potência térmica) conduzindo a custos médios energéticos, na Europa do Sul, que vão de 2 a 5 cêntimos/kWh para aplicações a baixas temperaturas e de 5 a 15 cêntimos/kWh para sistemas a média temperatura.

O custo actual do kWh de energia primária poupada em aplicações industriais é menor que em aplicações de água quente doméstica de pequena/média escala, podendo ainda ser reduzido, posteriormente. Reduções de custo poderão ser obtidas através da produção em larga escala, reduzindo os custos de operação e manutenção e melhorando o rendimento dos colectores e a concepção dos sistemas, especialmente para colectores solares de média temperatura. A médio prazo (por volta de 2010), são

esperadas reduções de custo que poderão atingir 50%.

O presente trabalho é um resumo dos resultados do projecto POSHIP, um estudo sobre o potencial do calor solar em processos industriais, financiado pela Comissão Europeia no âmbito do seu 5º Programa Quadro.

Neste projecto, foi analisado um grande número de indústrias portuguesas e espanholas. Foi realizado um conjunto de estudos de pré-viabilidade para sistemas solares a instalar nalgumas das unidades industriais analisadas que apresentavam condições favoráveis, os quais poderão dar origem a possíveis centrais térmicas solares e que no seu conjunto poderão ultrapassar os 25 000 m² de colectores instalados.

1. POTENCIAL DE APLICAÇÕES

A utilização de energia solar na indústria pode contribuir significativamente para o objectivo traçado pela UE de alcançar 12% da procura energética, com fontes de energia renováveis, até ao ano 2010. A potência total consumida em calor de processo na indústria a temperatura média (inferior a 150°C) para os 12 países que formaram a UE em 1994, foi estimada em 202.8 TWh (milhões de MWh). A procura actual de energia na UE para processos a média e média-alta temperatura (abaixo de 250°C) foi estimada em cerca 300 TWh, 7% da procura de energia final total.

Os processos com um consumo contínuo de calor durante as horas de sol e ao longo do ano são aqueles onde são encontradas as condições mais favoráveis para a aplicação da energia solar.

Estes processos podem ser, por exemplo, o aquecimento de banhos líquidos para lavagem, processos de secagem e tratamentos químicos, aquecimento de ar para secagem e produção de vapor a baixa pressão para usos vários.

Um outro grande leque de aplicações dos sistemas solares pode ser encontrado na produção de frio através de máquinas de absorção ou que usem outros ciclos térmicos, sendo a combinação entre o pico de consumo e a maior incidência de luz solar, uma das suas vantagens.

Algumas análises levadas a cabo nos EUA, Alemanha, Espanha, Grã-Bretanha, Portugal e Suíça dão uma visão geral representativa da procura típica de calor de processo acima dos 250°C. Apesar das diferenças particulares entre estes países, algumas conclusões gerais podem ser retiradas dessas análises:

- Em todos os estudos recentes confirma-se a tendência geral: cerca de 50% da procura de calor na indústria, corresponde a temperaturas na gama das baixas (<60°C), médias (60°C – 150°C) e médias-altas (150°C – 250°C).
- Uma percentagem bastante alta do consumo de calor no leque das médias e médias-altas temperaturas, encontra-se nas indústrias alimentar, de papel, têxtil e químicas. Mais de 50% das necessidades em calor de processo destas indús-

trias, está na gama de temperaturas que vai até aos 200°C.

- O maior consumo de calor está localizado nas indústrias de papel e alimentar. Um considerável consumo de calor está também situado nas indústrias têxteis e químicas.
- Na gama dos 100°C aos 200°C a maior parte do calor de processo é usado na indústria alimentar, têxtil e química para diversas aplicações tais como secagem, cozimento, limpeza, extracção e muitas outras.

Nas secções seguintes apresenta-se um resumo dos dados mais importantes sobre o consumo de calor nos sectores e processos industriais mais relevantes em Espanha e Portugal. É nestes países que o presente estudo está focalizado.

1.1 RESULTADOS DO ESTUDO POSHIP

No âmbito do projecto POSHIP, foi levada a cabo uma análise do consumo de calor para um grande número de indústrias em Espanha e Portugal.

Essa análise esteve focalizada na avaliação do consumo de calor pelos níveis de temperatura dos processos industriais. Baseado nos resultados desta análise, foi estudada a potencial implementação de sistemas solares térmicos.

O Quadro 1 dá uma visão geral das indústrias analisadas no projecto POSHIP. Mesmo que o número de empresas para as quais há dados disponíveis, seja demasiado escasso para tirar conclusões quantitativas exactas extrapolando-as a sectores industriais completos, os números obtidos podem ser considerados como uma primeira estimativa do potencial da energia solar térmica na indústria.

A Figura 1 mostra o consumo de calor nas indústrias analisadas – agrupadas em sectores industriais – e as fracções do consumo de calor a baixa e média temperatura. Em todos os sectores estudados (à excepção da indústria de papel), mais de 60% do consumo de calor é a temperaturas inferiores a 160°C, e em vários sectores quase todo o calor é consumido a temperaturas a menos de 60°C.

Sector Industrial	Andaluzia	Valência e Espanha Central	Catalunha	Portugal	Total
Alimentação			4	2	6
Vinho e Bebida	1	1	3		5
Papel		1	1	1	3
Têxtil	1	2	1	2	6
Curtumes				2	2
Malte	1		1	1	3
Cortiça				1	1
Automóvel			1		1
Total	3	4	11	9	27

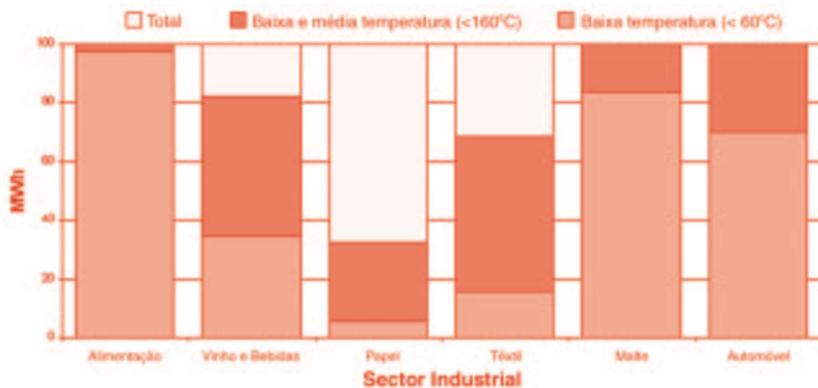


Figura 1 Distribuição das necessidades de calor por temperaturas. Indústrias estudadas no projecto POSHIP, agrupadas em sectores industriais.

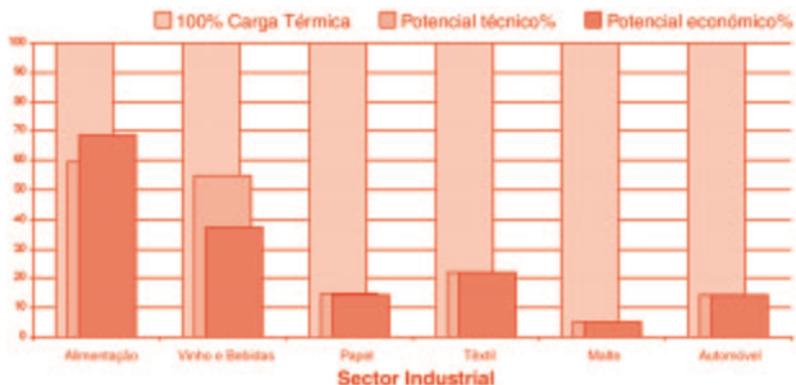


Figura 2 Potencial técnico e económico dos sistemas solares para obtenção de calor de processo na indústria (percentagem da procura total de calor). As empresas estudadas no POSHIP estão agrupadas por sectores.

Para todas as indústrias, foi analisada a aplicação potencial de sistemas térmicos solares.

Na Figura 2 mostra-se o potencial de aplicações, tecnicamente possíveis, para a energia solar térmica (dada pela área de telhado máxima disponível e por uma contribuição solar máxima de 60%). A mesma Figura mostra também o potencial de aplicações, economicamente viáveis (competitividade económica com os combustíveis fósseis, considerando uma potencial redução de custo de 50% para os sistemas solares a curto prazo e 25% de financiamento público).

Em muitas indústrias, o factor limitador é a área de telhado ou de solo disponível, de tal modo que não há diferença entre o potencial técnico e económico.

Usando os dados referentes às

necessidades globais de calor de processo na indústria espanhola e portuguesa das Figuras 1 e 2, a ordem de magnitude do potencial solar pode ser estimado por simples extrapolação proporcional para o conjunto total da Indústria (Quadro 2). O potencial total de aplicações tecnicamente possíveis para obtenção de calor de processo com sistemas solares em Espanha e Portugal pode ser estimado, em primeira aproximação, em 5.5 TWh ou 3.6% do consumo industrial total de calor.

A importância relativa de cada sector pode ser visualizada na Figura 3. A categoria "outros sectores" contém todas as indústrias que consomem calor sobretudo a altas temperaturas (metalurgia, cerâmica, indústria extractiva).

1.2 FABRICO DE CERVEJA E MALTE

O consumo total de energia final na preparação da cerveja e do malte em Espanha ronda os 1867 GWh, dos quais 1522 GWh são usados para produção de calor (81%).

A energia térmica necessária é normalmente obtida em caldeiras de vapor saturado, alimentadas a fuel-óleo ou gás natural.

Actualmente, os processos de fabrico de malte e cerveja podem ser integrados ou separados. 80% do malte é produzido em instalações independentes.

1.2.1 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 fluido auxiliar (vapor a baixa pressão saturado ou água sobreaquecida).

O consumo de calor a baixas tem-

	Espanha	Portugal	Península Ibérica
Consumo de Energia Final	855,119	209,340	1,064,459
Calor Total na Indústria (% do consumo de energia final)	128,268 15%	25,121 12%	153,389 14%
Baixa e Média Temperat. (% do calor total na indústria)	29,117 23%	7,285 29%	36,402 24%
Potencial do solar térmico	4,368	1,093	5,460



Figura 3 Distribui o das necessidades de calor na indústria de acordo com os diferentes sectores industriais. Dados para a Espanha (1999). Fonte: MINER, IDAE. Valores estimados para o consumo de calor a baixa e média temperatura.

peraturas no fabrico de malte   muito elevado. A contribui o solar obtida nos casos estudados   limitada pela área de telhado ou terreno disponível, a 7% e 20% respectivamente. As baixas temperaturas e o funcionamento em contínuo do processo de fabrico do malte, tornam esta uma aplica o ideal para a energia solar. Cerca de 14% do combustível total consumido   usado em sistemas de co-gera o, que por seu turno geram   volta de 41% da energia eléctrica requerida. Além do consumo de calor acima referido para a secagem do malte, há também necessidade de produ o de frio para a germina o, onde a temperatura deve ser mantida a 14-15 C. Este processo pode conduzir a mais de 20% do consumo total de calor e frio nas fábricas de cerveja na parte sul da Península Ibérica.

1.2.2 CERVEJA

No processo de fabrico de cerveja, a energia térmica necessária representa 77%. O Quadro 3 mostra a distribui o do consumo de calor para o fabrico de cerveja. As necessidades energéticas para a

prepara o de cerveja são as seguintes:

- Aquecimento sucessivo até   temperatura de fervura do licor de cerveja para a produ o do mosto, usando vapor saturado a baixa pressão e algumas vezes água sobre-aquecida ou mesmo combustão directa.
- Refrigera o do mosto, pr -aquecendo a água de alimenta o e usando sistemas de refrigera o convencionais.

Como tal,   possível usar energia térmica solar neste sector industrial para a produ o de calor (a 104-110 C) e frio usando sistemas de absor o.

1.3 INDÚSTRIA ALIMENTAR

Na indústria alimentar, são usados os seguintes combustíveis, na maioria para produ o ou aplica o directa de vapor: fuel-óleo (bastante usado), gás natural, gasóleo, propano e biomassa. Nos últimos anos, o fuel-óleo tem vindo a ser substituido parcialmente por gás natural.

Além do consumo de calor, em muitos sub-sectoros há a possibi-

lidade de cobrir parte das necessidades de frio através do arrefecimento solar.

1.3.1 VINHO E OUTRAS BEBIDAS

O mais importante consumo de calor neste sector, com bom potencial para o uso de energia solar,   a produ o de água quente para limpeza e desinfec o das garrafas. A temperatura da água quente necessária está na gama dos 70 aos 90 C. Em muitas indústrias do sector de bebidas, o volume produzido aumenta no verão, portanto existe uma correla o positiva entre a procura de calor e a disponibilidade de radia o solar. Na produ o de vinho, o arrefecimento das adegas, que algumas vezes se situam em locais remotos sem liga o   rede eléctrica,   outra aplica o potencial (ver o projecto descrito na sec o 4.4).

1.3.2 CARNE

O maior consumo de calor na produ o de produtos derivados da carne   na água quente para lavagem, fervura e limpeza. A temperatura da água quente necessária situa-se entre os 60 e os 100 C. Na produ o de carne enlatada, a maior procura de calor situa-se no processo de esteriliza o, que   levado a cabo em autoclaves usando o vapor como fonte de calor. Esta opera o   feita controlando o tempo vs. a curva de temperatura.

Prepara�o do mosto	40 a 50 %
Aquecimento local	< 5 %
Engarrafamento	25 a 35 %
Outros Fins	15 a 20 %

1.3.3 CONSERVAS VEGETAIS

Neste sector devem ser distinguidos dois processos principais: o pré-cozimento e a esterilização.

O vapor seco é normalmente usado 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 seu elevado consumo de combustível. A esterilização é executada usando vapor directamente pressurizado em autoclaves por alguns minutos, alcançando uma temperatura entre 110 e 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 e 100°C durante 2 a 6 minutos. Este processo consome a maior parte da energia térmica necessária.

1.3.4 CONSERVAS DE PEIXE

Há uma grande variedade de processos no sector de produção de peixe enlatado, necessitando de água ou vapor, quer para a limpeza e cozimento dos produtos quer para o 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.

Para a limpeza das latas, estas são introduzidas numa máquina de lavar de água quente pressurizada, de forma a eliminar os vestígios de óleo e sujidade.

A esterilização, por seu turno, é feita em autoclaves horizontais descontínuas, que usam vapor para aquecer os produtos acima da temperatura de esterilização. Este é o processo que consome a maior parte da energia térmica necessária. Durante o processo de cozimento na produção de farinha e óleo de peixe, o produto cortado às postas é colocado num cozedor-secador, onde o peixe ou sub-produto é aquecido a altas temperaturas (95 a 110°C) por meio de vapor durante 3 a 20 minutos de forma a eliminar a humidade.

1.3.5 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 levada a cabo em recipientes de vapor descontínuos usando água aquecida a 70-98°C através de vapor saturado.

A esterilização é o processo mais importante de consumo de calor na produção deste tipo de produtos. Assim que os frascos tenham sido selados herméticamente 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. Água e vapor são usados neste processo. O vapor é usado de modo a alcançar temperaturas entre 110 e 125°C.

1.4 INDÚSTRIA DE LACTICÍNIOS

As indústrias de lacticíneos são de grande interesse para a energia solar, visto que trabalham 7 dias por semana.

São particularmente interessantes os processos de desidratação (produção de leite em pó) devido ao seu elevado e constante consumo de calor. Na produção, tanto o leite como o soro de leite coagulado, são pulverizados em grandes torres com ar que é aquecido entre 60°C (proveniente da recuperação de calor) até aos 180°C. Estes processos operam mais de 8 000 horas/ano.

A pasteurização e a 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 a temperaturas entre 72 e 85°C e é também arrefecido até aos 4°C.

Além disso, a esterilização UHT (ultra alta temperatura) requer temperaturas entre os 130 e os 150°C para serem aplicadas durante 2 a 3 segundos. Isto é

conseguido directamente através de jactos de vapor ou, indirectamente, num permutador de calor.

1.5 INDÚSTRIA TÊXTIL

1.5.1 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 corresponde às operações de preparação e de tinturaria. As mais representativas são a lavagem, branqueamento, mercerização e tinturaria. O calor é usado no aquecimento de banhos líquidos acima de temperaturas dos 70 aos 90°C, e para secagem dos têxteis com ar quente e cilindros de secagem aquecidos por vapor.

O sistema mais amplamente utilizado para o aquecimento dos banhos é o uso de vapor, quer por injeção directa no fluido quer indirectamente fazendo circular o vapor por um tubo submerso dentro do banho.

Em muitas destas indústrias, a produção é contínua e o consumo de calor é bastante elevado. Existem muito boas condições para o uso de energia solar no aquecimento dos banhos.

O gás natural tem tomado uma posição predominante entre os combustíveis usados no acabamento dos produtos têxteis.

1.5.2 PRODUÇÃO DE LÃ

No armazenamento, bombagem e pulverização do velo, são neces-

sárias temperaturas entre 40 e 130°C. Neste sector, são usadas variadas técnicas na recuperação do calor do efluente.

1.6 INDÚSTRIA DE PAPEL

1.6.1 PRODUÇÃO DE PASTA DE PAPEL

A indústria de papel (pasta de papel, papel e impressão) é um dos sectores industriais mais consumidor de energia.

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 10kg/cm² de pressão, durante o processo de lixiviação.

Os combustíveis mais amplamente utilizados são fuel-óleo, fuel-óleo/estilha, estilha e gás natural. São frequentemente utilizados sistemas de co-geração com turbinas a vapor.

1.6.2 PRODUÇÃO DE PAPEL

Mais de 90% do consumo de calor para a produção de papel é usada 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. As relativamente altas temperaturas requeridas nos cilindros de secagem, podem ser obtidas através de colectores solares cilíndrico-parabólicos. As duas indústrias de papel incluídas na análise

do POSHIP mostraram grandes consumos de calor, entre 28 000 e 75 000 MWh.

1.7 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.).

1.8 INDÚSTRIA AUTOMÓVEL E INDÚSTRIAS AUXILIARES

1.8.1 PRODUÇÃO DE PNEUS

É possível estimar a seguinte distribuição do consumo de energia neste sector: electricidade 38 a 45%, combustíveis (sobretudo gás natural) 62 a 55%.

O consumo de calor é principalmente para a produção de vapor. O vapor é usado em processos característicos de tratamento da borracha (85 a 90%) e o restante do consumo de calor é usado para a climatização dos edifícios (10-15%).

1.8.2 PINTURA

Na secção de pintura da indústria automóvel, são usados banhos líquidos a temperaturas bastante baixas (35 a 55°C) para limpeza e desengorduramento.

1.9 INDÚSTRIA DOS CURTUMES

A energia neste sector representa entre 4 e 5% dos custos de produção. No custo total, a energia

eléctrica representa 60 a 65% e a energia térmica 40 a 35%.

O consumo total de energia é de cerca de 700 GWh/ano, distribuído da seguinte forma: energia térmica: 550 GWh; energia eléctrica: 153 GWh/ano.

O combustível mais utilizado é o fuel-óleo (80% em 1994), seguido do gás natural (18%), gasóleo, propano, resíduos florestais e outros. Os processos de consumo de calor são processos húmidos (água quente a temperaturas entre os 30 e 60°C) e processos de secagem (aquecimento de ar).

1.10 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, de forma a evitar o desenvolvimento de micro-organismos, é levada a cabo aquecendo o ar a 40-55°C, quer directa ou indirectamente. O mesmo procedimento é aplicado à produção de elementos amortecedores e processamento de compósitos. 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.

2. COLECTORES SOLARES TECNOLOGIA DISPONÍVEL

2.1 INTRODUÇÃO

Os processos industriais necessitam habitualmente de energia numa gama de temperaturas, desde a temperatura ambiente até 250°C. Podem, assim, utilizar-se sistemas solares térmicos para fornecer energia nesta gama de temperaturas.

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 de aquecimento convencional do processo.

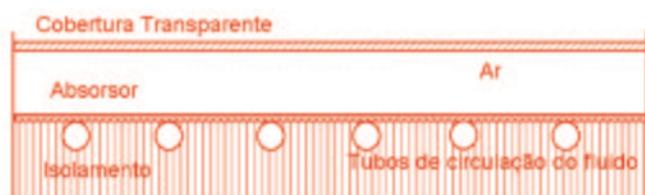
Na secção 2.2, apresenta-se uma breve descrição técnica das diferentes tecnologias de colectores solares e dos diferentes tipos de sistemas solares existentes actualmente. Na secção 2.3, faz-se uma avaliação do comportamento térmico e uma análise económica dos sistemas solares térmicos activos para produção de calor industrial. A Secção 2.4 apresenta alguns dos sistemas deste tipo já existentes. O componente principal de um sistema solar térmico é o colector solar. O colector solar mais simples é formado por uma superfície preta e por um fluido que circula em contacto com esta de modo a extrair a energia solar absorvida e a utilizá-la para um determinado fim.

Claro que as perdas de um absorvedor deste tipo são grandes sendo necessário proceder de modo a reduzi-las, colocando o absorvedor dentro de uma caixa com isolamento por baixo e uma cobertura transparente por cima. Esta solução é conhecida como sendo o colector plano com uma cobertura.

SECTOR	PROCESSOS	NÍVEL DE TEMP. (°C)
Cerveja e Malte	Fervura do mosto	100
	Limpeza do vasilhame	60
	Arrefecimento	90
	Secagem	60
Lactíceos	Pasteurização	62 – 85
	Esterilização	130 – 150
	Secagem	n. d.
Alimentos em Conserva	Esterilização	110 – 125
	Pasteurização	< 80
	Cozimento	70 – 98
	Escaldamento	95 – 100
	Branqueamento	< 90
Carne	Lavagem, esterilização, limpeza	< 90
	Cozimento	90 – 100
Vinho e Bebidas	Limpeza de vasilhame	60 – 90
	Arrefecimento	85 (*)
Indústria Têxtil (incl. 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. Secagem	vapor a 165 – 180
Indústria da Cortiça	Secagem, cozimento da cortiça, outros	40 – 155

(*) Arrefecimento em máquina de absorção de efeito simples.

Figura 4 Secção transversal de um colector solar plano.



A selecção do tipo de colector mais adequado depende principalmente da gama de temperaturas de funcionamento do processo industrial e também das condições climáticas do local.

O rendimento de um colector solar diminui com o aumento da temperatura de funcionamento ou com a redução da radiação incidente. Na Figura 5 representa-se gráficamente o rendimento instantâneo de diferentes tipos de colectores. (ver Caixa 1).

Para aplicações em que são necessárias temperaturas acima de 80 °C, não pode ser utilizado o colector solar plano normal uma vez que terá rendimentos instantâneos inferiores a 40%.

No entanto, foram, desenvolvidas outras tecnologias para colectores solares que apresentam rendimento superior para as temperaturas mais elevadas. Os colectores a utilizar para a produção de calor industrial podem dividir-se em dois grandes tipos:

Colectores Estacionários

Estes colectores não utilizam qualquer mecanismo de acompanhamento do movimento aparente do Sol. Podem produzir calor para temperaturas baixas e médias até 150°C. Pertencem a este grupo os colectores planos, os colectores de tubos de vácuo e os concentradores do tipo CPC.

Colectores Parabólicos

Este são colectores com um eixo de rotação para acompanhamento do movimento aparente do Sol e podem ser utilizados para produção de calor industrial ou em centrais térmicas para a produção de energia eléctrica. Permitem obter temperaturas até 300°C com um bom rendimento.

A descrição dos tipos de colectores mais importantes é feita na secção seguinte.

2.2 TIPOS DE COLECTORES SOLARES

2.2.1 COLECTORES SOLARES PLANOS

Como foi já mencionado, o colector solar plano (CSP) é o dispositivo mais simples para conversão da energia solar em calor.

O fluido que circula no absorvedor é normalmente água (frequentemente com aditivos para protecção de congelamento). No entanto, podem utilizar-se outros fluidos dependendo principalmente das temperaturas de funcionamento.

Os colectores incorporam diferentes tecnologias de modo a reduzir as perdas térmicas.

Absorvedores selectivos vs não selectivos. Num colector solar um dos

três mecanismos de perdas é a perda por radiação. Estas podem ser reduzidas recorrendo à utilização de revestimentos selectivos no absorvedor. Estes revestimentos são produzidos de modo a terem um coeficiente de absorção o mais elevado possível nos c.d.o. correspondentes à radiação visível e a terem um coeficiente de emissão o mais baixo possível nos c.d.o. do IV (Infra-vermelho) que corresponde às temperaturas de funcionamento do colector. Os colectores que utilizam este tipo de revestimento são designados por selectivos e todos os outros que têm apenas uma pintura preta, são designados por não-selectivos.

Cobertura simples/Dupla cobertura, barreiras convectivas. Outro dos mecanismos de perdas é a convecção. Uma forma de reduzir a convecção é a utilização de uma cobertura transparente, normalmente uma película fina transparente colocada entre a cobertura de vidro e o absorvedor. O melhor material para este fim é o Teflon, que tem transmissividade elevada e boa resistência térmica. Outra possibilidade é a utilização de materiais transparentes isolantes (TIM) que permitem a construção de colectores planos estacionários com rendimentos elevados.

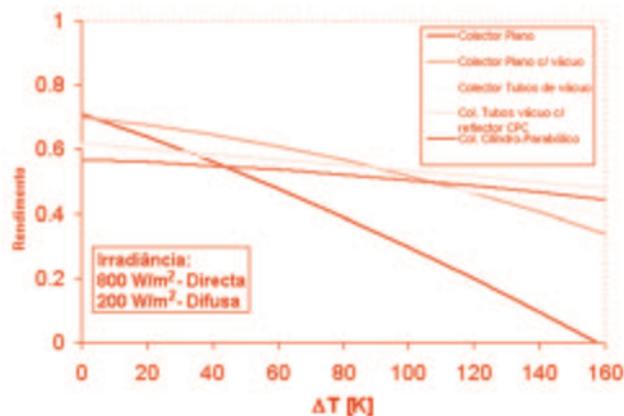


Figura 5 Rendimento instantâneo para diferentes tipos de colectores.

O rendimento instantâneo (η) de um colector solar é dado pela razão entre a potência fornecida pelo fluido de transferência e a radiação solar incidente na abertura do colector. O rendimento é habitualmente representado em função de $\frac{\Delta T}{G_T}$ em que:

ΔT (K) é a diferença entre a temperatura média do fluido de transferência e a temperatura ambiente.

G_T (W/m²) é a radiação solar incidente no colector.

η é assim representado pela equação:

$$\eta = c_0 - (c_1 + c_2 \Delta T) * \frac{\Delta T}{G_T}$$

em que:

c_0 é o rendimento óptico (que é função da transmissividade da cobertura, do coeficiente de absorção e da reflectividade dos espelhos no caso de colectores concentradores).

c_1 , c_2 são os coeficientes de perdas térmicas, linear e quadrático; parâmetros que caracterizam as perdas do colector para a atmosfera (incluem perdas por convecção, condução e radiação).

c_1 (W/K m²); c_2 (W/K²m²).

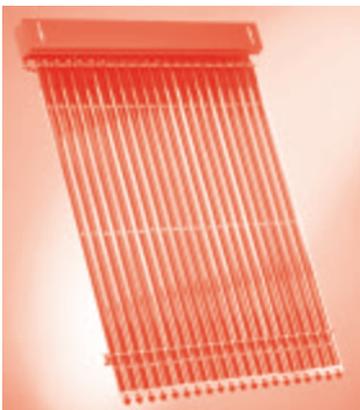


Figura 6 Colector de tubos de vácuo (CTV).

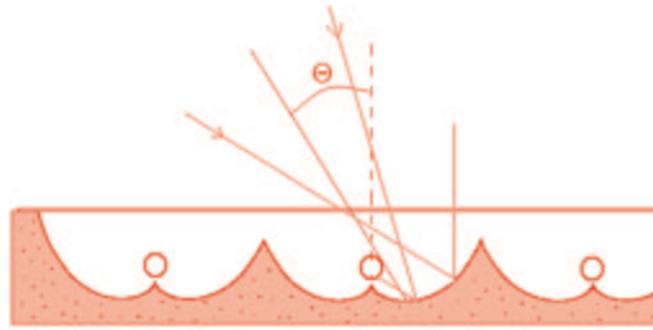


Figura 7 Representação esquemática de um colector do tipo CPC com absorvitor tubular.

2.2.2 COLECTORES DE VÁCUO

Estes dispositivos permitem a eliminação das perdas por condução e convecção através da remoção do ar em torno do absorvitor, de onde resulta o nome de colectores com vácuo. (Figura 6).

2.2.3 COLECTORES DO TIPO CPC (concentradores estacionários)

Outra forma de reduzir as perdas de um colector solar térmico é a redução da área de absorção em comparação com a área de captação, atendendo a que as perdas térmicas são proporcionais à área de absorvitor e não à área de captação (abertura). A concentração pode obter-se utilizando reflectores que forcem a radiação, incidente com um ângulo inferior a um determinado ângulo na abertura do colector, a incidir no absorvitor após uma ou mais reflexões.

A concentração da radiação solar pode obter-se aplicando os princípios da óptica não focante em que a relação entre a concentração e o ângulo de abertura acima mencionado (designado por ângulo de aceitação, θ) é a máxima permitida pelo princípios da física e é, para uma geometria bi-dimensional:

$$C_{\max} = \frac{1}{\sin(\theta)}$$

Para um colector sempre estacionário, θ deve ser elevado, i.e., a concentração deve ser baixa. Pode demonstrar-se que, para um concentrador ideal, o ângulo de aceitação deve ser $\theta \geq 30^\circ$ sendo, em contrapartida a concentração igual ou inferior a 2.

Estes colectores são conhecidos como concentradores do tipo CPC (*Compound Parabolic Concentrator*) (Figura 7) uma vez que a primeira configuração encontrada para este tipo de colectores, isto é, verificando a relação acima indicada, era uma combinação de parábolas. Os espelhos são produzidos com a forma adequada e reflectem a radiação para o absorvitor.

Os grandes ângulos de aceitação destes dispositivos permitem-lhes captar radiação directa e difusa tal como acontece com os colectores planos. Este é um aspecto interessante deste tipo de concentradores quando comparados com os concentradores que necessitam de seguir o movimento aparente do Sol.

2.2.4 COLECTORES PARABÓLICOS

Os colectores com mecanismos de seguimento do Sol são classificados de acordo com a forma como seguem o movimento aparente do Sol:



- Os colectores com um eixo de rotação e foco linear podem seguir o Sol apenas acompanhando a altura do Sol acima do horizonte.
- Nos colectores com dois eixos de rotação e foco pontual (pratos parabólicos, centrais de torre com heliostatos e fornos solares) os raios solares estão sempre perpendiculares à superfície do colector. Estes colectores são habitualmente utilizados em aplicações que requerem temperaturas superiores a 400°C.

O colector com um eixo de rotação mais característico é o colector designado por cilindro-parabólico (CCP) (Figura 8). Os colectores cilindro-parabólicos constituem a tecnologia mais madura para produzir calor até 400°C para produção térmica de energia eléctrica ou para produção de calor industrial. Os reflectores com forma parabólica concentram a radiação solar directa no absorvedor colocado no foco linear da parábola. O absorvedor é constituído por um tubo com uma área habitualmente 25 a 35 vezes inferior à abertura. O fluido a aquecer circula através deste tubo. Os fluidos utilizados são água pressurizada ou óleo térmico.

Os colectores cilindro-parabólicos têm um coeficiente de perdas térmicas muito baixo e estão portanto bem adaptados para aplicações a temperaturas elevadas. A captação de radiação solar difusa por estes colectores, é limitada. No entanto, devido ao mecanismo que lhes permite o acompanhamento aparente do movimento do Sol, captam radiação directa sempre com incidência normal, o que não acontece com os colectores estacionários.

Nos anos 90, nos EUA foram instalados diversos sistemas com áreas entre 500 m² e 2 500 m² que apresentam um funcionamento regular e fiável ao contrário de casos anteriores. Nos últimos anos, várias empresas iniciaram a venda de colectores cilindro-parabólicos para uma gama de temperaturas entre 50°C – 300°C. Dois projectos de arrefecimento solar com colectores cilindro-parabólicos, em Barcelona (Espanha) e em Alanya (Turquia), iniciam o seu funcionamento em 2001.

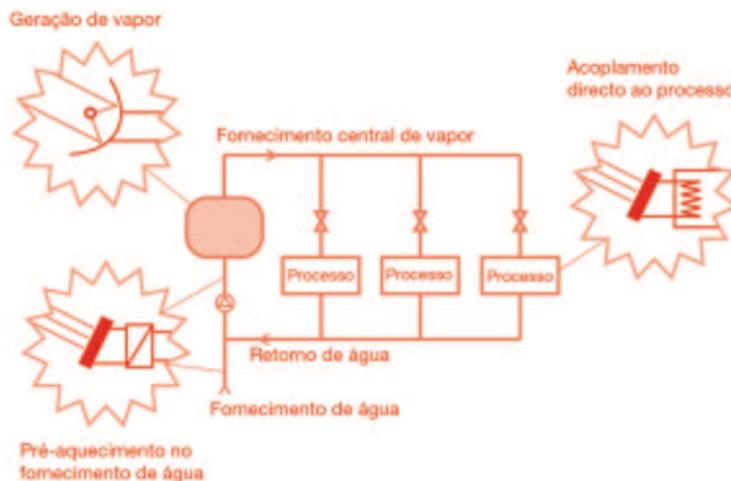


Figura 9 Possibilidades para o acoplamento do sistema solar com o sistema de aquecimento convencional.

2.3 CONCEPÇÃO DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS

2.3.1 INTRODUÇÃO

Uma instalação solar industrial é formada por um campo de colectores solares nos quais circula um fluido, água ou água com glycol (circuito primário). A circulação do fluido é controlada por um dispositivo dependendo da intensidade da radiação solar incidente nos colectores. Um permutador permite a transferência de energia térmica, resultante da conversão da radiação solar nos colectores, que pode ser utilizada para aquecer líquidos, ar ou produzir vapor. O acoplamento do sistema solar ao sistema de aquecimento convencional pode ser feito em diferentes pontos: acoplamento directo a um processo, pré-aquecimento de água ou geração de vapor no sistema central. (Figura 9).

Em muitas indústrias as necessidades de aquecimento são tão elevadas que não há necessidade de armazenamento da energia cap-

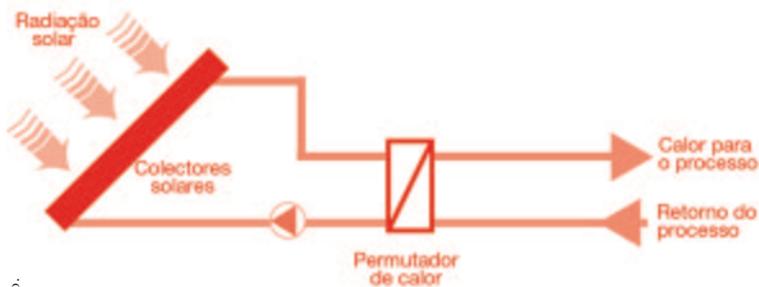


Figura 10 Sistema solar sem armazenamento.

tada pelo sistema solar. Isto permite instalar sistemas solares de muito baixo custo uma vez que são eliminados os custos do armazenamento de energia.

O caso mais simples é aquele que corresponde a um sistema solar fornecendo energia a um processo industrial em funcionamento contínuo e com uma carga constante (ou pelo menos durante grande número de horas do período de funcionamento) e superior aos ganhos solares (processo funcionando pelo menos 12 horas por dia no período diurno).

Nestes casos, o sistema solar pode ser projectado sem armazenamento. O calor solar produzido alimenta directamente o processo ou o sistema de aquecimento convencional. Na Figura 10 pode ver-se uma representação esquemática de um sistema deste tipo.

O sistema representado é um sistema indirecto, uma vez que a utilização de fluidos especiais, para protecção do colector e dos materiais que o constituem contra o congelamento e a corrosão, impõe a utilização de um permutador para separar o circuito dos colectores (circuito primário) do circuito de consumo.

2.3.2 SISTEMAS SOLARES INDUSTRIAIS COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Se, como é frequentemente comum, o processo industrial funciona só 6 ou 5 dias na semana, i. é, não funciona no fim de semana, o sistema pode ser projectado considerando o armazenamento da energia captada durante o fim de semana. Esta será utilizada durante os restantes dias da semana.

O armazenamento será também necessário se se verificarem grandes flutuações nas necessidades de energia para o processo industrial durante os períodos de funcionamento (picos de carga, pequenos intervalos de paragem do processo) A representação esquemática de um sistema solar térmico com armazenamento é feita na Figura 11.



Figura 11 Sistema solar com armazenamento.

2.4 AVALIAÇÃO TÉRMICA E ECONÓMICA DOS SISTEMAS

Os sistemas solares são utilizados nos processos industriais para permitir a poupança de energia convencional. É possível determinar a energia poupada recorrendo a métodos de cálculo adequados.

Para exemplificação considerou-se um sistema sem armazenamento como o descrito em 2.3.1. Este sistema é constituído por um campo de colectores (com uma área bruta de 1000 m²) e pelos dispositivos necessários à circulação e controlo do fluido de transferência nos colectores. A energia média anual fornecida, foi determinada por um método de simulação dinâmica, com o programa TRNSYS.

Nos casos em que se consideraram colectores estacionários, estes estavam orientados na direcção Sul e com uma inclinação de aproximadamente 30° que dependia da latitude do local de instalação.

A Figura 12 mostra a energia média anual fornecida para três locais e para cinco tipos de colec-

tores já mencionados. A energia fornecida é representada em função da temperatura de processo, i.é, da temperatura do fluido na saída do colector.

É possível observar que a energia fornecida diminui quando a temperatura aumenta. Os colectores planos comuns (CSP) apresentam, para todos os locais, um fraco comportamento para temperaturas superiores a 60°C. Estes colectores são, no entanto, a escolha de mais baixo custo para as aplicações industriais com temperaturas de processo baixas.

Para temperaturas acima de 100°C os colectores mais interessantes são os de tubos de vácuo (CTV) e os colectores cilindro-parabólicos (CCP). Para temperaturas médias abaixo de 100°C, podem utilizar-se CPCs sem vácuo ou colectores planos com vácuo (CPV).

Deve referir-se que estes valores são válidos considerando que não há desperdício de energia fornecida pelo sistema solar. Isto significa que toda a energia produzida é utilizada directamente no processo e sem necessidade de armazenamento. O comportamento térmico de sistemas reais será ligeiramente inferior a este, dependendo da variação temporal da carga.

Com base nestes resultados foi feita uma avaliação económica dos sistemas, considerando os custos estimados, por área de colectores instalada, indicados no Quadro 5. O custo dos sistemas foi estimado com base nos preços dos colectores solares indicados pelos fabricantes. Considerou-se que o custo

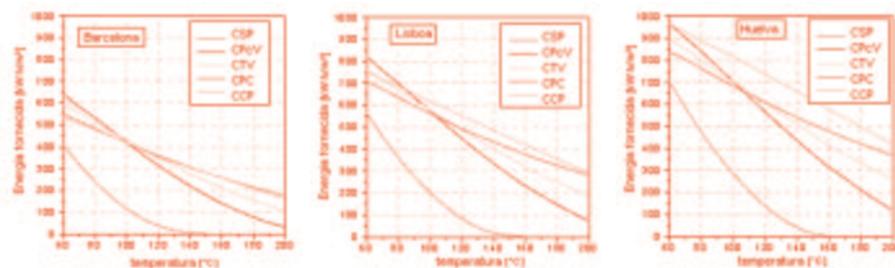


Figura 12 Energia média anual fornecida para 3 locais, em função da temperatura do processo. Todos os valores são referidos à área bruta do colector.

do campo de colectores (incluindo montagem, fundações, estrutura de apoio e tubagens no campo de colectores) corresponde a 80% dos custos totais. O adicional de 20% corresponde à tubagem até ao processo, permutadores de calor, bombas, dispositivos de controlo e projecto. Estes custos são válidos para grandes áreas de colectores ($\geq 1000 \text{ m}^2$).

Na Figura 13 estão representados os custos de energia em Euro/kWh às temperaturas de processo de 60°C, 100°C, 150°C e 200°C, para os mesmos locais da Figura 12. Os custos de energia foram calculados considerando os custos de investimento do campo de colectores como indicados no Quadro 5. Considera-se uma anuidade de 10.5% (15 anos de tempo de vida, 6% de taxa de juro). Considera-se ainda que os custos de manutenção são 2.5 Euro/m² ano para colectores estacionários e sobem até 5 Euro/m² ano para colectores cilindro-parabólicos.

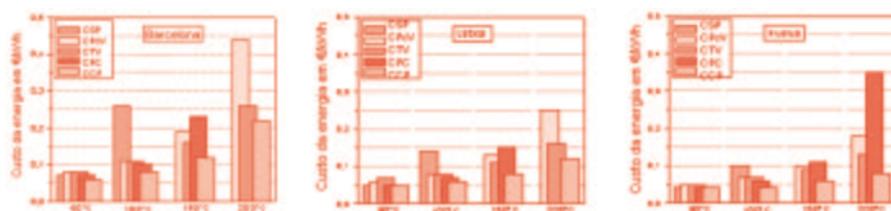
Os custos da energia fornecida pelo sistema solar, no caso das

Tipo de Colector	Custo do investimento [Euro/m ²]
Plano	275
CPC	300
Cilindro-Parabólico	312.5
Plano c/ Vácuo	400
Tubos de vácuo	437.5
Tubos de vácuo c/ CPC	437.5

soluções mais económicas para cada gama de temperaturas, variam entre 0.04 Euro/kWh e 0.22 Euro/kWh dependendo principalmente do clima e das temperaturas de processo. As condições climáticas têm que ser cuidadosamente analisadas na fase de projecto.

As aplicações para temperaturas inferiores a 150°C fornecem energia a custos significativamente mais baixos do que as aplicações a temperaturas mais elevadas. Nos climas do centro e norte da Península Ibérica (por exemplo, Barcelona, Lisboa ou Madrid) os custos podem ser inferiores a 0.08 Euro/kWh para temperaturas de 100°C. Nos climas do Sul de Portugal e Espanha é possível fornecer energia a custos inferiores a 0.04 Euro/m².

Figura 13 Custo da energia para 3 sistemas a diferentes temperaturas de processo. Só foram considerados custos de energia inferiores 0.5 Euro/kWh.



2.5 PROJECTOS EXISTENTES

A partir dos anos 80, foram instalados alguns sistemas solares térmicos para aplicações industriais, cuja listagem é feita nos Quadros 6 e 7; alguns deles encontram-se, no entanto, já fora de funcionamento. Na Figura 14 podem ver-se fotografias de dois dos sistemas solares térmicos para aplicações industriais que ainda estão em funcionamento.

3. REGRAS BÁSICAS PARA AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE E PROJECTO DE SISTEMAS SOLARES

Nas secções seguintes são dadas algumas regras básicas para avaliação da viabilidade e para o projecto de sistemas solares térmicos para aquecimento industrial. No Quadro 9 é apresentado um resumo dos critérios de avaliação de viabilidade.

3.1 ANÁLISE DE VIABILIDADE – CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Nesta secção são considerados os aspectos mais importantes a ter em consideração na avaliação de viabi-

lidade dos sistemas solares térmicos para produção de calor industrial.

3.1.1 SELECÇÃO DOS PROCESSOS (INTERFACES) MAIS ADEQUADOS PARA ACOPLAMENTO DO SISTEMA SOLAR.

Um primeiro passo no estudo de viabilidade é a selecção da interface mais adequada para acoplamento do sistema solar ao sistema de aquecimento já existente.

Os critérios de selecção são os seguintes:

- Baixo nível de temperatura. Os sistemas solares para produção de energia a temperaturas superiores a 150°C são tecnicamente possíveis mas são de mais difícil viabilização económica. São preferíveis as soluções de aquecimento a baixa temperatura (<60°C).
- Distribuição temporal do consumo. O consumo contínuo é preferível (caso contrário existe necessidade de armazenamento)
- Possibilidade técnica de introdução de um permutador de calor entre o sistema solar e o circuito de aquecimento já existente.

Sempre que possível, é preferível o acoplamento directo do sistema solar a um ou mais processos indus-

triais, uma vez que as temperaturas de funcionamento são, neste caso, mais baixas (ver secção 2.3).

O acoplamento directo a um processo pode ser feito, essencialmente, de duas formas:

O (pré-)aquecimento de um fluido em circulação (e.g. água de alimentação do processo, retorno de um circuito fechado, pré-aquecimento de ar, ...). Esta possibilidade existe se a circulação do fluido é contínua ou periódica (e.g. renovação periódica de água de banhos). Se a circulação é descontínua é necessário um depósito de armazenamento.

Aquecimento de banhos líquidos ou câmaras de aquecimento (secagem...). Neste caso o consumo de energia pode dividir-se em consumo para aquecimento até à temperatura de início do processo – que ocorre de forma concentrada no início do dia ou que ocorre periodicamente depois de cada renovação do conteúdo de fluido – e no consumo para manutenção de temperatura durante o processo, que corresponde de um modo geral a um consumo constante durante o período de funcionamento.

Os permutadores de calor existentes para aquecimento dos banhos utilizam vapor a temperaturas demasiado elevadas para um sistema solar. A introdução de um permutador de calor adicional nos banhos nem sempre é possível, devido à falta de espaço ou a outras restrições técnicas. Nessas situações pode utilizar-se um permutador de calor externo em associação com uma bomba circuladora.



Figura 14 Instalações solares para produção de calor industrial que se encontram em funcionamento: (esquerda) Fábrica da Knorr, Portugal; (direita) Produção de água quente com colectores Cilindro-parabólicos, Califórnia, EUA.

Informação Geral			Informação do Processo		Informação do Sistema Solar	
Acrónimo	Empresa (utilizador do sistema)	Local	Ano início de funcionamento	Processo	Área de colectores m ²	Temperatura (à saída campo colectores) °C
ESPAÑA						
LACTARIA CASTELLANA	Lactaria Española	Alcorcón (Madrid)	1981	Processamento de vapor para esterilização	600	180 / 220
CARCESA	Carnes y Conservas Españolas S.A.	Merida (Badajoz)	1982 definitivamente 1985	Esterilização de carnes (vapor para apoio)	1024	180
ENUSA	Empresa Nacional de Uranio S.A.	Juzbado (Salamanca)	1985	Produção de frio com máquina de absorção	1080	180
BENIDORM	Hotel	Benidrom	1992	Aquecimento de água, arrefecimento, aquecimento	450	90
ARINAGA		Gran Canaria		Dessalinização de água	360	120
ACUINOVA	Acuinova Andalucía S.A.	Huelva	1996	Produção de peixe	1316	
CARTE	Autoclavados Carte S.A.	Huelva	1994	Lavagem de cisternas, carros, etc	138	
TE-PE	TE-PE S.A.	Sevilla	1997	Azeitonas, pre-aquecimento de água	260	
PORTUGAL						
UCAL, AGUA DE MOURA	UCAL	Águas de Moura	1985	Produção de lacticíneos	1120	280
VIALONGA	Sociedade Central de cervejas	Vialonga	1985	Produção de cerveja	192.8	65
KNORR	Knorr Best Foods S.A.	Quinta do Mendanha, Carregado	1987	Água quente para lavagem de utensílios	440	
RESTO DA EUROPA						
PISTICCI		Pisticci (Italy)		Indústria química	1728	280
SWISS: HATTWILL		Hattwill (Swiss)	1988	Indústria alimentar: fábrica de enchidos (secagem)	400	90
SWISS: HALLAU	Vineyard	Swiss: Hallau	1983	Indústria alimentar: pasteurização	500	140
TARGASSONNE		Targassonne (France)			770	280
ACHAIA CLAUS	Achaia Claus, S.A.	Patras (Greece)	1993	Produtor de vinho: lavagem de garrafas	308	
ALPINO	Alpino S.A.	Thessaloniki (Greece)	2000	Lacticíneos; pre-aquecimento de água para produção de vapor	576	
KASTRINO-GIANNIS	Kastrinogiannis S.A.	Heraklion (Greece)	1993	Tintagem e acabamentos na indústria textil; pre-aquecimento de água para caldeira a vapor	180	
KOZANI	Kozani Greenhouses S.A.	Kozani (Greece)	1994	Estufas; Aquecimento ambiente	80	
MANDREKAS	Mandrekas S.A.	Korinth (Greece)	1993	Lacticíneos; Produção de iogurte	170	
MEVGAL	Mevgal S.A.	Thessaloniki (Greece)	2000	Dairy; preheating of water for steam boiler; washing machine	727	
SARANTIS	Sarantis S.A.	Oinofita (Greece)	1998	Armazem para cosméticos; máquina de absorção	2700	
TRIPOU-KATSOURI	Tripou-Katsouri S.A.	Athens (Greece)	1993	Curtumes; pré-aquecimento de água para o gerador de vapor	308	
DRESDEN	Stadtreinigung Dresden GmbH	Dresden (Germany)	1998		151	
E.U.A.						
ACDF	Adams County Detention Facility	Brighton (Colorado)			725	
FAIRFAX		Alabama		Secagem	900	
MACON		Georgia		Teixteis	10000	
PASADENA		California	1980	Lavandaria	1000	
SAN ANTONIO		Texas		Produção de malte	1150	
CHANDLER		Arizona	Dec-83	Água de processo	5620	260
TEHACHAPI	California Correctional Institution	Tehachapi (California)			2676	150

Quadro 6 Sistemas solares industriais em Espanha e Portugal.

Quadro 7 Sistemas solares industriais noutros países (restante Europa e EUA).

Se os banhos de processo estão bem isolados podem ser utilizados como depósitos solares. Por exemplo, manter a temperatura dos mesmos com a energia fornecida pelo sistema solar durante o fim-de-semana (processo parado) pode reduzir os consumos de energia para o arranque na manhã de segunda-feira.

Em quase todas as indústrias é possível o acoplamento do sistema solar ao sistema de aquecimento convencional já existente. Isto pode ser feito, quer por pré-aquecimento da água de alimentação para as caldeiras (neste caso o nível de temperatura aumenta com o aumento da recuperação de condensados) ou utilizando um sistema solar que produza vapor. Este último só é recomendado para indústrias que utilizem vapor a baixa pressão (2 – 3 bar) e em climas com elevados níveis de radiação. As linhas convencionais de vapor (7 – 8 bar) funcionam a temperaturas demasiado elevadas para um funcionamento económico dos sistemas solares.

3.1.2 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE FUNCIONAMENTO.

No capítulo 2 mostrou-se a influência da temperatura de funcionamento na energia solar térmica fornecida por um sistema solar.

Pode afirmar-se, como regra básica que os sistemas solares só são recomendados para temperaturas acima dos 100°C em regiões com elevados níveis de radiação (regiões do Sul e Centro da Penín-

sula Ibérica). Nas regiões do Norte devem considerar-se apenas sistemas para aplicações a baixa temperatura.

Deve ter-se em conta que a temperatura de funcionamento do sistema solar é sempre um pouco superior à necessária ao processo, devido a perdas na tubagem e à queda de temperatura nos permutadores. Em sistemas com boa concepção esta diferença de temperatura pode ser inferior a 10K.

No caso de pré-aquecimento de um fluido ou de um banho, a temperatura média de funcionamento do sistema solar é inferior à temperatura final necessária ao processo. Quanto menor for a fracção solar (percentagem do consumo coberto pelo sistema solar), menor é a temperatura média de funcionamento. Para fracções solares muito baixas, a temperatura média de funcionamento é próxima da temperatura do fluido na entrada ou retorno.

3.1.3 CONTINUIDADE DA CARGA E ARMAZENAMENTO

Os sistemas solares devem ser concebidos de modo a que se veri-

fique um consumo de 100% da energia por eles fornecida (de modo a não de observarem desperdícios de energia fornecida pelo sistema solar), o que significa que a carga deve ser sempre superior a um valor máximo de energia fornecida pelo sistema solar.

Caso contrário, não havendo armazenamento, a energia útil fornecida pelo sistema solar é inferior à que potencialmente poderia fornecer nas condições acima indicadas.

Pequenos desajustes do consumo (perfil de consumo diário) podem ser amortecidos por um pequeno armazenamento (até 25 l por unidade de área de colectores instalada) o que não tem um efeito significativo de aumento do custo do sistema (Figura 15).

O armazenamento de energia em paragens de um ou mais dias (fim-de-semana, férias) é mais dispendioso. Para um armazenamento equivalente a um fim de semana de dois dias, são necessários 250 litros por m² de colector. O armazenamento de fim-de-semana não é recomendado para pequenos sistemas.

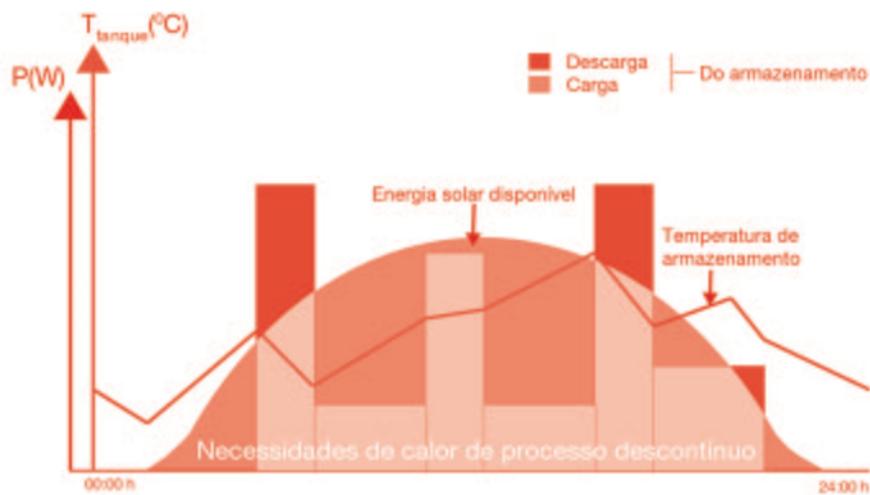


Figura 15 Pequenos desajustes entre o consumo e a energia solar disponível.



Figura 16 Radiação solar global incidente na superfície horizontal (H) na Península Ibérica. Fonte: Meteoronorm.

Pode fazer-se uma estimativa simplificada da energia média anual fornecida por um sistema real sem armazenamento com base na expressão:

$$Q_{\text{real}} = Q_{\text{ideal}} * n_{\text{dias}} / 365$$

Em que Q_{ideal} são os ganhos solares para um sistema ideal com 100% de utilização da energia fornecida e n_{dias} é o número de dias de funcionamento do processo por ano.

No entanto, se as férias forem concentradas no período de Verão – período onde o potencial solar é máximo – a redução de ganhos solares é subestimada por esta equação.

Sistemas que tenham apenas uma utilização sazonal (inferior a 6 meses de funcionamento no ano), são geralmente economicamente inviáveis.

3.1.4 ZONAS CLIMÁTICAS NA PENÍNSULA IBÉRICA.

Na Figura 16, está representada a distribuição da radiação solar global incidente numa superfície horizontal, para a Península Ibérica.

As regiões geográficas com muito boas condições meteorológicas ($H > 1600 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$) são: Centro

e Sul de Portugal, Andalusía, Múrcia, Valência, Zona Centro de Espanha. Observam-se níveis médios de radiação ($1400 \dots 1600 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$) na Catalunha, Galiza e Norte de Portugal. Os valores baixos de radiação ($H < 1400 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$), comparáveis aos dos climas da Europa Central, são predominantes na Costa Atlântica do Norte de Espanha. No que se refere às ilhas atlânticas espanholas e portuguesas, observa-se um nível elevado de radiação nas Canárias, um nível médio (cerca de $1600 \text{ kWh/m}^2 \text{ ano}$) na Madeira e um nível baixo nos Açores.

No Capítulo 2 foi possível mostrar a forte influência das condições climáticas nos ganhos solares médios anuais.

3.1.5 RESUMO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO.

Na Figura 17 é possível observar a influência da combinação de diferentes factores: nível da temperatura de funcionamento, continuidade da carga (consumo) e nível da radiação solar. Representa-se o custo da energia solar para diferentes indústrias em função destes factores.

Podem obter-se custos razoáveis da energia (20 - 60 Euro/MWh, sem financiamento do estado) em sistemas para temperaturas baixas ($< 60^\circ\text{C}$) mesmo em condições não óptimas (níveis médios de radiação solar ou consumo descontínuo). Só se recomendam os sistemas para temperaturas acima de 100°C , a custos actuais, se todas as outras condições forem favoráveis (radiação solar elevada e carga contínua). Um factor adicional importante a considerar é a dimensão do sistema solar. Os custos dos sistemas de pequena dimensão ($< 100 \text{ m}^2$) podem ser 50% superiores aos custos de grandes sistemas ($> 1000 \text{ m}^2$), com o correspondente aumento do custo da energia.

3.2 REGRAS BÁSICAS PARA O PROJECTO DE SISTEMAS.

3.2.1 CAMPO DE COLECTORES

A selecção de um colectador adequado depende basicamente das temperaturas de funcionamento. Devem também ser considerados outros aspectos como a possibilidade de integração na cobertura (telhado) ou a dimensão do sistema.

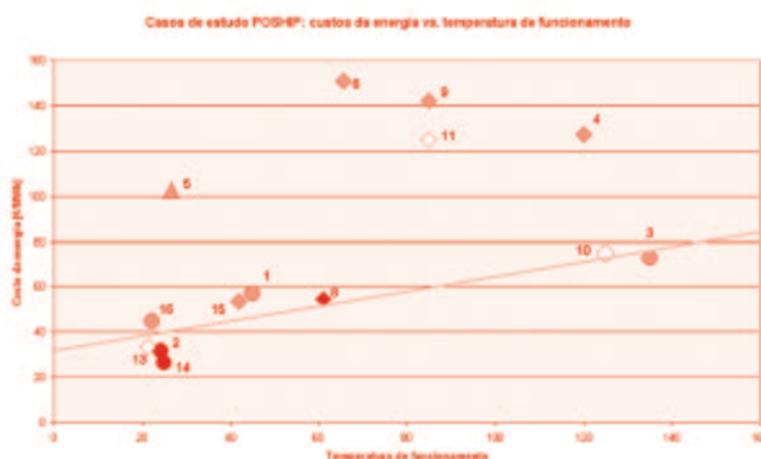


Figura 17 Custo da energia útil para diferentes sistemas em função da temperatura média anual de funcionamento. Cores: radiação solar muito elevada (escuro), elevada (branco), média (tom médio). círculos: sistemas com carga contínua. losangos: sistemas com carga contínua durante a semana e paragem no fim-de-semana; triângulos: sistemas com funcionamento sazonal.

O Quadro 8 dá uma orientação para a selecção dos colectores mais adequados.

A área de colectores necessária pode ser estimada a partir dos resultados apresentados no Capítulo 2. Os ganhos máximos médios anuais que podem ser obtidos com um sistema solar térmico variam entre 350 a 1100 kWh/m², dependendo do local de instalação e da temperatura de funcionamento. Para um projecto detalhado do sistema, devem utilizar-se simulações dinâmicas do funcionamento do sistema tendo em conta o perfil de consumo específico. A potência térmica de pico de um coletor solar é aproximadamente 500 W/m² para sistemas funcionando a temperatura média e 1000 W/m² para sistemas a baixa temperatura.

Na Península Ibérica, a instalação dos colectores com uma inclinação de 30° e uma separação entre filas de, pelo menos, 1,5 vezes a altura bruta dos colectores, corresponde à obtenção de ganhos médios anuais óptimos por unidade de área de colectores. Neste caso a razão entre a área bruta de colectores e a área de implantação dos colectores é inferior a 2/3. Se existe uma área limitada para a implantação dos

colectores (telhado, terraço ou terreno anexo) estes poderão ser instalados com uma inclinação inferior de modo a aumentar os ganhos solares. No entanto, para colectores com cobertura (vidro) é recomendado um limite mínimo para a inclinação de 20°, atendendo à possibilidade de limpeza da cobertura com o efeito da chuva e também à estanquicidade do coletor. É aceitável um desvio da orientação Sul até 45° que conduz a cerca de 10 % de redução na energia fornecida pelos colectores.

Com um cálculo adequado do caudal, do diâmetro da tubagem e do isolamento da mesma, os consumos de energia eléctrica nas bombas circuladores podem ser inferiores a 1% dos ganhos solares. As perdas térmicas na tubagem não devem ultrapassar os 5% dos ganhos solares para sistemas de média e grande dimensão.

Os ganhos solares são superiores se os caudais no sistema solar e no consumo forem próximos. Deve pôr-se a hipótese de haver uma regulação do caudal no campo de colectores (e.g. caudais variáveis). Podem melhorar-se os ganhos solares até 20%, considerando a instalação de um *by-pass* para pré-aquecimento do circuito primário

nas primeiras horas da manhã e a extracção de calor residual depois do pôr do sol, utilizando um controlo adequado do sistema solar.

3.2.2 ARMAZENAMENTO

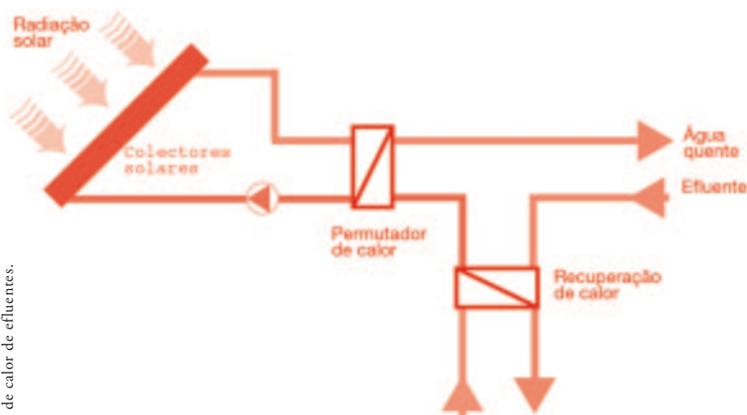
No Capítulo 2 foi feita uma introdução aos sistemas solares térmicos com armazenamento.

Quando existe um desajuste temporal entre disponibilidade de radiação solar e a ocorrência de consumo recomenda-se a utilização de um armazenamento de curto prazo. Para este armazenamento de curto prazo (algumas horas) recomenda-se um volume de 25 litros/m².

Este armazenamento de curto prazo pode ser adequado também para processos com um funcionamento contínuo, com o objectivo de baixar a temperatura média de funcionamento do sistema solar, aumentando o seu rendimento, especialmente quando se utilizam colectores de baixo custo mas com perdas térmicas elevadas.

Quanto maior for a dimensão do sistema, mais eficaz é o armazenamento para períodos de tempo mais longos (p.exemplo, fins de semana). O armazenamento de fim de semana torna-se económico a partir de 500 m² de área instalada. Os volumes de armazenamento de fim-de-semana devem ser da ordem de 250 litros/m². Neste caso, os custos do armazenamento serão cerca de 10 - 20% do custo total do sistema. O armazenamento para períodos mais longos (armazenamento sazonal) só pode ser considerado para áreas muito grandes (> 5000 m²).

GAMA DE TEMPERATURA	PROCESSO
< 40 °C	Colectores sem cobertura ou colectores planos comuns de baixo custo.
40 – 70 °C	Colectores planos selectivos ou colectores do tipo CPC.
70 – 100 °C	Colectores do tipo CPC, colectores de tubos de vácuo ou outros colectores estacionários de rendimento elevado. Colectores concentradores para sistemas de média e grande dimensão.
> 100 °C	Colectores concentradores, colectores de tubos de vácuo com CPC.



3.2.3 ACOPLAMENTO À CENTRAL DE AQUECIMENTO JÁ EXISTENTE E REGULAÇÃO.

O acoplamento à central de aquecimento existente deve ser sempre considerado para a temperatura mais baixa possível. No entanto, no pré-aquecimento de ar ou de líquidos, o aquecimento solar deve ser introduzido depois de um primeiro pré-aquecimento por recuperação de calor de um efluente do processo e não como uma alternativa a estes sistemas. Mesmo que a recuperação de calor do efluente aumente a temperatura de funcionamento do sistema solar, a combinação dos dois sistemas permite a obtenção de melhores resultados do que a utilização do sistema solar a mais baixa temperatura sem a recuperação de calor do efluente.

Quando a energia fornecida pelo sistema solar é distribuída por vários processos, deve escolher-se uma estratégia de controlo de modo a obter uma poupança de energia óptima. Na maioria dos casos a melhor escolha é o fornecimento da energia do sistema solar ao processo a mais baixa temperatura, mas em alguns casos, se for dada preferência à produção de calor para tempera-

turas mais elevadas nas horas centrais do dia, podem obter-se melhores resultados.

A estratégia de controlo deve ser optimizada em cada caso específico utilizando técnicas de simulação dinâmica.

3.2.4 SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS E COGERAÇÃO.

Como regra geral, pode afirmar-se que os sistemas solares térmicos devem ser concebidos como um sistema complementar à central de cogeração, cobrindo as restantes necessidades de aquecimento.

Apenas em alguns casos podem os sistemas solares ser considerados como sistemas alternativos para o fornecimento de energia térmica. O encerramento de uma central de cogeração nos períodos em que

existe maior disponibilidade de radiação solar implicaria um aumento da energia eléctrica fornecida pela rede nesse período. Na Figura 19 compara-se a poupança em energia primária devido à produção de 1000 MWh de calor necessário ao processo por um sistema solar térmico ou por cogeração, em substituição de uma caldeira a vapor convencional. Foi tida em conta a poupança de energia primária devido à produção de electricidade utilizando como referência o rendimento médio do actual fornecimento de energia eléctrica (cerca de 35%). Considera-se ainda, a possibilidade de produção simultânea de calor e electricidade por sistemas solares térmicos assumindo um rendimento de conversão de 30 % de energia térmica para energia eléctrica.

Podem verificar-se que, em comparação com uma central de cogeração, o sistema solar só permite a poupança de energia primária se, o rendimento de conversão for inferior ao rendimento médio da rede eléctrica, ou se o sistema solar também produzir energia térmica e eléctrica.

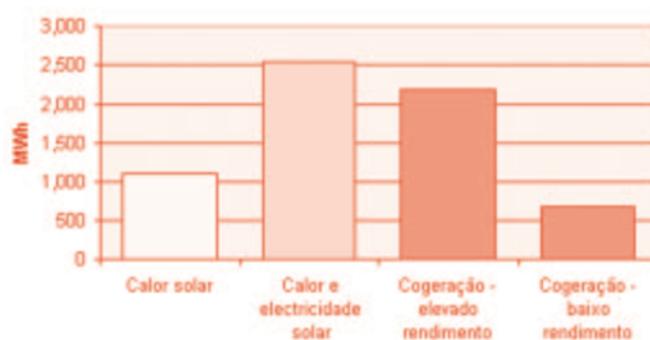


Figura 19 Poupança em energia primária em relação a uma caldeira de vapor convencional, para 1000 MWh de calor de processo produzido quer por um sistema solar térmico quer por cogeração. Rendimento de conversão (eléctrica) para (a) centrais de cogeração (ciclo combinado) de elevado rendimento: 50 %; (b) centrais de cogeração de baixo rendimento: 25%.

CRITÉRIO	INFLUÊNCIA NO COMPORTAMENTO DO SISTEMA
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 ($H < 1600 \text{ kWh/m}^2$) 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 Distribuição anual Distribuição diária	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. As pequenas interrupções (algumas horas) podem ser amortecidas utilizando um armazenamento de pequeno volume que implica um pequeno acréscimo do custo do sistema.
Dimensão do sistema	A viabilidade económica dos sistemas solares térmicos depende muito da dimensão do sistema. O custo da energia fornecida pelo sistema solar nos grandes sistemas ($> 1000 \text{ m}^2$, 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 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 5 to 60%. A orientação dos colectores virados a Sul e com inclinações de aproximadamente 30° 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 $25 - 30 \text{ kg/m}^2$ 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.

4. ESTUDO DE CASOS

No quadro do projecto POSHIP foi levado a cabo o estudo de casos em mais de 20 empresas, em Espanha e em Portugal, que mostraram interesse na aplicação da energia solar térmica nas suas empresas.

Com base na análise detalhada das necessidades de calor (e frio) das indústrias, foi proposto o sistema solar mais apropriado a cada caso. Foi feita, para cada caso, uma estimativa dos ganhos de energia anual com base em simulações dinâmicas do sistema (TRNSYS) e uma análise económica.

Figura 20 Localização geográfica das fábricas propostas para projectos de demonstração.



É apresentada de seguida uma descrição de alguns dos sistemas seleccionados. No Quadro 10 pode ver-se um resumo geral. Na Figura 20 pode ver-se a localização geográfica das fábricas propostas para projectos de demonstração.

4.1 FÁBRICA DE MALTE, ANDALUZIA (ESPAÑA)

A fábrica de malte localiza-se na província de Sevilha, no Sul de Espanha. O malte produzido é utilizado na produção de cerveja na mesma fábrica.

Cerca de 80% do consumo de calor e frio na fábrica de malte é utilizado para aquecimento de ar para secagem do malte (ar quente a cerca de 60°C). A maior parte dos restantes 20% é utilizada para arrefecimento do ar no processo de germinação.

O perfil das necessidades de calor nesta fábrica é ideal para a implementação de um sistema solar:

- A necessidade de calor de processo é alta e contínua durante

os 7 dias da semana e as 24 horas do dia, pelo que quase toda a energia solar captada pode ser utilizada directamente no processo sem necessidade de grandes volumes de armazenagem.

- As temperaturas exigidas são muito baixas. O ar é pré-aquecido pelo sistema solar apenas alguns graus acima da temperatura ambiente.
- A fábrica localiza-se numa região com uma alta radiação solar ($1770 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$).
- Os custos da energia são um factor significativo de custo no processo de produção do malte, pelo que a redução do consumo de energia pode ajudar a aumentar a competitividade.

É proposto um sistema solar para o pré-aquecimento do ar para o processo de secagem do malte.

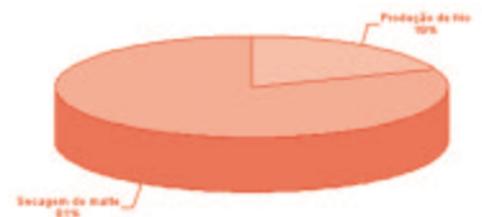


Figura 21 Distribuição do calor de processo na fábrica de malte.

EMPRESA /SECTOR /PAÍS	PROCESSO	GAMA DE TEMPERATURAS DE SERVIÇO	TIPO DE COLECTOR (**)	ÁREA DE COLECTORES PROJECTADA m ²	CUSTO ESTIMADO Euros
Cruzcampo Fábrica de Malte Sevilha, Espanha	Pré-aquecimento do ar para secagem do malte	Baixa temperatura (10 – 80 °C)	CSP com ou sem cobertura	5000	1 320 000
Malte Ibérica, S.A. Fábrica de Malte Poceirão, Portugal	Pré-aquecimento do ar para secagem do malte	Baixa temperatura (20 – 60 °C)	CSP or CPC	3500	960 000
Beiralá Lanifícios, S.A. Fábrica de Têxteis Seia, Portugal	Pré-aquecimento de água em processo de tinturaria	Baixa temperatura (20 – 80 °C)	CSP or CPC	1750	525 000
Bodegas Mas Martinet Adegas Tarragona, Espanha	Arrefecimento de cubas de vinho e aquecimento ambiente	Média temperatura (50 – 85 °C)	CPC	60	55 000 (*)

Um permutador de calor adicional água quente-ar será instalado em frente do permutador de calor existente que utiliza vapor do sistema de fornecimento de calor convencional.

O sistema solar consiste num campo de colectores solares com uma superfície total de 5000 m², e um tanque de armazenagem de 1000 m³. Os colectores solares serão integrados na estrutura do telhado com configuração em dente de serra formando um "telhado solar" estanque à chuva.

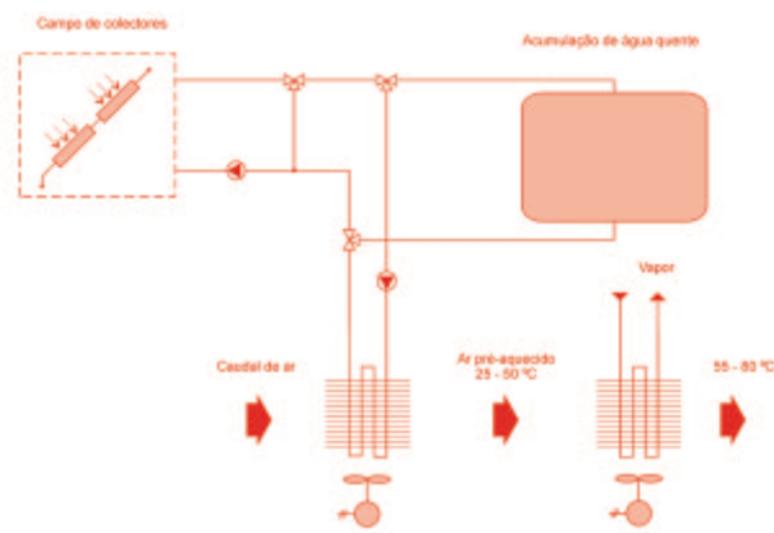


Figura 22 Esquema do sistema solar proposto.

Quadro 11 Dados característicos do sistema solar proposto.

Empresa	Cruzcampo Malthouse
Localização	Sevilha, Espanha
Sector de produção	Fábrica de Malte
Processo	Préaquecimento do ar para secagem do malte
Temperatura de serviço	10 – 80 °C
Área de colectores solares	5 000 m ²
Tipo de colector	Colectores selectivos sem cobertura , integrados num telhado com estrutura em dente-de-serra
Volume do depósito	1000 m ³
Ganho solar anual (calor útil)	4770 MWh / ano
Fracção solar	7 %
Investimento total	1 320 000 Euros
Contribuição da empresa	410 000 Euros
Poupança anual	105 000 Euros
Reembolso	4 anos

4.2 Multibérica – Sociedade Produtora de Malte S.A.(Portugal)

A MALTIBERICA é uma empresa luso-espanhola que produz malte para as cervejeiras pertencentes ao Grupo UNICER em Portugal e que também exporta para Espanha.

Se bem que esteja localizada perto de uma zona muito industrializada de Portugal, a Península de Setúbal, a cerca de 50 km de Lisboa, não existem outras fábricas nas proximidades da fábrica estudada, aumentando as dificuldades para a extensão da rede de gás natural a esta área. Como resultado, é muito

Figura 23 Esquema simplificado da planta da fábrica no terreno.



caro mudar a actual utilização de grande quantidade de fuelóleo pesado (*thick fuel*) para uma fonte de energia convencional mais limpa. A fábrica produz malte, passando por 3 fases até ao final do processo:

1ª fase: Humidificação da cevada
 2ª fase: Germinação do malte verde (frio)
 3ª fase: Secagem do malte (calor)

A maior parte do consumo de energia é utilizado na produção de vapor sobreaquecido (180 °C, 14 bar), o qual é dissipado nos permutadores de calor água-ar que promovem a secagem do malte (60-80 °C). Uma pequena parte é consumida para a manutenção da temperatura apropriada do *thick fuel* no depósito. A fábrica é uma

unidade moderna (com menos de 10 anos) e incorpora no seu projecto medidas de recuperação de calor que aumentam o potencial de utilização de energia solar, quando consideradas novas acções de poupança de energia.

Existem vários factores na fábrica favoráveis à implementação de um sistema solar:

- A fábrica está em operação durante todo o ano: 24 horas/dia, 7 dias/semana, 52 semanas/ano;
- A energia pode ser utilizada em simultâneo com a sua captação, o que evita a necessidade do seu armazenamento;
- A energia solar é utilizada a um nível de temperatura baixa, para pré-aquecimento do ar exterior para secagem;

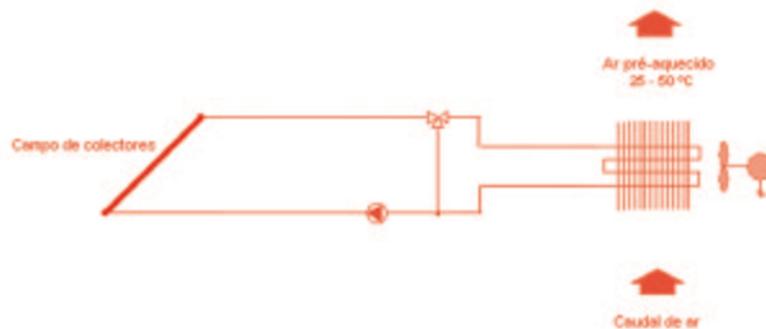


Figura 24 Esquema do sistema solar proposto.

- A fábrica localiza-se num sítio com muito boas condições de insulação anual: mais de 2800 h de luz solar e 1720 kWh/(m² ano).
- O sistema solar ficará totalmente independente do sistema convencional existente.

4.3 BEIRALÁ – LANIFÍCIOS S.A. (PORTUGAL)

A BEIRALÁ é uma fábrica têxtil portuguesa, que produz peças de roupa e tecidos de lã. Localiza-se no centro de Portugal, no lado NW do sopé da mais alta montanha Portuguesa - a Serra da Estrela, com condições de radiação solar médias - para Portugal - de 1520 kWh/m² ano e 2400 h de luz solar.

No processo de tinturaria, apenas uma pequena fracção do consumo de calor de processo (1/5) é a 120°C. Na maior parte deste processo não se excede 80°C. Uma grande quantidade de água quente a 60-70°C é também consumida para a lavagem de vasilhame utilizado na tinturaria.

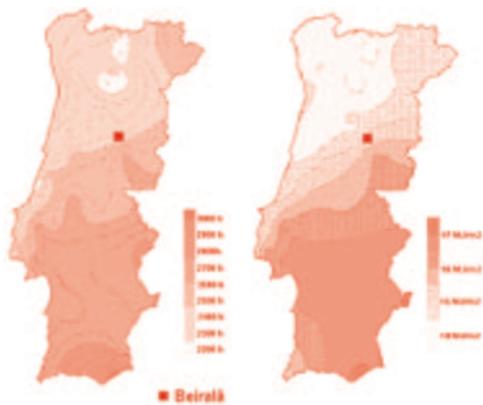
Para este nível de temperatura existem diversas tecnologias de colectores solares disponíveis no mercado apropriadas para esta aplicação.

As condições favoráveis para a implementação do sistema solar resultam dos seguintes factos:

- Não é esperado no curto prazo o acesso à rede nacional de gás natural.

Quadro 12 Dados característicos do sistema solar proposto.

Empresa	Grupo Unicer
Localização	Poçoirão (Setúbal)
Sector de produção	Fábrica de malte
Processo	Préaquecimento do ar para secagem do malte
Temperatura de serviço	20 - 80 °C
Área de colectores solares	3 500 m ²
Tipo de colector	Colectores selectivos planos ou CPC
Volume do depósito	---
Produção anual de calor	3 762 MWh / ano
Fracção solar	20 %
Custo total da instalação	960 000 Euros
Contribuição da empresa	624 000 Euros
Poupança anual	118 320 Euros
Reembolso	4 anos



- Devido aos altos custos de transporte, é muito caro mudar do *thick fuel* para um combustível fóssil mais limpo, como o gás propano.
- A energia solar pode complementar o gás, baixando os custos da energia final, e é ideal para satisfação do objectivo estratégico de certificação pela ISO 14000.
- Está disponível uma grande área, com boa orientação, no telhado da fábrica para a instalação dos colectores solares.
- O sistema solar pode ser projectado por um processo muito comum, armazenando a energia captada num grande depósito de betão armado já existente.
- O processo de tinturaria e o processo de lavagem podem ser alimentados por água do tanque solar após correcção da sua temperatura pelo sistema de apoio (sistema de energia convencional).

4.4 BODEGAS MAS MARTINET, TARRAGONA (ESPANHA)

As adegas das Bodegas Mas Martinet localizam-se na região do Priorato, no Sul da Catalunha. A empresa produz um vinho de alta qualidade para consumo nacional e para exportação.

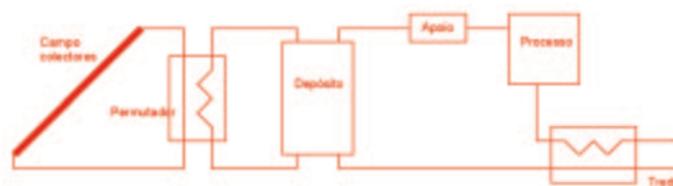


Figura 27 Procura de calor (escuro), frio (claro) e água quente doméstica (tom médio) das instalações das Bodegas Mas Martinet.

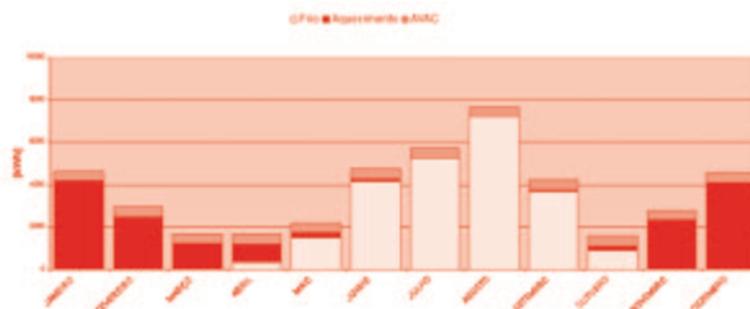
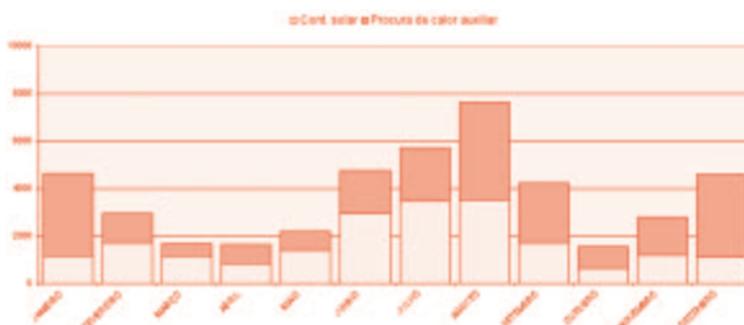
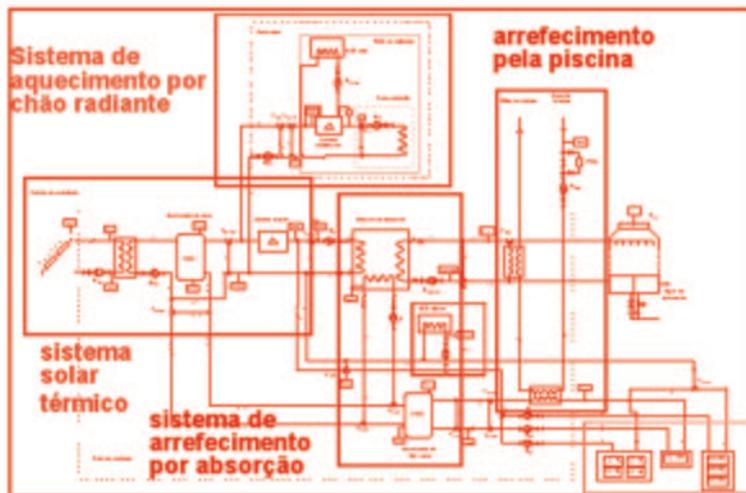


Figura 28 Necessidades totais de calor e contribuição solar ao longo do ano.



Empresa	Beiralá
Localização	Seia
Sector de produção	Têxtil
Processo	Préaquecimento de água para processo de tinturaria
Temperatura de serviço	20 - 80 °C
Área de colectores solares	1 750 m ²
Tipo de colector	Colectores estacionários, planos selectivos ou tipo CPC
Volume do depósito	75 m ³
Produção anual de calor	1331 MWh / ano
Fracção solar	33 %
Custo total da instalação	525 000 Euros
Contribuição da empresa	341 250 Euros
Poupança anual	84 496 Euros
Reembolso	3 anos



A adega não está ligada à rede eléctrica, pelo que a empresa tenta cobrir a maior parte da procura de energia através de energia solar (térmica e fotovoltaica).

Muito do consumo de calor e frio na empresa surge da necessidade de arrefecimento da adega durante os meses de verão e de aquecimento de um edifício de escritórios e de um edifício residencial durante o período de inverno. Uma pequena fracção da procura de calor é originada pela produção de água quente doméstica.

A produção de electricidade a par-

tir do gerador diesel instalado é cara, pelo que existem as condições favoráveis para a instalação de um sistema de arrefecimento térmico alternativo que substitua o consumo de electricidade dos refrigeradores (*chillers*) de compressão.

É proposto um sistema solar para o condicionamento do ar das adegas e do edifício de escritórios, com utilização de uma máquina de arrefecimento por absorção Yazaki. O excesso de calor dos colectores solares durante os meses de inverno é utilizado para aquecimento ambiente e pro-

dução de água quente doméstica. No sistema proposto, são utilizadas ventiloconvectores para a distribuição de calor e de frio para as adegas e para o edifício de escritórios a elas ligado, e para um sistema de aquecimento por chão radiante de um edifício residencial próximo.

O sistema solar é composto por um campo de colectores solares de 60 m² de colectores CPC com produção de água quente a 80 – 90°C e um depósito de água quente de 1500 litros. A máquina de frio de absorção tem uma potência nominal de arrefecimento de 35 kW, e é apoiado por um depósito frio de 3000 litros.

5. INCENTIVOS E FINANCIAMENTO DE SISTEMAS SOLARES TÉMICOS INDUSTRIAIS

5.1 INCENTIVOS PÚBLICOS

Alguns dos desafios subscritos, entre outros, pelos países da União Europeia na Conferência Mundial de Quioto, em Dezembro de 1997, são os de alcançar uma redução de 8% das emissões europeias de gases com efeito de estufa, comparadas com os níveis de 1990, e cobrir 12% da procura de energia primária europeia a partir energias renováveis em 2010. Para reforçar as medidas políticas de resposta a estes desafios, existem alguns programas de financiamento para promover projectos de aproveitamento de energias renováveis e de eficiência de energia numa base europeia, nacional, regional e municipal.

Empresa	Bodegas Más Martinet
Localização	Tarragona, Espanha
Sector de produção	Adegas
Processo	Arrefecimento e aquecimento ambiente
Temperatura de serviço	50 - 85 °C
Área de colectores solares	60 m ²
Tipo de colector	colectores CPC
Volume do depósito	1500 l (quente) + 3000 l (frio/quente)
ganho solar anual (calor útil)	21 MWh / ano
Fracção solar	58 % (arrefecimento) - 35 % (aquecimento)
Investimento total	55 000 Euros
Contribuição da empresa	35 000 Euros
Poupança anual	3 000 Euros
Reembolso	11 anos

5.1.1. PROGRAMAS DE INCENTIVOS DA COMUNIDADE EUROPEIA

O seu objectivo principal é o desenvolvimento na Europa de sistemas e serviços de energia sustentáveis, contribuindo para um desenvolvimento mais sustentável em todo o mundo, conduzindo a uma crescente segurança e diversidade da oferta, a abastecimento de alta qualidade, a serviços de energia de baixo custo, a competitividade industrial melhorada e a impacto ambiental reduzido.

6º Programa Quadro. Visa promover projectos de demonstração de energias renováveis para serem desenvolvidos na Europa. Os sistemas de energia propostos devem alcançar um alto grau de inovação e sustentabilidade, levando em conta os aspectos sociais e o seu potencial de demonstração em todos os sectores económicos. Financiamento máximo: 50% das despesas relevantes.

Programa Energia Inteligente para a Europa. Este programa, em vigor de 2003 a 2006, tem por objectivo reforçar a segurança de abastecimento, combater as alterações climáticas e aumentar a competitividade da indústria europeia. O "Energia Inteligente – Europa (EI-E)" concederá apoio financeiro às iniciativas locais, regionais e nacionais nos domínios das energias renováveis, eficiência energética e transportes, incluindo a sua promoção fora do espaço da União Europeia.

O Programa EI-E integra por sua vez os **Programas ALTENER e SAVE**. Estes programas estão ori-

entados para as políticas centradas nas medidas não-tecnológicas para explorar o melhor potencial económico em práticas inovadoras no mercado da energia. Financiamento máximo: 50% das despesas relevantes.

5.1.2. PROGRAMAS DE INCENTIVOS NACIONAIS

A maior parte dos países Europeus têm desenvolvido programas de financiamento para reforçar e apoiar iniciativas sustentáveis e renováveis. Em Portugal foi criado, no âmbito do III Quadro Comunitário de Apoio, para as empresas e demais agentes económicos, o POE – Programa Operacional da Economia (actual PRIME - Programa de Incentivos à Modernização da Economia). Inclui o sub-programa MAPE, que regulamenta a medida de apoio na área da Energia. No MAPE, os sistemas solares térmicos são elegíveis para um incentivo de 20% (c/ um limite máximo de 300 000 euros) e um empréstimo reembolsável adicional sem juros de 20% (Portaria nº 394/2004, de 19 de Abril). As empresas que invistam em equipamento solar podem amortizar o respectivo investimento no período de quatro anos, visto ser de 25% o valor máximo da taxa de reintegração e amortização aplicável (Decreto Regulamentar n.º 22/99, de 6 de Outubro). Trata-se de uma importante medida, por permitir a amortização dos sistemas solares em quatro anos, independentemente do incentivo.

O preço de custo do equipamento específico para sistemas solares (principalmente colectores solares) é agravado com uma taxa intermédia de IVA de 12%.

5.2 FINANCIAMENTO DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS INDUSTRIAIS

O financiamento por terceiros é um modelo de financiamento no qual, dependendo do âmbito do projecto contratado, uma terceira parte, que não o utilizador da energia, desenvolve, financia e gere o sistema de energia durante um certo período de tempo acordado. Esta terceira parte é também conhecida por ESCO (*Energy Service Company*). Por seu lado, o utilizador de energia tem que fazer pagamentos periódicos à ESCO, os quais estão indexados ao consumo de energia ou fixados no contrato. Este contrato é normalmente concebido de modo a que o período de retorno do investimento cobre o investimento e os custos variáveis de empresa de investimentos por terceiros, mais uma margem de lucro. Dependendo da dimensão do projecto e a garantia de *cash flow* o modo de pagamento pode ser:

- Pagamento a prestações
- Compra a prestações
- Qualquer outro acordo de *leasing*

Normalmente, o sistema de energia torna-se propriedade do utilizador de energia no final do contrato, se bem que para pequenos projectos seja o utilizador de energia o proprietário desde o início.

Estes contratos têm que assegurar que os riscos do projecto assumidos pela parte financiadora estão cobertos no caso da produção ou do consumo de energia não alcançarem os níveis esperados. Num projecto bem concebido, o utilizador de energia poupará dinheiro em comparação com os custos de sistemas alternativos e o financiador obterá um lucro.

Programas	Ações	Incentivos	Tipo de Projecto	Contacto Nacional / Informação Website
1. PROGRAMAS EUROPEUS				
5º Programa Quadro (2002-2006)	Iniciativa CONCERTO -Sub-domínio da secção "Sistemas Sustentáveis de Energia", da Área Temática de Prioridade 6	Orçamento previsto: ~75 MEuros Incentivo: Até o montante máximo de 50% do custo total elegível do projecto Incentivos máximos por projecto: 50% para as actividades de investigação e desenvolvimento 35% para as actividades de demonstração 100% para as actividades de formação 100% para as actividades de gestão do projecto	Projectos integrados de Investigação, Desenvolvimento e/ou demonstração transnacionais, de grande dimensão, geridos pelos próprios promotores sob o controlo da Comissão Europeia	Organismo: GRICES – Gabinete de Relações Internacionais e do Ensino Superior www.grices.mces.pt www.cordis.lu/fp6/ist.htm
Programa Energia Inteligente para a Europa (2003-2006)	Sub-programas Save (promoção da eficiência energética), e Altener (promoção das energias renováveis)	Orçamento: 200 MEuros Incentivo: Até o montante máximo de 50% do custo total elegível do projecto	Projectos transnacionais - cooperação entre empresas (pelo menos três empresas de distintos Estados membros)	Organismo: DGGE – Direcção Geral de Geologia e Energia www.dge.pt http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/index_pt.html
2. PROGRAMAS NACIONAIS				
PRIME (ex POE) (2003-2006)	MAPE – Medida de Apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético e Racionalização de Consumos	Incentivo: Até o montante máximo de 40% do custo total elegível do projecto 20% (fundo perdido até o montante máximo de 300000 Euros) + 20% (financiamento reembolsável)	Apoio à instalação de sistemas solares térmicos	Organismo: Gabinete de Gestão do PRIME www.prime.min-economia.pt
	Incentivos Fiscais	IRC - Amortização do investimento em equipamento solar térmico durante um período de quatro anos no quadro da prestação anual oficial de contas. IVA à taxa intermédia (12%) para equipamento específico dos sistemas solares	Sistemas solares térmicos	Organismo: DGGE – Direcção Geral de Geologia e Energia www.dge.pt

Quadro 15 Panorama dos programas de financiamento para centrais solares produtoras de calor de processo. Ponto de situação em Julho de 2003.

Água Quente Solar para Portugal

Esta brochura é editada no âmbito da Iniciativa Pública "Água Quente Solar para Portugal", promovida pela DGGE para criar um mercado sustentável de colectores solares com garantia de qualidade para o aquecimento de água em Portugal.

Iniciativa executada por

