https://eventos.utfpr.edu.br//sicite/sicite2020

Modelagem matemática dos dados de secagem solar da jabuticaba

Mathematical modelling of the solar drying data of the jabuticaba

Henrique Gonçalves Machado
henriquemachado@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

Camila Nicola Boeri Di Domenico
camiladomenico@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

Marcos Henrique Tomazini Mikoanski
mikoanski@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar os dados da cinética de secagem da jabuticaba, em secador solar construído a partir de materiais reutilizáveis, bem como realizar o ajuste de diferentes modelos matemáticos para as curvas obtidas. Foram testados quatro modelos matemáticos semiempíricos (Wangh e Singh, Midilli, Henderson e Pabis Modificado e Dois Termos) e realizadas as análises estatísticas para verificação da adequação dos modelos aos dados experimentais. Após as análises, os modelos que obtiveram os melhores resultados foram o de Henderson e Pabis Modificado e Dois termos, ambos com coeficiente de determinação acima de 0,980, e magnitude do erro médio relativo e estimado baixa. O modelo de Henderson e Pabis modificado acabou sendo selecionado para descrever a cinética da secagem da jabuticaba por ter atingido os melhores parâmetros.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem Matemática. Jabuticaba. Secador Solar de Frutas.

ABSTRACT

The objective of this work is to report the data obtained about the structure of a solar dryer constructed from reused materials and also show the adjustment of different mathematical models for the solar drying curves of the jabuticaba. Four semiempirical mathematical models present in the literature (Wangh and Singh, Midilli, Henderson and Pabis Modified and Two Terms) were tested and statistical analyses were performed to verify the models to the experimental data. After the analyses, the models that obtained the best results were Henderson and Pabis Modified and Two Terms, both with coefficient of determination above 0.980, and magnitude of the mean relative error and Estimated low. The Henderson and Pabis Modified model was selected to describe the drying kinetics of the jabuticaba because having reached the best parameters.

KEYWORDS: Mathematical Modeling. Jabuticaba. Solar Fruit Drayer.

Recebido: 19 ago. 2020. **Aprovado:** 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

INTRODUÇÃO

Para que seja possível cumprir metas propostas na agenda 2030, em específico o objetivo 2 que diz respeito a erradicação da fome no mundo (ONU, 2015) devemos aprimorar métodos que reduzam desperdícios de alimentos. Se analisarmos o Brasil, que é o terceiro maior produtor de frutas do mundo, 2,5 milhões de hectares são cultivados, o setor possui uma renda bruta de 33 milhões de reais e é responsável por aproximadamente 16% de mão de obra nacional (ABRAFRUTAS, 2019). Porém, com essa grande produção, grandes perdas também são acumuladas: em 2018 o Brasil produziu 37 milhões de toneladas de hortifrúti, entretanto 11 milhões de toneladas foram perdidas, como afirma a Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados (ABRAFRUTAS, 2018).

Vários são os motivos que se somam para esse alto valor de desperdícios, como exemplo o transporte e manuseios precários que são responsáveis por 30 % das perdas (GAZETA DO POVO, 2018), além de que quando o produto sofre um ferimento ele perde sua beleza estética e não é selecionado pelos compradores, fazendo com que o produto permaneça nas prateleiras até o fim de seu período útil de consumo, que é relativamente curto. Logo, faz-se necessário a busca e aperfeiçoamento de soluções simples e de baixo custo para a conservação e reaproveitamento dos alimentos.

Uma das alternativas é um método extremamente antigo para a conservação dos alimentos, que surgiu devido às observações dos povos primitivos (ALMEIDA; LIMA; SOUZA, 2016), o qual baseia-se na utilização da energia solar para a desidratação das frutas e hortaliças, agregando valor ao produto que seria descartado, ou seja, a secagem elimina a água contida no alimento pelo processo de evaporação resultando no aumento do tempo que o alimento fica disponível para o consumo.

Dentre as frutas brasileiras, a jabuticaba é uma extremamente admirada. É uma fruta brasileira muito saborosa, sua espécie mais conhecida é a jabuticabeira Sabará por ocupar a maior parte plantada no Brasil (BRUNINI et al., 2004).

Levando em consideração o que foi exposto, este trabalho tem por objetivo apresentar os dados da cinética de secagem da jabuticaba, em secador solar construído a partir de materiais reutilizáveis, bem como realizar o ajuste de diferentes modelos matemáticos para as curvas obtidas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de secagem solar da jabuticaba foi realizado num secador solar de madeira MDF Naval, desenvolvido na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Francisco Beltrão (UTFPR-FB).

Para a obtenção dos dados de teor de umidade inicial, foi submetido uma pequena amostra de jabuticaba com massa de 15g/20g do produto em uma estufa de 105°C ± 2ºC por 24 horas, de acordo com as informações do Ministério da Agricultura.

Para determinar a razão de umidade da jabuticaba foi utilizada a equação (1):

$$RU: \frac{U-Ue}{U-Ue} \quad (1)$$

Onde:

RU: Razão de umidade do produto, adimensional;

U: Teor de água do produto, decimal b.s;

U_i: Teor de água inicial do produto, decimal b.s;

U_e: Teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s;

Para a modelagem matemática da cinética da secagem da jabuticaba, foram utilizados quatro modelos matemáticos semiempíricos, apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Modelos matemáticos semiempíricos de secagem

Modelo	Equação	
Wang e Singh	RU = 1+a.t+b.t2	(2)
Midilli	RU = exp(-k*(t**n))+b*t	(3)
Henderson e Pabis modificado	RU = a.exp(-k.t)+b.exp(-k0.t)+c.exp(-k1.t)	(4)
Dois Termos	a.exp(-k0.t)+b.exp(-k1.t)	(5)

Fonte: Produção própria dos autores (2020).

Em que:

RU - razão de umidade, adimensional; t - tempo de secagem, h; k, k_o, k_1 - constantes de secagem, h^{-1}; a, b, c, n - coeficientes dos modelos.

Para ajuste dos modelos, foram realizadas análises de regressão não linear pelo algoritmo de Levenberg-Marquardt com o auxílio do software IBM SPSS Statistics v26. O grau de ajuste considerado para cada modelo levou em conta o coeficiente de determinação (R^2), a magnitude do erro médio relativo (P) - equação 6 e do erro médio estimado (SE), apresentado na equação 7.

$$P = \frac{100}{n}\sum\frac{|Y-\hat{Y}|}{Y} \quad (6)$$

$$SE = \sqrt{\sum\frac{(Y-\hat{Y})^2}{GLR}} \quad (7)$$

Sendo:

Y - Valor observado experimentalmente;

$\hat{Y}$ - valor calculado pelo modelo;

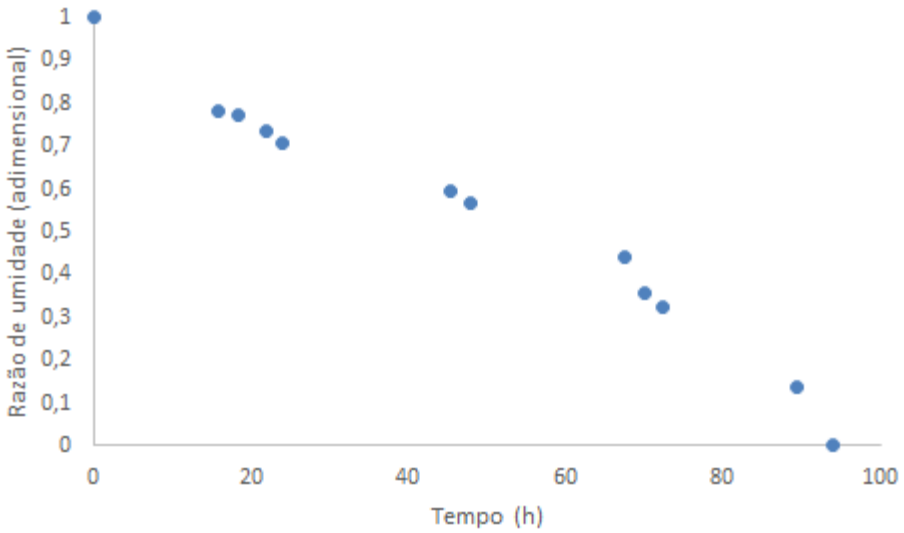
n - número de observações experimentais;

GLR - grau de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 1, é mostrada a cinética de secagem da jabuticaba, com os dados da razão de umidade em função do tempo. Nota-se que o tempo de secagem foi relativamente longo, aproximadamente 4 dias.

Figura 1 - Variação da Razão de Umidade em Função do Tempo da secagem de jabuticaba.



Fonte: Produção própria dos autores (2020)

A tabela 2 apresenta os parâmetros estatísticos obtidos para a comparação entre os modelos matemáticos da secagem da jabuticaba, com o intuito de encontrar o que melhor se adequa aos dados experimentais.

Tabela 2 - Coeficiente de determinação R^2, Erros médio relativo (P) e estimado (SE), para os modelos testados para a secagem da jabuticaba.

MODELO	R^2(DECIMAL)	P (%)	SE (DECIMAL)
Wang e Singh	0,9640	6,89	0,00888
Midilli	0,9670	6,92	0,00966
Henderson e Pabis modificado	0,995	3,83	0,00889
Dois Termos	0,992	4,96	0,00585

Fonte: Produção própria dos autores (2020).

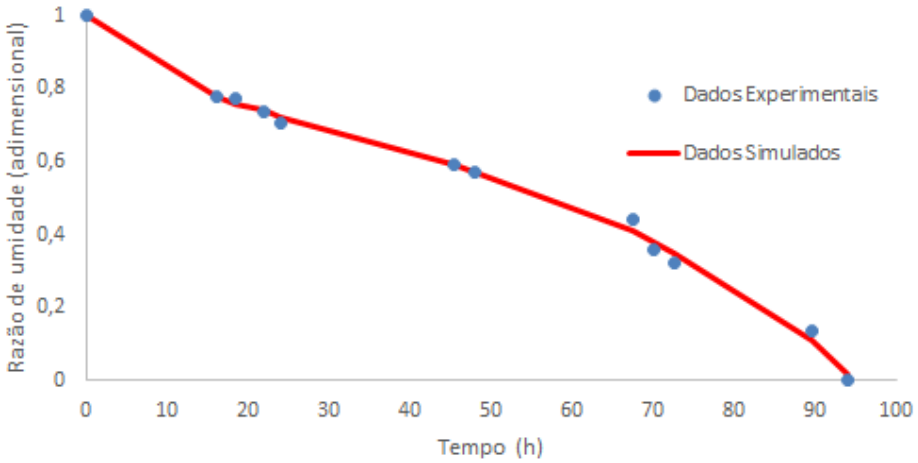
Observando-se a tabela 2, nota-se que todos os modelos obtiveram erro médio relativo (P) inferiores a 10% e erro médio estimado (SE) baixos, indicando serem adequados para descrição do processo (MOHAPATRA; RAO, 2005). Em destaque, Henderson e Pabis modificado que obteve um erro médio relativo de 3,83%.

Os modelos de Henderson e Pabis modificado e Dois termos obtiveram R^2 superiores a 0,980, demonstrando que os modelos são adequados para a exposição do fenômeno (MADAMBA; DRISCOLL; BUCKLE, 1996).

Para representação da cinética da secagem da jabuticaba o modelo escolhido foi o de Henderson e Pabis Modificado, por atingir os melhores parâmetros.

Na figura 2 são apresentadas as razões de umidade observadas e estimadas para o modelo de Henderson e Pabis Modificado.

Figura 2 - Comparação entre dados experimentais e simulados pelo modelo de Henderson e Pabis modificado na secagem da jabuticaba.



Fonte: Produção própria dos autores (2020)

Este modelo obteve o melhor R^2, 0,995 e o menor erro médio relativo (P), 3,83, dentre os modelos matemáticos testados para a secagem da jabuticaba.

Alguns autores escolheram o modelo de Henderson e Pabis Modificado como um dos melhores para representar os seus respectivos estudos, como os trabalhos realizados por Morais et al. (2013) no estudo da modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi, Corrêa et al. (2007) em seu estudo da secagem do feijão, Bernardes et al. (2013) que estudou a secagem da maçã fuji e Araújo et al. (2017), em seu estudo da secagem dos frutos de amendoim.

CONCLUSÃO

Para a secagem solar da jabuticaba, os modelos de Henderson e Pabis Modificado e Midilli obtiveram ótimos valores estatísticos, sendo o modelo de Henderson e Pabis Modificado escolhido por obter o melhor R^2 e o menor erro médio relativo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Araucária pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

ABRAFRUTAS. Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados. Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo. Brasília/DF, 2019. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2019/03/07/brasil-e-o-terceiro-maior-produtor-de-frutas-do-mundodiz-abrafrutas/> Acesso em: 13. fev. 2020.

ABRAFRUTAS. Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados. Relatório Cenário Hortifruti Brasil 2018 mostra que geração de empregos é destaque. Brasília/DF, 2018. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2018/10/31/relatorio-cenariohortifruti-brasil-2018-mostra-que-geracao-de-empregos-e-destaque/>. Acesso em: 13. fev. 2020.

ALMEIDA, I. B. DE; LIMA, M. A. A.; SOUZA, L. G. M. DE. Desenvolvimento de Secador Solar construído a partir de Material Reciclável. **Holos**, v. 4, p. 197, 2016.

ARAÚJO, W. D., GONELI, A. L. D., CORRÊA, P. C, HARTMANN FILHO, C. P. e MARTINS, E. A.S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim

em camada delgada. **Revista Ciências Agronômicas**, Fortaleza/CE, v. 48, n. 3, p. 448-457, jul-set, 2017. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/rca/v48n3/1806-6690-rca-48-03-0448.pdf. Acesso: 07 Ago. 2020.

BERNARDES, L. H., MINUZZI, S. W., KRÜMMEL, A., SOARES, M. V., OLIVEIRA, E. G. (2013). XXV Congresso Regional De Iniciação Científica E Tecnológica Em Engenharia – CRICTE 2013, Passo Fundo/RS, Secagem da Casca de Maçã Fuji: Influência de Pré-Tratamento e Cinética de Secagem, 11 A 13 De setembro. Disponível em: http://cricte.upf.br/papers/paper_246.pdf.

BRUNINI, M. A. et al. Influência de embalagens e temperatura no armazenamento de jabuticabas (Myrciaria jabuticaba (Vell) Berg) cv 'SABARÁ'. **Ciênc. Tecnol. Aliment**., Campinas, v. 24, n. 3, p. 378-383, set. 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612004000300013&lng=en&nrm=iso. Acesso em 10 Ago. 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612004000300013.

CORRÊA, P. C., RESENDE, O., MARTINAZZO, A. P., GONELI, A. L. D., & BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (Phaseolus vulgaris L.) em camadas delgadas. **Eng. Agríc**., Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 501-510, Ago. 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162007000300020&lng=en&nrm=iso. Acesso: 07 Ago. 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000300020.

GAZETA DO POVO. Manuseio e transporte são as principais causas do desperdício de alimentos. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/bomgourmet/manuseio-e-transporte-principal-causadesperdicio-alimentos/>. Acesso em: 13 ago. 2019.

MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. Thin-layer drying characteristcs of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, London, v.29, n.1, p.75-97, 1996. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0260877495000623?via%3Dihub. DOI: https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)00062-3.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v.66, p.513-18, 2005. http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.023

MORAIS, S. J. DA S., DEVILLA, I. A., FERREIRA, D. A., & TEIXEIRA, I. R. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp.). **Rev. Ciênc. Agron**., Fortaleza, v. 44, n. 3, p. 455-463, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902013000300006&lng=en&nrm=iso. Acesso em 10 Ago. 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000300006.

ONU. Objetivo 2: acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods2/>. Acesso em 11 de ago. 2020.