

CINÉTICA DE SECAGEM DA MANGA 'TOMMY AKTINS' EM SECADOR SOLAR DE BAIXO CUSTO E COM CONVECÇÃO FORÇADA DE AR

BRUNO EMANUEL SOUZA COELHO^{1*}; LAURENIELLE FERREIRA MORAES DA SILVA¹;
MARISA DA SILVA SANTANA NOVAES¹; KARLA DOS SANTOS MELO DE SOUSA²;
NEITON SILVA MACHADO².

¹Graduando (a) em Engenharia Agrônômica, *campus* Ciências Agrárias - Univasf, Petrolina-PE, souza.coelho.18@gmail.com; laura_nielle01@hotmail.com; itamara.rayanny@hotmail.com.

²DSc. em Engenharia Agrícola, Prof. Adj. *campus* Ciências Agrárias, Univasf, Petrolina-PE, karla.smsousa@univasf.edu.br; neiton.machado@univasf.edu.br.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: Este trabalho objetivou a construção de dois protótipos de secador solar de baixo custo, e avaliar a eficiência do processo de secagem da manga Cv. 'Tommy Aktins'. Para a construção do secador solar, foi utilizado um tambor metálico que foi partido ao meio gerando dois secadores, vidro, e cantoneiras metálicas, sendo adaptado um sistema de circulação forçada de ar com ventoinha de corrente alternada alimentadas por energia elétrica, e para o escoamento do ar frio foi confeccionado um orifício em cada secador, de 8 (versão 2.1) e 12 (versão 2.2) mm de diâmetro respectivamente. Como matéria-prima para secagem foram utilizados frutos classificados como refugo oriundos da fruticultura irrigada de Petrolina-PE. Para avaliação do processo de secagem foi verificada com o ganho de temperatura do secador, e da cinética de secagem ajustada pelo modelo de Page. O processo de secagem possibilitou a secagem solar dos frutos dentro de um período de 14 horas, a versão 2.2 (15,84 °C) apresentou maior ganho de temperatura quando comparada a versão 2.1 (15,25 °C), e de acordo com o modelo de Page, o processo apresentou correlação significativa de 0,9987 e 0,9986 para a versão 2.1 e 2.2 respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: *Mangifera indica* L., tecnologia de baixo custo, Page, agricultura familiar.

KINETICS OF DRYING MANGO Cv 'TOMMY AKTINS' IN LOW COST SOLAR DRYERS AND WITH AIR FORCED CONVECTION

ABSTRACT: This work aimed at the construction of two prototypes of low cost solar dryer, and to evaluate the efficiency of the drying process of the Cv sleeve. 'Tommy Aktins'. For the construction of the solar dryer, a metal drum was used that was split in the middle generating two dryers, glass, and metal angles, being adapted to the system of forced air circulation with alternating current fan fed by electric energy, and for the flow of the cold air was made in each dryer, of 8 (version 2.1) and 12 (version 2.2) mm of diameter respectively. The raw material for drying, fruits classified as refuse from the irrigated fruit-growing of Petrolina-PE were used. To evaluate the drying process was verified with the dryer temperature gain, and the drying kinetics adjusted by the Page. The drying process allowed solar drying of the fruits within a period of 14 hours, version 2.2 (15.84 °C) presented higher temperature gain when compared to version 2.1 (15.25 °C), and according to the model of Page, the process presented significant correlation of 0.9987 and 0.9986 for version 2.1 and 2.2 respectively.

KEYWORDS: *Mangifera indica* L., low-cost technology, Page, family farming.

INTRODUÇÃO

Dentre as principais frutas produzidas no Brasil tem-se a manga (*Mangifera indica* L.), com uma produção de 1.002.189 toneladas em uma área plantada de 61.842 ha em 2016, com rendimento médio de 16,21 quilos por hectares conforme dados do IBGE (2016), sendo que a variedade 'Tommy

Aktins' responde por cerca de 80% da área cultivada no Brasil, considerada favorita pelos produtores e consumidores em função das extensivas pesquisas de seleção e melhoramento (Fonseca et al., 2006).

Os principais produtores de manga no país são os Estados do Nordeste, com cerca de 44.394 hectares de área colhida correspondendo a 70,85% da área total do Brasil, sendo o Estado da Bahia o maior produtor desta região com uma área total de 21.370 ha, produção 353.689 t de e rendimento de 16,55 t.ha⁻¹, seguida de Pernambuco com uma área de 11.008 há, produção de 230.381 t e rendimento de 20,93 t.ha⁻¹ (IBGE, 2016).

A vida útil pós-colheita da grande maioria dos frutos é curta, principalmente, quando colhidos maduros e armazenados a temperatura ambiente, e apesar da produtividade, e destaque mundial, o Brasil apresenta uma das maiores taxas de perdas pós-colheita de manga, em torno de 10 a 40% do total produzido (Andrade, 2013), o que justifica o uso de processos para conservar o produto por maior tempo.

Diante disso, um dos processos mais utilizados para prolongar a vida de prateleira é a secagem, que consiste na remoção de água do alimento e redução da massa do produto, dificultando a atividade bioquímica e microbiana, porém facilitando a conservação do produto, melhorando a estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longo período, e acarretando na economia de energia por não necessitar de refrigeração, e garantindo acesso e disponibilidade do produto durante o ano inteiro (Femenia et al., 2009).

O método tradicional de secagem geralmente utiliza fontes térmicas e elétricas, a térmica baseia-se no uso de lenha ou carvão como combustíveis sólidos para promover o aquecimento do ar, podendo acarretar em contaminação do produto a ser secado, além do elevado potencial poluente, encarecendo o produto final, já o uso de eletricidade tem como maior desvantagem o consumo de níveis altos de energia e alto custo operacional (Sater et al., 2011).

E como alternativa para a solução do problema, o uso de secadores que funcionam com fonte de energia térmica solar, que é um recurso limpo, gratuito e abundante em todo o Brasil principalmente no Nordeste, permite a secagem de produtos agrícolas de maneira limpa, com baixo custo de instalação e manutenção e sem risco de contaminação (Busatto et al., 2013).

Além disso, com a implementação de secadores solar na propriedade rural é possível agregar valor comercial e melhorar a qualidade dos produtos, permitindo o uso da energia no local de geração, sem exigir gastos com transporte desta energia para longas distâncias, contribuindo com a geração de renda e melhorando a qualidade de vida do agricultor familiar (Belessiotis et al., 2011).

Sendo assim, objetivou-se construir dois protótipos de secador solar de baixo custo, e avaliar a eficiência do processo de secagem da manga Cv. 'Tommy Aktins'.

MATERIAL E MÉTODOS

Os testes experimentais foram realizados no Laboratório de Agroindústria da Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf), na cidade de Petrolina, estado de Pernambuco.

Neste trabalho, foram utilizadas mangas Cv. 'Tommy Aktins' classificados como refugo, oriundos da fruticultura irrigada do município de Petrolina – PE. Os frutos foram selecionados de acordo com o grau de maturação, ausência de injúrias e firmeza, sendo levados sob refrigeração em cooler de plástico para o Laboratório de Agroindústria da Univasf, em seguida, foram lavados e sanitizados com solução aquosa contendo 50 ppm de cloro ativo.

Os frutos foram descascados, e a polpa foi cortada em forma de cubos. A secagem ocorreu entre os dias 02, 03 e 04/05/2018, estação outono, nesse período, a precipitação pluviométrica foi de 0,0 mm e a umidade relativa do ar média de 56,01%. A secagem teve início às 11:15 e finalizou às 14:20 h, sendo exposta a radiação solar entre as 09:00 e as 16:30, e armazenadas em dessecadores com sílica gel para manter a umidade durante o período noturno e submetidos à radiação solar no dia seguinte até o término do processo.

Construção do secador solar de baixo custo

Para a secagem, foi desenvolvido um protótipo de exposição direta (Figura 1), denominado de secador solar verão 2.0, derivado da versão 1.0, sem convecção forçada de ar. Para a construção foi utilizado um tambor metálico com capacidade para 200 L, pintado de preto, e cortado ao meio obtendo-se 02 secadores. Após o corte, foi afixada uma cantoneira retangular metálica 5/16 polegadas,

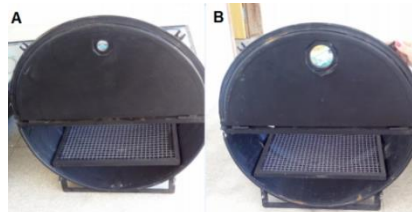
para apoiar um vidro de 4 mm de espessura, com comprimento de 80,5 cm e largura de 69,5 cm. Em uma das laterais foi afixado uma ventoinha de corrente alternada alimentadas por energia elétrica.

Figura 1. Versão 1.0 do secador solar de baixo custo



Na outra lateral foi adaptada uma porta, para permitir a entrada matéria prima, e saída do produto final, e por fim, para permitir a saída de ar frio, nesta porta foi confeccionado um orifício, em um secador com dimensão de 8 mm de diâmetro (Figura 2A), denominado de versão 2.1, e no outro secador foi dimensionado com 12 mm respectivamente (Figura 2B), denominado de versão 2.2.

Figura 2. Versão 2.1 do secador solar de baixo custo com orifício de 8 mm para saída de ar frio (A) versão 2.1 do secador solar de baixo custo com orifício de 12 mm para saída de ar frio (B).



Para evitar a passagem de insetos, os orifícios foram cobertos com telas mosquiteiras de polietileno com 1,0 mm de abertura, contra a entrada de insetos, pragas e vetores. E por fim, com uso de cantoneiras retangular metálica 5/16 polegadas e uma tela, foram construídas duas bandejas para entrada de matéria-prima e saída do produto final.

Avaliação da eficiência da secagem solar

Para o acompanhamento da temperatura utilizou-se um termômetro infravermelho com precisão de 0,01 °C para aferição da temperatura interna do secador com uso de um termômetro a infravermelho. Além disso, a temperatura do ambiente e a radiação solar foram obtidas a partir de dados fornecidos pelo Laboratório de Meteorologia da Univasf (LabMet), referentes à Estação Automática do *campus* Ciências Agrárias da Univasf.

Para construção da cinética de secagem, a matéria-prima foi avaliada quanto ao teor de umidade por secagem direta em estufa com circulação de ar forçado a 105°C, até atingir peso constante (IAL, 2008). E para avaliação da taxa de secagem, as frutas foram retiradas do secador solar em intervalos regulares de tempo para determinação da massa das amostras utilizando uma balança analítica com precisão de 0,01 g. Os dados foram utilizados para avaliar a razão de umidade em função do tempo de secagem, que foi finalizada quando houve equilíbrio de umidade (% b.s.), e a partir dos dados obtidos, foram expressos na forma de razão de umidade (RU), Eq. 1:

$$RU = (U-U_e)/(U_i-U_e) \quad (1)$$

Em que: U – teor de água do produto (%b.s.); U_i – teor de água inicial do produto (%b.s.); U_e – teor de água de equilíbrio do produto (%b.s.).

E para estudar a cinética de secagem e a significância estatística, utilizou-se o modelo de semi teórico de Page (1949) (Eq. 2), que foi ajustado à curva experimental de secagem utilizando-se o programa computacional *SigmaPlot versão 11.0*, onde se verificou o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM) para verificar a possibilidade de predição do processo.

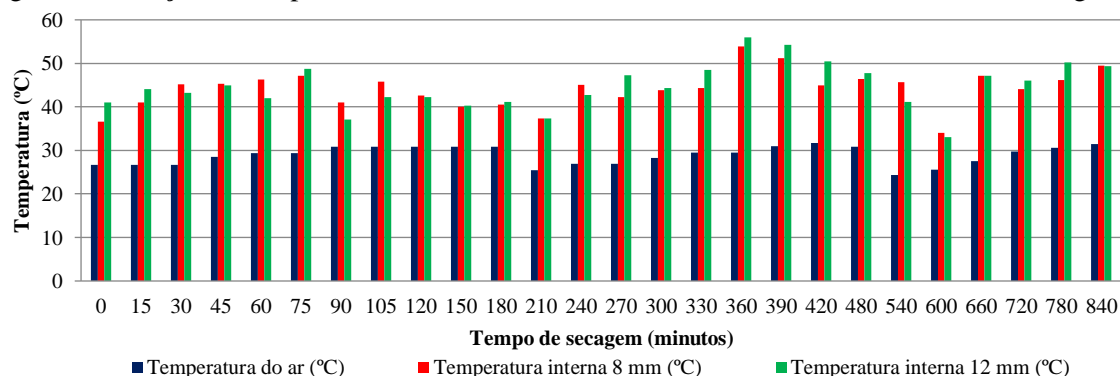
$$RU = e^{-(k \cdot t^n)} \quad (2)$$

Em que: k, n são constantes do modelo; t é o tempo de secagem (s).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta os valores de temperatura do ar no interior dos protótipos desenvolvidos e no ambiente externo em função do tempo de secagem.

Figura 3. Variação da temperatura do ar no interior e exterior do secador solar durante a secagem.

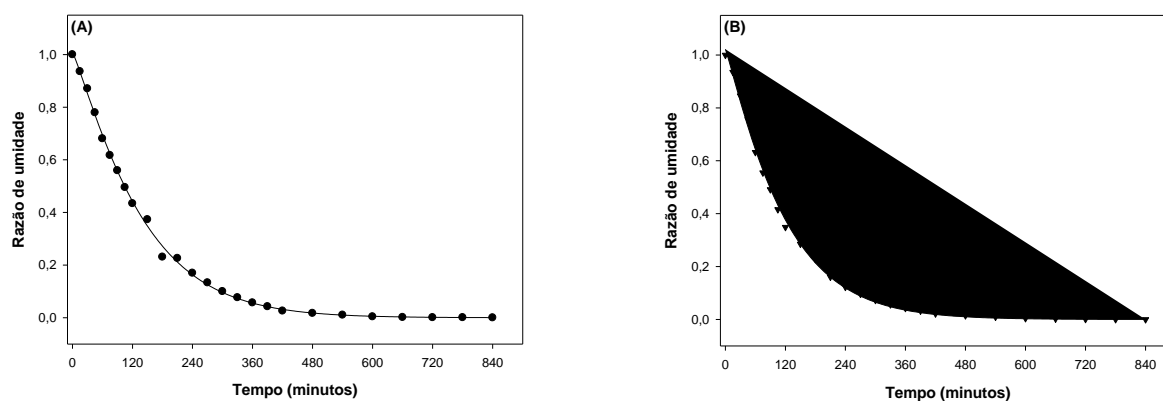


Analisando a Figura 3, é possível notar que durante o decorrer da secagem o secador solar a versão 2.1 atingiu uma temperatura interna média de 44,13 °C, com valores máximos e mínimos de 53,9 e 34 °C, respectivamente. Já versão 2.2, apresentou temperatura interna média de 44,72 °C, com valores máximo e mínimo de 56,1 °C e 33,1 °C respectivamente. Com temperatura média do ar 28,88 °C, com máxima de 31,68 °C e mínima de 24,33 °C ao decorrer da secagem.

Durante todo o processo de secagem, a temperatura interna dos dois secadores foi maior em relação a do ar (ambiente), justificando-se a estrutura do secador, que é constituída de um tambor metálico pintado de preto, e isso resulta maior absorção de energia solar e maior condutividade térmica, além disso, o vidro que recobre o protótipo facilita a entrada de raios solares.

De acordo com Silva et al. (2018), ao avaliar os parâmetros sensoriais do tomate Sweet Grape desidratado em secador solar híbrido observou a eficiência de um protótipo de secador solar ao observar um incremento de 10,4 °C da temperatura interna do secador em relação a dor ar do ambiente. Sendo assim, o protótipo desenvolvido neste trabalho, registrou maior eficiência, uma vez versão 2.1 constatou-se um incremento de 15,25 °C, e na versão 2.2, um incremento de 15,84 °C.

Figura 4. Cinética de secagem solar da manga ‘Tommy Aktins’ ajustada pelo modelo de Page (A) Versão 2.1 (B) Versão 2.2.



Já na Figura 4, tem-se a curva de secagem da manga Cv ‘Tommy Aktins’, em função da razão adimensional de umidade ajustada pelo modelo de Page, e o tempo de secagem. O tempo de secagem

foi igual nos dois protótipos, ou seja, a secagem durou 14 horas, entretanto, constatou-se uma economia de 1 hora de acordo com Coelho et al. (2017), que perdurou um tempo de 15 horas para a secagem solar da manga Cv 'Espada' na versão 1.0 (sem circulação de ar) com temperatura interna média de 49,26 °C, e temperatura do ar média de 29,34 °C na estação do ano verão.

O presente experimento apresentou coeficiente de correlação de 0,9987 e 0,9986 para a versão 2.1 e 2.2 respectivamente, mostrando-se estatisticamente significativos, e com desvio quadrático médio de 0,0123 e 0,0125 para a versão 2.1 e 2.2, atestando um bom ajuste do modelo matemático ao processo. Resultado semelhante ao relatado por Nunes et al.,(2014), ao observar que o modelo de Page (1948) proporcionou ajuste significativo e melhor adequação no processo de secagem de frutas em camadas finas.

CONCLUSÃO

O processo de secagem, a partir do uso da energia solar, possibilitou a secagem solar dos frutos de manga dentro de um período de 14 horas, por meio do desenvolvimento de um protótipo de simples manuseio e de baixo custo.

A versão 2.1 quando comparada a versão 2.2, conferiu menor ajuste do modelo de Page no processo, e ao decorrer do processo foi constatado que o secador de maior orifício para saída de ar frio apresentou maior temperatura interna.

REFERÊNCIAS

- Belessiotis, V.; Delyannis, E. *Solar drying. Solar Energy*, v. 85, p. 1665-1691, 2011.
- Busatto, L., Trevisan, R., Martins, N., Pilger, A. Uso de secador solar para secagem de *Pinus* sp. *Ciência da Madeira Brazilian. Journal Wood Science*, v. 04, n. 02, p. 176-190, 2013.
- Coelho, B. E. S. C.; Nascimento, M. M. do; Carvalho, I. R. B. de; Carvalho; Sousa, K. dos S. M. de; Machado, N. S. Cinética de secagem da manga da variedade espada submetida à secagem solar In: XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Juazeiro-BA . *Anais... Anais do XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e V Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação no Semiárido Brasileiro – XX CBAGRO/V SMUD*, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia; Embrapa, 2017. 3141 p.
- Femenia, A.; Sastre-Serrano, G., Simal, S.; Garau, M. C.; Eim, V. S., Rosselló, C. 2009. Effects of air-drying temperature on the cell walls of kiwifruit processed at different stages of ripening. *LWT - Food Science and Technology* 42:106-112.
- Fonseca, N.; Cunha, G.A.P.; Nascimento, A.S.; Santos Filho, H.P. *A cultura da manga*. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 73p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção agrícola municipal : culturas temporárias e permanentes*. 2016. IBGE, Rio de Janeiro, v. 43, p.1-62, 2016.
- Nunes, A. G., Gomes, I. A., Júnior, J. I. S., Grilo, M. B. *Estudo para Determinação do Modelo Matemático Representativo de Experimentos com Secagem de Banana Usando Energia Solar e Gás Liquefeito de Petróleo*. *Revista Magistra*. Ilhéus-BA, v.25, p.1 – 6, 2014.
- Page, G. E. *Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer*. 1949. Dissertation (Master's Thesis)- Department of Mechanical Engineering, Purdue University, Purdue.
- Sater, O.; Souza, N. D.; Oliveira, E. A. G., Elias, T. F.; Tavares. R. Estudo comparativo da carbonização de resíduos agrícolas e florestais visando à substituição da lenha no processo de secagem de grãos de café. *Revista Ceres*, v. 58, n.6, p. 717-722, 2011.
- Silva, M. A.; Javará, N. N.; Braz, M. R. S. Parâmetros sensoriais do tomate sweet grape desidratado em secador solar híbrido. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, 7., 2018, Gramado. *Anais... VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS*, 2018.
- Silva, T. S. *Estudo de um secador solar fabricado a partir de sucata de tambor de polietileno*. 2013 39 f. (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.