

SISTEMAS DE CONCENTRAÇÃO SOLAR EM APLICAÇÕES AGRO INDUSTRIAIS

João Farinha Mendes, João Pereira Cardoso

UES/LNEG – Estrada do Paço do Lumiar, 22, 1649-038 Lisboa, Portugal. E-mail: farinha.mendes@lneg.pt

Resumo

As tecnologias de concentração solar podem ser utilizadas na produção de electricidade ou na produção dos chamados combustíveis solares, através da concentração óptica da radiação solar que permite a obtenção das elevadas temperaturas necessárias a esses processos. São as Centrais Termo-Solares (CSP) que oferecem uma grande flexibilidade pois a energia térmica produzida pode ser armazenada em tanques, para produzir electricidade mais tarde. Podem também ser hibridizadas em várias proporções com geradores alimentados por combustíveis fósseis ou de origem renovável, como é o caso da biomassa. Isto confere às centrais CSP uma característica muito importante que as diferencia pela positiva em relação às outras tecnologias que recorrem a ER, como é o caso dos parques eólicos e das centrais PV, pois permite a produção de electricidade de forma segura que pode ser despachada para a rede quando necessário.

Embora a grande maioria destas centrais encontre nos grandes valores de potência o seu desenho preferencial como forma de minimizar o custo final do kWh produzido, alimentando directamente a rede de distribuição eléctrica, há vários nichos de mercado que estão abertos à tecnologia CSP e a várias escalas de aplicação que vão desde a produção de calor de processo na indústria, a preparação de alimentos, a dessalinização ou a trigeração com produção de electricidade, calor e frio.

A sua utilização no sector agro-industrial insere-se no caso particular das aplicações da energia solar na indústria, mas é mais larga a gama de aplicações específicas em face dos últimos desenvolvimentos no campo da produção dos chamados combustíveis solares como seja o gás de síntese (singas), H₂, hidrocarbonetos leves, bio-óleos ou carvão vegetal, que igualmente irão ser abordados nesta comunicação.

Palavras Chave: Concentração solar, centrais solares, centrais híbridas, calor de processo, combustíveis solares.

1. INTRODUÇÃO

A evolução do mercado de abastecimento energético com combustíveis de origem fóssil a nível mundial mostra uma tendência que reforça as previsões dos que vêm assinalando estarmos próximos do pico de produção do petróleo convencional, que necessariamente irá trazer consigo a escassez e o aumento dos preços. O novo patamar de estabilização desses preços ainda não é conhecido mas reconhece-se que as sociedades dependentes dessa fonte se têm de preparar para o pior. Na verdade, o que se discute por esta altura já não é se irá acontecer, mas tão só quando a escassez e o consequente aumento de preços irá acontecer.

Aproveitar o lapso de tempo que ainda temos pela frente para nos prepararmos é uma elementar medida de bom senso que as sociedades e respectivos governos terão de levar a sério se quiserem fazer a transição sem sobressaltos de maior. Alguma dessa preparação passa por uma diminuição da dependência, e Portugal, sendo um dos mais dependentes – mais de 80% da energia consumida em Portugal é importada - terá de fazer esforços acrescidos, não podendo desperdiçar nenhuma oportunidade, como é certamente o caso da possibilidade de uso em larga escala da energia solar, na produção de calor ou na produção de electricidade por via termosolar:

- a) tirando partido da energia solar, abundante no nosso país;
- b) utilizando tecnologias que têm vindo a ser testadas e demonstradas durante as últimas décadas;
- c) aproveitando a disponibilidade de investimento que a sociedade civil começou a ter.

São muitos os benefícios directos (diminuição das importações energéticas e correspondente factura, ajuda ao cumprimento dos nossos compromissos internacionais em matéria de redução de emissões de CO₂, criação de postos de trabalho directos e permanentes) e os indirectos (possibilidade de forte incorporação tecnológica nacional e consequente criação de postos de trabalho em zonas deprimidas) os quais no seu conjunto concorrem para o chamado desenvolvimento sustentável e vão para além do puro desenvolvimento económico. Para o efeito é necessário o aparecimento de legislação favorável ao investimento nas tecnologias termosolares visando a produção de electricidade e/ou calor de processo.

Nesta comunicação faremos uma abordagem resumida deste sector, começando nas tecnologias de captação com concentração disponíveis, passando pelas características mais importantes das aplicações industriais e finalizando com a apresentação da matéria dos combustíveis solares, ainda largamente em fase de investigação, mas com um elevado e interessante potencial no âmbito da substituição dos combustíveis fósseis no sector dos transportes.

2. TECNOLOGIAS DE CONCENTRAÇÃO SOLAR

O carácter distribuído do fluxo de energia proveniente do recurso solar torna a sua conversão térmica directa viável apenas num domínio de temperaturas que não vai muito além dos 150 °C. A utilização de sistemas ópticos de concentração permite, através da obtenção de maiores fluxos de energia na conversão térmica, a operação a alta temperatura e viabiliza a utilização da energia solar térmica num espectro mais alargado de aplicações, como seja a produção de electricidade em ciclo de Rankine ou Brayton, a produção dos chamados “combustíveis solares”, o tratamento de materiais ou a eliminação de resíduos perigosos.

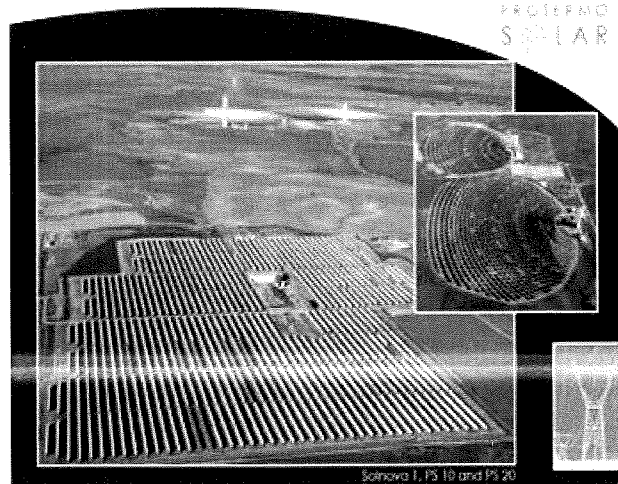


Figura 1 – Imagem promocional da associação espanhola Protermosolar, onde se podem ver três centrais CSP. Em primeiro plano uma central do tipo cilindro-parabólico - Solnova 1 - e em segundo plano duas centrais do tipo receptor central de torre - PS10 e PS20 (Crespo, 2009).

2.1 Sistemas de concentração solar

É usual dividir as principais tecnologias de concentração solar em quatro grupos consoante as características dos sistemas ópticos utilizados. As tecnologias que utilizam um sistema de foco linear subdividem-se entre sistemas Cilindro-Parabólicos e sistemas Lineares do tipo Fresnel. Por sua vez, as tecnologias que utilizam um sistema de foco pontual subdividem-se entre sistemas de Receptor Central de Torre e sistemas de Disco Parabólico com Motor Stirling. A figura 2 apresenta um esquema simplificado de cada um destes sistemas.

2.1.1 Sistemas Cilindro-Parabólicos

Sistema de concentração linear de geometria cilíndrica com reflector parabólico concentrando a radiação em receptor tubular posicionado no foco da parábola. Os colectores fazem o seguimento do sol em altura, a um eixo. Na sua utilização mais convencional o fluxo de radiação concentrado aquece um óleo térmico que circula no interior do absorvedor, sendo este o fluido de transporte de energia para a geração de vapor que ocorre num permutador de calor. Existem também abordagens no sentido da produção directa de vapor no absorvedor. A temperatura de operação nos sistemas com óleo térmico encontra-se geralmente na casa dos 390°C, no entanto pode atingir valores acima dos 500 °C, quando se recorre a ópticas de concentração secundária ou ao uso de sais fundidos como fluido de transporte de energia. Este sistema apresenta uma elevada modularidade, podendo apresentar diferentes escalas de potência, desde as dezenas de kW até à escala das centenas de MW, embora os resultados obtidos com as centrais existentes e os estudos económicos apontem para valores mínimos de potência na ordem dos 50 MW.

2.1.2 Sistemas Lineares do tipo Fresnel

Sistema de concentração linear com reflector do tipo Fresnel, concentrando a radiação em receptor tubular (tubo de vácuo ou não) normalmente colocado no interior de uma

outra cavidade não-evacuada que funciona como sistema secundário de concentração. À semelhança dos colectores cilindro-parabólicos, apresentam seguimento a um eixo mas esse seguimento é agora azimutal. Na sua utilização mais convencional o fluxo de radiação concentrado aquece um óleo térmico circulando no interior do absorvedor, fluido de transporte de energia para a geração de vapor, existindo também abordagens no sentido da produção directa de vapor no absorvedor.

2.1.3 Sistemas de Receptor Central de Torre

Sistema de concentração pontual dispondo de um conjunto de helióstatos com seguimento da trajectória solar a dois eixos e direccionando a radiação para um receptor central situado num ponto elevado. No receptor opera-se a conversão térmica do fluxo de radiação concentrado para um fluido de transporte de calor, sendo o mais usual o ar, embora um óleo adequado ou sais fundidos possam ser também utilizados, o que depende da temperatura de operação. Esta pode atingir valores na ordem dos 700 °C embora continuem em cima da mesa projectos que apontam para temperaturas de operação acima dos 1000°C, recorrendo a ciclos combinados e a sistemas ópticos avançados de redireccionamento da radiação para uma zona de trabalho no solo. Na versão mais convencional é um sistema com pouca modularidade, com valores mínimos de potência na ordem dos 10 MW, de acordo com os estudos económicos. No entanto, desenvolvimentos comerciais recentes estão a reverter esta lógica e apontam para sistemas modulares na ordem dos 100 kW cada, o que tem a ver com a presente disponibilidade comercial de blocos de potência adequados a este nível de potência.

2.1.4 Sistemas de Disco Parabólico - Motor Stirling

Sistema de concentração pontual consistindo em disco parabólico com produção de potência assente em motor Stirling cuja fonte quente se posiciona no foco da parábola. Sistema com seguimento da trajectória solar a dois eixos. A temperatura de operação nestes sistemas é da ordem dos 700 °C. Sistema com elevada modularidade, com valores mínimos de potência, comercialmente disponíveis, na ordem dos 3 kW.

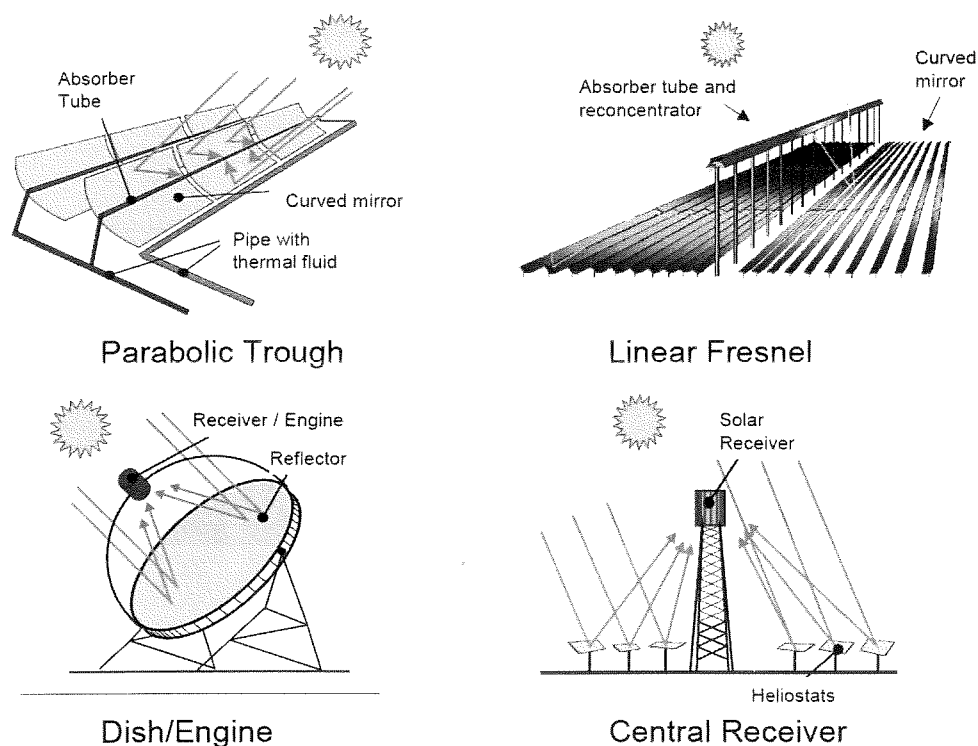


Figura 2 – Esquema simplificado das principais tecnologias de concentração solar para produção de electricidade (Romero e Seinfeld, 2012).

2.2 A Produção de electricidade termosolar

A produção de electricidade termosolar pode ser realizada através de um ciclo de Rankine convencional, com vapor de água produzido a partir da energia recolhida no sistema de concentração utilizado. Actualmente o rendimento de conversão global anual (energia solar para energia eléctrica), dependendo da tecnologia escolhida, varia entre 14% e 29%, estando as centrais do tipo cilindro-parabólico associadas aos limites inferiores deste intervalo e as centrais do tipo disco parabólico associadas aos limites superiores deste intervalo.

Por outro lado a utilização de um ciclo de Rankine Orgânico abre a possibilidade de produção de electricidade termosolar com temperaturas de operação mais baixas (na ordem dos 150°C – 250°C), o que permite a utilização de sistemas ópticos de menor complexidade, estacionários ou quasi-estacionários, contrabalançando os menores rendimentos do ciclo termodinâmico com menores custos de produção/operação.

Actualmente encontram-se em fase de investigação e desenvolvimento a utilização de ciclos de Brayton em centrais do tipo receptor central de torre, que utilizando uma fonte de calor com uma temperatura mais elevada permitirão a obtenção de maiores rendimentos, bem como a utilização de ciclos combinados ou esquemas de hibridização com gás natural ou biogás.

Considerando a estabilidade de funcionamento da turbina, tendo em vista não só a operação em condições de rendimento nominal mas também a minimização de necessidades de manutenção, estes sistemas dispõem de sistemas de armazenamento de energia a alta temperatura, sendo também particularmente adequados à hibridização. A

figura 3 apresenta um esquema típico resultante da conjugação de armazenamento com hibridização numa central CSP.

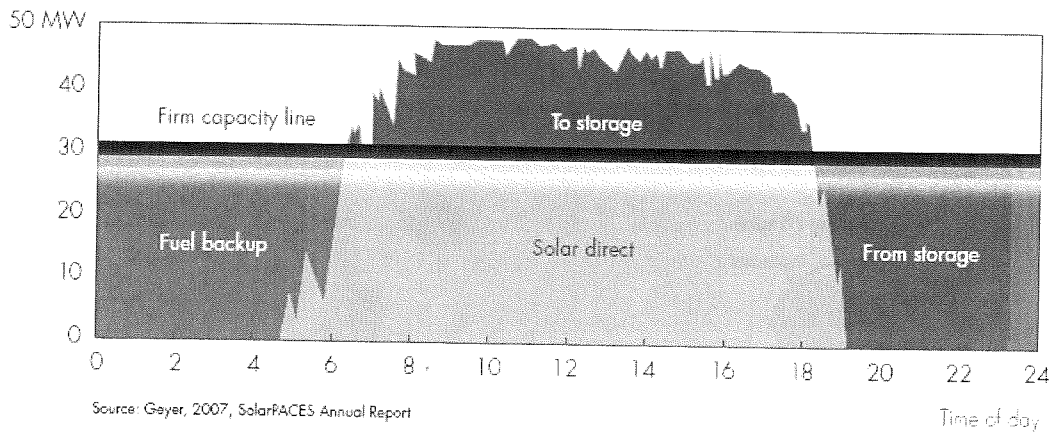


Figura 3 – Esquema de um balanço de energia resultante de conjugação de hibridização com armazenamento térmico de energia numa central CSP (Estela 2012).

2.3 Armazenamento e Hibridização

A utilização de armazenamento térmico permite, para além de uma resposta pronta a instabilidades pontuais no recurso solar, o alargamento do período de operação do sistema, resultando o dimensionamento do sistema de armazenamento de uma otimização técnico-económica entre o período/volume/custo do armazenamento e a produção adicional de energia.

A experiência com este tipo de centrais dispondo de armazenamento térmico mostra ainda a elevada capacidade de predição e desfasamento da produção eléctrica, o que representa uma enorme vantagem na ligação destes sistemas à rede eléctrica.

De facto, as centrais termosolares, utilizando uma fonte primária distinta mas com uma predição bastante fiável, apresentam as mesmas características das centrais térmicas convencionais, proporcionando inércia ao sistema eléctrico, permitindo regulação de operação a diferentes níveis, o corte de abastecimento sem necessidade de paragem de produção, uma hibridização simples com gás ou biomassa, e.g., aumentando a possibilidade de acomodação de potência produzida por outras fontes renováveis.

3. APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

A percentagem de consumo de energia sob a forma de calor nas gamas de temperatura média e média-alta é muito elevada nas indústrias alimentar, de produção de papel, têxtil e química. Por outro lado as condições para aplicação da energia solar são favoráveis em processos em que o consumo de calor seja constante no período diurno e durante todo o ano. Estima-se que nos países da UE o consumo de calor industrial seja superior a 8 % do consumo total de energia final, o que mostra o potencial de aplicações para a energia solar, neste sector da actividade económica.

Os processos industriais geralmente requerem energia térmica numa gama de temperaturas que vão desde a temperatura ambiente até temperaturas de cerca de 250°C, pelo que podem ser usados sistemas solares térmicos activos, com ou sem concentração da radiação solar incidente, pois as tecnologias actualmente disponíveis já permitem a obtenção de calor a temperaturas entre 80°C e 250°C com um bom rendimento (Schweiger et al., 2007).

O fluido de transferência que entrega a energia necessária a esses processos pode ser um líquido, passando por vezes, dependendo do processo em causa, pela utilização de ar. Há um conjunto de processos industriais com correspondência na indústria agro-alimentar que são adequados ao aproveitamento da energia solar como seja o aquecimento de banhos de líquidos para processos de lavagem, tinturaria, processos químicos, etc.; aquecimento de ar para processos de secagem; geração de vapor de baixa pressão para diversas aplicações, a destilação, a pasteurização, etc..

A produção de frio utilizando máquinas de absorção, de adsorção ou outros equipamentos térmicos constitui outro grande campo de aplicações para a energia solar no campo agro-industrial, com vantagem reconhecida devido à coincidência entre os picos de consumo e os picos de disponibilidade de energia solar.

A natureza das instalações industriais, acaba normalmente por implicar o desenho de sistemas solares de grande dimensão e o regime de laboração, normalmente diurno, não implica a incorporação de grandes sistemas de armazenamento pois o consumo coincide com a produção, o que igualmente se traduz num maior rendimento do sistema solar pois nesse caso trabalha à mais baixa temperatura possível para o processo em causa.

Este conjunto de características permite a aplicação de sistemas com uma boa rentabilidade económica, mesmo quando são desenhadas com armazenamento da energia térmica. Na verdade há casos de paragem na laboração ao fim de semana e essa energia pode e deve ser armazenada, e também casos de laboração contínua a 24h, que permite o desenho de sistemas sobredimensionados para as necessidades diurnas por forma a cobrir as necessidades nocturnas por via desse armazenamento. Em muitos destes casos terão de ser construídos tanques de armazenamento que pela sua dimensão (e custo se fossem em metal), terão de ser em betão, o que acaba por não ser particularmente oneroso em termos percentuais globais.

Em geral são instalações conceptualmente muito simples sob o ponto de vista do seu desenho hidráulico e filosofia geral de funcionamento. Uma instalação solar industrial é constituída por um campo de colectores solares em que circula água ou uma mistura de água e glicol (circuito primário). Um sistema de regulação controla a circulação neste circuito dependendo da intensidade de radiação disponível. Através de um permutador, a energia solar pode ser utilizada para o aquecimento de líquidos, de ar ou para a geração de vapor.

O acoplamento do sistema solar ao sistema convencional de produção de calor pode efectuar-se em vários pontos do sistema: acoplamento directo a um processo específico, pré-aquecimento de água e geração de vapor no sistema central.

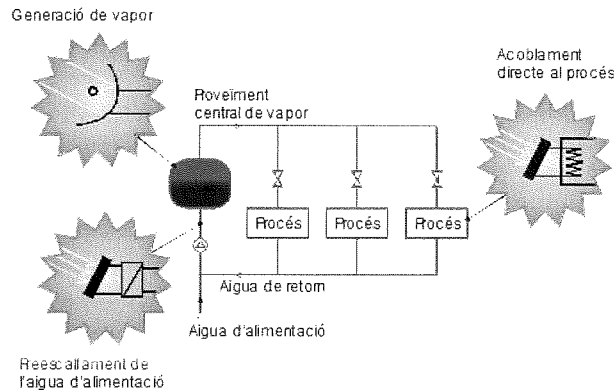


Figura 4 – Possibilidades de inserção da energia solar no processo industrial (POSHIP, 2001).

Uma instalação que funcione todo o ano como foi o caso de um sistema estudado para uma fábrica de produção de malte em Portugal, no âmbito do projecto POSHIP (POSHIP, 2001), implica um processo de secagem contínuo com ar aquecido num permutador água-ar, o qual é alimentado pelo fluido aquecido no campo de colectores solares, ou no sistema auxiliar quando necessário, o que implica um sistema de controlo muito simples, como se pode ver na figura 5.

Neste caso foi dimensionado um campo de cerca de 4000 m² de colectores solares estacionários, sem armazenamento, e dada a dimensão a sua localização seria no terreno circundante, mas muitas vezes existem disponíveis as coberturas das naves industriais, para a colocação dos colectores.

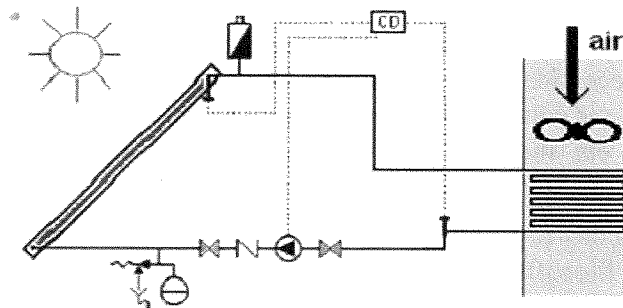


Figura 5 – Esquema simplificado do sistema dimensionado para um processo de secagem de malte (POSHIP, 2001).

Há dois tipos principais de colectores solares que podem ser considerados na produção de calor industrial:

- Colectores estacionários. Estes colectores não usam nenhum mecanismo de seguimento do sol, pode3m produzir calor a baixa e média temperatura até 150°C. Os colectores solares planos, tubos de vácuo, colectores planos com isolamento transparente e os colectores do tipo CPC, pertencem a este tipo de colectores.

- Colectores com mecanismo de seguimento. Os colectores cilíndrico-parabólicos ou os concentradores de Fresnel linear pertencem a este tipo, fazem o seguimento do Sol em torno de um eixo. Podem obter-se temperaturas superiores a 300°C com um bom rendimento e são também utilizados em grandes centrais solares para geração de electricidade.

No clima mediterrânico a energia útil anual por metro quadrado de colector pode ter valores entre 300 e 800 kWh, dependendo da temperatura necessária, da estrutura de consumo e da tecnologia utilizada. Para grandes instalações sem armazenamento o custo total do sistema solar (incluindo montagem) pode variar entre 250 e 600 €/m², obtendo-se um custo da energia fornecida que durante o tempo de vida destas instalações (cerca de 20 anos) permite a amortização do investimento inicial em menos de 10 anos.

Nos últimos anos e à parte alguns concursos pontuais dos programas nacionais, não tem havido incentivos financeiros estáveis e convincentes para os decisores do sector industrial acima identificados. Há no entanto um incentivo fiscal que se tem mantido ao longo dos últimos 10 anos e que tem a ver com a possibilidade de amortização em 4 anos do investimento em energias renováveis, e que a manter-se poderá contribuir para a disseminação destas tecnologias nas nossas indústrias.

4. COMBUSTIVEIS SOLARES¹

Para além da produção de calor por via da sua combustão, a biomassa pode ser utilizada em diversos processos de valorização termoquímica, produzindo diferentes compostos, como gás de síntese (singas), H₂, hidrocarbonetos leves, bio-óleos ou carvão vegetal, que poderão ser utilizados como produtos químicos, como combustíveis para o sector dos transportes ou na produção de energia. Tipicamente os processos principais de conversão termoquímica de biomassa dividem-se em três categorias: a pirólise; a gaseificação e a liquefacção directa.

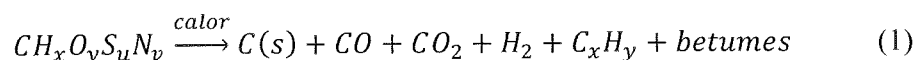
Os sistemas solares de concentração de foco pontual permitem a obtenção de rácios de concentração de radiação solar bastante elevados, permitindo alcançar temperaturas entre os 500 e os 2500 K, nomeadamente nos chamados fornos solares. Assim, e considerando que os processos de conversão termoquímica de biomassa são globalmente endotérmicos, ocorrendo a temperaturas possíveis de ser atingidas pelos sistemas CSP, é possível considerar o uso de sistemas de concentração solar para a produção de combustíveis solares a partir de biomassa, nomeadamente através dos processos de pirólise e gaseificação. Assim é possível conceber sistemas totalmente renováveis, evitando as desvantagens da combustão parcial da biomassa e enriquecendo o poder calorífico dos produtos da reacção devido à energia fornecida pelo sistema solar.

4.1 - Pirólise solar

A pirólise ocorre a temperaturas a partir dos 500 K e processa-se até temperaturas na casa dos 900 K, consistindo na decomposição das ligações químicas das moléculas dos compostos carbonáceos libertando gases ricos em hidrogénio como o metano e o etano,

¹ Esta secção apresenta uma sùmula dos trabalhos de Lédé, 1999; Kodama, 2003; Piatkowski et al., 2011; Romero e Steinfeld, 2012.

compostos condensáveis como os betumes e carvão vegetal. A reacção de pirólise pode ser descrita pela seguinte equação:



A energia solar concentrada possibilita a obtenção de elevadas densidades de fluxo de calor. Esta característica adequa-se ao seu uso nos processos de pirólise rápida, beneficiando de duas vantagens face ao processo convencional. Por um lado a energia solar concentrada permite atingir temperaturas e taxas de aquecimento elevadas, condições essenciais à pirólise rápida. Por outro lado o uso de energia solar concentrada implica que o fluxo de calor é concentrado numa pequena área da cavidade (zona focal) pelo que os produtos primários da reacção são libertados num ambiente frio, minimizando as reacções secundárias e aumentando a pureza dos produtos. Verifica-se ainda que estas vantagens são mais pronunciadas nas situações em que a biomassa é aquecida directamente pela radiação solar.

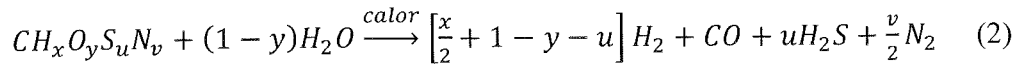
Embora conceptualmente simples a passagem à prática da pirólise rápida solar apresenta dificuldades que necessitam de ser ultrapassadas antes da implementação comercial em larga escala desta tecnologia. A primeira dessas dificuldades resulta da baixa eficiência na transferência de massa dentro do reactor que leva à criação de camadas de produtos que bloqueiam a radiação solar incidente. O bloqueio da radiação leva a que as camadas internas da biomassa recebam quantidades decrescentes de calor por radiação, passando a ser aquecidas apenas por condução e que os produtos primários continuem expostos à radiação originando reacções secundárias que produzem compostos não desejados. Nestas condições a pirólise torna-se cada vez mais lenta, levando a um aumento gradual da produção de carvão vegetal. Uma possível solução para esta dificuldade é a opção por um sistema de pirólise ablativa, onde ocorre a remoção mecânica dos produtos primários, garantindo-se a manutenção das condições necessárias à pirólise rápida.

Outra dificuldade relaciona-se com limitações ópticas da biomassa que impedem uma absorção eficaz da radiação solar. Estas dificuldades são causadas pelo facto de alguns componentes da biomassa reflectirem a radiação solar e apresentarem baixos valores de absorptividade.

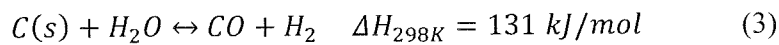
As restantes dificuldades principais estão relacionadas com um tipo específico de reactor, os reactores de leito fluidizado. Nestes reactores as partículas de biomassa podem atravessar repetidas vezes a zona focal, o que leva à existência de uma sequência de aquecimentos e arrefecimentos rápidos que levam à formação de compostos secundários como o carvão vegetal. Por outro lado o próprio movimento das partículas de biomassa leva a que as partículas directamente expostas à radiação solar bloqueiem a passagem desta para partículas que estejam numa parte mais afastada do reactor. Por forma a atingir e manter as condições para uma pirólise rápida poderá desenhar-se e utilizar-se um sistema mecânico que remova os produtos primários da zona focal assim que os mesmos se formem. Alternativamente o processo pode ser concebido de forma a funcionar em sequências de aquecimento e arrefecimento rápido.

4.2 - Gaseificação Solar

A gaseificação da biomassa desenrola-se em torno de dois processos: a pirólise e a gaseificação do carvão vegetal. De uma forma global, ignorando impuridades presentes na matéria prima bem como os compostos minerais e a água existentes na biomassa, a reacção de gaseificação pode ser descrita como:



A fase inicial da reacção, a pirólise, ocorre para temperaturas entre os 500 e os 900 K e leva à quebra das ligações químicas das moléculas da biomassa libertando gases ricos em hidrogénio, compostos condensáveis e carvão vegetal. Na fase seguinte o carvão vegetal é gasificado de acordo com a seguinte reacção global:



Acima de 1100 K a reacção de gaseificação processa-se em condições bastante favoráveis, possuindo uma cinética de reacção bastante rápida e com o equilíbrio da reacção a ser atingido do lado dos produtos. Um aspecto interessante da conversão termoquímica da biomassa é a possibilidade de ajustando os parâmetros de reacção, nomeadamente a temperatura, pressão e tempo de estadia no reactor, se controlar a composição do gás de síntese produzido. Esta característica é visível na figura 6:

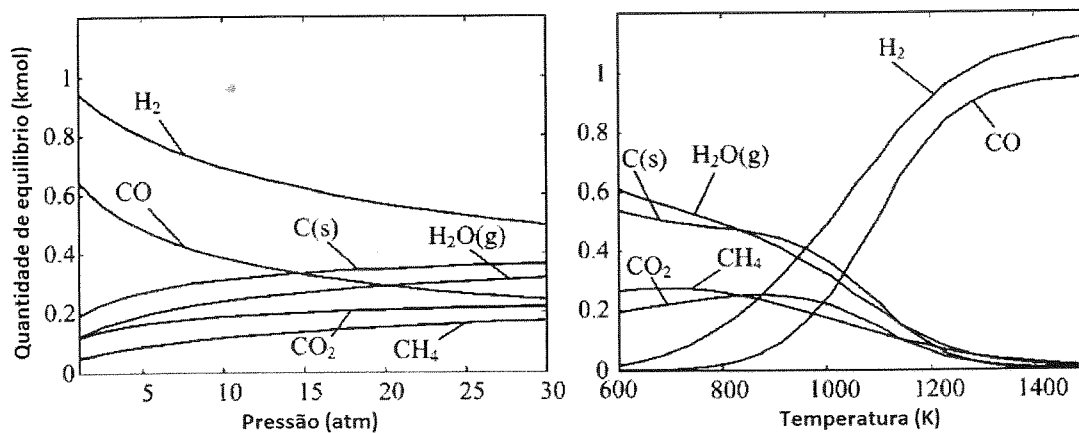


Figura 6 – Composição de equilíbrio estequiométrico para a gaseificação de carvão vegetal em função da pressão ($T=1000 \text{ K}$) e em função da temperatura ($P = 10 \text{ atmosferas}$). Apenas são representadas espécies com mais de 1 mol (Piatkowski et al., 2011).

A gaseificação solar é o processo de conversão termoquímica da biomassa a partir de energia solar que apresenta maiores potencialidades para a produção de combustíveis solares, pelo que tem recebido maior atenção em termos de investigação e desenvolvimento. Efectivamente o uso de energia solar concentrada nos processos de gaseificação da biomassa é bastante vantajoso pois permite eliminar o recurso a combustíveis externos e a conversão de toda a biomassa utilizada, ao evitar os autoconsumos que no caso da gaseificação auto térmica do carvão representam pelo menos 35% do carvão injectado. Outra vantagem é a geração de produtos com maior

poder calorífico, pois a energia solar aumenta a energia disponível no sistema durante a reacção termoquímica. Por exemplo, o gás de síntese produzido a partir da gaseificação solar do carvão liberta até menos 33% de CO₂ por unidade de energia produzida quando comparado com o singas produzido pelos métodos convencionais. Análises exergéticas indicam que centrais termoeléctricas de ciclo combinando alimentadas por singas produzido por gaseificação solar possuem uma intensidade específica de CO₂ entre os 0,49 e os 0,56 kg CO₂/kWh – aproximadamente metade das centrais termoeléctricas a carvão e na mesma ordem e grandeza das centrais termoeléctricas a gás natural. Comparando com os processos de gaseificação convencionais os produtos da gaseificação solar contêm menos CO₂ e N₂ e não necessitam de fornecimento externo de O₂, reduzindo as necessidades de equipamentos para filtração e separação dos produtos e para fornecimento de O₂. Note-se ainda que a radiação solar concentrada pode ainda ser utilizada para o craqueamento dos contaminantes formados no processo de gaseificação (bem como no da pirólise) e como tal ser usada como substituta dos processos catalíticos tipicamente utilizados na purificação dos produtos gasosos.

4.3 – Reactores

Os reactores solares podem ser divididos entre os reactores de irradiação directa e os reactores de irradiação indirecta. Nos primeiros os reagentes são expostos directamente à radiação solar concentrada o que leva a uma transferência de calor mais eficiente, pois a energia incide directamente no local da reacção. No entanto, os reactores de irradiação directa implicam a existência de uma janela transparente por onde entra a radiação solar o que pode originar problemas nas aplicações de grande capacidade ou em condições de pressões elevadas e em determinadas atmosferas gasosas. Uma fracção dos líquidos e sólidos resultantes dos processos de pirólise ou alguns resíduos secundários do processo de gaseificação são produzidos sob a forma de aerossóis que se podem depositar ou condensar na janela do reactor. Em resultado desta deposição o fluxo de energia solar disponível no interior do reactor diminui e a janela é aquecida, o que pode levar à sua quebra. A não existência de janela implicaria o funcionamento a baixa pressão o que acrescentaria a necessidade de compressão posterior do singas por forma a poder ser utilizado em processos de Fischer-Tropsch e Haber-Bosch com severas penalizações energéticas devido aos gastos adicionais em compressão. Nos reactores de radiação indirecta o calor é transferido para o local da reacção por condução através de uma parede opaca, diminuindo a eficiência da transferência de calor.

Por outro lado pode-se caracterizar o reactor em termos do fluxo da biomassa, dividindo-se estes entre reactores de leito fixo, de leito fluidizado e de leito arrastado. Os reactores de leito fixo são usualmente mais simples e robustos, sendo mais flexíveis pois são capazes de processar matéria-prima com uma grande variedade de formas e dimensões, não necessitando de caudais de vapor adicionais, o que os torna mais económicos. No entanto, a utilização de um leito fixo, geralmente poroso, limita as taxas de transferência de calor e massa do reactor, o que limita a reacção de conversão termoquímica. Outra desvantagem desta tipologia de reactor advém da acumulação de resíduos na superfície do leito, diminuindo a sua capacidade de absorção de radiação solar. Os reactores de leito fluidizado apresentam taxas de transferência de calor e massa elevadas, quando comparados com os valores obtidos em reactores de leito fixo. No entanto, este melhor desempenho resulta da necessidade de processar a matéria-prima em pequenas partículas (tipicamente com menos de 5mm) e a introdução de

vapor ou gás adicional, por forma a fluidizar o leito, o que implica um gasto acrescido de energia.

A par das dificuldades já mencionadas, características de cada tipo de reactor, a intermitência da radiação solar é uma característica que afecta de forma transversal todos os conceitos de reactor pelo que estes têm de ser projectados de forma a trabalharem em condições transientes com impacto mínimo no processo de conversão termoquímica da biomassa. Assim, na optimização dos reactores solares é crucial o desenho dos reactores e a determinação das condições de operação (temperatura e pressão) por forma a encontrar a combinação de perdas térmicas, velocidades de reacção e entalpias de reacção que maximizem a eficiência do processo de conversão termoquímica.

No últimos anos novas configurações de reactores para processos de gaseificação solar têm vindo a ser propostos, como reactores de leito fixo de irradiação indirecta, reactores de vórtice de irradiação directa ou reactores de leito arrastado de irradiação indirecta, sendo esta uma área ainda longe da maturidade com amplo espaço para novos desenvolvimentos antes de se atingir a produção em larga escala destes combustíveis solares.

5. CONCLUSÕES

No domínio das aplicações visando a produção de electricidade por via termosolar, o conjunto de tecnologias disponíveis e as condições de mercado, passando pela legislação favorável em alguns estados, permitiu a construção de centrais solares numa escala muito grande em Espanha mas que entretanto se alargou em escalas diferentes a outros continentes com avanços nos E.U.A., no norte de Africa, México, Brasil, Chile, Africa do Sul, China, Médio Oriente e Austrália. Esse desenvolvimento permite no presente encarar naturalmente essa aplicação como sendo concorrencial no médio prazo (por volta de 2020) com outras tecnologias de produção de electricidade com origem renovável. A curva de aprendizagem está a ser feita e existe um grande potencial de redução de custos bem identificados na Iniciativa Industrial Solar Europeia, promovida pelo SET-Plan da UE.

As outras aplicações para os sistemas ópticos de alta concentração da radiação solar, como seja a produção dos combustíveis solares e passando por um maior conhecimento e estudo do armazenamento térmico a alta temperatura, estão ainda num estágio de menor desenvolvimento, pelo que se exige ainda um esforço adicional de I&D. Está em causa um maior e melhor conhecimento dos processos químicos e termoquímicos como também o domínio tecnológico e a engenharia dos reactores que terão de ser desenhados de acordo com as especificidades de cada um dos processos em causa.

As potenciais aplicações no sector agro-industrial são imensas e em conjunto com outras medidas de racionalização e de melhoria da eficiência energética no sector, poderão contribuir para a diversificação e um maior contributo para a economia nacional.

6. BIBLIOGRAFIA

- Crespo, L. (2009) Protermosolar. CSP Today, 3rd Concentrated Solar Thermal Power Summit, 11-12 Nov., Sevilha.
- European Solar Thermal Electricity Association (2013) *Solar Thermal Electricity – Strategic Research Agenda 2020-2025*, ESTELA, Bélgica
- Kodama, T. (2003) *Solar chemistry for converting solar heat to chemical fuels*. Prog. Energ. Combust. 29, 567-597
- Lédé, J. (1999) *Solar Thermochemical Conversion of Biomass*. Sol. Energy, 65(1), 3-13
- Piatkowski, N., Wieckert, C., Weimer, A., Steinfeld, A. (2011) *Solar-driven gasification of carbonaceous feedstock – a review*. Energy Environ. Sci., 4, 73-82
- POSHIP Project Consortium (2001) *The Potential of Solar Heat for Industrial Processes – Final Report* – available online at http://www.solarpaces.org/Library/docs/POSHIP_Final_Report.pdf as of June 2013
- Rabl, A. (1985) *Active Solar Collectors and Their Applications*, Oxford University Press, USA
- Romero, M. e Steinfeld, A. (2012) *Concentrating solar thermal power and thermochemical fuels*. Energy Environ. Sci., 5, 9234-9245
- Schweiger, H., Farinha Mendes, J., Carvalho, M. J., Henneke, K. and Krüger, D. (2007) *Solar Heat for Industrial Processes*. Advances in Solar Energy, An Annual Review of Research and Development in Renewable Energy Technologies, Volume 17, Editor-in-Chief Yogi Goswami, Earthscan