

CINÉTICA DE SECAGEM DA BANANA VERDE PACOVAN (Musa x paradisiacal) KINETIC DRYING BANANA PACOVAN

Resumo:

O processo de secagem consiste na retirada de umidade da banana e desidratá-la. Diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas. Este trabalho teve como objetivo determinar as curvas e o tempo de secagem da banana pacovan (Musa × paradisiaca), e ajustar os modelos matemáticos de secagem em camada fina aos dados experimentais obtidos na secagem da banana pacovan a temperatura de 60 °C em estufa e secador solar, definindo o melhor modelo matemático. Os resultados da secagem foram avaliados ajustando-se aos seguintes modelos matemáticos: Newton, Page, Henderson & Pabis, Logaritmico, Dois termos, Wang e Sing, Midilli et al., Henderson & Pabis modificado e de Fick. De acordo com as análises dos dados, o modelo que melhor representou o fenômeno de secagem nos dois tipos de secador foi o de Medilli apresentando coeficientes de determinação maiores que 0,98, descrevendo satisfatoriamente a secagem do produto.

Abstract:

The drying process consists of banana moisture removing order to let her dehydrated. Several mathematical models have been used to describe the process of drying agricultural products. This study aimed to determine the curves and the drying time of Pacovan banana (Musa × paradise), and adjust the mathematical models of drying thin layer to the experimental data obtained in the drying Pacovan banana temperature of 60 °C in an oven and dryer solar, defining the best model. The results of the drying were evaluated by adjusting to the following mathematical models: Newton Page Henderson & Pabis, logarithmic, Two terms, Wang and Sing, et al Midilli, Henderson and modified Pabis and Fick. According to the analysis of the data, the model that best represented the drying phenomenon in both types of dryer was the Medilli presenting determination coefficients higher than 0.98, satisfactorily describe the drying.



**Flávia Cristina Lima, Carlos
José Macena, José Carlos
Ferreira, João Carlos Melo,
Regilane Marques Feitosa**

¹ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco - Campus Belo Jardim. E-mail: flavia.c.7@hotmail.com

Contato principal
Flávia Cristina Lima ¹



Palavras chave: Desidratação, Modelagem matemática, Secadores

Keywords: Dehydration, Mathematical modeling, Dryers



INTRODUÇÃO

A banana (*Musa ssp.*) é uma das frutas mais conhecidas e consumidas no Brasil e no mundo, sendo um alimento muito nutritivo, pois é fonte de minerais como potássio, magnésio, fósforo, ferro e cálcio, de vitaminas e possui baixo teor de gorduras. Devido às perdas do pós-colheita que incluem perdas do manuseio do alimento incorreto, transporte, machucados do fruto, armazenamento, o processo de secagem de banana surge como uma alternativa pois reduz as perdas e aumentar o valor de mercado do produto (BORGES et al., 2011; RIBEIRO, 2014).

No processo de desidratação podem ser utilizados secadores elétricos, à lenha, de derivados fósseis e solares. Destes destacam-se os secadores solares uma vez que a radiação solar, além de ser renovável e de baixo custo, é considerada como fonte de energia limpa visto que não libera resíduos na atmosfera (SILVA, 2010).

O estudo de sistemas de secagem, seu dimensionamento, otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial, podem ser feitos por simulação matemática, cujo princípio se fundamenta na secagem de sucessivas camadas delgadas do produto, utiliza-se um modelo matemático que representa satisfatoriamente a perda de umidade do produto durante o período de secagem. Vários modelos matemáticos que descrevem o mecanismo de secagem têm sido sugeridas para a otimização do processo de secagem e no desenvolvimento eficaz de projeto de secadores (DARVISHI et al., 2013). Estes modelos, geralmente, baseiam-se em variáveis externas ao produto, como a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem (MELO et al., 2014).

Silva, (2010) reporta que no caso da desidratação da banana para a obtenção de farinha o uso de secador solar pode se constituir em alternativa mais acessível e de menor custo em relação ao secador convencional. Este processo permite que o sabor e a qualidade nutricional sejam mantidos sem o uso de técnicas artificiais nocivas à saúde.

A desidratação tem como objetivo eliminar um líquido volátil (água) contido na matéria-prima, por meio da técnica de evaporação, proporcionando a conservação desse alimento por mais tempo (DANTAS et al. 2009).

Diante do exposto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de determinar as curvas e o tempo de secagem da banana pacovan (*Musa × paradisíaca*), e ajustar os modelos matemáticos de secagem em camada fina aos dados experimentais obtidos na secagem da banana pacovan à temperatura de 60 °C em estufa e secador solar, definindo o melhor modelo matemático.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Tecnologia do Processamento de Frutas e hortaliças pertencente ao Curso Técnico em Agroindústria do

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco - Campus Belo Jardim.

Matéria-prima

A bananas verdes pacovan (06 cachos) foi adquirida no próprio IFPE campus Belo Jardim. Foi realizado a pesagem seguido do despencamento. As secagens foram realizadas utilizando-se a estufa e o secador solar.



Figura 1. Banana verde pacovan inteira e cortada em rodela. IFPE, 2017.

Secagem em estufa térmica

Os ensaios de secagem foram realizados utilizando-se estufa, sem circulação de ar, na temperatura a 60 °C. As fatias foram colocadas em bandejas de alumínio em camadas finas.

Secador solar

O processo de secagem da banana verde em estufa solar ocorreu em dois dias de sol com média de temperatura de 60 °C.

Modelos matemáticos

As curvas de secagem foram ajustadas aos dados experimentais utilizando-se nove diferentes equações empíricas e semi-empíricas, descrita na Tabela 1.

O ajuste dos modelos foi realizado pelo método Quasi-Newton por meio de análises de regressão não linear. O grau de ajuste de cada modelo foi considerado pela magnitude do coeficiente de determinação (R²) e o menor erro médio estimado (SE).

Calculou-se a razão de umidade (RU) do produto para o tempo t, conforme apresentado na Equação 1.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (1)$$

Sendo:

U – teor de água do produto no tempo, %b.s.

U_e – umidade de equilíbrio, %b.s.

U_i – teor de água inicial do produto, %b.s

O erro médio estimado para cada modelo foi calculado conforme demonstrado na Equação 2.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (2)$$

Sendo:

n – número de observações

Y – valor observado

Y0 – valor estimado pelo modelo

GLM – graus de liberdade do modelo

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para descrever a secagem da banana pacovan verde

Modelos matemáticos	Equações
Page	$RU = \text{Exp}(-k \cdot t^n)$
Dois termos	$RU = a \cdot \text{Exp}(-k_0 \cdot t) + b \cdot \text{Exp}(-k_1 \cdot t)$
Newton	$RU = \text{Exp}(-k \cdot t)$
Henderson e Pabis modificado	$RU = a \cdot \text{Exp}(-k \cdot t) + b \cdot \text{Exp}(-k_0 \cdot t) + c \cdot \text{Exp}(-k_1 \cdot t)$
Henderson e Pabis	$RU = a \cdot \text{Exp}(-k \cdot t)$
Logarítmico	$RU = a \cdot \text{Exp}(-k \cdot t) + c$
Midilli et al.	$RU = a \cdot \text{Exp}(-k \cdot t^n) + b \cdot t$
Difusão três termos	$RU = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \text{Exp}(- (2n+1)^2 \pi^2 D \frac{t}{4L^2})$
Wong e Sing	$RU = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2$

Em que:

RU – razão de umidade do produto, adimensional;

D – coeficiente de difusão, m².s⁻¹;

L - espessura da amostra, m.

t – tempo de secagem,

k – coeficiente de secagem,

a, b, n – constantes dos modelos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 encontram-se os valores dos coeficientes de correlação (R²) e dos erros médios relativos (SE) dos modelos de Page, Dois termos, Henderson e Pabis modificado e Midilli et al. (2002), calculados para verificação dos seus ajustes aos dados experimentais da secagem da banana nos dois secadores (estufa e solar) a 60 °C. Observa-se que os modelos empregados para a representação do processo de secagem da banana apresentaram coeficientes de correlação (R²) superior a 0,95, o que já seria considerado um ajuste satisfatório. Porém, de forma geral, dentre os modelos matemáticos analisados, o modelo de Midilli et al. (2002) foi o que se ajustou melhor aos dados experimentais, por apresentar coeficiente de correlação com valores superiores a 0,99 e valores de erro médio estimado (SE) inferiores a 0,04%. Sousa et al. (2011) estudando a secagem em camada fina de polpa de oiti nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, em estufa com circulação forçada de ar, observaram que os modelos de Page e o de Midilli et al. (2002) representaram satisfatoriamente os dados experimentais para a descrição da cinética de secagem da polpa de oiti com coeficientes de determinação superiores a 99%.

Tabela 2. Valores dos coeficientes de determinação (R²) e do erro médio estimado (SE) dos modelos matemáticos da secagem da banana pacovan 60 °C. IFPE, 2017..

Modelos Matemáticos	Temperatura (60°C)	R ²	SE
Page	Estufa	0,9950	0,0328
	Solar	0,9588	0,0601
Dois termos	Estufa	0,9776	0,0758
	Solar	0,9771	0,0489
Henderson e Pabis modificado	Estufa	0,9759	0,0869
	Solar	0,9898	0,0397
Midilli et al.	Estufa	0,9980	0,0224
	Solar	0,9981	0,0355

Na Figura 2, têm-se as cinéticas de secagem da banana á temperatura de 60°C ajustado ao modelo matemático de Midilli et al. (2002), as quais foram obtidas através da secagem em estufa e em secador solar. Nota-se que o tipo de secador influenciou no tempo de secagem, sendo perceptível o distanciamento entre as curvas, mesmo a temperatura de secagem sendo a mesma (60°C). Verifica-se que a curva referente á secagem da banana na estufa ocorreu mais rapidamente, em 25400s, enquanto na

secagem solar foi em 60000s. Nota-se que as curvas de secagem apresentaram apenas o período de taxa decrescente para as condições estudadas, não apresentando período à taxa constante. Segundo Gouveia

et al. (2003), isso pode ter ocorrido pela natureza da umidade, uma vez que, mesmo havendo umidade superficial livre, a água pode estar na forma de suspensão de células e de solução.

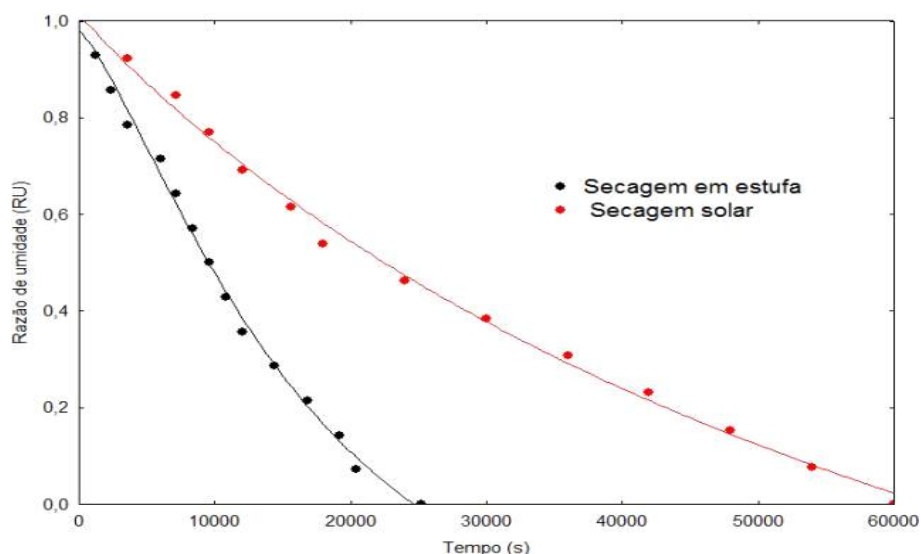


Figura 2. Curvas de secagem determinadas pelo modelo de Midilli et al. (2002) na estufa e no secador solar a 60 °C. IFPE, 2017.

Na Tabela 3, observa-se os valores estimados dos parâmetros do modelo de Midilli et al. (2002) para a banana em diferentes tipos de secador. Observa-se que a magnitude da constante de secagem (k), no qual representa a constante da taxa de secagem, é maior na secagem realizada na estufa que no secador solar, o que já era esperado devido à rapidez com que ocorreu a secagem na estufa. Segundo Midilli et al. (2002), os valores dos parâmetros “a” e “b” se devem mais a ajustes matemáticos do que a algum fenômeno de secagem, uma vez que o modelo de Midilli é semiempírico.

Tabela 3. Valores estimados dos parâmetros do modelo de Midilli et al. (2002) para a banana em diferentes tipos de secagem. IFPE, 2017.

Parâmetros	Modelo matemático	
	Midilli et al.(2002)	
	Estufa	Solar
k	0,000037	0,000004
a	1,014621	0,980699
b	-0,000004	-0,000006
n	0,958957	1,297314

CONCLUSÃO

A secagem da banana na estufa ocorreu mais rapidamente que na secagem solar, sendo os tempos de secagem da banana, respectivamente iguais, a 25400 e 60000s. As curvas de secagem apresentaram apenas o período de taxa decrescente para a secagem da banana. O modelo que melhor representou o fenômeno de secagem nos dois tipos de secador foi o de Midilli et al. (2002).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à PROPESQ/IFPE campus Belo Jardim/PE e ao IFRN campus Caicó/RN, pelo apoio para execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORGES, A. M.. Estabilidade da pré-mistura de bolo elaborada com 60% de farinha de banana verde. **Revista Ciência Agrotecnica**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 173-181, fev. 2010.
- DANTAS, T. N. P. et al. Estudo da transferência de calor e massa e da cinética de secagem em placas planas de batata inglesa (*Solanum Tuberosum* L.). In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**, v.8, 2009, Uberlândia. Disponível em: <<http://www.cobeqic2009.feq.ufu.br/uploads/media/105621281.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2016.
- DARVISHI, H.; ASL, A. R.; AGHARI, A.; AZADBAKHT, M.; NAJAFI, G.; KHODAEI, J. Study of the drying kinetics of pepper, **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, J. Saudi Soc. For Agric. Sci., 2013.
- GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; E. S. FARIAS.; SILVA, M. M.; CHAVES, M. C. V.; REIS, L. S. Determinação das Curvas de Secagem em Frutos de Cajá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n.1, p.65-68, 2003.

MELO, J. C. S.; PEREIRA, E. D.; COSTA, C. H. C.; OLIVEIRA, K. P. Modelagem Matemática das Curvas de Secagem da Pimenta de Cheiro, **Anais...**In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2014, Florianópolis – SC, setembro, 2014, p.1-7.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, v.20, n.7, p.1503–1513, 2002.

RIBEIRO, T. D. R. W. Descrição da cinética de secagem de frutos de banana Prata e D'Água por modelos de regressão não linear. **Revista da estatística**, v3., p. 2014.

SILVA, I. G. **Desidratação de banana em secador solar: viabilidade técnica e econômica**, 2010, 103f. Dissertação – Universidade Federal do Rio Branco, RIO BRANCO, 2010.

SOUSA, F. C., SOUSA, E. P., SILVA, L. M. M., MARTINS, J. J. A., GOMES, J. P., ROCHA, A.P.T. Modelagem Matemática para Descrição da Cinética de Secagem de Polpa de Oiti. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.26, n.2, p.108-112, 2011.