

Descrição cinética de secagem da polpa de jabuticaba usando modelos empíricos

Kinetic description of drying the pulp Jabuticaba using empirical models

Jarderlany Sousa Nunes^{1*}, Deise Souza de Castro¹, Inácia dos Santos Moreira¹, Francinalva Cordeiro de Sousa¹; Wilton Pereira da Silva²

Resumo - A jabuticabeira (*Myrciaria cauliflora* Berg) é uma árvore frutífera pertencente à família Myrtaceae, de ocorrência espontânea em grande parte do Brasil. Seus frutos são tipo baga globosa de até 3 cm de diâmetro, com casca avermelhada quase preta, polpa esbranquiçada mucilaginosa, agridoce, muito saborosa, apresenta comumente uma única semente, mas podendo apresentar até 4 sementes. A aplicação dos modelos matemáticos confiáveis permite prever o comportamento dos diversos fenômenos que ocorrem durante o processo de secagem, o que implica na redução do custo operacional. Objetivou-se neste trabalho avaliar preliminarmente a cinética de secagem da polpa jabuticaba. A secagem foi realizada num secador de bandejas com temperatura de 50, 60 e 70 °C. Os dados experimentais foram ajustados utilizando os modelos Page, Henderson e Pabis, exponencial de dois termos e Wang e Singh. Pode-se concluir que a secagem convectiva da polpa de jabuticaba mostrou que quanto maior a temperatura, menor o tempo de secagem, justificado pela maior taxa de secagem. O modelo de Page apresentou o melhor ajuste, utilizando critérios estatísticos de avaliação: maiores coeficiente de determinação e menores qui-quadrado. Sendo utilizado para descrever a taxa de secagem para a polpa de jabuticaba.

Palavras chave: cinética, modelos matemáticos, taxa de secagem.

ABSTRACT – The jabuticabeira (*Myrciaria cauliflora* Berg) is a fruit tree belongs to the Myrtaceae family, which occurs spontaneously in most of Brazil. Its fruits are globose berry up to 3 cm in diameter, with reddish bark almost black, whitish mucilaginous pulp, sour, very tasty, commonly presents a single seed, but may submit up to 4 seed type. The application of reliable mathematical models can predict the behavior of the various phenomena that occur during the drying process, which implies the reduction of operating costs. The objectives of this study preliminarily evaluate the kinetics of drying the pulp blemish. Drying was carried out in a tray dryer at a temperature of 50, 60 and 70 °C. The experimental data were fitted using the models Page, Henderson and Pabis, two exponential terms and Wang and Singh. It can be concluded that the convective drying blemish pulp showed that the higher the temperature, the shorter the drying time, justified by the increased rate of drying. Page model showed the best fit, using statistical evaluation criteria: smaller and larger chi-square coefficient of determinatio. As used to describe the rate of drying of the pulp blemis.

Keywords: kinetics, mathematical models, drying rate.

INTRODUÇÃO

A flora brasileira é rica em frutas silvestres comestíveis, as quais constituem um patrimônio de grande valor genético e cultural. Dentre as espécies nativas de importância do Brasil, destaca-se a jabuticabeira (*Myrciaria cauliflora* Berg), que é uma árvore frutífera pertencente à família Myrtaceae (DANNER et al., 2006; ALEXANDRE et al., 2006; CITADIN, 2010). Trata-se de uma planta originária da região de Minas Gerais, mas que, hoje, encontra-se amplamente distribuída em quase todas as regiões brasileiras (SILVEIRA et al., 2006), podendo ser encontrada desde o Estado do Pará até o do Rio Grande do Sul, e também em outros países como Bolívia, Argentina, Uruguai e Peru (ASCHERI et al., 2006).

No Brasil a principal espécie é a jabuticaba Sabará sendo a mais doce das jabuticabas e intensamente plantada, principalmente nos Estados de Minas Gerais e São Paulo, que possuem alguns pomares comerciais. Os frutos se apresentam sob a forma de uma baga globosa, com até 3 cm de diâmetro, casca avermelhada quase preta, polpa esbranquiçada, mucilaginosa agridoce, muito saborosa, contendo comumente uma única semente, mas

podendo apresentar até 4 sementes. O fruto é bastante consumido em sua forma natural, e ainda, sob a forma de geléias, licores, vinhos e vinagres (LIMA et al., 2008).

A jabuticaba é altamente perecível, apresentando um período curto de comercialização após a colheita devido à rápida alteração da aparência, decorrente da intensa perda de umidade, deterioração e fermentação da polpa, ocorrendo principalmente pelo seu alto teor de água e açúcares. Depois de colhida, a fruta tem vida útil de até três dias, o que prejudica bastante a sua comercialização (ASCHERI et al., 2006; SATO & CUNHA, 2009).

A secagem é um dos processos disponíveis para a aplicação na indústria de polpas de frutas, concentrando os princípios da matéria-prima e habilitando o produto para o armazenamento em condições ambientais por longos períodos (FIGUEREDO et al., 2004).

A aplicação dos modelos matemáticos confiáveis permite prever o comportamento dos diversos fenômenos que ocorrem durante o processo de secagem, o que implica na redução do custo operacional (DIONELLO et al., 2009).

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 19/06/2013; Aprovado em 19/03/2014

¹ Alunas do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó. Campus I – UFCG – Bloco CM – 1º Andar – Caixa Postal 10.078. CEP 58429-140 – Campina Grande, PB. Fone: (83) 2101-1055, Fax: (83) 2101-118. Email: jade_nunes@hotmail.com.

² Professor Associado IV, da Unidade Acadêmica de Física da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Objetivou-se, no presente trabalho, avaliar preliminarmente a cinética de secagem da polpa jaboticaba e estudar o ajuste de modelos matemáticos de secagem aos dados experimentais.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Armazenamento e Processamento de produtos Agrícolas (LAPPA) da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Os frutos de jaboticaba (*Myrciaria cauliflora Berg*) foram adquiridos em uma feira livre local. Os frutos foram selecionados no laboratório, lavados em água corrente, sanitizados em solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm, enxaguados, partidos manualmente ao meio, retiradas as sementes e a polpa. A seguir a polpa foi triturada e homogeneizada em um processador, acondicionada em placas de vidro, contendo cada placa aproximadamente 100 g de polpa, a qual foi uniformemente espalhada com espátulas de aço inoxidável.

O teor de água inicial foi determinado pelo método padrão da estufa a 105 ± 3 °C, utilizando três sub-amostras de 10g de polpa acondicionados em recipientes de vidro, onde permaneceram durante 24 h. Após esse período, foram retirados da estufa, resfriados em dessecador durante 15 min e pesados em balança analítica com precisão de 0,0001. A porcentagem de teor de água foi calculada na base do peso úmido aplicando-se a fórmula proposta por Brasil (2005) e o resultado final expresso pela média aritmética em porcentagens das sub-amostras, de acordo com a Equação 1:

$$X = \frac{m_{H_2O}}{ms} \quad (1)$$

em que:

X -teor de água

m_{H_2O} - massa de água

ms -da massa seca

As amostras com teor de água inicial de 6,0761(b.s), foram secas em camada fina em uma estufa com circulação forçada de ar, disponível na dependência do Laboratório de Secagem de Produtos Agrícolas, a estufa foi ajustada para operar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com umidade relativa média do ambiente de 48 %. A pesagem das amostras foi realizada através de uma balança semi-analítica. Os intervalos de tempo utilizados na pesagem foram de 5 em 5 min durante os primeiros 30 min de processo, de 10 em 10 min para os 30 min seguintes, de 30 em 30 min para as 6 h seguintes e de 1 em 1 h até que o equilíbrio dinâmico entre a amostra e o ar de secagem fosse alcançado. Após a obtenção das massas, calculou-se o teor de água em base úmida, em base seca e a razão de teor água para as amostras em cada temperatura e intervalo de tempo, também foi calculado o teor de água de equilíbrio para as temperaturas de 50,60 e 70 °C, 0,2453, 0,2010 e 0,1946 (b.s), respectivamente.

As curvas de secagem foram obtidas pela conversão dos dados referentes à perda de água no parâmetro adimensional razão de teor de água (RX). Para determinação da razão de teor de água da polpa de jaboticaba para as diferentes condições de secagem foi utilizada a seguinte equação:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2)$$

onde:

RX – razão de teor de água (adimensional)

X_e – teor de água de equilíbrio

X – teor de água em base seca

X_0 – teor de água inicial

Os valores de RX observados para cada temperatura do ar de secagem foram simulados por cinco diferentes equações empíricas e semi-empíricas, através de regressão não-linear, descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem da polpa de jaboticaba.

Designação do Modelo	Modelo
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k \cdot t)$ (3)	Exponencial de dois termos
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$ (4)	Henderson & Pabis
$RX = 1 + at + bt^2$ (5)	Wang e Singh
$RX = \exp(-k \cdot t^n)$ (6)	Page

RX - razão de umidade

k - constante de secagem (min^{-1})

t - tempo (min)

a, k, b e n - constante da equação.

Os modelos de secagem exponencial de dois termos, Wang e Singh, Page e Henderson & Pabis foram ajustados

aos dados experimentais de secagem da polpa de jaboticaba, utilizando-se a análise de regressão não linear,

empregando-se o programa computacional LAB Fit. A partir da escolha do melhor modelo dentre os aplicados mostrados na tabela 1, foram determinadas expressões matemáticas para a taxa de secagem em função do tempo, e tempo de secagem para um teor de água adimensional.

Na Tabela 2, podem ser observados os valores dos parâmetros dos modelos de Page, Henderson e Pabis, Exponencial de Dois Termos e Wang e Singh ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem da polpa de jabuticaba, os coeficientes de determinação (R^2) e qui-quadrado (χ^2) para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 2: Parâmetros de ajuste dos modelos das curvas de cinética de secagem da polpa de jabuticaba, coeficientes de determinação (R^2) e qui-quadrado (χ^2).

Modelos	Temp. (°C)	Parâmetros				$R^2\%$	χ^2
		a	B	K	N		
Page	50	-	-	0,000375	1,4203	99,69224	$1,218 \times 10^{-2}$
	60	-	-	0,000611	1,3947	99,81209	$6,323 \times 10^{-3}$
	70	-	-	0,000569	0,1473	99,66229	$2,000 \times 10^{-2}$
Henderson e Pabis	50	1,063327	-	0,004150	-	98,59497	$6,596 \times 10^{-2}$
	60	1,063873	-	0,005342	-	98,33896	$5,584 \times 10^{-2}$
Exponencial de Dois Termos	70	1,076930	-	0,006802	-	97,67962	$7,064 \times 10^{-2}$
	50	0,531664	0,531664	0,004150	-	98,41632	$6,596 \times 10^{-2}$
	60	0,531938	0,531938	0,005342	-	84,01556	$5,584 \times 10^{-2}$
Wang e Singh	70	0,538464	0,006802	0,538464	-	97,67962	$7,064 \times 10^{-2}$
	50	$-0,27 \times 10^{-2}$	$0,18 \times 10^{-5}$	-	-	0,98913	$5,169 \times 10^{-2}$
	60	$-0,38 \times 10^{-2}$	$0,37 \times 10^{-5}$	-	-	0,99681	$1,620 \times 10^{-2}$
	70	$-0,47 \times 10^{-2}$	$0,56 \times 10^{-5}$	-	-	0,99355	$2,759 \times 10^{-2}$

Conforme pode ser observado na Tabela 2, verifica-se que quase todos os modelos analisados apresentaram ajustes com elevados coeficientes de determinação (R^2) e baixos qui-quadrado (χ^2). O modelo exponencial de dois termos, para a temperatura de 60 °C, apresenta um valor abaixo de 96 % para o coeficiente de determinação (R^2) indicando de acordo com Mohapatra & Rao (2005), uma representação insatisfatória do fenômeno em estudo.

Page ajustou-se aos dados experimentais, nas diferentes temperaturas de secagem, pois apresentou o melhores coeficiente de determinação (R^2) e Qui-quadrado (χ^2).

A Figura 1 apresenta as curvas de secagem da polpa de jabuticaba em diferentes temperaturas para a equação

de Page, apresentadas na forma de RX em função do tempo em min.

De acordo com as curvas da Figura 1 tem-se perda de umidade mais rápida no início do processo de secagem e tempo de estabilização em função da temperatura: 1070 min para a temperatura de 50° C e de 430 min para a secagem a 70 °C, a secagem a 60 °C, ocorreu apos passados 550 min. Este comportamento revela que o tempo e a temperatura do ar de secagem exercem influencia sob a cinética de secagem de alimentos, como o observado por, Gouveia et al. (2002) e Farias et al. (2002) em secagem de caju e cajá, respectivamente.

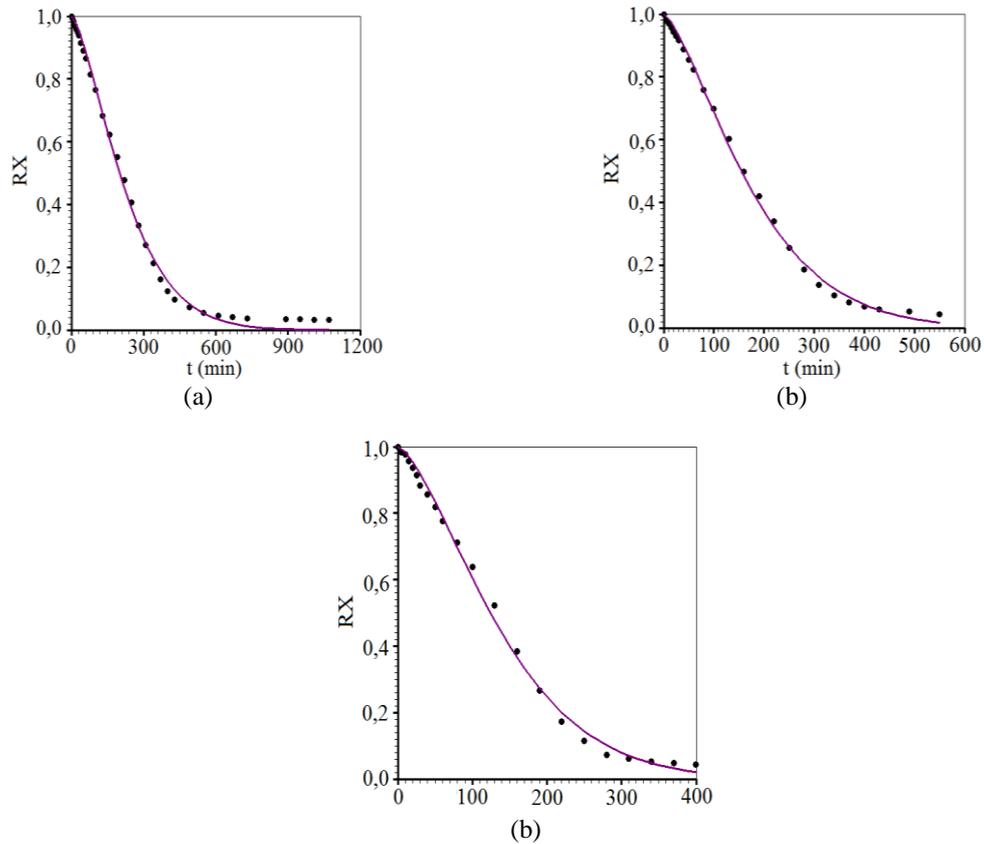


Figura 1: Curvas de secagem da polpa de jaboticaba para o modelo Page, (a) 50 °C, (b) 60 °C, (c) 70 °C.

Marques et al. (2007) ao ajustarem os modelos de Page e Henderson & Pabis aos dados de secagem de caju com pré-tratamento osmótico, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, também obtiveram excelentes ajustes, com coeficientes de determinação (R²) superiores a 0,99. Babalis et al. (2006) ao estudarem a secagem de figo nas temperaturas de 55 a 85 °C e velocidade de ar de secagem de 1m/s, encontraram para o modelo de Henderson e Pabis R² >0,99. Medeiros (2007) ao estudar a secagem de mangaba utilizando para ajuste dos dados o modelo de Page obtiveram R² > 0,99, indicando que este modelo

representa bem a cinética de secagem do produto estudado.

A taxa de secagem é definida como a quantidade de umidade removida em unidade de tempo a partir de um material seco por unidade da superfície de secagem. Ou seja, é a derivada do teor de umidade total (X) pelo tempo (t) de secagem, dX/dt (AHMED, 2011).

Utilizando os parâmetros da Tabela 1 podemos traçar o gráfico da taxa de secagem para o modelo de Page, usando a equação 9.

$$\frac{dX^*}{dt} = -a \cdot b \cdot t^{b-1} \cdot \exp(-at^b) \tag{9}$$

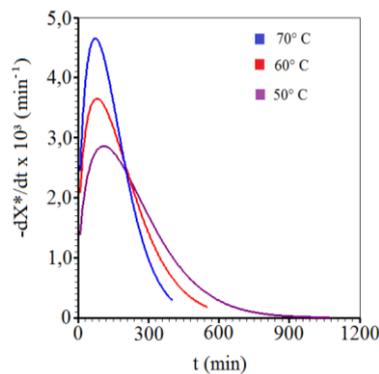


Figura 2 – Taxa de secagem da equação de Page para polpa de jaboticaba nas temperaturas de 50, 60 e 70°C

Observa-se, na Figura 2, as curvas de taxa de secagem para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C. A maioria dos produtos agrícolas apresenta apenas taxa decrescente o que não é observado nesse estudo. A taxa de secagem da polpa de jaboticaba exibe primeiramente uma taxa de secagem crescente, ou seja, quanto maior o tempo e a temperatura maior será a perda de água, e logo após uma taxa decrescente. Um dos motivos para essa propriedade pode ser composição da polpa que possui um teor de água acima de 80 %, sendo em sua grande maioria água livre.

CONCLUSÕES

Analisando os resultados encontrados nesse estudo, pode-se observar que a secagem convectiva da polpa de jaboticaba mostrou que quanto maior a temperatura, menor o tempo de secagem, justificado pela maior taxa de secagem, quanto maior a temperatura, maior será o pico da taxa de secagem. Ao ajustes dos modelos matemáticos, o modelo de Page foi o melhor representou a cinética de secagem para polpa de jaboticaba nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, apresentando maiores determinação (R^2) e menores qui-quadrado (χ^2).

REFERÊNCIAS

- AHMED, J. Drying of vegetables: principles and dryer design. **Handbook of Vegetables and Vegetable Processing**. Sinha, N. K. Ed. Blackwell Publishing Ltd, 279-298, 2011.
- ALEXANDRE, R.S.; WAGNER JÚNIOR, A.; NEGREIROS, J.R.S.; BRUCKNER, C.H. Estádio de maturação dos frutos e substratos na germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas de jaboticabeira. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, p. 227-230, 200.
- ASCHERI, D.P.R.; ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W.P. Caracterização da farinha do bagaço da jaboticaba e propriedades funcionais dos extrusados. **Ciência de Tecnologia de Alimentos**, v.26, p.867-905, 2006.
- BABALIS, S.J.; PAPANICOLAOU, E.; KYRIAKIS, N.; BELESSIOTIS, V. G. Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). **Journal of Food Engineering**, v.75, n.2, p.205-214, 2006.
- BRASIL. Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4ª ed. Instituto Adolfo Lutz, Brasil, 1018p, 2005.
- CITADIN, I.; DANNER, M. A.; SASSO, S. A. Z. Jaboticabeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, p. 0-1, 2010.
- DANNER, M.A.; CITADIN, I.; FERNANDES JUNIOR, A.A.; ASSMANN, A.P.; MAZARO, S.M.; DONAZZOLO, J. SASSO, S.A.Z. Enraizamento de jaboticabeira (*Plinia trunciflora*) por mergulhia aérea. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, p.530-532, 2006.
- DIONELLO, R. G.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; PEREIRA, R. C.; VIANA, A. P. CARLESSO, V. O. Secagem de fatias de abacaxi in natura e pré-desidratadas por imersão-impregnação: cinética e avaliação de modelos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, n.1, p.232-240, 2009.
- FARIAS, E.S.; GOUVEIA, J.P.G.; ALMEIDA, F.A.C.; BRUNO, L. A.; NASCIMENTO, J. do. Secagem de cajá em um secador de leito fixo. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2002, Belém. **Anais...** 2002. p. 5.-CD.
- GOMES, P. M. de A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M.. Armazenamento da polpa de acerola em pó a temperatura ambiente. **Ciência Tecnologia Alimentos**, v.24, n.3, p.384-389, 2004.
- GOUVEIA, J.G.P.; MOURA, R.S.F.; ALMEIDA, F. A.C.; OLIVEIRA, A.M.V.; SILVA, M.M. Avaliação da cinética de secagem de caju mediante um planejamento experimental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.471-474, 2002.
- LIMA, A.J.B.; CORRÊA, A.D.; ALVES, A.P.C.; ABREU, C.M.P.; BARROS, A.M. D. Caracterização do fruto jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) e de suas frações. **Archivos Latino americanos de Nutricion**, v.58, p.426-421, 2008.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v.66, n.4, p.513-518, 2005.
- MARQUES, L.F.; DUARTE, M.E.M.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; NUNES, L.S.; COSTA, T.L.; COSTA, P.B.S.; DUARTE, S.T.G. Secagem precedida de desidratação osmótica de pseudofruto de caju: comparação entre modelos matemáticos aplicados. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.9, n.2, p.161-170, 2007.
- SATO, A.C.K.; CUNHA, R.L. Effect of particle size on rheological properties of jaboticaba pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 91, p. 566-570, 2009.
- SILVEIRA, F.T.; ORTOLANI, F.A.; MATAQUEIRO, M.F.; MORO, J.R. Caracterização citogenética em duas espécies do gênero *Myrciaria*. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.6, p.327-333, 2006.