

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DO FRUTO DO MANDACARU: EXPERIMENTAÇÃO E AJUSTES DE MODELOS MATEMÁTICOS¹

KARLA DOS SANTOS MELO², ROSSANA MARIA FEITOSA DE FIGUEIRÊDO³, ALEXANDRE JOSÉ DE MELO QUEIROZ³, TÂMILA KASSIMURA DA SILVA FERNANDES³, MARIA DA CONCEIÇÃO TRINDADE BEZERRA⁴

RESUMO - Este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru, com a adição de 2% de albumina e 2% de Super Liga Neutra, com tempo de batimento de 5 min, desidratada em estufa com circulação de ar forçada, a 70; 80, e 90 °C, com três diferentes espessuras de camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm). Com os dados obtidos durante o processo de secagem foram traçadas as curvas de secagem e ajustados os modelos de Page, Henderson e Pabis e Cavalcanti Mata. Verificou-se que a espessura da camada da espuma e a temperatura de secagem influenciaram no tempo de secagem da espuma, sendo o processo mais rápido para a menor espessura e temperatura mais elevada. O modelo de Cavalcanti Mata foi o que melhor se ajustou as curvas de cinética de secagem da amostra.

Palavras-chave: *Cereus jamacaru*. Temperatura. Umidade.

FOAM-MAT DRYING OF *CEREUS JAMACARU* PULP FRUIT: TESTING AND FITTING OF MATHEMATICAL MODELS

ABSTRACT - This work was carried out with the objective to study the foam-mat drying of *Cereus jamacaru* pulp fruit with albumen (2%) and “Super Liga Neutra” (2%) with whipping time of 5 min, dried in oven with air circulation at 70; 80, and 90 °C with three different foam thicknesses (0.5; 1.0 and 1.5 cm). The drying curves were fitted with the Page, Henderson and Pabis and Cavalcanti Mata models. Drying time was influenced by the foam thickness and process temperature being the process faster for smaller thickness and higher temperature. The Cavalcanti Mata model presented the best fit of the experimental foam drying kinetics data.

Keywords: *Cereus jamacaru*. Temperature. Moisture.

*Autor para correspondência.

¹Recebido para publicação em 17/02/2012; aceito em 01/04/2013.

Parte da Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola do primeiro autor.

²Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande. R. Luiz Grande, s/n, Sumé, PB, Brasil, 58540-000; karlasmelo@gmail.com

³Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Av. Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, Campina Grande, PB, Brasil, 58429-970; alex@deag.ufcg.edu.br; rossana@deag.ufcg.edu.br; tamilakassimura@yahoo.com.br

⁴Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Universidade Federal de Mato Grosso. Rondonópolis, MT, Brasil; conceicaotrindade@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A Vegetação Caducifólia Espinhosa (VCE) que recobre a maior parte do semiárido, vulgarmente chamada caatinga, é bastante diversificada em função de diferenciações climáticas e morfológicas. Fitogeograficamente, a caatinga ocupa cerca de 11% do território nacional. Na cobertura vegetal das áreas da região Nordeste, a caatinga representa cerca de 800.000 km², o que corresponde a 70% da região (DRUMOND et al., 2000; ALCOFORADO-FILHO et al., 2003)

O mandacaru (*Cereus jamacaru* P.) é uma espécie nativa da vegetação da caatinga, pertencendo à família Cactaceae. Cresce em solos pedregosos e junto a outras espécies de cactáceas, forma a paisagem típica da região Semiárida do Nordeste, sendo encontrado nos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e norte de Minas Gerais (SILVA et al., 2009). Segundo Rocha; Agra (2002) o mandacaru atinge de 3 a 7 m de altura e possui caule cheio de espinhos rígidos, com grande quantidade de água. É utilizada como planta ornamental e ainda serve para alimentação de bovinos, caprinos e ovinos, principalmente na época de estiagem.

Apesar de sua utilização como alimento, poucos estudos foram feitos com o objetivo de se explorar suas potencialidades. O fruto do mandacaru é um produto perecível com curta vida útil, sendo recomendável que seja submetido a um processamento para aumentar sua vida-de-prateleira e possa atingir mercados consumidores mais distantes. Uma das possíveis alternativas para o aproveitamento dos frutos do mandacaru é a secagem ou desidratação.

A secagem é um processo tradicional na preservação de alimentos, que diminui a disponibilidade da água (atividade de água) para reações de deterioração, aumenta a estabilidade e reduz o volume. Assim, combina a economia de volume e massa no transporte e no armazenamento em razão da compactação e da leveza, com os efeitos benéficos da estabilidade microbiológica e química, permitindo que o produto tenha maior durabilidade. Também resulta em uma transformação do produto, agregando valor e dando origem a uma nova opção no mercado (FELLOWS, 2006; SHIGEMATSU et al., 2005).

A secagem em camada de espuma consiste em um processo de conservação através do qual o material líquido ou semilíquido é transformado em uma espuma estável por meio de batidura e incorporação de ar ou outro gás, que é submetida à secagem com ar aquecido, até o ponto em que impeça o crescimento de micro-organismos, reações químicas e/ou enzimáticas. É um método relativamente simples e barato, que se vale da utilização de agentes que tem a finalidade de manter a espuma estável durante o processo. Dentre as vantagens deste método, destacam-se as menores temperaturas de desidratação e o menor tempo de secagem devido à maior área super-

ficial exposta ao ar, o que aumenta a velocidade de remoção de água. Com isso, obtém-se um produto final poroso e de fácil reidratação (KARIM; CHEE-WAI, 1999).

A secagem de produtos agrícolas pode ser descrita por modelos matemáticos, que são ferramentas úteis na estimativa do tempo necessário para redução do teor de água do produto, sob diferentes condições de secagem, auxiliando nas tomadas de decisão e contribuindo na melhoria da eficiência do processo (ANDRADE et al., 2003; SOUSA et al., 2011). Dentre estes modelos, alguns resultam em bons ajustes de cinéticas de secagem de produtos agrícolas variados, como o de Page, usado por Carlesso et al. (2005) e Alexandre et al. (2009) em secagem de sementes de maracujá e abacaxi em fatias, respectivamente; o de Henderson & Pabis, usado por Barbosa et al. (2007) em secagem de erva cidreira brasileira e Coelho; Pinto (2011) em secagem de tomate; o de Cavalcanti-Mata, usado por Pessoa et al. (2011) e por Marques et al. (2007) para ajustes de secagens de sorgo e de caju, respectivamente.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da espessura da camada da espuma e da temperatura de secagem, no processo de secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Foram utilizados como matérias-primas frutos do mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.) proveniente da região circunvizinha de Campina Grande, PB, e os aditivos: comerciais albumina (Neu Nutri) e Super Liga Neutra[®] (Selecta), composto à base de açúcar e dos espessantes goma guar e carboximetilcelulose;

Os frutos do mandacaru foram colhidos quando apresentavam uma cor de casca variando do vermelho esverdeado ao vermelho, sendo colocados em caixas de isopor e levados ao laboratório. No laboratório, foram selecionados manualmente de forma a eliminar os exemplares que apresentavam danos físicos ou aspecto de podridão. Procedeu-se uma lavagem com esponja e detergente e a seguir uma imersão dos frutos em solução de hipoclorito de sódio com concentração de 50 ppm durante 15 min. Posteriormente, foram enxaguados em água corrente para retirar o excesso da solução de hipoclorito.

Para o despolpamento os frutos foram cortados ao meio e, com uma colher de aço inoxidável, as polpas eram retiradas, transferidas para embalagens

de polietileno de baixa densidade e armazenadas em freezer a $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

As polpas embaladas foram posteriormente descongeladas e passadas em prensa hidráulica provida de crivo para a separação das sementes. Após esta etapa, as polpas foram homogeneizadas, reembaladas, recongeladas rapidamente por imersão em nitrogênio líquido e em seguida armazenadas em freezer à $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ até o momento da realização dos experimentos.

A espuma foi elaborada pela mistura e homogeneização durante 5 minutos em batedeira doméstica da polpa do fruto do mandacaru com adição de 2% de albumina e 2% de Super Liga Neutra. A espuma produzida foi espalhada sobre bandejas de aço inoxidável, compondo amostras com diferentes espessuras da camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm), medidas com o auxílio de um paquímetro digital. As amostras nas bandejas foram levadas para secagem em estufa com circulação de ar, nas temperaturas de 70; 80 e 90 $^{\circ}\text{C}$.

Os dados da cinética de secagem foram obtidos pesando-se as bandejas com as amostras, durante as secagens, até peso constante, em intervalos regulares. Com os dados experimentais da secagem foram calculados os valores da razão de umidade (Equação 1), e construídas as curvas de cinéticas de secagem.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e}$$

(1)

onde,

RU – razão de umidade (adimensional),

U - teor de umidade “absoluta” (base seca),

U_e - teor de umidade de equilíbrio (base seca),

U_0 - teor de umidade inicial (base seca).

Os modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Page e Henderson & Pabis, apresentados na Tabela 1, foram ajustados aos valores experimentais das cinéticas de secagem utilizando-se o programa computacional STATISTICA, versão 5.0.

Tabela 1. Modelos matemáticos aplicados aos dados de secagem.

Modelo	Equação	Referência
Cavalcanti Mata	$RU = a_1 \exp(-bt^{a_2}) + a_3 \exp(-bt^{a_4}) + a_5$	GOUVEIA et al. (2011)
Henderson & Pabis	$RU = a \exp(-Kt)$	AKPINAR et al. (2006)
Page	$RU = \exp(-Kt^n)$	AKPINAR (2006)

RU – razão de umidade; a, a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 , b, n – parâmetros da equação; t – tempo (min); k – constante da equação (h^{-1})

Para avaliar qual modelo produziu o melhor ajuste foram utilizados como parâmetros o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (Equação 2).

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RU_{pred} - RU_{exp})^2}{n}}$$

(2)

onde,

DQM – desvio quadrático médio,

RU_{pred} – razão de umidade predito pelo modelo,

RU_{exp} – razão de umidade experimental,

n – número de observações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de secagem da espuma elaborada com a polpa do fruto do mandacaru e os aditivos para as diferentes temperaturas de secagem e espessuras da camada de espuma estão representadas na Figura 1. Os dados graficados estão na forma adimensional de umidade (razão de umidade) em função do tempo de secagem. O processo de secagem foi, em todas as amostras, mais rápido para as espes-

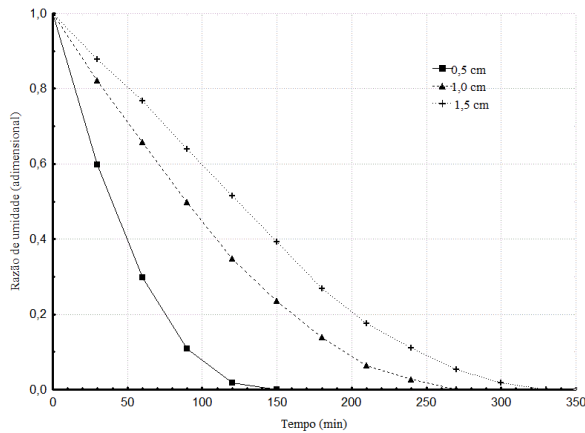
suras da camada de espuma menores. Os tempos de secagem foram de 2 h e 30 min, 4 h e 30 min e 5 h e 30 min, para a temperatura de 70 $^{\circ}\text{C}$; 2 h, 4 h e 5 h, para a temperatura de 80 $^{\circ}\text{C}$ e de 1 h e 30 min, 3 h e 30 min e 4 h e 30 min, para a temperatura de 90 $^{\circ}\text{C}$, para as espessuras da camada de espuma de 0,5, 1,0 e 1,5 cm, respectivamente.

Observa-se que todas as curvas foram influenciadas pela espessura da camada de espuma. Este comportamento também foi observado por Rajkumar et al. (2007) ao estudarem a cinética de secagem da polpa de manga com adição de albumina e metilcelulose, na temperatura de 60 $^{\circ}\text{C}$ e espessuras da camada de espuma de 1, 2 e 3 mm.

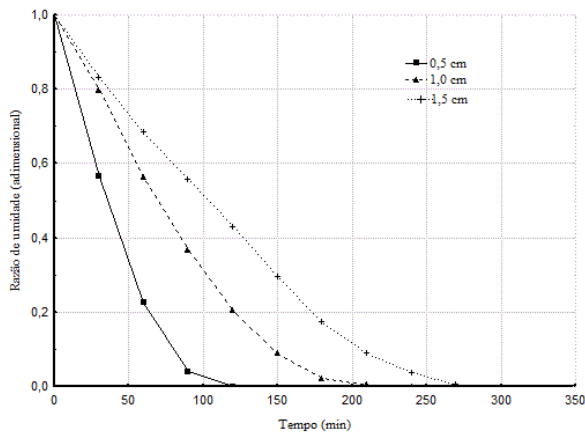
Na Figura 2 encontram-se representadas as curvas de secagem em camada de espuma, nas temperaturas de 70; 80 e 90 $^{\circ}\text{C}$, para as espessuras de 0,5; 1,0 e 1,5 cm, na forma adimensional de umidade (razão de umidade) em função do tempo.

Constata-se que as curvas de secagem foram influenciadas pela temperatura, com a redução gradativa nos tempos de secagem sob o efeito da utilização de temperaturas mais elevadas do ar de secagem, para todas as espessuras da camada de espuma, e que a perda de umidade é mais rápida no início do processo de secagem. Silva et al. (2008), ao estudarem a cinética de secagem em camada de espuma da polpa

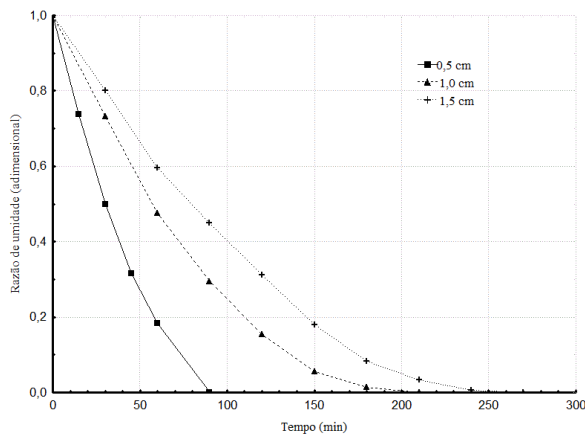
de tamarindo, nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, também verificaram influência da temperatura no processo de secagem.



(A)



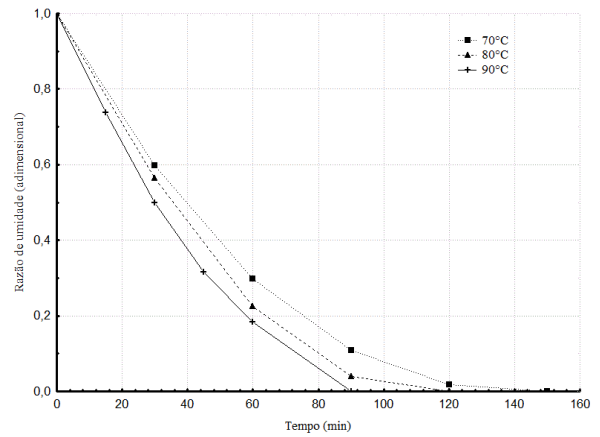
(B)



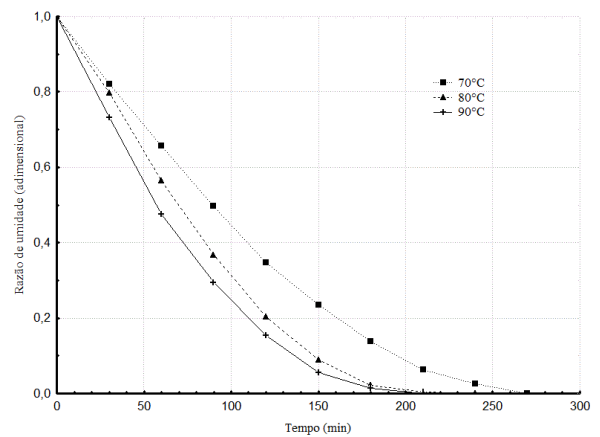
(C)

Figura 1. Curvas de secagem a 70 (A), 80 (B) e 90 °C (C) para as diferentes espessuras da camada de espuma.

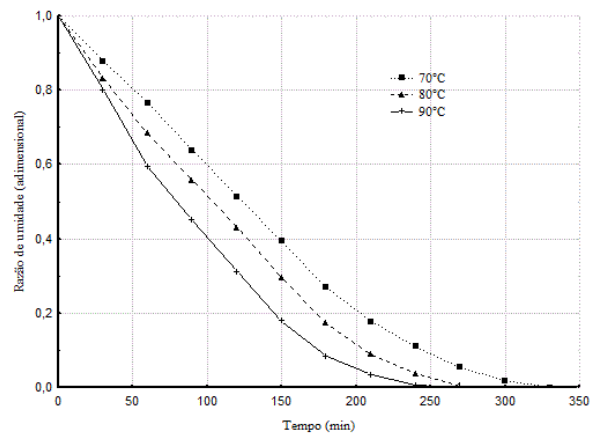
A partir das Figuras 1 e 2, pode-se observar que o menor tempo de secagem foi obtido na temperatura de 90 °C, com espessura da camada de espuma de 0,5 cm. Entre as temperaturas de secagem de 80 e 90 °C a influência da espessura da camada de espuma foi mais importante nos tempos de secagem que a



(A)



(B)



(C)

Figura 2. Curvas de secagem com espessuras da camada de espuma de 0,5 (A) 1,0 (B) e 1,5 (C) cm para as diferentes temperaturas de secagem.

diferença de 10 °C, de forma que a amostra com espessura de 0,5 cm a 80 °C secou mais rápido que a amostra com 1,0 cm a 90 °C e a amostra com 1,0 cm a 80 °C secou em menos tempo que a amostra com 1,5 cm a 90 °C. Na espessura de camada de 0,5 cm a amostra seca a 70 °C secou mais rápido que as amostras com 1,0 e 1,5 cm a 80 e a 90 °C. Apesar disso, ao se dobrar a espessura da camada não se obteve uma resposta linear de aumento do tempo de secagem, sendo assim a escolha pela combinação de con-

dições de secagem deve levar em conta outros fatores, como manutenção de qualidade sensorial e perdas nutricionais.

Tem-se na Tabela 2 os valores dos parâmetros de ajustes dos modelos de Page, Henderson & Pabis

e Cavalcanti Mata, os coeficientes de determinação e os desvios quadráticos médios para a amostra seca com espessura da camada de espuma de 0,5 cm, nas diferentes temperaturas de secagem avaliadas.

Tabela 2. Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados aos dados das secagens das amostras com espessura da camada de espuma de 0,5 cm.

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro						R^2	DQM	
		K		N						
Page	70	0,0049		1,3602				0,998	0,0001	
	80	0,0036		1,4854				0,999	0,0002	
	90	0,0076		1,3312				0,995	0,0005	
Henderson & Pabis	Temperatura (°C)		a		K				R^2	DQM
	70	1,0254		0,0216				0,985	0,0014	
	80	1,0247		0,0247				0,980	0,0028	
Cavalcanti Mata	Temperatura (°C)		a_1	b	a_2	a_3	a_4	a_5	R^2	DQM
	70	0,516	0,006	1,266	0,516	1,266	-0,034	0,999	0,0000	
	80	0,515	0,005	1,389	0,515	1,389	-0,031	0,999	0,0001	
	90	0,592	0,012	1,112	0,592	1,112	-0,183	0,999	0,0000	

Verifica-se que todos os modelos podem ser utilizados para representar o processo de secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru com aditivos, em razão de terem apresentado coeficientes de determinação superiores a 0,98 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,004. Semelhantemente, Alexandre et al. (2009), ao estudar a secagem de abacaxi pérola em fatias nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C obtiveram para o modelo de Page $R^2 > 0,97$; já Babalis et al. (2006) ao estudarem a secagem de figo nas temperaturas de 55 a 85°C e velocidade de ar de secagem de 1 m s⁻¹, encontraram, para o modelo de Henderson & Pabis, $R^2 > 0,99$. Com o modelo de Cavalcanti Mata, Gouveia et al. (2011), obtiveram $R^2 > 0,99$, ao ajustarem este modelo à curva de secagem do feijão preto desidratado em secador de bandeja nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.

Nota-se, para o modelo de Henderson e Pabis, que o parâmetro K, resultou em valores próximos a unidade, o que está de acordo com o seu significado físico, que representa a condição inicial da secagem. Constata-se, ainda, que K aumentou com o aumento da temperatura, comportamento verificado também por Kaya et al. (2007) ao estudarem a cinética de secagem de maçã nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C, e umidade relativa de 40%. Dentre os modelos testados, o de Cavalcanti Mata foi o que apresentou os melhores ajustes com os maiores coeficientes de determinação, superiores a 0,99, e menores desvios quadráticos médios, inferiores a 0,0002; tal comportamento era esperado em razão de, quanto maior o número de parâmetros de um modelo, geralmente, melhor é o ajuste.

Na Figura 3 têm-se as cinéticas de secagem da polpa do fruto do mandacaru com aditivos com espessura da camada de espuma de 0,5 cm nas dife-

rentes temperaturas de secagem avaliadas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata, considerado o melhor modelo dentre os testados; observa-se analisando o gráfico que quanto maior a temperatura menor é o tempo de secagem, comportamento este também verificado por Furtado et al. (2010) ao estudarem a secagem em camada de espuma da polpa de seriguela adicionada de 5% de albumina, desidratada nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C.

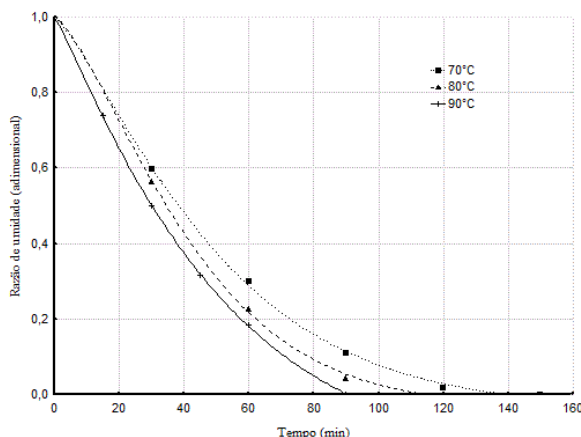


Figura 3. Cinética de secagem da polpa do fruto do mandacaru com aditivos com espessura da camada de espuma de 0,5 cm para as diferentes temperaturas de secagem, com

Vê-se, na Tabela 3 os valores dos parâmetros dos modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata, ajustados às curvas de secagem da polpa do fruto do mandacaru com aditivos, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas de secagem avaliadas, os coeficientes de determinação e os desvios quadráticos médios. Nota-se que todos os modelos podem ser utilizados para representar o processo de secagem da polpa do fruto do mandacaru com aditivos, em razão de terem apre-

sentado coeficientes de determinação superiores a 0,96 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,005.

Dandamrongrak et al. (2002) ao estudarem a cinética de secagem de banana na temperatura de 50 °C, encontraram coeficiente de determinação igual a 0,9999 e desvio quadrático médio inferior a 0,0150 para o modelo de Page; Furtado et al. (2010) também encontraram para o modelo de Page $R^2 > 0,99$, ao

estudarem a secagem em camada de espuma da polpa de seriguela, nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C. Enquanto que, Doymaz (2004a) ao avaliar a cinética de secagem de amora, na temperatura de 50 °C e velocidade do ar de secagem de 1,0 m s⁻¹, encontrou $R^2 = 0,984$ e DQM = 0,03435 para o modelo de Henderson & Pabis.

Tabela 3. Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados aos dados das secagens das amostras com espessura da camada de espuma de 1,0 cm.

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro						R^2	DQM
		K		n					
Page	70	0,0013		1,4119				0,996	0,0004
	80	0,0011		1,5241				0,998	0,0002
	90	0,0028		1,3631				0,998	0,0002
Henderson & Pabis	Temperatura (°C)	a		K				R^2	DQM
	70	1,0656		0,0099				0,972	0,0031
	80	1,0688		0,0130				0,969	0,0038
	90	1,0446		0,0147				0,981	0,0022
Cavalcanti Mata	Temperatura (°C)	a ₁	b	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	R^2	DQM
	70	0,925	0,002	0,891	0,842	1,334	-0,773	0,999	0,0001
	80	-0,368	0,001	1,292	1,357	1,406	0,004	0,999	0,0001
	90	0,523	0,004	1,256	0,523	1,256	-0,048	0,999	0,0001

Fernandes (2010) ao estudar a secagem em camada de espuma da polpa de cajá integral com adição de três diferentes concentrações do emulsificante Emustab® (1, 2 e 3%), e uma concentração fixa do aditivo Super Liga Neutra (2%), deidratadas nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, obteve para o modelo de Cavalcanti Mata $R^2 > 0,99$ e DQM $> 0,01$.

Dentre os modelos testados, o de Cavalcanti Mata resultou nos melhores ajustes com os maiores coeficientes de determinação, superiores a 0,99, e os menores desvios quadráticos médios, iguais a 0,0001.

Nota-se, ainda, para o modelo de Henderson & Pabis que o parâmetro K aumentou com o aumento da temperatura; este comportamento também foi observado por Silva et al. (2008) ao estudarem a secagem de polpa de tamarindo adicionada de 5 % de albumina, nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C.

Como o modelo de Cavalcanti Mata foi o que apresentou os melhores ajustes para as cinéticas de secagem da polpa do fruto do mandacaru com aditivos, com espessura da camada de espuma de 1,0 cm, nas diferentes temperaturas avaliadas tem-se na Figura 4 sua representação gráfica. Marques et al. (2007) ao ajustarem este mesmo modelo às curvas de secagem de caju, com pré-tratamento osmótico nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, também indicaram excelente ajuste com coeficientes de determinação superiores a 0,99.

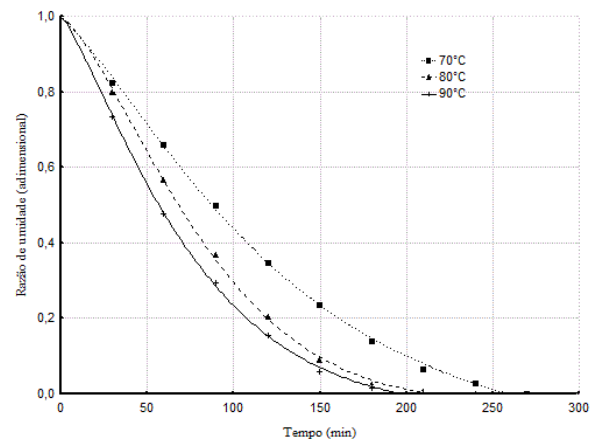


Figura 4. Cinética de secagem da polpa do fruto do mandacaru com aditivos com espessura da camada de espuma de 1,0 cm para as diferentes temperaturas de secagem, com ajustes pelo modelo Cavalcanti Mata.

Têm-se na Tabela 4 os valores dos parâmetros dos modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata, ajustados às curvas de secagem da polpa do fruto do mandacaru com aditivos, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas avaliadas, os coeficientes de determinação e os desvios quadráticos médios.

Observa-se que todos os modelos podem ser utilizados para representar o processo de secagem, em razão de terem apresentado coeficientes de deter-

minação superiores a 0,95 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,006.

Doymaz (2004b), ao trabalhar com a secagem de ameixas na temperatura de 65 °C encontrou para os modelos de Page e Henderson & Pabis valores de

coeficientes de determinação superiores a 0,99 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,03, enquanto Goyal et al. (2006) ao avaliarem a cinética de secagem de manga, também encontraram para os modelos de Page e Henderson & Pabis $R^2 > 0,98$.

Tabela 4. Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados aos dados das secagens das amostras com espessura da camada de espuma de 1,5 cm.

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro						R^2	DQM
		K			n				
Page	70	0,0006			1,4765			0,994	0,0007
	80	0,0009			1,4578			0,991	0,0010
	90	0,0017			1,3888			0,995	0,0005
Henderson & Pabis	Temperatura (°C)	a				K		R^2	DQM
	70	1,0941				0,0076		0,956	0,0050
	80	1,0719				0,0091		0,962	0,0043
	90	1,0590				0,0111		0,975	0,0029
Cavalcanti Mata	Temperatura (°C)	a_1	b	a_2	a_3	a_4	a_5	R^2	DQM
	70	0,521	0,001	1,262	0,654	1,285	-0,170	0,998	0,0002
	80	0,938	0,0002	1,656	366,7	0,035	-366,7	0,999	0,0001
	90	0,509	0,003	1,248	0,563	1,243	-0,077	0,998	0,0002

Dentre os modelos testados o de Cavalcanti Mata apresentou os melhores ajustes, com os maiores coeficientes de determinação, $R^2 > 0,99$, e os menores desvios quadráticos médios, $DQM < 0,0003$. Lisbôa (2010) ao estudar a secagem em camada de espuma da polpa de figo-da-índia integral adicionada de 2% de Emustab, 0,5% de Super Liga Neutra e 5% de Extrato de Soja, desidratada a 90 °C encontrou para este modelo valores de $R^2 = 0,99$ e $DQM = 0,0156$.

Verifica-se para o modelo de Page que o parâmetro K aumentou e o n diminuiu, ambos, com o aumento da temperatura. Nota-se também para o modelo de Henderson & Pabis, que o parâmetro K aumentou e o parâmetro a diminuiu com o aumento da temperatura; tal comportamento também foi verificado por Kaya et al. (2007) ao estudarem a secagem de maçã, na velocidade de 0,2 m s⁻¹, nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C.

Na Figura 5 tem-se as cinéticas de secagem da polpa do fruto do mandacaru com aditivos, com espessura da camada de espuma de 1,5 cm, nas diferentes temperaturas avaliadas com ajustes pelo modelo de Cavalcanti Mata, que foi o que apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais. Este excelente ajuste com o modelo de Cavalcanti Mata também foi observado por Marques et al., (2007) ao determinarem a cinética de secagem do pseudofruto de caju, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, tendo encontrado coeficientes de determinação superiores a 0,99.

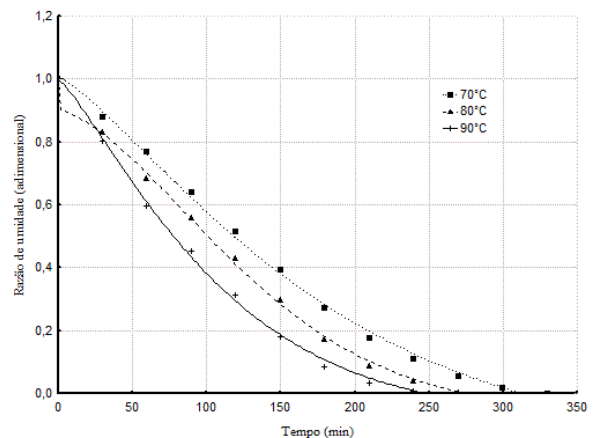


Figura 5. Cinética de secagem da polpa do fruto do mandacaru com espessura da camada de espuma de 1,5 cm para as diferentes temperaturas de secagem, com ajustes pelo modelo Cavalcanti Mata.

CONCLUSÕES

As secagens da espuma elaborada com a polpa do fruto do mandacaru e aditivos foram influenciadas pela temperatura de secagem e espessura da camada de espuma, ocorrendo à secagem em menor tempo na temperatura mais elevada com a menor espessura;

Os modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata se ajustaram bem aos dados experimentais das secagens, podendo ser utilizados na previsão das cinéticas de secagem da espuma elaborada com a polpa do fruto do mandacaru e aditivos, sendo

o modelo de Cavalcanti Mata o que apresentou os melhores ajustes para todas as condições.

AGRADECIMENTO

À CAPES pela bolsa concedida.

REFERÊNCIAS

- AKPINAR, E. K. Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 73, n. 1, p. 75–84, 2006.
- AKPINAR, E. K.; BICER, Y.; CETINKAYA, F. Modelling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun. **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 3, p. 308-315, 2006.
- ALCOFORADO-FILHO, F. G. et al. Florística e fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia espinhosa arbórea em Caruaru, Pernambuco. **Acta Botanica Brasilica**, Feira de Santana, v. 17, n. 2, p. 287-303, 2003.
- ALEXANDRE, H. V. et al. Cinética de secagem de abacaxi c.v. pérola em fatias. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 123-128, 2009.
- ANDRADE, E. T.; BORÉM, F. M.; HARDOIM, P. R. Cinética de secagem do café cereja, boia e cereja desmucilado, em quatro diferentes tipos de terreiros. **Revista Brasileira de Armazenamento – Especial Café**, Viçosa, v. 1, n. 7, p. 37-43, 2003.
- BABALIS, S. J. et al. 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.
- BARBOSA, F. F.; MELO, E. C.; SANTOS, R. H. S.; ROCHA, R. P.; MARTINAZZO, A. P.; RADÜNZ, L. L.; GARCIA, L. M. N. Evaluation of mathematical models for prediction of thinlayer drying of brazilian lemon-scented verbena leaves (*Lippia alba* (mill) n.e. Brown). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 73-82, 2007.
- CARLESSO, V. O.; BERBERT, P. A.; SILVA, R. F.; VIANNA, A. P.; DETMANN, E.; DIONELLO, R. G. Secagem de sementes de maracujá em camada delgada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 444-448, 2005.
- COELHO, K. D.; PINTO, L. A. A. Caracterização da secagem convectiva de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill) em camada delgada. **Vetor**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 5-21, 2011.
- DANDAMRONGRAK, R.; YOUNG, G.; MASON, R. Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. **Journal of Food Engineering**, v. 55, n. 2, p. 139–146, 2002.
- DOYMAZ, I. Drying kinetics of white mulberry. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 341-346, 2004a.
- DOYMAZ, I. Effect of dipping treatment on air drying of plums. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n. 4, p. 465-470, 2004b.
- DRUMOND, M. A. et al. Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. **Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga**. Petrolina: EMBRAPA/CPTSA, 2000. 23 p.
- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.
- FERNANDES, T. K. S. **Secagem em camada de espuma da polpa de cajá**. 2010. 172 f. (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- FURTADO, G. F. et al. Secagem de polpa de ceri-guela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 9-14, 2010.
- GOUVEIA, D. S. et al. Cinética de feijão preto (*Phaseolus vulgaris*, L.) em secador de bandeja. **Holos**, Natal, v. 1, n. 27, p. 38-48, 2011.
- GOYAL, R. K. et al. Thin-layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices. **Biosystems Engineering**, v. 95, n. 1, p. 43–49, 2006.
- KARIM, A. A.; CHEE-WAI, C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) purée. stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, n. 3, p. 337-343, 1999.
- KAYA, A.; AYDIN, O.; DEMIRTAS, C. Drying kinetics of red delicious apple. **Biosystems Engineering**, v. 96, n. 4, p. 517–524, 2007.
- LISBÔA, C. G. C. **Armazenamento de figo-da-índia em pó sob atmosfera controlada**. 2010. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

MARQUES, L. F. et al. Secagem precedida de desidratação osmótica de pseudofruto de caju: comparação entre modelos matemáticos aplicados. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 161-170, 2007.

PESSOA, T.; GALDINO, P. O.; GURJÃO, G. C.; GURJÃO, F. F.; MATA, M. E. R. M. C. Secagem convectiva de grãos de sorgo em camada fina por secador de leito fixo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 6, n. 1, p. 247–255, 2011.

RAJKUMAR, P. et al. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 4, p. 1452–1459, 2007.

ROCHA, E. A.; AGRA, M. F. Flora do pico do Jabre, Brasil: Cactaceae juss. **Acta Botanica Brasilica**, Feira de Santana, v. 1, n. 16, p. 15-21, 2002.

SHIGEMATSU, E. et al. Influência de pré-tratamentos sobre a desidratação osmótica de carambolas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 536-545, 2005.

SILVA, L. R. da; ALVES, R. E. Caracterização físico-química de frutos de “mandacaru”. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 199-205, 2009.

SILVA, A. S. et al. Desidratação da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n.6, p. 1899-1905, 2008.

SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agromônica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 883-892, 2011.