

3.05.02 - Engenharia Mecânica / Engenharia Térmica.

PAINEL SOLAR PARA AUXÍLIO DO SECADOR CILÍNDRICO.

Luiz Vinicius M. Soglia^{1*}, Jorge Henrique O. Sales²

1. Estudante de Engenharia de Produção da UESC

2. Professor Pós-Doutor da UESC / Orientador

Resumo:

A forma tradicional de secagem das amêndoas do cacau ocorre através das barcaças, que consistem em estruturas onde as amêndoas são dispostas horizontalmente e a secagem acontece por incidência solar direta durante o período diurno. Durante o período noturno (ou alternativamente em dias de pouca incidência solar) utiliza-se o calor proveniente da queima de combustíveis, como madeira ou óleos, para a secagem das amêndoas. Porém essa queima gera fumaça e resíduos que contaminam as amêndoas, diminuindo o seu valor comercial e a sua aceitação pelos compradores.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema que capte a energia solar através de uma série de espelhos parabólicos e transfira o calor para um fluido contido em uma tubulação que passa através do centro focal dos espelhos. Com o aquecimento, o fluido entrará em uma dinâmica dentro da tubulação devido ao efeito de convecção natural (efeito termossifão), fluindo por uma serpentina circular no interior de um tanque acumulador de calor contendo NaCl sólido. A energia térmica acumulada por esse fluido, e transferida para o NaCl dentro do tanque, pode ser utilizada para aquecer um fluxo de ar que realizará uma secagem uniforme e limpa das amêndoas de cacau durante todo o dia, principalmente mantendo uma temperatura de secagem adequada no período noturno.

As simulações do sistema foram realizadas no software COMSOL Multiphysics e demonstraram que para a incidência solar de Ilhéus-BA (local escolhido como referência para o estudo), são necessários seis espelhos parabólicos de 0,30m de diâmetro por 1,00m de comprimento cada, dispostos em série, para aquecer e manter a temperatura do óleo a cerca de 50°C no período diurno, demonstrando que o sistema de espelhos é viável em alcançar temperaturas de aquecimento do taque de NaCl, para este fornecer calor para a secagem das amêndoas de cacau dentro da faixa ideal de temperatura.

Palavras-chave: Energia Solar; Secagem; Modelagem Computacional.

Apoio financeiro: CNPq - PIBITI.

Trabalho selecionado para a JNIC pela instituição: UESC

Introdução:

As etapas de fermentação e secagem são consideradas as etapas de pré-processamento críticas para se obter uma amêndoa de cacau de qualidade, com as características organolépticas desejadas. No que tange a secagem, ela ainda é realizada pela maioria dos produtores de cacau através das barcaças: estruturas semelhantes à grandes tabladros onde as amêndoas são dispostas e secam ao sol, possuindo uma cobertura retrátil para proteger as amêndoas de intempéries. Porém no período noturno, ou em dias chuvosos e com baixas incidências solares, é comum o uso de secadores que utilizam a queima de combustíveis, como madeiras e óleos, para acelerar o processo de secagem (CUNHA; SERÔDIO, 1991).

A utilização de secadores à combustão encurta o tempo de secagem e reduz a dependência em relação as condições climáticas se comparada a secagem por convecção natural e incidência solar nas barcaças, viabilizando a secagem em regiões úmidas, durante a noite e em períodos chuvosos. Contudo, se o manejo for inadequado, pode comprometer a qualidade das amêndoas devido a não uniformidade da secagem, excesso de calor, comprometendo as características sensoriais das amêndoas de cacau pela absorção de odores provenientes da queima dos combustíveis no aquecimento do secador (PEREIRA, 2013). A faixa ideal de temperatura para a secagem das amêndoas de cacau gira em torno de 35 e 40°C (EFRAIM, 2004). Desta forma, métodos de secagem que forneçam calor de forma uniforme e limpa ajudam a garantir a qualidade das amêndoas.

Uma forma alternativa de secagem das amêndoas do cacau, utilizando energia solar, é descrita por Lima, Santos e Sales (2015) e Sales e Cândida (2016). Estes trabalhos propuseram um secador solar em formato de uma estufa vertical, que oferece significativos benefícios em relação à barcaça, pois reduz drasticamente a área necessária para secagem e permite melhores condições de trabalho, além utilizar uma fonte de calor limpa (energia solar), evitando os problemas de contaminação apresentados pelos secadores à combustão.

O atlas brasileiro de energia solar (MARTINS, ABREU e RÜTHER, 2006) afirma que o Brasil tem um grande potencial para a utilização da energia solar, com uniformidade da irradiação solar global em todo o país, mesmo com a grande extensão territorial e diversidade climática. A irradiação solar global no Brasil varia entre 6,5 kWh/m² (norte da Bahia) e 4,25 kWh/m² (litoral norte de Santa Catarina), e mesmo o valor brasileiro mais baixo é superior as irradiações globais da maioria dos países Europeus, como a França (0,90 a 1,65 kWh/m²), Espanha (1,20 a 1,85 kWh/m²), e a Alemanha (0,90 a 1,25 kWh/m²), onde há diversos empreendimentos,

inclusive com incentivos governamentais, para o aproveitamento da energia solar (MARTINS, ABREU e RÜTHER, 2006).

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma alternativa limpa e barata para a secagem de grãos, utilizando simulações computacionais para criar um sistema que possa acumular a energia térmica fornecida pelo sol e a utilizar para uma secagem uniforme e controlada dos grãos, tanto no período diurno quanto noturno.

Metodologia:

A figura 1 traz a representação e dinâmica de funcionamento do sistema auxiliar, objeto de estudo deste trabalho, que fornece calor para o secador vertical proposto por Sales e Cândida (2016).

Para determinar os parâmetros geométricos da construção deste sistema auxiliar, particularmente dos espelhos semicilíndricos, foram realizadas simulações computacionais utilizando o software COMSOL Multiphysics, o qual permite a simulação de transferência de calor por condução, convecção e irradiação, todas presentes no modelo estudado.

Foram realizadas simulações da incidência solar (irradiância) sobre os espelhos, com diferentes temperaturas ambientes, utilizando como referência geográfica a cidade de Ilhéus-BA e dados do Atlas brasileiro de energia solar (MARTINS, ABREU e RÜTHER, 2006) para alimentar os parâmetros de simulação.

A partir dos dados gerados, foram realizadas simulações com diferentes quantidades de espelhos no painel de aquecimento solar, visando determinar o comprimento, diâmetro e número de espelhos parabólicos semicilíndricos necessários para elevar a temperatura do óleo mineral até cerca de 50°C, temperatura viável para aquecer o NaCl dentro do tanque e fornecer um fluxo de ar quente dentro da temperatura ideal de secagem das amêndoas do cacau, de 35 a 40°C (EFRAIM, 2004).

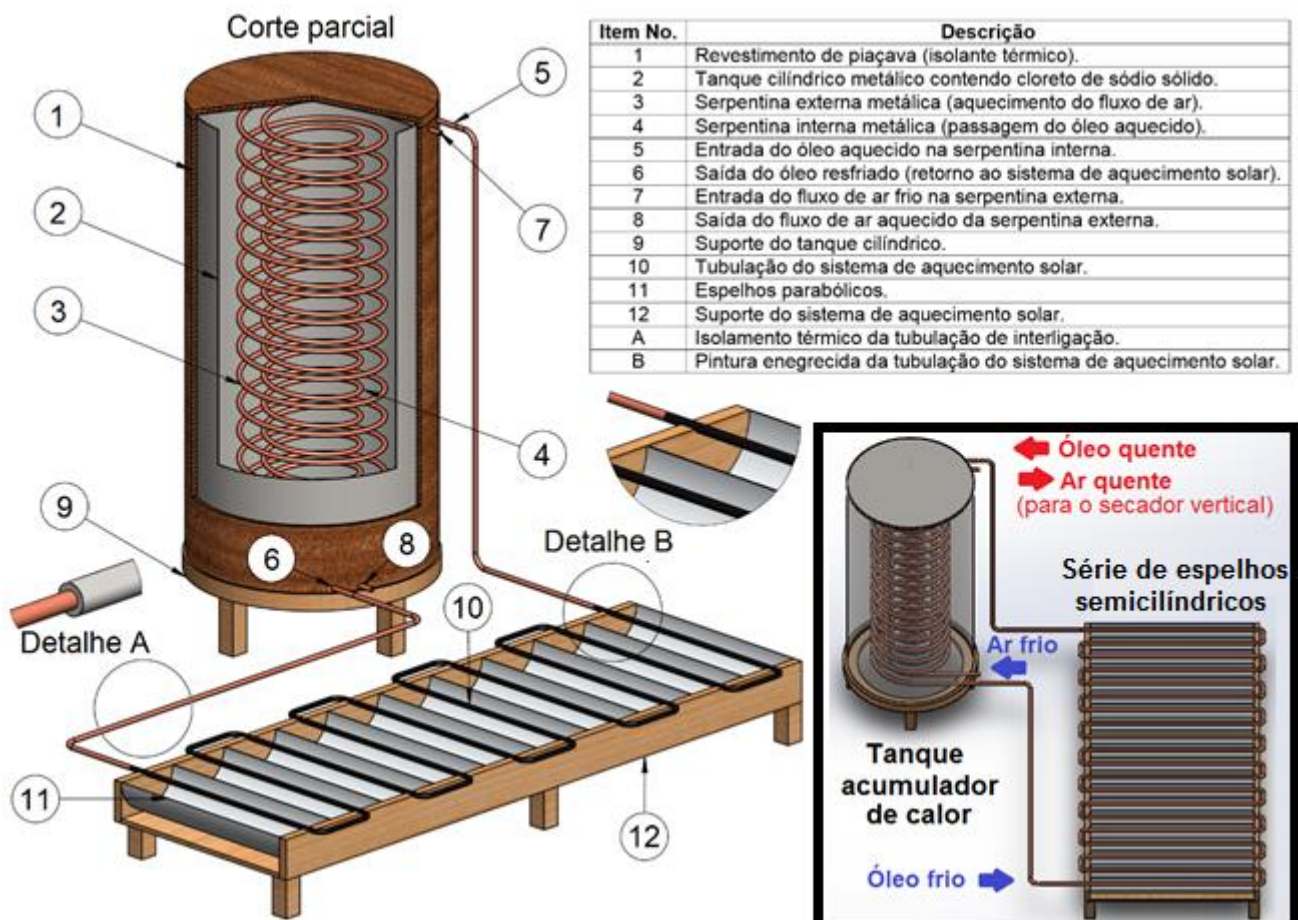


Figura 1. Sistema auxiliar que fornece calor para o secador vertical proposto por Sales e Cândida (2016).

Fonte: Próprio autor.

Resultados e Discussão:

A figura 2 traz o sistema construído no COMSOL Multiphysics para a realização das simulações. O sistema é composto por uma série de espelhos semicilíndricos, pela tubulação que passa pelo centro focal dos espelhos e pela tubulação em formato de serpentina, que fica imersa dentro do tanque acumulador de calor, fornecendo energia térmica para o NaCl sólido contido no tanque.

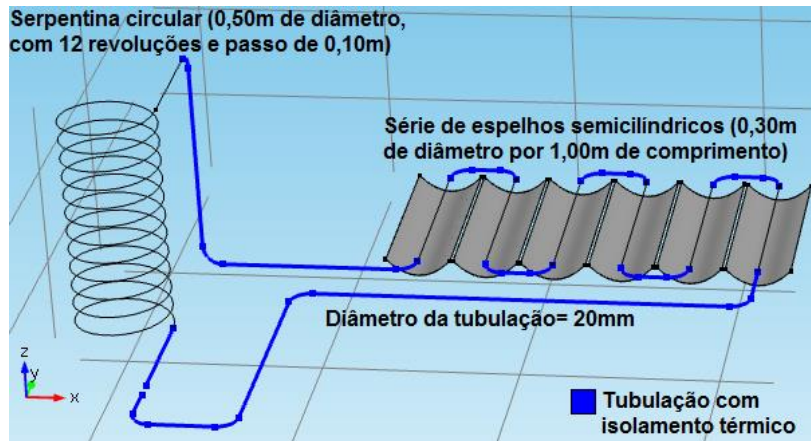


Figura 2. Sistema construído no COMSOL Multiphysics para as simulações.
Fonte: Próprio autor.

A tabela 1 traz as características atribuídas a cada parâmetro que compõe o modelo construído no COMSOL Multiphysics para realizar as simulações.

Parâmetro	Características
Espelho	6 espelhos semicilíndricos de 0,30m de diâmetro por 1,00m de comprimento cada, dispostos em série. A eficiência adotada para o espelho foi de 30% (o espelho transmite para a tubulação 30% da energia solar captada).
Tubulação	Toda a tubulação possui 20mm de diâmetro interno, espessura da parede do tudo de 0,5mm e comprimento total de 35,74m, sendo composta de liga de cobre. A Serpentina possui 0,50m de diâmetro, com 12 voltas e passo de 0,10m, totalizando uma altura de 1,20m e um comprimento linear de 18,89m.
Fluído de aquecimento (óleo mineral)	O volume total de óleo em todo o sistema é de 11,23 litros, sendo 5,92 litros somente na serpentina. O óleo flui na tubulação a uma velocidade de 0,04m/s, velocidade adotada para simular a corrente de convecção devido a variação de densidade causada pelo gradiente de temperatura durante o aquecimento do óleo (efeito de termossifão).
Transferência de calor	A irradiação solar média adotada foi a de 235.72 W/m ² , valor encontrado no atlas Brasil Solar para o mês de janeiro no município de Ilhéus-BA (MARTINS, ABREU e RÜTHER, 2006). Toda a tubulação está sujeita a perda de calor por convecção forçada, com a velocidade do vento no ambiente em 5m/s.

Tabela 1. Características atribuídas a cada parâmetro que compõe o sistema simulado.
Fonte: Próprio autor.

Foram realizadas três simulações para testar a influência da temperatura ambiente no desempenho dos espelhos no aquecimento do óleo: a primeira com uma temperatura ambiente inicial ($T_{inicial}$) de 15°C, a segunda com uma temperatura ambiente inicial de 20°C, e a terceira com uma temperatura ambiente inicial de 25°C. A equação utilizada para a temperatura ambiente ($T_{ambiente}$), sendo t o tempo em horas, foi:

$$T_{ambiente} = (T_{inicial} + 2) + 3 \cos \left[\frac{\pi}{12} (t - 14) \right]$$

A transferência de energia térmica dos espelhos para o óleo ($Q_{espelhos}$) foi modelada pela seguinte equação:

$$Q_{espelhos} = n \times \text{eficiência} \times \text{Irradiação solar} \times A_{espelho}$$

Onde: n é o número de espelhos (foram utilizados 6); *eficiência* é a eficiência dos espelhos (adotada em 30%); *Irradiação solar* é a irradiação solar ao longo do dia (calculada pelo COMSOL Multiphysics a partir da média adotada de 235.72 W/m²); $A_{espelho}$ é a área da superfície do espelho (0,3873 m² para a geometria adotada).

A figura 3 traz a comparação da temperatura do óleo ao passar pelos espelhos entre as três simulações ao longo do tempo. A simulação foi realizada ao longo do dia, das 6h às 18h. Porém os valores iniciais e finais foram descartados, pois o modelo utilizado calcula a variação da incidência solar ao longo do dia a partir de uma média diária da incidência, que deve ser fornecida. Isso causa distorções nos períodos de nascer e pôr-do-sol. Desta forma somente os valores obtidos entre as 8h às 16h foram considerados.

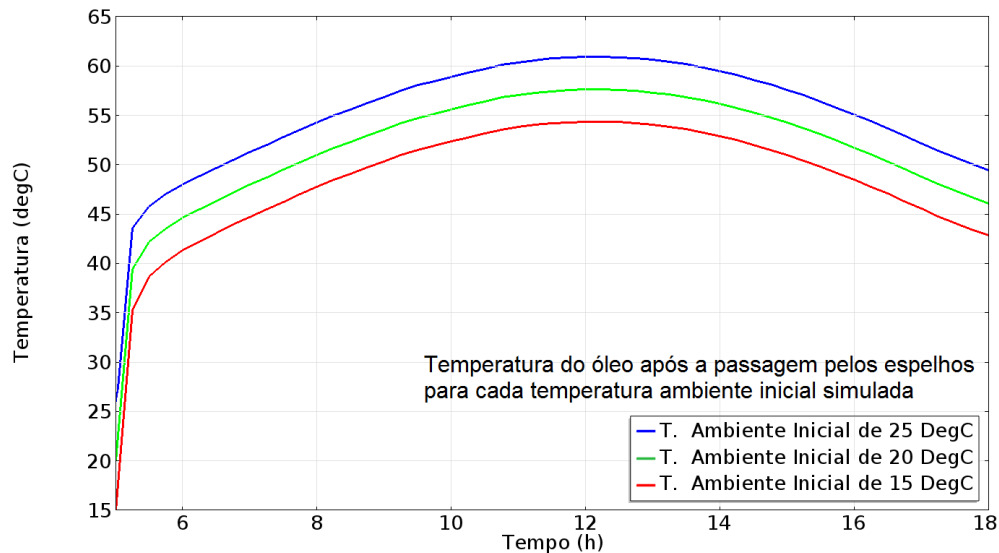


Figura 3. Comparação da temperatura do óleo ao passar pelos espelhos ao longo do tempo nas três simulações.

Fonte: Próprio autor.

Tomando o horário de 13h como referência, as temperaturas máximas do óleo neste horário para as três simulações foram: de 54,1°C para uma temperatura ambiente inicial de 15°C ($T_{inicial} = 15^{\circ}\text{C}$); 57,3°C para $T_{inicial} = 20^{\circ}\text{C}$ (3,2°C a mais do que a simulação anterior); e 60,6 para $T_{inicial} = 25^{\circ}\text{C}$ (3,3°C a mais do que a simulação anterior). Este resultado nos permite afirmar que para um incremento de 5°C na temperatura ambiente inicial, a temperatura do óleo foi incrementada em cerca de 3,25°C para o mesmo horário, sendo que mesmo na temperatura ambiente inicial mais baixa simulada (15°C), a série de espelhos semicilíndricos foi capaz de elevar a temperatura do óleo acima dos 50°C, que é uma temperatura considerada satisfatória para o funcionamento do sistema auxiliar de secagem.

Conclusões:

O sistema auxiliar composto de espelhos parabólicos semicilíndricos se mostrou viável a partir dos resultados obtidos nas simulações, sendo uma alternativa para captar energia solar e transferi-la em forma de energia térmica para um tanque acumulador de calor, que aqueceria o ar utilizado na secagem das amêndoas de cacau.

Alguns parâmetros para a construção do sistema foram determinados no presente estudo, como a geometria dos espelhos. Porém estes parâmetros podem ser refinados a partir de modelos de simulação que consigam representar melhor o efeito de termossifão que ocorre com o óleo ao ser aquecido.

Este sistema pode ser uma alternativa limpa e sustentável para a secagem uniforme de amêndoas e grãos, aproveitando todo o potencial do território brasileiro para a utilização da energia solar.

Agradecimento: CNPq.

Referências bibliográficas

CUNHA, J.; SERÔDIO, R.S. Tecnologia disponível para o beneficiamento e armazenamento do cacau. Ilhéus: CEPLAC-CEPEC, p. 45, 1991.

EFRAIM, P. *Estudo para minimizar as perdas de flavonoides durante a fermentação de cacau para produção de chocolate*. Campinas, 2004. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2004.

LIMA, G. P. A.; SANTOS, E. C.; SALES, J. H. SISTEMA INOVADOR DE SECAGEM DE GRÃOS - UMA ABORDAGEM SUSTENTÁVEL. In: XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza, 2015.

MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. Atlas brasileiro de energia solar. São José Dos Campos: Inpe, 2006.

PEREIRA, I. *Viabilidade da utilização da casca de cacau como combustível no aquecimento de ar para a secagem de amêndoas de cacau*. 2013. Tese (Doctor Scientiae) Faculdade de Engenharia Agrícola, UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, Viçosa.

SALES, J. H.; CÂNDIDA, T. EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE A AMÊNDOA DE CACAU: SECADOR VERTICAL. *Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias*, v. 6, n. 3, p. 3437-3446, 2016.