

CINÉTICA DE SECAGEM DE RESÍDUOS DE *Artocarpus heterophyllus* Lam

Ana Paula Moisés de Sousa; Antonio Daniel Buriti de Macedo; Aline Priscila de França Silva; Jaciara Dantas Costa; Ana Regina Nascimento Campos.

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Centro de Educação e Saúde – CES, Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais e Biotecnologia – PPGCNBiotec, Sítio Olho D'água da Bica, S/N, Cuité – PB, anapaulinha_15_6@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Os frutos da *Artocarpus heterophyllus* Lam apresentam potencial alimentício, agroindustrial e medicinal devido as suas características peculiares de sabor e aroma, que as tornam afrodisíaca e atrativas, principalmente, ao paladar. A jaca é uma fruta nativa da Índia (BALIGA *et al.*, 2011), bastante rica em nutrientes, consumidas *in natura*, pois suas características de cor, textura, aroma e teores nutricionais podem ser mais bem apreciados nestas condições. A polpa, parte comestível mais apreciada, é altamente perecível e pode ser processada, desenvolvendo-se em bioprodutos como doces, sucos, licores, compotas, geléias e farinhas. Portanto, boa parte do fruto da jaqueira como a casca, eixo, pívide e sementes são considerados resíduos, cerca de 72 % (SOUSA *et al.*, 2015a).

Assim, há uma grande produção de resíduos gerados pela indústria alimentícia que, muitas vezes, são descartados indevidamente, aumentando a produção do lixo orgânico comprometendo e acarretando problemas ambientais (SOUSA *et al.*, 2015b). Portanto, o processamento da polpa e resíduos do fruto visa o bom emprego desses materiais, evitando que grande parte deste seja desperdiçada e gerando uma nova fonte alimentar. Além disso, os resíduos de frutas são, possivelmente, fontes nutritivas e antioxidantes, podendo agregar valores a um possível subproduto (PEREIRA, KAPLAN, 2013).

Para a utilização dos resíduos da jaca visando o aproveitamento na indústria alimentícia e agroindustrial como uma alternativa sustentável de evitar o desperdício e minimizar problemas ambientais e também da desnutrição o processo de secagem torna-se uma alternativa, a fim de conservar e prolongar a vida útil do produto. Por meio da secagem, a cinética de secagem é determinada, avaliando o comportamento do produto que é seco, representada pelas curvas de secagem e de taxa de secagem (MENEZES *et al.*, 2013). Segundo Madamba (2003), a cinética de secagem de produtos pode ser descritos por modelos matemáticos.

Portanto, objetivou-se, no presente trabalho, avaliar preliminarmente a cinética de secagem dos resíduos da *Artocarpus heterophyllus* Lam em estufa de circulação forçada de ar sob diferentes condições de temperatura e estudar o ajuste de modelos matemáticos de secagem aos dados experimentais.

METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos, Centro de Educação e Saúde (CES) da Universidade Federal de Campina Grande

(UFCG). Foram adquiridas jacas (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) da variedade “mole”, procedentes do comércio local do município de Lagoa Seca, Paraíba, durante o período de março a junho de 2015. Os frutos recolhidos apresentaram mesma coloração e aparente estágio de maturação.

Os frutos, inicialmente, foram pesados. Em seguida, foram lavados com detergente neutro em água corrente para retirar as sujidades e imersos em água clorada por um período de 15 minutos. Após o procedimento de lavagem e sanitização, foram cortados. A polpa e os resíduos (casca, sementes, eixo e pívide) foram separados.

Para a cinética de secagem, utilizou os resíduos da jaca constituído por: cascas, eixo e pívide. A secagem individual desses resíduos foi realizada em uma estufa de circulação forçada de ar. As curvas foram determinadas para três níveis de temperatura: 40, 50 e 60 °C. Antes e após o início de cada secagem, foram retiradas amostras para determinação do teor de água, conforme metodologia descrita em IAL (2008).

O experimento foi realizado em duplicata, sendo as pesagens dos resíduos obtidas em balança semi-analítica até obtenção de peso constante. As amostras foram colocadas em recipientes de alumínio e o conjunto foi pesado e disposto na estufa para início do processo de secagem. Determinou-se o teor de água de equilíbrio através de pesagens consecutivas em intervalos de tempo, inicialmente de 5 em 5 minutos para os primeiros 30 min, de 30 min para os 30 min seguintes e de 60 em 60 min até que as amostras atingissem peso constante. Após a obtenção das massas, calculou-se o teor de água em base úmida (b.u.), em base seca (b.s.) e a razão de teor de água (RX) para as amostras em cada temperatura e intervalo de tempo.

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 as diferentes condições de secagem dos resíduos da jaqueira, de acordo com a equação 1:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (1)$$

em que:

RX: razão de teor de água;

X: teor de água, base seca (b.s.);

X_e : teor de água de equilíbrio (b.s.);

X_0 : teor de água inicial (b.s.).

Os modelos matemáticos de regressão não-linear de Newton, Page e Henderson e Pabis, descritos na Tabela 1, foram ajustados as curvas experimentais de secagem. Para o ajuste de cada equação matemática aos dados experimentais, realizaram-se as análises de regressão pelo método Quasi-Newton, empregando-se o programa computacional Statistica 8.0.

Os critérios utilizados para determinação do melhor ajuste das equações aos dados experimentais foi o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM), calculado pela equação 5:

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RX_{\text{exp}} - RX_{\text{pre}})^2}{N}} \quad (5)$$

Em que:

DQM: desvio quadrático médio;

RXpre: razão de teor de água predito;

RXexp: razão de teor de água experimental;

N: Número de dados experimentais.

Tabela 1. Modelos de regressão não-linear aplicados às curvas de secagem de resíduos de *Artocarpus heterophyllus* Lam

Modelo	Equação	Referência
Newton	$RX = \exp(-k.t)$ (2)	(TOGRUL; PCHLIVAN, 2002)
Page	$RX = \exp(-k.t^n)$ (3)	(PAGE, 1949)
Henderson e Pabis	$RX = a.\exp(-k.t)$ (4)	(HENDERSON; PABIS, 1961)

RX: razão de teor de água (b.s.); t: tempo (min); a, k e n: parâmetros dos modelos

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificam-se, nas Tabelas 2, 3 e 4, os valores dos parâmetros dos modelos de Newton, Page e Henderson e Pabis ajustados aos dados experimentais das curvas de cinéticas de secagem dos resíduos de jaca, com os correspondentes coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

Tabela 2. Parâmetros de ajuste dos modelos das curvas de cinética de secagem da casca de jaca, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM)

Modelos	T (°C)	Parâmetros			R^2	DQM
		a	k	n		
Newton	40	-	0,004542	-	99,003	0,04012
	50	-	0,005834	-	98,629	0,04569
	60	-	0,008066	-	97,957	0,05832
Page	40	-	0,001138	1,2502	99,800	0,01802
	50	-	0,002082	1,1955	99,168	0,03558
	60	-	0,001469	1,3551	99,560	0,02707
Henderson e Pabis	40	1,0322	0,004725	-	99,202	0,03592
	50	1,0105	0,005919	-	98,653	0,04528
	60	1,05299	0,008729	-	98,488	0,0502

Tabela 3. Parâmetros de ajuste dos modelos das curvas de cinética de secagem do eixo da jaca, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM)

Modelos	T (°C)	Parâmetros			R^2	DQM
		a	k	n		
Newton	40	-	0,007138	-	99,556	0,0271
	50	-	0,004531	-	98,334	0,0498
	60	-	0,005674	-	98,537	0,04987
Page	40	-	0,000987	1,2748	99,350	0,03110
	50	-	0,000987	1,3321	99,832	0,0169
	60	-	0,003309	1,1549	99,904	0,01258
Henderson e Pabis	40	1,0263	0,007427	-	99,671	0,02334
	50	1,02298	0,004664	-	98,456	0,0479
	60	1,04666	0,006029	-	98,937	0,04249

Tabela 4. Parâmetros de ajuste dos modelos das curvas de cinética de secagem do pívide da jaca, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM)

Modelos	T (°C)	Parâmetros			R^2	DQM
		a	k	n		
Newton	40	-	0,002013	-	96,867	0,056
	50	-	0,006615	-	99,237	0,034
	60	-	0,003491	-	99,258	0,031
Page	40	-	0,000508	1,223	98,199	0,0423
	50	-	0,001334	1,1685	99,714	0,0192
	60	-	0,003049	1,152	99,602	0,025
Henderson e Pabis	40	1,02161	0,002073	-	97,040	0,0543
	50	1,015	0,006758	-	99,280	0,0336
	60	1,023	0,00359	-	99,398	0,0279

Verifica-se que dentre os modelos empregados, o de Page (1949) foi o que melhor representou os dados experimentais para predizer a cinética de secagem dos resíduos de jaca, embora se possa observar nas tabelas 2, 3 e 4 que os modelos estudados (Newton, Page e Henderson e Pabis) mostraram ótimo ajuste com os dados experimentais das secagens, com R^2 superior a 96,86 % e valores de DQM inferiores a 0,056, indicando uma representação satisfatória do fenômeno em estudo.

A equação de Page (1949) para todas as temperaturas de todos os resíduos da jaca apresentou os maiores valores de R^2 acima de 99,00 %, excetuando-se a temperatura de 40 °C para o pívide (98,00%), demonstrando uma possível representação significativa do fenômeno de secagem dos resíduos em estudo. A equação de Page (1949) é considerada excelente para o ajuste dos dados experimentais por possuir apenas dois parâmetros e a incorporação do parâmetro n na forma exponencial.

Resultados semelhantes foram observados no estudo da cinética de secagem de cascas de cajá e umbu-cajá em estufa de circulação de ar a 50, 60 e 70 °C, os modelos matemáticos de Page e Midilli *et al* ajustaram-se satisfatoriamente aos dados experimentais para a descrição da cinética de secagem, com coeficientes de determinação superiores a 0,99. Menezes *et al.* (2013), realizando a análise da cinética e o ajuste de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá amarelo, nas temperaturas de 35, 45, 55 e 65 °C e três velocidades do ar de 0,8, 1,0 e 1,3 m.s⁻¹, concluíram que a equação de Page (1949), foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem, com base nos maiores valores de R² e Teste F e no menor valor da raiz do erro médio.

Na Figura 1, encontram-se representadas graficamente às curvas de secagem em estufa de circulação forçada de ar dos resíduos da jaca para as temperaturas em estudo, ajustadas para a equação de Page (1949). Observa-se que as curvas geradas a partir desse modelo matemático aproximam-se bem dos pontos experimentais, verificados, portanto, a partir dos coeficientes de determinação (R²).

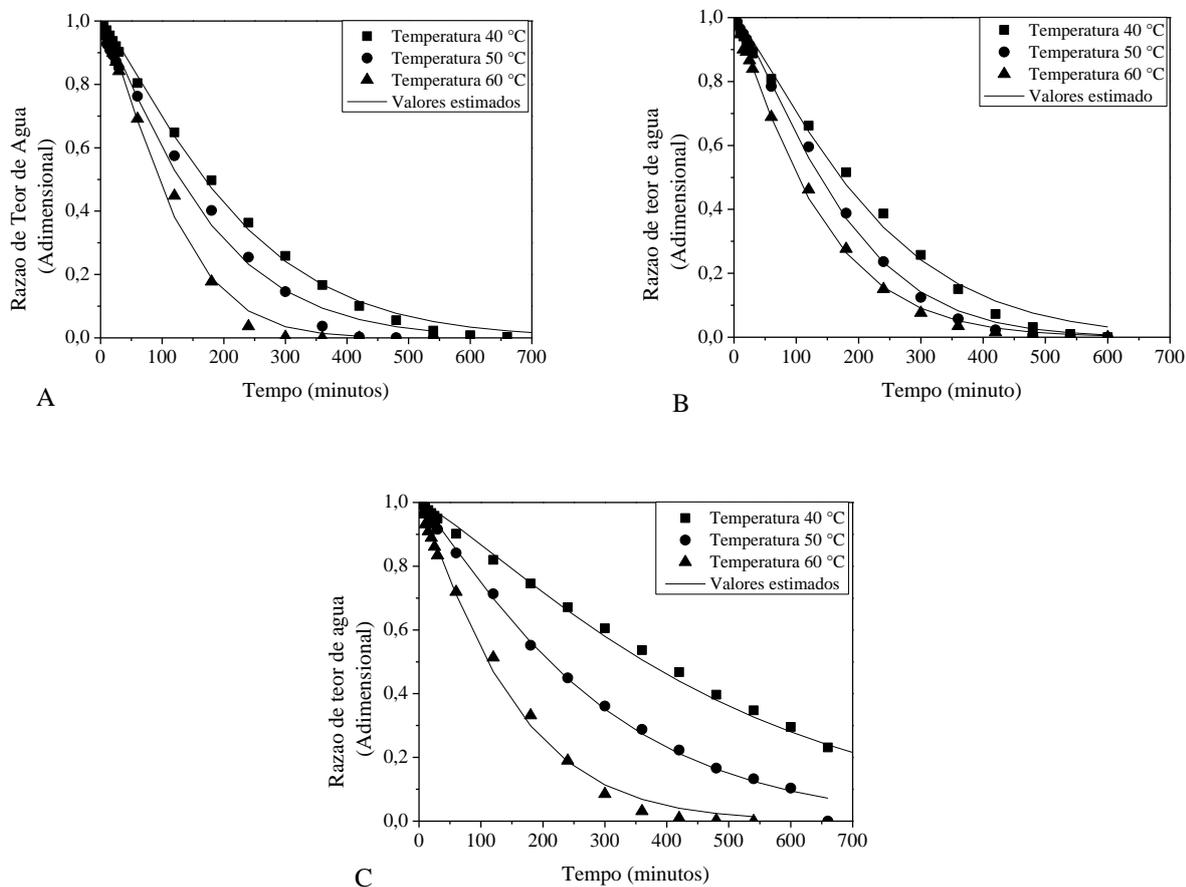


Figura 1. Modelo de Page ajustado aos dados experimentais da secagem de resíduos de jaca. Casca (A). Eixo (B). Pívide (C).

Nota-se a influência da temperatura sobre as curvas de secagem dos resíduos de casca, eixo e pívide. Com o aumento da temperatura do ar de secagem ocorreu uma maior taxa de remoção de água nos resíduos, este comportamento semelhante também foi observado por Silva *et al.* (2015), ao

estudarem a cinética de secagem em camada fina da polpa de achachairu nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

CONCLUSÃO

As cinéticas de secagem dos resíduos de casca, eixo e pívide de *Artocarpus heterophyllus* Lam decrescem com o aumento da temperatura de secagem. Dentre os modelos analisados, a equação de Page (1949) apresentou o melhor ajuste para descrição da cinética de secagem desses resíduos, pois apresenta parâmetros matemáticos simples.

REFERÊNCIAS

- BALIGA, M. S., *et al.* Phytochemistry, nutritional and pharmacological properties of *Artocarpus heterophyllus* Lam (jackfruit): A review. **Food Research International**, v. 44, p. 1800- 1811. São Paulo, SP, 2011.
- HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 6, p.169-174, 1961.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. 4ª Ed., 1ª Ed. digital, São Paulo, 2008.
- 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, n. 2, p. 176-186, 2013.
- MADAMBÁ, P. S. Thin layer drying models for osmotically pré-dried young coconut. **Drying technology**, v. 21, n. 9, p. 1759-1780, 2003.
- PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layer**. Thesis (Master of Science) - Purdue University, 1949.
- PEREIRA, V. J., KAPLAN, M. A. C. *Artocarpus*: Um Gênero Exótico de Grande Bioatividade. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 1-15. ISSN 2179-8087. 2013.
- SOUSA, A. P. M., *et al.* Caracterização física e química de jacas comercializadas no município de Lagoa Seca-PB. III workshop de ciências naturais e biotecnologia. Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, PB, 2015a.
- SOUSA, F. C., *et al.* Secagem de resíduos de *Spondias sp.* em camada fina. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 36, n. 1, p. 197-202, 2015b.
- SILVA, L. M. M., *et al.* Estudo experimental da secagem de polpa de achachairu em camada fina. **Gaia Scientia**. V. 9, n. 1, p. 151-155, 2015.
- TOGRUL, I.T.; PCHLIVAN, D. Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers. **Journal of Food Engineering**, v. 40, n. 3, p. 219–226, 2002.