

CINÉTICA DE SECAGEM DO MESOCARPO DE BACURI

L.J.S. SILVA¹, D.C. SILVA¹, I.A. LOPES¹, H.A. VILLA-VÉLEZ¹ e A.A. SANTANA¹

¹UFMA – Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Faculdade de Engenharia Química

E-mail para contato: layrtonself@gmail.com

RESUMO – O bacuri (*Platonia insignis*) é um fruto tradicional das regiões Norte e Nordeste do Brasil, conhecido por suas propriedades nutricionais, sabor e odor característicos, além das propriedades medicinais de seus constituintes que são alvos de pesquisa científica. Entre os processos para sua industrialização, a secagem é uma das operações unitárias que mais precisam de pesquisa, sendo esta operação que proporciona informações sobre as melhores condições de armazenamento e as características físico-químicas finais do produto seco. Assim, o objetivo do trabalho é modelar as curvas de secagem de polpa de Bacuri obtidas em uma estufa, nas temperaturas de 50 e 60 °C. Para isto, foram empregados os modelos empíricos de Weibull, Peleg, Henderson-Pabis, Lewis e Page, através de uma regressão não linear. Todos os ajustes apresentaram coeficiente de determinação (R^2) superior à 0,910, com o modelo de Page apresentando o melhor ajuste. Além disso, foi observado o efeito da elevação da temperatura no aumento da velocidade de secagem para as curvas de 50 e 60 °C.

1. INTRODUÇÃO

O bacurizeiro pertence à família *Clusiaceae*, subfamília *Clusioideae* e ao gênero *Platonia*, que é monotipo. A família botânica *Clusiaceae* engloba aproximadamente 1000 espécies subordinadas a 47 gêneros, dispersos em regiões tropicais e subtropicais do mundo (Barroso *et al.*, 2002; Barbosa *et al.*, 1978; Brummit, 1992; Cronquist, 1981).

O seu fruto, é uma baga grande de forma ovóide ou quase circular, com diâmetro médio de 8 cm e comprimento de 7 cm. O peso varia de 100 a 500 g, sendo 70% de casca, 18% de semente e apenas 18% de polpa. O mesocarpo (ou casca), que constitui a maior porção do fruto, apresenta sabor e odor semelhantes ao da polpa e, portanto, com excelentes qualidades para aproveitamento na fabricação de doces e refrescos (Barbosa *et al.*, 1978). Entretanto, seu aproveitamento não tem ocorrido devido à forte presença da resina (Mourão e Beltrati, 1995).

Devido ao grande potencial deste fruto é importante preservar os diferentes componentes presentes que se encontram-se misturados com a água interna no material. A aplicação de métodos de conservação pode oferecer vantagens importantes na reutilização e no tratamento destes produtos. Atualmente, com o avanço da tecnologia, estes procedimentos têm sido na sua maioria trocados por processos mais eficientes e controlados, tais como secadores de convecção de ar quente. A secagem é um processo complexo onde os fenômenos simultâneos de transferência de calor e massa contribuem para a remoção de umidade, levando a reduções substanciais na massa do produto e do volume, assim, como minimizar os custos de embalagem, armazenamento e transporte (Vega-Gálvez *et al.*, 2010).

Para o processo de secagem, a relação que existe entre o conteúdo de umidade de equilíbrio e a atividade de água dos alimentos é amplamente pesquisada (Mulet *et al.*, 2002). A modelagem do processo de secagem traz conhecimentos matemáticos e físicos no processo, e muitos estudos têm-se dedicado a analisar os diferentes aspectos deste fenômeno. Alguns estudos publicados na literatura incluem um estudo da distribuição do perfil de difusividade e o encolhimento sob condições de ar forçado (Vega-Gálvez *et al.*, 2010; Clemente *et al.*, 2011), o efeito das resistências internas e externas na transferência de massa e calor com alto teor de umidade (Bartzanas *et al.*, 2010; Smolka *et al.*, 2010), e a dependência das propriedades físicas e de transporte sobre a temperatura dos alimentos e o teor de umidade (Askari *et al.*, 2009; Bon *et al.*, 2010).

Assim, o seguinte trabalho tem como objetivo estudar as cinéticas de secagem da polpa de Bacuri em função da temperatura.

2. MATERIAIS E METODOS

2.1. Matéria-prima

Neste trabalho foram utilizados bacuris da espécie *Platonia insignis* Mart., obtidos no mercado local da cidade de Imperatriz – MA. Todos os frutos foram recolhidos após terem chegado à maturação. Foram selecionados os frutos de aparência mais uniforme para a padronização das amostras sendo que frutos com muitas deformações e manchas foram descartados.

2.2. Cinética de Secagem

O primeiro passo para a realização da cinética de secagem foi a definição da geometria que seria utilizada para se realizar o experimento. A determinação do formato de um paralelepípedo com dimensões de 1 cm de largura, 1 cm de comprimento e 0,5 cm de espessura. Esta geometria foi escolhida com o objetivo de verificar a secagem em um pequeno elemento do mesocarpo em um menor tempo.

A secagem do mesocarpo foi realizada em amostras de aproximadamente 4 g por meio de uma estufa convectiva nas temperaturas de 50 e 60 °C. Foram previamente escolhidos intervalos apropriados para a realização das pesagens do material, sendo que as pesagens foram executadas rapidamente para evitar variações bruscas na temperatura da estufa e aquisição de umidade pelo mesocarpo durante a secagem, evitando assim erros durante a análise dos resultados e estudo da cinética de secagem. Após cada experimentação, as curvas de secagem de Bacuri foram expressas em conteúdo de umidade em base seca (b.s.), através da relação com o conteúdo de umidade inicial da amostra.

2.3. Modelagem matemática

Para os ajustes dos resultados utilizou-se cinco modelos semi-empíricos disponíveis na literatura para secagem de camada delgada, o modelo de Weibull (Equação 1), modelo de Peleg (Equação 2), modelo de Henderson-Pabis (Equação 3), modelo de Lewis (Equação 4) e o modelo de Page (Equação 5). Com o objetivo de determinar qual ofereceria uma descrição mais adequada do fenômeno analisado. A qualidade do ajuste seria avaliada através do

coeficiente de determinação R^2 e do valor do erro médio relativo (MRE) que está descrito na Equação 6.

$$X = X_e + (X_o - X_e) \exp\left(\frac{-t}{\beta}\right) \quad (1)$$

$$X = X_o - \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (2)$$

$$X = X_e + (X_o - X_e) a \exp(-kt) \quad (3)$$

$$X = X_e + (X_o - X_e) \exp(-kt) \quad (4)$$

$$X = X_e + (X_o - X_e) a \exp(-kt^N) \quad (5)$$

onde, X_e e X_o são as umidades de equilíbrio e a umidade inicial, respectivamente. k_1 , k_2 , a , β e N são os parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos. O coeficiente de determinação R^2 entre as respostas e os valores preditos e o valor do erro relativo médio MRE descrito pela Equação 6.

$$MRE(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(M_i - M_{pi})|}{M_i} \quad (6)$$

em que M_i é o valor experimental, M_{pi} é o valor predito e, n é o número de dados experimentais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4. Cinética de Secagem

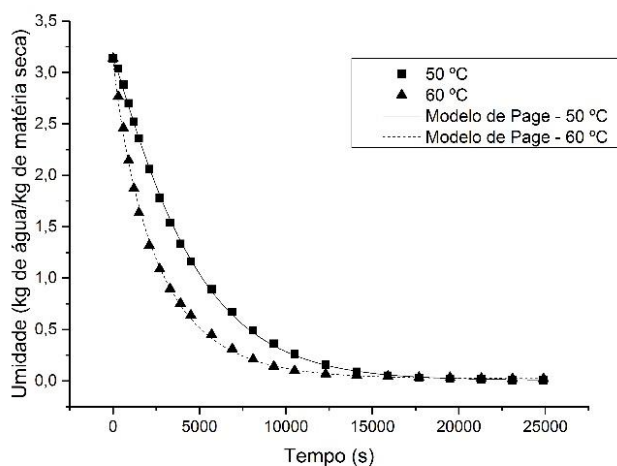
Na Tabela 1 estão representados os valores obtidos para os parâmetros e o valor do erro médio relativo e coeficiente de correlação. Ao analisar o conjunto de dados obtido nota-se que todos os modelos semi-empíricos, ajustados por regressão não-linear, descrevem com grande precisão a cinética da secagem. Sendo apresentados erros mínimo e excelentes coeficientes de correlação, todos estão muito próximos do valor 1, o valor máximo deste parâmetro estatístico que representa uma correlação ótima entre o conjunto de dados experimentais e o ajuste executado no modelo.

Tabela 1 – Resultados estatísticos de diferentes modelos de camada delgada.

Modelos	Parâmetros	50 °C	60 °C
Weibull	β	3724,964	2875,236
	R^2	0,994	0,995
	MRE (%)	19,397	8,249
Peleg	k_1	509,999	207,675
	k_2	0,297	0,312
	R^2	0,945	0,910
	MRE (%)	48,336	30,353
Henderson-Pabis	a	1,000	0,885
	k	$2,69 \times 10^{-4}$	$3,33 \times 10^{-4}$
	R^2	0,994	0,994
	MRE (%)	19,397	6,300
Lewis	k	$2,690 \times 10^{-4}$	$3,480 \times 10^{-4}$
	R^2	0,994	0,996
	MRE (%)	19,401	8,252
Page	k	$7,378 \times 10^{-4}$	$8,403 \times 10^{-4}$
	N	1,13	0,90
	R^2	0,999	0,999
	MRE (%)	10,569	5,084

Na Figura 1 verifica-se o modelo de Page foi o que apresentou melhor ajuste, com os maiores valores do coeficiente de correlação, beirando a correlação ótima para ambas as temperaturas, e entre os menores erros relativos. Além disso, observou-se através da análise do ajuste de Page que o parâmetro k que indica a constante da taxa de secagem aumentou com o aumento da temperatura, o qual foi constatado por trabalhos feitos de Alexandre *et al.* (2013). Também se nota pelos pontos experimentais que o aumento da temperatura causou um aumento na taxa de secagem, ou seja, o mesocarpo de bacuri secou mais rapidamente com o aumento da temperatura, fato que apresenta concordância com outros trabalhos disponíveis na literatura, como Moraes *et al.* (2013), Alexandre *et al.* (2013) e Akpinar *et al.* (2003).

Figura 1 – Ajuste experimental da cinética Modelo de Page.



4. CONCLUSÃO

Foram obtidas as cinéticas de secagem do bacuri em função das temperaturas selecionadas. A análise da secagem de camada delgada, processo que possui ambas transferências de calor e de massa, demonstrou que ambas as temperaturas são suficientes para realizar uma boa secagem do mesocarpo de bacuri, e que os modelos empíricos disponíveis na literatura descrevem com excelente qualidade os resultados experimentais, principalmente o modelo de Page com ótimos valores de R^2 .

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKPINAR, E. K.; BICER Y., YILDIZ C., Thin layer drying of red pepper, *J. of Food Eng.*, v. 59, p. 99-104, 2003.
- ALEXANDRE, Hofsky V. et al. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.*, Campina Grande, v. 17, p. 640-646, 2013.
- ASKARI, G. R.; EMAM-DJOMEH, Z.; MOUSAVI, S. M. An investigation of the effects of drying methods and conditions on drying characteristics and quality attributes of agricultural products during hot air and hot air/microwave-assisted dehydration. *Dry. Technol.*, v. 27, p. 831-841, 2009.
- BARBOSA, W.C.; NAZARÉ, R.F.R. de; NAGATA, I. *Estudo tecnológico de frutas da Amazônia*. Belém: Embrapa-CPATU, 1978.
- BARROSO, G. M.; PEIXOTO, A. L.; ICHASO, C. L. F.; GUIMARÃES, E. F.; COSTA, C. G. *Sistemática de angiospermas no Brasil*. Viçosa, MG: UFV, 2002.
- BARTZANAS, T. et al. A numerical modelling approach for biomass field drying. *Biosyst. Eng.*, v. 106, p. 458-469, 2010.

- BON, J. et al. Thermophysical properties of mango pulp (*Mangifera indica* L. cv. Tommy Atkins). *J. Food Eng.*, v. 97, p. 563-568, 2010.
- BRUMMIT, R. K. *Vascular plant families and genera*. Londres: Royal Botanic Gardens, Kew, 1992.
- CLEMENTE, G. et al. Drying modelling of defrosted pork meat under forced convection conditions. *Meat Sci.*, v. 88, p. 374-378, 2011.
- CRONQUIST, A. *A integrated system of classification of flowering plants*. New York: Columbia Un. Press, 1981.
- MORAIS, S. J. da S. et al. 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, p. 455-463, 2013.
- MOURÃO, K S. M. M.; BELTRATI, C. M. Morfologia dos frutos, sementes e plântulas de *Platonia insignis* Mart. (Clusiaceae). II. Morfo-anatomia dos frutos e sementes maduros. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 25, p. 33-45, 1995.
- MULET, A. et al. Equilibrium isotherms and isotheric heats of morel (*Morchela esculenta*). *J. Food Eng.*, v. 53, p. 75-81, 2002.
- SMOLKA, J.; NOVAK, A. J.; RYBARZ, D. Improved 3-D temperature uniformity in a laboratory drying oven based on experimentally validated CFD computations. *J. Food Eng.*, v. 97, p. 373-383, 2010.
- VEGA-GÁLVEZ, A. et al. Effective moisture diffusivity determination and mathematical modelling of the drying curves of the olive-waste cake. *Bioresource Technol.*, v. 101, p. 7265-7270, 2010.