

Secagem de resíduos de *Spondias* sp. em camada fina

**Francinalva Cordeiro de Sousa¹, Luzia Marcia de Melo Silva¹, Danielle Martins Lemos²,
Inácia dos Santos Moreira³, Analha Dyalla Feitosa Lins⁴, Deise Souza de Castro³, Ana
Paula Trindade Rocha⁵**

¹Professora do Instituto Federal de Alagoas-Campus Murici, Alagoas - AL. Email:
francis_nalva@yahoo.com.br; dluziamarcia@yahoo.com

²Professora do Instituto Federal de Alagoas- Campus Batalha – AL. Email: danielemartinsali@gmail.com

³Doutoranda em Engenharia Agrícola, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande –
PB. E-mail: inaciamoreira@ymail.com; deise_castro01@hotmail.com.br

⁴Mestranda em Engenharia Agrícola, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande –
PB. E-mail: dyallalins@gmail.com

⁵Prof. Adjunto, Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais,
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande – PB. E-mail: ana.trindade@ufcg.edu.br

Resumo

Os resíduos gerados do processamento de frutas possuem em sua composição muitos nutrientes, que deveriam ser aproveitados tanto para alimentação humana, quanto para a fabricação de ração animal, como uma forma de evitar o desperdício e minimizar o problema da poluição ambiental e também da desnutrição. As *Spondias* são espécies endêmica da caatinga com grande potencial agroindustrial. O Objetivo da pesquisa foi estudar as cinéticas de secagem das cascas de cajá e de umbu-cajá em estufa com circulação de ar sob diferentes condições de temperatura e aplicar equações que melhor represente o ajuste dos dados experimentais. Os dados experimentais foram ajustados as equações de Page, Midilli et al. e Wang & Sing. Com base nos resultados apresentados pode-se concluir que, para as condições operacionais utilizadas, a cinética de secagem das cascas de cajá e de umbu-cajá ocorreu nos períodos de taxa decrescente; a equação de Page foi a que melhor representou o fenômeno de secagem para as cascas de cajá, enquanto que o umbu-cajá, a equação de Midilli apresentou os melhores resultados.

Palavras-chave: Cinética, cajá, umbu-cajá.

Abstract

Waste generated from processing of vegetables have many nutrients in its composition, which should be taken advantage of so many for human consumption, and for the manufacture of animal feed, as a way to avoid waste and minimize the problem of environmental pollution and also malnutrition. The *Spondias* are endemic species of the savanna with great potential agribusiness. The objective of the research was to study the kinetics of drying the shells cajá and umbu-cajá in an oven with air circulation under different conditions of temperature and applying equations that most closely fit the experimental data. The experimental data were fitted to equations Page, Midilli et al. and Wang & Sing. Based on the presented results we can conclude that for the used operating conditions, the kinetics of drying the shells of cajá and umbu-cajá occurred in periods of decreasing rate; the equation Page was the one that best represented the drying phenomenon for shells cajá, while umbu-cajá, the equation of Midilli showed the best results.

Keywords: kinetics; cajá; umbú-cajá.

Introdução

Os frutos das *Spondias* apresentam potencial agroindustrial devido as suas características peculiares de sabor e aroma, que se tornam exóticos e atrativos ao paladar. O cajá (*Spondias mombin* L.) é uma fruta pequena, nativa das Américas tropicais, que cresce

abundantemente no Brasil. Mesmo que ainda obtida a partir de um sistema de produção extrativista, o cajá tem atraído interesse comercial devido às suas características de sabor e aroma e sua qualidade nutricional (Mattietto e Matta, 2011).

As frutas tropicais são comumente consumidas *in natura*, uma vez que suas características de cor, textura, aroma e propriedades nutricionais podem ser melhor apreciadas nestas condições. Entretanto, por serem extremamente perecíveis, são, em sua grande maioria, processadas e tornando-se produtos como sucos, néctares, polpas, geleias e doces (Infante et al., 2013). Desta forma a produção de resíduos produzidos pelas indústrias alimentícias geram grandes impactos ao meio ambiente, uma vez que nem sempre esse material é descartado devidamente.

O Brasil é um dos países que mais produz resíduos agroindustriais, como os resíduos de frutas pelas indústrias de polpas, o que tem contribuído para o aumento da produção do lixo orgânico, provocando graves problemas ambientais. Tais resíduos poderiam ser utilizados, minimizando o desperdício de alimentos e gerando uma nova fonte alimentar (Sousa et al., 2011a).

Após o processamento, as frutas geram subprodutos, os quais muitas vezes, não possuem um destino específico, tornando-se contaminantes ambientais e, conseqüentemente, gerando custos operacionais às empresas, pois necessitam de tratamento para o descarte. Considerando-se que os resíduos agroindustriais de frutas e hortaliças são capazes de atuar como antioxidantes naturais, estes poderiam ser empregados em substituição aos antioxidantes sintéticos, colaborando para fins de segurança alimentar e agregando valor aos subprodutos (Infante et al., 2013). Dentre os resíduos agroindustriais mais comumente encontrados destacam-se as cascas, sementes e bagaço.

As cascas são constituídas basicamente por carboidratos, proteínas e pectinas, o que possibilitaria seu aproveitamento para fabricação de doces, podendo-se tornar uma alternativa viável para resolver o problema da eliminação dos resíduos, além de aumentar seu valor comercial (Miguel et al., 2008).

A secagem de produtos agroindustriais é utilizada visando preservar as qualidades sensoriais e nutricionais, bem como reduzir a atividade biológica, impedindo a deterioração e perda do valor comercial (Sousa et al., 2011b; Furtado et al., 2010). A secagem de resíduos de frutas visa contribuir com o desperdício além de ser uma alternativa para o processamento de novos produtos alimentícios com alto valor nutricional.

As informações contidas nas curvas de secagem são de fundamental importância para o desenvolvimento de processos e para o dimensionamento de equipamentos. Com elas pode-se estimar o tempo de secagem de certa quantidade de produtos e com isso ser feito o planejamento de produção. Com o tempo necessário para a produção é possível estimar os gastos energéticos os quais refletirão no custo de processamento, que por sua vez influenciará no preço final do produto. No dimensionamento de equipamentos é possível determinar quais as condições de operação para a secagem e com isso a seleção de trocadores de calor, ventiladores, entre outros (Villela e Artur, 2008).

Com base nestas informações, objetivou-se estudar as cinéticas de secagem das cascas de cajá e de umbu-cajá em estufa com circulação de ar sob diferentes condições de temperatura e aplicar equações que melhor represente o ajuste dos dados experimentais.

Material e Métodos

Local dos Experimentos

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG – PB).

Matéria-prima

Utilizou-se como matéria-prima cascas de frutos de cajá e de umbu-cajá provenientes dos mercados e feiras livres da cidade Campina Grande, no estádio de maturação comercial, transportados devidamente acondicionados em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade.

Os frutos do cajá e do umbu-cajá foram recepcionados no laboratório, selecionados para remoção de sujidades e eventuais frutos estragados, lavados em água corrente e despolpados em despolpadeira industrial de aço inoxidável (Laboremus- PAT/REG). As cascas foram separadas dos caroços e congeladas em freezer horizontal a -18° até a realização das secagens.

O descongelamento das cascas foi realizado em temperatura de refrigeração a 5 °C antes do início da secagem. A seguir as cascas foram acondicionadas em placas de aço inoxidável, contendo cada placa

aproximadamente 50g de cascas, 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 e a porcentagem calculada na base do peso úmido aplicando-se a fórmula proposta por Brasil (2008) e o resultado final expresso pela média aritmética em porcentagens das subamostras.

Secagem

As amostras com teor de água inicial de 78,5% (b.u), foram secas em camada fina em uma estufa com circulação forçada de ar, disponível na dependência do Laboratório de Secagem de Produtos Agrícolas, ajustado para operar nas temperaturas de 50, 60 e 70°C. Os experimentos foram realizados em triplicata, sendo as pesagens das cascas realizadas em balança semi-analítica até obterem o seu equilíbrio. 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 das cascas de cajá e de umbu-cajá, mediante a seguinte equação:

$$RX = \frac{X_{bs} X_e}{X_{bs\text{ inicial}} - X_e} \quad (1)$$

Em que:

RX= razão de teor de água (adimensional)

X_e= teor de água de equilíbrio em base seca

X_{bs}= teor de água em base seca

X_{bs} (inicial) = teor de água inicial em base seca

Os valores de RX observados para cada temperatura do ar de secagem foram analisados por três diferentes equações de regressão não linear, conforme a Tabela 1. Para o ajuste das equações matemáticas aos dados experimentais, realizou-se análise de regressão pelo método Quasi-Newton, empregando-se o programa computacional Statistic 8.0®.

Tabela 1. Equações matemáticas de regressão não linear, avaliados para predizer o fenômeno de secagem de resíduos de *Spondias*.

Designação da equação	Equação	Designação
Midilli et al. (2002)	$RX = a \exp(-kt^n) + bt$	(2)
Page (1949)	$RX = \exp(-kt^n)$	(3)
Wang e Sing (1978)	$RU = 1 + at + bt^2$	(4)

t - tempo de secagem (min); k, - constantes de secagem; a, b, n - coeficientes dos modelos.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste das equações aos dados experimentais foi o coeficiente de determinação (R²) e o desvio quadrático médio (DQM), calculado pela equação:

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

Em que:

DQM - desvio quadrático médio; %;

RX_{exp} - valores obtidos experimentalmente;

RX_{pred} - valores preditos pelo modelo;

n - número de dados experimentais.

Resultados e Discussão

Verifica-se, nas Tabelas 2 e 3, o ajuste das equações matemáticas por regressão não linear aos dados de cinética de secagem das cascas de cajá e de umbu-cajá em camada fina, considerando-se as diferentes temperaturas do ar de secagem, com seus respectivos coeficientes de determinação (R²) e desvios quadráticos médios (DQM).

Tabela 2. Parâmetros de ajuste das equações matemáticas utilizadas na predição da cinética de secagem das cascas de cajá nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com seus respectivos coeficientes de determinação (R²) e desvios quadráticos médios (DQM).

Designação da equação	Temperatura (°C)	R ² (%)	DQM
Midilli et al. (2002)	50	99,39	0,0065
	60	99,45	0,0278
	70	99,89	0,0003
Page (1949)	50	99,27	0,0017
	60	99,33	0,0013
	70	99,86	0,0002

	50	94,36	0,0032
Wang & Sing (1978)	60	95,61	0,0032
	70	99,31	0,0005

Tabela 3. Parâmetros de ajuste das equações matemáticas utilizadas na predição da cinética de secagem das cascas de umbu-cajá nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM).

Designação da equação	Temperatura (°C)	R^2 (%)	DQM
Midilli et al. (2002)	50	99,47	0,0007
	60	99,65	0,0002
	70	99,78	0,0006
Page (1949)	50	99,39	0,0014
	60	99,63	0,0005
	70	99,56	0,0010
Wang & Sing (1978)	50	95,07	0,0034
	60	97,42	0,0028
	70	99,91	0,0001

De acordo com os resultados, as equações de Midilli et al. (2002) e Page (1949), apresentaram valores de R^2 superiores a 0,99, para todas as temperaturas e para as cascas de ambas as frutas estudadas, indicando uma representação satisfatória do fenômeno em estudo. No entanto a temperatura de 70 °C da equação de Wang & Sing (1978) nos resíduos do cajá e do umbu-cajá, apresentou valores de R^2 acima de 0,99 e as demais temperaturas, valores acima de 0,90, denotando, portanto que pode representar significativamente o fenômeno de secagem dos resíduos em estudo. Entretanto, levando-se em consideração que os valores de R^2 , sozinhos, não constituem bom critério para a seleção de equações não lineares, os dados de DQM foram considerados relevantes no confronto dos dados (Mandamba et al. 1996).

Resultados semelhantes foram observados por Menezes et al., (2013), que 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 R^2 e Teste F e no menor valor da raiz do erro médio. Da mesma forma Alexandre et al. (2013), avaliando o comportamento da cinética de secagem do resíduo (casca) de abacaxi em diferentes temperaturas (40, 50, 60 °C) em um secador convectivo, observaram que a equação

de Page (1949), apresentou ajuste adequado aos dados experimentais para toda a faixa de temperatura estudada.

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.

Com base nos dados apresentados nas Tabelas 2 e 3, verifica-se que os desvios quadráticos médios (DQM), não apresentaram um comportamento padrão para as temperaturas em estudo, nota-se, no entanto que os menores valores observados foram referentes à equação de Page (1949) e que a temperatura de 70 °C para os resíduos de cajá obteve os resultados mais baixos de DQM.

Na Figura 1, encontram-se representadas graficamente às curvas de secagem em camada fina das cascas de cajá para as temperaturas em estudo e velocidade do ar de secagem (1,0 m/s⁻¹), com ajustes pela equação de Page (1949). Observa-se que as curvas geradas a partir do modelo matemático de Page (1949) aproximam-se bem dos pontos experimentais, verificados, portanto, a partir dos coeficientes de determinação. Resultados semelhante foi observado por Moura et al. (2014), ao estudarem a secagem do resíduo de maracujá em secador rotatório nas temperaturas de 75°C e 95°C com aplicação de modelos semiempíricos. Concluíram que todos os modelos estudados (Lewis, Page, Page Modificado e Henderson e Pabis) mostraram ótimo ajuste com os dados experimentais.

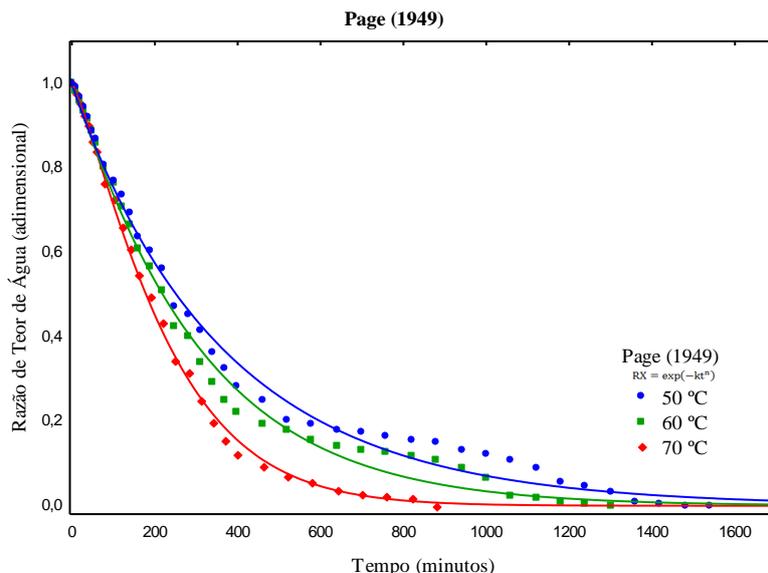


Figura 1. Modelo de Page ajustado aos dados experimentais da secagem das cascas de cajá.

Pode-se observar a influência da temperatura sobre as curvas de secagem das cascas de cajá. Com o aumento da temperatura do ar de secagem faz com que ocorra uma maior taxa de remoção de água nas cascas, comportamento este similar às observações realizadas por Fiorentin et al. (2010) ao determinarem a cinética de secagem do bagaço de laranja. De acordo com Formoso et al. (2009), o efeito da temperatura se deve à sua influência sobre o potencial de transferência de

água do sólido para o ar de secagem, uma vez que o aquecimento do ar a temperaturas mais elevadas implica na redução de sua umidade relativa, afetando diretamente o potencial de transferência de massa.

Na Figura 2, encontram-se representadas graficamente às curvas de secagem em camada fina das cascas de umbu-cajá para as temperaturas em estudo e velocidade do ar de secagem ($1,0 \text{ m/s}^{-1}$), com ajustes pela equação de Midilli et al. (2002).

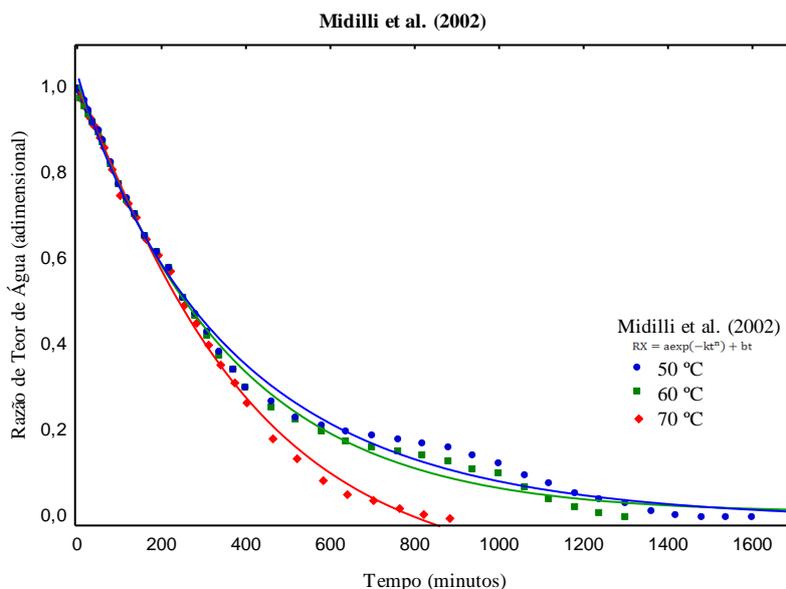


Figura 2. Modelo de Midilli et al. (2002) ajustado aos dados experimentais da secagem das cascas de umbu-cajá.

Verifica-se que apesar dos coeficientes de determinação e dos desvios quadráticos médios terem sido bons, os dados de secagem

das temperaturas de 50 e 60 °C, não se ajustaram bem as curvas. Comportamento não observado por Alexandre et al. (2013), ao estudarem a

secagem do resíduo do abacaxi enriquecido com levedura *Saccharomyces cerevisiae* em leito estático, em camada fina de secagem, nas temperaturas de 40, 50 e a 60 °C e a velocidade do ar de secagem de 0,8 a 1,3 m s⁻¹.

Conclusão

A secagem das cascas de cajá e de umbu-cajá em camada fina ocorreu em período de taxa decrescente, não sendo observado período de taxa constante.

O tempo de secagem reduziu de forma mais rápida com o aumento da temperatura do ar de secagem.

As equações de Page e de Midilli et al representaram satisfatoriamente os dados experimentais para a descrição da cinética de secagem da das cascas de cajá e de umbu-cajá com coeficientes de determinação superiores a 0,99.

Referencias

- ALEXANDRE, H. V.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P.; SILVA, O. S.; CARVALHO, J. P. D.; LIMA, E. E. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6,p.640-646, 2013.
- BRASIL. Instituto Adolfo Lutz. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 4ª ed. Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, Brasil, 1020p, 2008.
- FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de polpa de ceriguela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.12, n.1, p.9-14, 2010.
- INFANTE, J.; SELANI, M. M.; TOLEDO, N. M. V.; SILVEIRA-DINIZ, M. F.; ALENCAR, S. M.; SPOTO, M. H. F. Atividade antioxidante de resíduos agroindustriais de frutas tropicais. **Brazilian Journal Food Nutrition**, v.24, n.1, p.7-91, 2013.
- MANDAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thinlayer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, n.1, p.75-97, 1996.
- MATTIETTO, R. A.; MATTA, V. M. 2011. **Cajá (*Spondias mombin* L.)**. In: YAHIA, E. M. Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits. Cambridge: **Woodhead Publishing**, v.2. n.207, p.330-353, 2011
- MENEZES, M. L.; STRÖHER, A. N.; PEREIRA, N. C.; BARROS, S. T. D. 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.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z.A. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, v.20, n.7, p.1503-1513, 2002.
- MIGUEL, A. C.A.; ALBERTINI, S.; BEGIATO, G. F.; DIAS, J. R. P. S.; SPOTO, M. H. F. Aproveitamento agroindustrial de resíduos sólidos provenientes do melão minimamente processado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.3, p. 733-737, 2008.
- 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.
- SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; SILVA, M. J. M.; LIMA, A. Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.3, p.554-559, 2011.
- VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafraão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.2, p.387-394, 2008.
- MOURA, B. D.; MORAIS FILHO, F. C.; OLIVEIRA, E. L.; OLIVEIRA, J. A. Estudo da secagem do bagaço de maracujá em secador rotatório: aplicação de modelos semiempíricos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n.1, p.50-58, 2014.
- PAGE, G. E. Factors influencing the maximum rates of air-drying shelled corn in thin layers. 1949. **Thesis (M.Sc.)** - Purdue University, West Lafayette, 1949.
- STATSOFT, STATISTICA for Windows version 8.0. **Computer program manual**. Tulsa: Statsoft, Inc., 2008.
- WANG, C.Y.; SINGH, R.P. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. **ASAE Paper**, p. 78-6505, ASAE, St. Joseph-MI, 1978