

# SECADOR SOLAR DE FRUTAS: ANÁLISE DE DOIS SISTEMAS

Ítalo de Andrade Gomes – eng.iagomes@gmail.com

Paulo Germano Pinto de Medeiros – paulo.gpm@gmail.com

Marcelo Bezerra Grilo – griloufcg@yahoo.com.br

Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia Mecânica

2 – Conversão Térmica com Coletores Planos

2.3 – Sistemas de Conversão Térmica para Aplicações Industriais, Agrícolas e Outras

**Resumo.** Este trabalho apresenta a análise comparativa de dois sistemas de secagem utilizados na produção de frutas desidratadas, que utilizam, exclusivamente, a energia solar como fonte de energia. Os dois sistemas avaliados empregaram energia solar térmica para o aquecimento do ar no coletor solar e energia solar fotovoltaica para proporcionar uma ventilação forçada do ar de secagem na câmara de secagem. Ambos foram produzidos com materiais de baixo custo e facilmente encontrados na região, o que proporciona a agregação desses secadores por pequenos produtores e/ou cooperativas rurais, sendo uma forma de estimular a economia regional. Com o secador solar desenvolvido em 2016 o teor de umidade desejado na fruta, foi obtido em menor tempo, porém o secador solar desenvolvido em 2015 apresentou, comparativamente, maior eficiência mássica do processo de secagem. Isto representa maior rapidez na produção de fruta seca para o protótipo testado em 2016, e maior capacidade produtiva para o protótipo testado em 2015. Foi comprovado experimentalmente que os dois sistemas de secagem solar são tecnicamente eficientes para realizar o processo de secagem de frutas. Com um tempo de retorno do investimento estimado em seis meses, os equipamentos desenvolvidos tiveram sua operacionalidade funcional e construtiva comprovada e contribuem para promover o desenvolvimento sustentável, pois agregam valor aos produtos comercializados e utiliza como fonte energética apenas energia solar.

**Palavras-chave:** Secagem de Frutas, Energia Solar, Desenvolvimento Sustentável.

## 1. INTRODUÇÃO

Estudos que viabilizem a utilização de outras fontes energéticas são recomendados quando se apresenta o esgotamento ou a inconveniência de um recurso energético, de modo que, as novas fontes possam compensar e/ou garantir a direção da eficiência energética. Isso significa buscar fontes alternativas que visem à inovação com eficiência e segurança do processo, qualidade do produto e preservação do meio ambiente.

Neste sentido, a utilização de energias renováveis ganha cada vez mais prestígio no mundo pós-moderno, em razão do surgimento de políticas de substituição das fontes energéticas de origem fóssil por fontes renováveis, principalmente energia solar e eólica.

Como o Brasil é um país de dimensões continentais e está geograficamente posicionado numa zona de excepcional disponibilidade de energia solar, utilizar essa fonte de energia é particularmente importante, porque o país tem o desafio de promover a mobilidade social e precisa fazer isto incentivando seu desenvolvimento tecnológico de modo sustentável.

Ambiciona-se que o crescimento socioeconômico ocorra em sintonia com o mundo globalizado de avançadas tecnologias, porém, com ações locais que priorizem a pesquisa e o desenvolvimento de máquinas simples, de fácil construção, manutenção e operação, preferencialmente de baixo custo, que respondam pelas demandas típicas de nosso desenvolvimento.

Com o foco na promoção do desenvolvimento regional, este trabalho tem o interesse em disseminar a utilização de novas tecnologias nos processos de secagem de alimentos no setor da fruticultura, permitindo a comercialização de um produto de qualidade, preferencialmente de baixo custo, aumentando, a rentabilidade na cadeia produtiva desses alimentos.

A escolha do setor frutífero decorre da sua importância no cenário econômico do Nordeste brasileiro e do amplo valor a ele empregado na nutrição humana. A utilização do secador solar tem como finalidade uma melhor conservação desses produtos para que ocorra uma comercialização mais duradoura e lucrativa, permitindo o fornecimento de alimentos climatéricos, mesmo em tempos de entressafra.

Akinola *et al.* (2006) asseguram que as tecnologias solares estão ganhando rápida aceitação como medida de economia de energia aplicada na agricultura, sendo preferíveis a outras fontes alternativas de energia porque são abundantes, inesgotáveis e menos poluentes.

O surgimento de secadores dimensionados adequadamente para a secagem de frutas e, principalmente, com custos mais acessíveis, fez crescer o mercado de frutas desidratadas nos últimos anos, bem como a diversificação do segmento,

que passou a produzir, além da banana passa, frutas secas como a maçã, o mamão, a manga e o abacaxi (GRILLO, 2007).

Procurando interagir com esta realidade no ambiente da produção agrícola brasileira, o Grupo de Pesquisa em Energia e Desenvolvimento Sustentável (GEDS), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), tem trabalhado no desenvolvimento de secadores que utilizam a energia solar, desde 2007. Vários protótipos foram construídos e testados nas mais diversas situações de utilização, repassando essa tecnologia para os pequenos produtores da região.

Neste trabalho verificaram-se a operacionalidade e os resultados de funcionalidade de dois sistemas de secagem solar desenvolvidos pela equipe do GEDS/UFCG nos anos de 2015 e 2016. São avaliados comparativamente para os dois sistemas de secagem a capacidade de secagem, tempo de secagem e o rendimento térmico.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada neste trabalho foi a da análise comparativa dos resultados obtidos por cada um dos secadores. Os sistemas analisados foram objeto de estudo em dissertações de mestrado apresentadas no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), ambos frutos de pesquisas desenvolvidas com apoio do GEDS/UFCG. Para efeito desta análise, denominaremos o Sistema de Secagem Solar desenvolvidos por Gomes (2015) de S-1 e o desenvolvido por Melo (2016) de S-2.

Cada novo sistema de secagem desenvolvido apresenta características singulares e caminha na direção da melhoria da sua eficiência energética, utilizando tecnologia apropriada, empregando materiais facilmente encontrados na região e com limite de custos construtivos e operacionais, para que os equipamentos tenham a inserção no mercado facilitada.

O modelo S-1 é composto por três componentes básicos: um coletor solar plano, uma câmara de secagem de duas bandejas e uma chaminé. O coletor solar consiste numa caixa de MDF com entrada e saída de ar e coberta por policarbonato alveolar, tem dimensões externas de 170,00 mm x 830,00 mm x 1030,00 mm e um volume interno de 120 litros. A câmara de secagem possui uma janela de policarbonato para acompanhamento visual do processo, duas bandejas, fabricadas de telas de nylon, com capacidade de 0,4 m<sup>2</sup> cada e volume interno de 224 litros, totalizando uma relação de volume do coletor em relação à câmara de 0,54. A chaminé possui um sistema de ventilação forçada, produzido a partir de 04 (quatro) *coolers* de computador, e é alimentado por um mini painel fotovoltaico que fica no topo do componente obedecendo a mesma inclinação do coletor solar, como mostrado na Fig. 1.



Figura 1 - Componentes do Secador Solar S-1.

Para facilitar o transporte do equipamento, esse modelo pode ser desmontado em partes de forma que a junção dos três componentes se dê pela justaposição de cada elemento fixada por velcro industrial. Na Fig. 2 é possível verificar o sistema completo e montado.



Figura 2 - Secador Solar S-1 Montado.

Analogamente, o modelo S-2 de Melo (2016), também possui como componentes o coletor solar plano, uma câmara de secagem e uma chaminé. No entanto, possui algumas diferenças construtivas em relação ao modelo S-1 de Gomes (2015). Neste modelo, no coletor solar, que possui volume interno de 175 litros, tem um capacitor térmico no

seu interior que tem por objetivo armazenar parte da energia disponibilizada para utilização quando a incidência da radiação solar for insuficiente. A câmara de secagem não dispõe de janela para visualização do processo, possui uma única bandeja, com capacidade de 0,032 m<sup>2</sup> e a relação de volume do coletor em relação à câmara é de 4,375, ou seja, a câmara possui 40 litros. A chaminé também possui um sistema de ventilação forçada, mas é produzido a partir de apenas 01 (um) *cooler* de computador, sendo alimentado por um mini painel fotovoltaico que fica ao lado da câmara de secagem, como pode ser observado na Fig. 3.



Figura 3 - Componentes do Secador Solar S-2.

A montagem do modelo S-2 acontece da mesma forma que o modelo S-1, mostrado na Fig. 4.



Figura 4 - Secador Solar S-2 Montado.

Na construção dos protótipos dos dois modelos analisados foram utilizadas técnicas de carpintaria de fácil domínio, além de matérias-primas facilmente encontradas na região, que pudessem atender ao objetivo de desenvolver um equipamento de baixo custo, capaz de promover a desidratação de frutas.

A metodologia adotada em ambos os trabalhos foi a análise experimental, observando-se empiricamente as influências sofridas no desempenho dos equipamentos em função das variáveis climáticas e ambientais, principalmente, temperatura do ar ambiente e intensidade da radiação solar incidente.

O modelo S-1 foi testado na secagem de abacaxi, tipo perola, enquanto que o S-2 foi utilizado na secagem de banana, tipo prata. As frutas foram adquiridas do comércio local, junto a pequenos produtores da região, nas feiras livres da cidade, estando ausentes de danos físicos e/ou deterioração provenientes de insetos e em perfeito estado de maturação.

O processo foi acompanhado por meio da verificação das condições do ar de secagem e da perda de massa do produto em intervalos regulares de uma hora até que o mesmo atingisse condições satisfatórias para armazenamento, em longa duração, no caso abacaxi passa e banana passa. Os dados experimentais foram expressos na forma de razão de umidade (RU), conforme Eq. (1).

$$RU = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (1)$$

em que X é o teor de umidade, X<sub>e</sub> o teor de umidade de equilíbrio e X<sub>0</sub> o teor de umidade inicial.

Para verificação da cinética de secagem, muitos autores observaram que a equação de Fick apresenta grandes limitações, quer seja pela necessidade de um grande número de termos quer seja por não representar os dados experimentais em trechos das curvas. Dessa forma, para os processos de secagem de frutas, é sugerido a utilização do modelo semi-teórico simplificado do modelo de Fick, o modelo de Page, explicitado na Eq. (2).

$$RU = \exp(-K * t^n) \quad (2)$$

onde, K e n são parâmetros do processo de secagem e t o tempo de processo [min].

O modelo matemático de Page foi ajustado à curva experimental de secagem utilizando-se o programa computacional *Statistica* versão 7.0, onde se verificou o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para verificar a possibilidade de predição do processo.

A potência transferida ao fluido de trabalho, também chamada de potência útil, é determinada pela Eq. (3), e representa a quantidade de energia transferida ao fluido de trabalho, neste caso, o ar ambiente.

$$P_u = \dot{m} * c_p * \Delta t \quad (3)$$

onde,  $\dot{m}$  é a vazão mássica do fluido de trabalho [kg/s],  $c_p$  é o calor específico do fluido de trabalho [J/kg.K] e  $\Delta t$  a variação de temperatura [K].

A eficiência do processo de secagem foi avaliada através da medição da variação das massas do produto a ser seco, através da Eq. (4), que apresenta os parâmetros necessários a essa determinação.

$$\eta_p = \frac{m_i - m_f}{m_a} * 100 \quad (3)$$

onde,  $\eta_p$  representa a eficiência mássica do processo de secagem [%],  $m_i$  e  $m_f$ , respectivamente, a massa inicial e final do produto [kg] e  $m_a$  a massa inicial de água presente no produto a ser seco [kg].

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os tempos de secagem necessários para atingir o limite de 25% de teor de umidade do produto, em base úmida, parâmetro adotado pelo governo brasileiro para classificar um produto como fruta seca (BRASIL, 2005), foram de 1200 min para o equipamento S-1 e 840 min para o equipamento S-2.

Como Gomes (2015) descreve cinco experimentos realizados e Melo (2016) descreve quatro, para os valores referentes à potência transferida ao fluido de trabalho, bem como a eficiência do processo de secagem durante cada experimento de secagem descritos na Tab. 1 foram considerados apenas os experimentos E2, E3 e E4 de cada modelo.

Tabela 1 - Potência Útil e Eficiência dos Processos de Secagem.

Experimentos	Potência Útil (W)		Eficiência do Processo	
	S-1	S-2	S-1	S-2
E2	167,6	170,7	95,27	86,85
E3	181,6	179,5	95,30	81,63
E4	162,8	165,4	94,74	87,14
<b>Média</b>	<b>170,7</b>	<b>171,9</b>	<b>95,10</b>	<b>85,21</b>

Da mesma forma, no comparativo dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos experimentos quando ajustados ao modelo matemático de Page. Sendo assim, na Tab. 2 estão os parâmetros encontrados na análise da cinética de secagem dos sistema S-1 e S-2.

Tabela 2 - Coeficientes de Determinação dos experimentos, ajustados ao modelo de Page.

Experimentos	N		K		R <sup>2</sup>	
	S-1	S-2	S-1	S-2	S-1	S-2
E2	1,2423	1,2225	0,0005	0,0004	99,45	99,40
E3	1,2627	1,0410	0,0004	0,0024	99,49	99,34
E4	1,2209	1,2464	0,0005	0,0006	99,48	99,56
<b>Média</b>	<b>1,2420</b>	<b>1,1700</b>	<b>0,0005</b>	<b>0,0011</b>	<b>99,47</b>	<b>99,43</b>

Nas Fig. 5 e 6 são apresentadas, respectivamente, as plotagens das curvas da cinética de secagem do experimento E2 do modelo S-1 e do experimento E4 do modelo S-2, mostrando as curvas dos experimentos que melhor se ajustaram ao modelo matemático proposto.

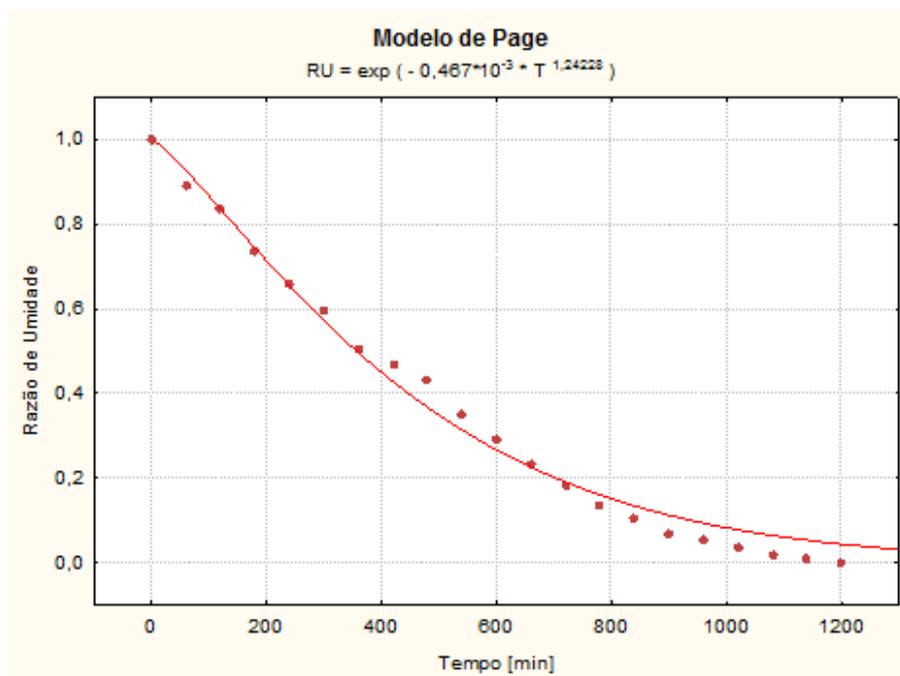


Figura 5 - Cinética de Secagem de Abacaxi Referente ao Experimento E2 do Sistema S-1.

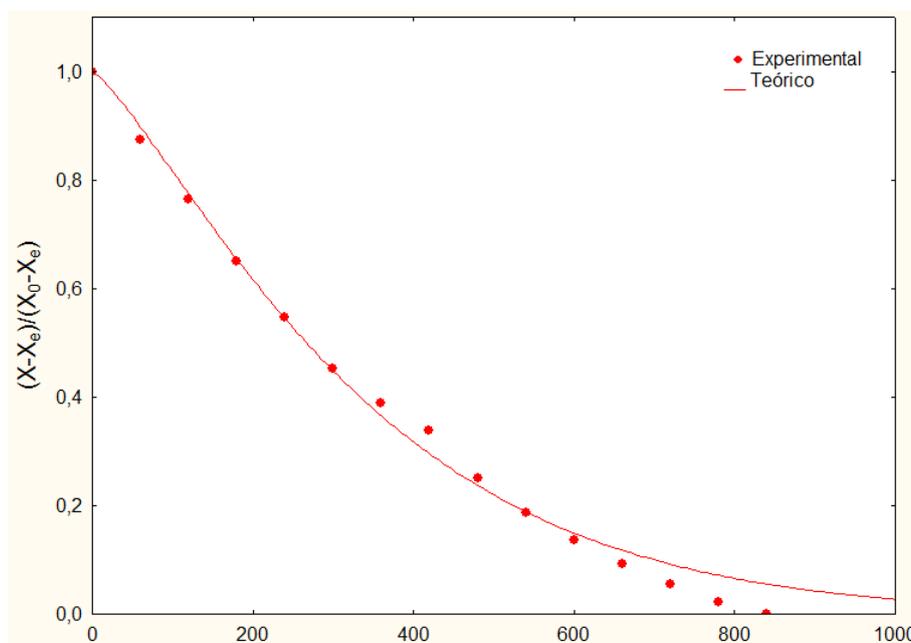


Figura 6 - Cinética de Secagem de Banana Referente ao Experimento E4 do Sistema S-2.

#### 4. CONCLUSÕES

Embora tenha atingido o teor de umidade desejado em menor tempo, a eficiência mássica do processo de secagem e o coeficiente de correlação dos ajustes do modelo de Page às curvas de secagem no sistema S-2 de Melo (2016) foram inferiores aos verificados em S-1 por Gomes (2015). O que garante maior rapidez na produção de fruta seca para o modelo mais recente

Analisando os aspectos construtivos dos dois sistemas de secagem solar é possível concluir que ambos são tecnicamente viáveis para realizar o processo de secagem de frutas e, por serem fabricados com materiais de baixo custo, configura-se como uma tecnologia social que pode ser utilizados pelos agricultores da região.

Com um tempo de retorno do investimento estimado em seis meses, os equipamentos desenvolvidos tiveram sua operacionalidade funcional e construtiva comprovada e contribuem para promover o desenvolvimento sustentável, pois agregam valor aos produtos comercializados e utiliza como fonte energética apenas energia solar.

## REFERÊNCIAS

- Akinola, O. A., Akinyemi, A. A., Bolaji, B. O. “Evaluation of Traditional and Solar Fish Drying Systems Towards Enhancing Fish Storage and Preservation in Nigeria (Abeokuta Local Governments as Case Study)”. **Journal of Fisheries International**, Vol 1, n. 2, 44-49, 2006.
- BRASIL. Resolução RDC nº 272/05 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Regulamento Técnico para Produtos de Vegetais, Produtos de Frutas e Cogumelos Comestíveis**. Diário Oficial: Brasília, 23 de set. 2005.
- Gomes, Ítalo de Andrade. **Desenvolvimento Experimental de Um Secador Solar de Frutas com Aproveitamento Multienergético**. Campina Grande-PB, 2015, 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2015.
- Grilo, Marcelo Bezerra. **Fundamentos da Energia Solar: radiação solar e o coletor solar plano, conceitos básicos e aplicações**, Campina Grande, Brasil: Editora da UFCG. 2007.
- Melo, Caio Tácito Miranda Castro Bezerra de. **Desenvolvimento e Estudo Experimental de Um Secador Solar Aplicado na Secagem de Banana**. Campina Grande-PB, 2016, 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2016.

## SOLAR DRYER OF FRUITS: ANALYSIS OF TWO SYSTEMS

**Abstract.** *This work presents the comparative analysis of two drying systems used in the production of dehydrated fruits, which exclusively use solar energy as an energy source. The two evaluated systems employed solar thermal energy for air heating in the solar collector and solar photovoltaic energy to provide forced ventilation of the drying air in the drying chamber. Both were produced with low-cost materials easily found in the region, which provides the aggregation of these dryers by small producers and / or rural cooperatives, and is a way of stimulating the regional economy. With the solar dryer developed in 2016 the desired moisture content in the fruit was obtained in less time, but the solar dryer developed in 2015 showed, comparatively, greater mass efficiency of the drying process. This represents a greater rapidity in dry fruit production for the prototype tested in 2016, and greater productive capacity for the prototype tested in 2015. It has been proven experimentally that the two solar drying systems are technically efficient to perform the fruit drying process. With an estimated return on investment of six months, the equipment developed has proven functional and constructive operation and helps to promote sustainable development, since it adds value to the products sold and uses only solar energy as an energy source.*

**Key words:** *Fruit Drying, Solar Energy, Sustainable Development.*