

ESTUDO DA CINÉTICA E AJUSTES DE MODELOS MATEMÁTICOS AOS DADOS DE SECAGEM DO BARBATIMÃO (*Stryphnodendron adstringens*)

R. T. BAIA¹, L. P. ALMEIDA¹, S. de O. MORENO¹, L. de A. da SILVA¹, W. da L. RODRIGUES¹

¹ Universidade do Estado do Amapá, Engenharia Química
E-mail para contato: renanbaiatei@gmail.com

RESUMO – A espécie *Stryphnodendron adstringens*, de ampla distribuição geográfica e popularmente conhecida como barbatimão é tradicionalmente utilizada como adstringente, antimicrobiano, homeostático, anti-hipertensivo e coagulante sanguíneo. O presente trabalho propôs analisar a secagem convectiva do barbatimão em leito fluidizado. Na prática experimental, primeiramente, determinou-se a umidade inicial da entrecasca em estufa durante 24 h a $103 \pm 2^\circ\text{C}$. Foram realizados dois ensaios utilizando-se um secador de leito fluidizado tipo túnel. Para o tratamento da secagem, utilizaram-se temperaturas de 68 e $78^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ e velocidade do ar de 1 e $0,5 \text{ m/s} \pm 0,1 \text{ m/s}$ por um período de 5 h. Aos dados experimentais foram ajustados seis modelos matemáticos utilizados para representação da secagem da entrecasca do barbatimão. Com base nos resultados obtidos, o modelo matemático de Dois termos foi o que melhor representou a cinética de secagem da casca do barbatimão.

1. INTRODUÇÃO

A espécie *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville (Leguminosae), conhecida popularmente como barbatimão, casca-da-virgindade ou barãozinho-roxo tem distribuição geográfica ampla, ocorrendo desde o Pará, passando pelo planalto central, até Minas Gerais e São Paulo (Lorenzi, 1992; Almeida et al, 1998). O barbatimão é tradicionalmente utilizado como adstringente, antimicrobiano, homeostático, antidiarreico, anti-hipertensivo, coagulante sanguíneo, e ainda no tratamento de hemorragias e inflamações (Soares *et al.*, 2008; Oliveira; Figueiredo, 2007).

O interesse por produtos com potencial terapêutico cresce continuamente, devido a esta demanda torna-se primordial o desenvolvimento de técnicas eficientes de secagem e armazenamento para que a planta e suas propriedades químicas possam ser aproveitadas de forma integral e efetiva (Tabaldi *et al.*, 2012).

Em espécies medicinais a secagem é uma operação unitária de preparação para o armazenamento a fim de atender às necessidades da indústria farmacêutica de fitoterápicos, pois estas não possuem disponibilidade de plantas frescas por todo o período de produção industrial (Lorenzi; Matos, 2008). O processo de secagem proporciona uma considerável redução de volume, ocasionando em uma redução de custos em transportes e manipulação do produto, além de possibilitar a conservação da matéria-prima por maior tempo e aumentar o

percentual de princípios ativos em relação a massa inicial da planta (Prates *et al.*, 2012; Martins; Santos, 1995).

Uma das formas de secagem é realizada mediante passagem de uma corrente de ar atmosférico aquecido pelo sólido úmido, envolve simultaneamente a transferência de calor e massa, reduzindo a quantidade de água presente no corpo-sólido (Foust, 2006). Seu comportamento é definido pela análise das mudanças de umidade em função do tempo (Menezes *et al.*, 2013).

Os modelos matemáticos são considerados instrumentos úteis na estimativa do tempo necessário para redução do teor de água do produto, sob diferentes condições de secagem e contribuindo na melhoria da eficiência do processo (Andrade *et al.*, 2003). Consequentemente, torna-se de suma importância o ajuste de diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais de secagem, e, também, que este trabalho seja realizado para as diversas espécies de plantas medicinais para a obtenção do modelo mais adequado para cada espécie vegetal (Radunz *et al.*, 2011).

Ante o exposto, este trabalho teve por objetivos: analisar o comportamento da secagem convectiva do barbatimão; aplicar diferentes modelos matemáticos da literatura e selecionar o modelo que melhor se ajusta aos dados experimentais.

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

O experimento foi realizado no Laboratório de Resistência e Tecnologia dos Materiais, pertencente à Universidade do Estado do Amapá (UEAP), no município de Macapá-AP. A entrecasca do barbatimão foi obtida no Instituto de Estudos e Pesquisas do Estado do Amapá - IEPA. A matéria-prima passou por um processo de seleção, onde foram retiradas partes doentes e danificadas e na sequência foi cortada em pedaços não maiores que 5 cm de comprimento cada.

O teor de água foi determinado após a seleção do material e ao final do processo de secagem, a partir do método gravimétrico adotando-se a metodologia recomendada pela ASABE (2010), mantendo o material em estufa com circulação forçada do ar a uma temperatura de 103 ± 2 °C, durante 24 h. Foram realizados dois ensaios, utilizando-se um secador de leito fluidizado tipo túnel, com variações de temperatura (68 e 78 °C ± 2 °C) e velocidade do ar (1 e $0,5$ m/s $\pm 0,1$ m/s), respectivamente.

Colocou-se no interior do túnel cerca de 30 g de amostra em cada ensaio e a perda de água foi acompanhada mediante pesagens em períodos regulares, inicialmente de 5 minutos, aumentando progressivamente, totalizando cerca de 5 horas até que as amostras atingissem massa constante na segunda casa decimal da balança semi-analítica.

Os dados obtidos experimentalmente foram ajustados aos modelos matemáticos através do software Statistica® 7.0, a partir de estimativa não linear e com o uso do método Quasi-Newton. Os modelos escolhidos para representar a razão da umidade em função do tempo estão apresentados na Tabela 1, ao lado de suas respectivas equações.

Tabela 1 – Modelos cinéticos de secagem

Modelo	Equação	Fonte
Newton	$RU = \exp(-k \times t)$ (1)	O'Callaghan <i>et al.</i> (1971)
Page	$RU = \exp(-k \times t^n)$ (2)	Hofsky <i>et al.</i> (2009)
Henderson e Pabis	$RU = a \times \exp(-k \times t)$ (3)	Sousa <i>et al.</i> (2011).
Midilli e Kucuk	$RU = a \times \exp(-k \times t^n) + b \times t$ (4)	Corrêa <i>et al.</i> (2007).
Dois termos	$RU = a \times \exp(-K_0 \times t) + b \times \exp(-K_1 \times t)$ (5)	Henderson (1974)
Aproximação da difusão	$RU = a \times \exp(-k \times t) + (1 - a) \times \exp(-k \times b \times t)$ (6)	Sharaf-Elden <i>et al.</i> (1980)

Onde RU é razão de umidade do produto (adimensional); t é o tempo de secagem (min); K, K₀ e K₁ são coeficientes de secagem; a, b e n são constantes dos modelos.

A escolha do modelo foi realizada em função do coeficiente de determinação (R²), o erro médio relativo (EMR), calculado através da equação 7 e o erro médio estimado (EME) conforme a equação 8.

$$EMR = \frac{100}{N} \sum \frac{|Y - Y'|}{Y} \quad (7)$$

$$EME = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y')^2}{GLR}} \quad (8)$$

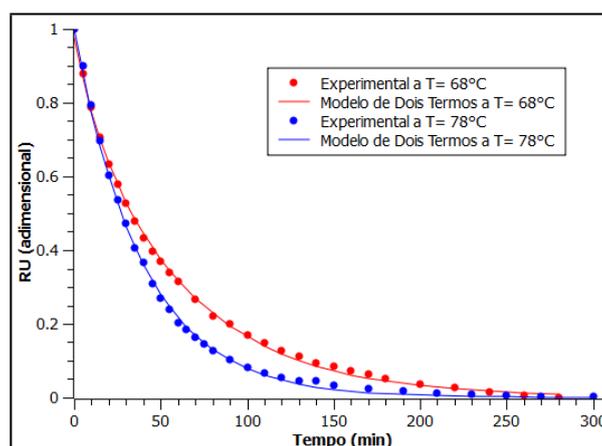
Sendo Y o valor observado experimentalmente; Y' o valor predito; GLR representa os graus de liberdade do modelo e N é o número de observações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 mostra-se as curvas de secagem observadas durante o processo, para as duas diferentes temperaturas avaliadas (68 e 78°C) e as previstas pelo modelo de Dois termos.

Figura 1 – Curvas preditas de secagem.

experimentais e



Sabe-se que a velocidade do ar e temperatura são fatores que influenciam diretamente a eficiência da secagem, com isto pode-se observar na Figura 1 que a secagem a temperatura 78°C e com velocidade de 0,5 m.s⁻¹ (Experimento 2) foi mais eficiente que a secagem a temperatura 68°C e com velocidade de 1 m.s⁻¹ (Experimento 1), haja vista que os valores de razão de umidade foram menores.

Na Tabela 2 são apresentados os valores dos coeficientes de determinação ajustados (R²), dos erros médios relativos (EMR) e dos erros médios estimados (EME), para cada um dos modelos matemáticos avaliados.

Tabela 2 – valores dos coeficientes de determinação ajustados (R²), dos erros médios relativos (EMR) e dos erros médios estimados (EME)

Experimento		1	2
Newton	R ²	0,99604	0,999489
	EME	0,00399	0,001386
	EMR (%)	17,554	15,6642
Page	R ²	0,99982	0,999545
	EME	0,00082	0,001325
	EMR (%)	9,40878	17,6343
Henderson e Pabis	R ²	0,99772	0,999588
	EME	0,00289	0,001303
	EMR (%)	12,8176	16,3794
Midilli e Kucuk	R ²	0,99986	0,999722
	EME	0,00071	0,001086
	EMR (%)	5,0328	10,4613
Dois termos	R ²	0,99990	0,999726
	EME	0,00055	0,000975
	EMR (%)	7,7432	6,2866
Aproximação da difusão	R ²	0,99952	0,99949
	EME	0,00135	0,001386
	EMR (%)	7,7335	15,6752

Dentre os seis modelos avaliados e conforme os resultados obtidos para os coeficientes de determinação ajustados tanto para os erros médios relativos como para os erros médios estimados, demonstrados na Tabela 2, apenas o modelo Dois termos apresentou ajuste adequado para descrever o processo de secagem do barbatimão para a faixa de temperatura estudada (68 e 78 °C).

Em relação ao coeficiente de determinação (R²), todos os modelos apresentaram valores elevados, acima de 99%, o que, segundo Madamba *et al.* (1996) significa um bom ajuste para representação do fenômeno de secagem. Porém, pode-se observar que o EMR, do modelo Dois termos, foi o único que obteve valores de porcentagem inferior a 10%, nas duas temperaturas trabalhadas, e segundo Aguerre *et al.* (1989), considera-se que resultados de erro médio relativo (EMR) abaixo de 10% indicam ajuste adequado dos valores observados em relação aos ajustados.

Os valores das constantes do modelo que melhor se ajustou a secagem do barbatimão, Dois termos, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores das constantes e dos coeficientes do modelo de Dois termos

Experimento	1	2	
Dois termos	A	0.736405	1.003618
	K0	0.014754	0.026723
	K1	0.054744	0.003005
	B	0.261934	0.015717

4. CONCLUSÃO

Para o processo de secagem da entrecasca do barbatimão, verificou-se que o experimento com a temperatura de 78 °C e com velocidade de 0,5 m.s⁻¹ foi o mais eficiente, pois os valores de razão de umidade foram menores.

O modelo matemático de Dois termos é o que melhor representa a cinética de secagem da entrecasca do barbatimão nas condições adotadas, apresentando valores elevados de coeficientes de determinação (R²) e principalmente o modelo que obteve EMR menor que 10%.

5. REFERÊNCIAS

- AGUERRE, R. J.; SUAREZ, C.; VIOLLAZ, P. E. New BET type multilayer sorption isotherms – Part II: Modelling water sorption in foods. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, v.22, n.4, p.192-195, 1989.
- ALMEIDA, S. P.; et al . *Cerrado: espécies vegetais úteis*. Planaltina, EMBRAPA-CEPAC, 1998.
- ANDRADE, E.T.; BORÉM, F.M.; HARDOIM, P.R. Cinética de secagem do café cereja, bóia e cereja desmucilado, em quatro diferentes tipos de terrenos. *Revista Brasileira de Armazenamento – Especial Café*, Viçosa, v.1, n.7, p.37-43, 2003.
- ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers. Moisture Measurement - Forages: Standard S358.2 DEC1988, R2008. In: *American Society of Agricultural and Biological Engineers* (ed.). Standards, Engineering Practices, and Data. St. Joseph: ASABE, p.684-685, 2010.
- CORRÊA, J. L. G.; BATISTA, M.B.; COSTA, A.R.S.; BELO, F.A.; Fioreze, R., Desidratação osmótica de tomate seguida de secagem. *Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos*, Campina Grande, v. 25, n. 2, p. 315-328, 2007.
- FOUST, A.S., et al. *Princípios das Operações Unitárias*. 2ª Ed, Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Dois, 1982.
- HENDERSON, S. M. Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of the ASAE*, v.17, n.6, p.1167-1172, 1974.

- HOFISKY, V. A.; GOMES, J. P.; BARROS, A. L.; SILVA, F. L. H.; ALMEIDA, F. A. C. Cinética de secagem de abacaxi cv pérola em fatias. *Rev. Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.11, n.2, p.123-128, 2009.
- LORENZI, H. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. 2. Ed. Nova Odessa: Plantarum, 1992.
- LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. *Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas cultivadas*. Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2008.
- MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thin layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, v.29, n.1, p.75-97, 1996.
- MENEZES, M. L.; et al. Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo. *Engevista*, v. 15, p. 176-178, 2013.
- O'CALLAGHAN, J. R.; MENZIES, D. J.; BAILEY, P. H. Digital simulation of agricultural dryer performance. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.16, n.3, p. 223-244. 1971.
- OLIVEIRA, A. L. S.; FIGUEIREDO, A. D. L. Prospecção fitoquímica das folhas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville (LeguminosaeMimosoidae). *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 384-386, 2007.
- PRATES, M. F. O.; et al. Cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. (fruta-de-lobo). *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 514-521, 2012.
- RADUNZ, L. L.; et al. Avaliação da cinética de secagem de carqueja. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.19, p.19-27, 2011.
- SOARES, S. P.; et al. Atividade antibacteriana do extrato hidroalcoólico bruto de *Stryphnodendron adstringens* sobre microorganismos da cárie dental. *Journal of Dental Science*, Franca, v. 23, n. 2, p. 141-144, 2008.
- TABALDI, L. A.; et al. Cover crops and their effects on the biomass yield of *Serjania marginata* plants. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 42, p. 614-620, 2012.
- SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M. Cinética de secagem de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). *Rev. Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 883-892, 2011.
- SHARAF-ELDEN, Y.I.; BLAISDELL, J. L.; HAMDY, M. Y. A model for ear corndrying. *Transactions of the ASAE*, v.5, n.4, p.1261-1265, 1980.