

CINÉTICA DE SECAGEM EM FORNO DE MICRO-ONDAS DA VAGEM DE ALGAROBA (*Prosopis juliflora*)

Jaciara Dantas Costa¹; Antonio Daniel Buriti de Macedo¹; Ana Paula Moisés de Sousa¹; Renato Alexandre Costa de Santana¹; Ana Regina Nascimento Campos¹

¹ Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Centro de Educação e Saúde – CES, , Sítio Olho D'água da Bica, S/N, Cuité – PB, dantajaciara@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A secagem é uma das mais antigas e comuns operações unitárias utilizadas nos mais diversos processos dos mais diferentes tipos de indústrias, que consiste em minimizar perdas, possibilitando o transporte, o armazenamento e aumento da vida útil, garantindo a viabilidade econômica e segurança microbiológica pela redução de teor de umidade do material, através da evaporação (PARK *et al.* 2001).

O processo de secagem em forno micro-ondas (FMO) emprega radiação eletromagnética e tem como vantagens em relação à secagem em estufa a redução no consumo de energia e a significativa redução no tempo, o que motiva seu uso (SOUSA *et al.*, 2015).

O aquecimento por micro-ondas é efetuado por radiações sobre as moléculas de água que se aquecem pela oscilação a altas frequências. Segundo Mata (2014) esse aquecimento seletivo promove menor perda de componentes voláteis do que em estufas convencionais.

Algaroba (*Prosopis juliflora*) é uma leguminosa arbórea tropical comum no semiárido brasileiro e desenvolve-se em lugares secos. Esta planta produz vagens de excelente palatibilidade e boa digestibilidade, apresentando em sua composição química de 25-28 % de glicose, 11-17 % de amido, 7-11 % de proteínas, 14-20 % de ácidos orgânicos, teor de resíduo mineral em torno de 3,75% e 16-20% de teor de água. O produtor nordestino reconhece nela uma grande aliada para alimentar os rebanhos bovinos, caprinos e ovinos, principalmente nos períodos de longas estiagens, pois além de todas as características acima citadas, as suas vagens são de grande aceitabilidade por esses animais (SILVA, 2001).

Tendo essas características positivas, ressalta-se a necessidade de se estudar métodos de conservação das vagens de algaroba através da secagem. Em vista do exposto, objetivou-se analisar a cinética de secagem em FMO e ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais do processo de secagem das vagens de algaroba *in natura*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos foram colhidos no mês de março de 2016, no sítio Malhada do Canto, cidade de Cuité/PB. No laboratório de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Educação e Saúde (UFCG/CES) ocorreu a seleção das vagens saudáveis, lavagem em água corrente e sanitização em solução clorada (30 ppm/5 min) e em seguida estas foram secas naturalmente e trituradas em um liquidificador industrial tipo basculante, com velocidade de 3480 rpm.

Inicialmente foi determinado o teor de água pelo método padrão em estufa (IAL, 2008), sendo os resultados, em base úmida, expressos em porcentagem.

Para a secagem de todas as amostras das vagens de algaroba foi utilizado um FMO doméstico da marca Eletrolux, modelo MEF28, 220V, capacidade de 18 L, potência de 700 W e frequência micro-ondas de 2450 MHz.

Foram realizadas cinéticas de secagens em FMO das vagens de algaroba, utilizando uma potência de 40%, com posterior pesagens repetitivas de forma contínua em diferentes intervalos de tempo, sendo de 2 em 2 minutos para os 10 primeiros minutos e mais 1 minuto, até que as amostras atingissem peso constante. O experimento foi realizado triplicata.

As curvas de secagem foram obtidas pela conversão dos dados referente à perda de água no parâmetro adimensional (razão do teor de água, RX), para a secagem da vagem de algaroba, mediante a Equação 1.

A razão de teor de água (RX)

$$RX = (X^* - X_e^*) / (X_i^* - X_e^*) \quad (1)$$

Em que,

RX - razão de teor de água (adimensional);

X^* - teor de água (base seca);

X_i^* - teor de água inicial (base seca);

X_e^* - teor de água de equilíbrio (base seca).

Os dados experimentais de secagem da vagem de algaroba foram ajustados aos modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da secagem de produtos agrícolas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para predizer o fenômeno de secagem das vagens de algaroba em FMO

Designação do Modelo	Modelo	Equação
$RX=1+at+bt^2$	Wang e Sing (2)	(WANG & SING, 1978)
$RX=a \exp(-kt^n)+bt$	Midilli <i>et al.</i> , (3)	(MIDILLI <i>et al.</i> , 2002)
$RX=a \exp(-kt)+c$	Logarítmico (4)	(YAGCIOGLU <i>et al.</i> 1999)
$RX=a \exp(-kt)+(1-a)\exp(-kat)$	Exponencial de Dois Termos (5)	(HENDERSON, 1974)
$RX=a \exp(-kt)+(1-a)\exp(-kbt)$	Aproximação da difusão (6)	(CORRÊA <i>et al.</i> , 2010)

Em que: RX- razão de teor de água; a, b, c, n - coeficiente dos modelos; k constante de secagem (min^{-1}); t - tempo (min).

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram: coeficientes de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (Equação 7).

$$DQM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RX_{pred} - RX_{exp})^2} \quad (7)$$

Em que,

DQM - desvio quadrático médio;

RXpre - razão teor de água predito;

RXexp - razão teor de água experimental;

N - número de dados experimentais.

Quanto mais próximo da unidade for o valor do R^2 e menor o valor de DQM, melhor o ajuste do modelo aos dados experimentais.

As curvas de cinética e o ajuste dos diferentes modelos utilizados neste estudo foram feitas no software Statistica 8.0, pelo método Quase-Newton, com o qual também foram determinados os parâmetros de cada modelo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, encontram-se os valores dos parâmetros com os respectivos valores de coeficientes de determinação (R^2) e do desvio quadrático médio (DQM) para os modelos ajustados à cinética de secagem da vagem de algaroba em FMO.

Tabela 2. Valores dos parâmetros da secagem da vagem de algaroba em FMO

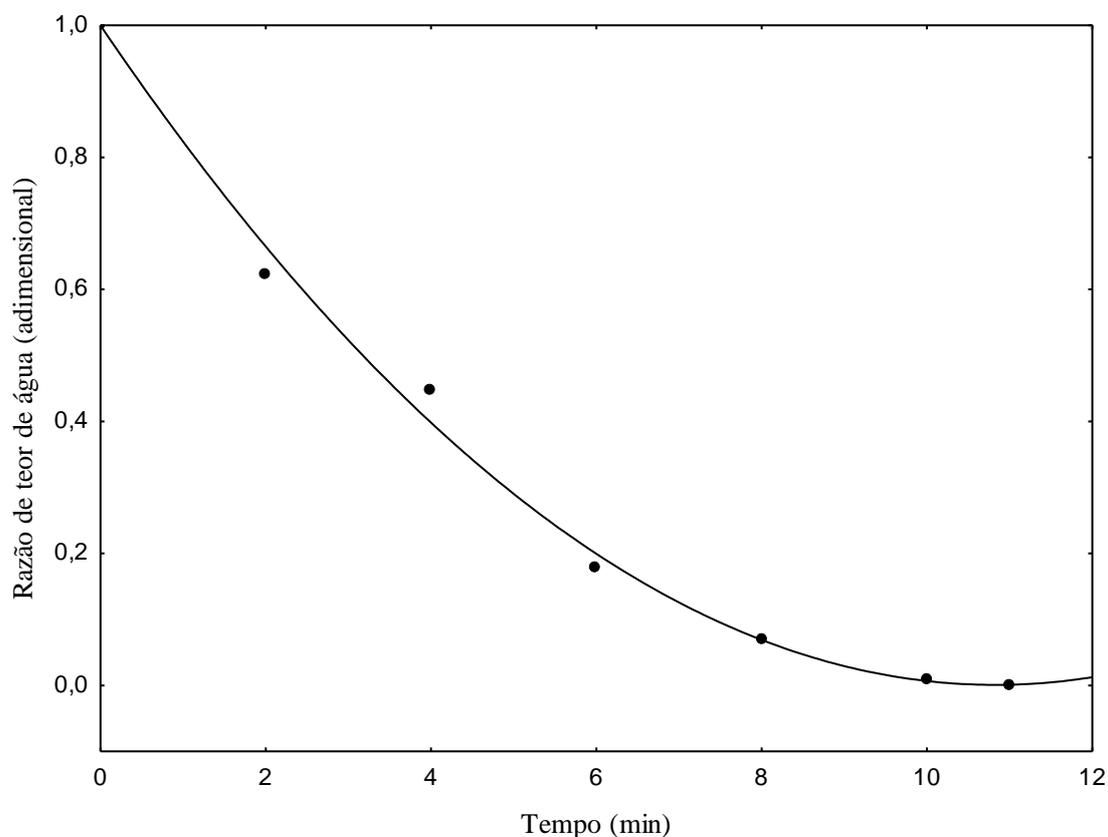
Modelos	K	a	b	c	n	R^2	DQM
Wang e Sing	-	-0,1845	0,0085	-	-	0,9942	0,0265
Midilli <i>et al.</i>	0,1840	0,9950	-0,0078	-	1,1171	0,9925	0,0300
Logarítmico	0,1822	1,1817	-	-0,1811	-	0,9925	0,0300
Exponencial de Dois Termos	0,3611	1,8117	-	-	-	0,9865	0,0405
Aproximação da Difusão	0,1119	-46,0350	1,0186	-	-	0,9929	0,0292

Com os resultados da Tabela 2, verifica-se que os modelos analisados apresentaram ajustes com elevados coeficientes de determinação R^2 e baixos desvio quadrático médio (DQM), onde todos os modelos matemáticos avaliados apresentaram ajuste adequado para descrever o processo de secagem da vagem de algaroba em FMO.

Dentre os modelos que apresentaram melhor ajuste aos dados experimentais, o modelo Wang e Sing foi selecionado por se ajustar adequadamente aos dados de secagem da vagem de algaroba em FMO, pois apresentou maior valor de coeficiente de determinação R^2 , e menor valor de DQM que foi de 0,0265, sinalizando, uma representação satisfatória do processo de secagem.

A Figura 1 apresenta a curva de secagem da vagem de algaroba em FMO, experimental e estimada, pelo modelo de Wang e Sing em função do tempo (minutos) de secagem.

Figura 1. Valores experimentais e estimados da razão de teor de água em função do tempo para a secagem da vagem de algaroba em FMO, de acordo com o modelo de Wang e Sing.



Analisando a curva de razão de teor de água, demonstrada na Figura 1, verificou-se, pela correspondência entre os valores experimentais e estimados, ajuste satisfatório do modelo para a descrição da secagem da vagem de algaroba em estudo.

4. CONCLUSÃO

Os cinco modelos matemáticos ajustados representaram satisfatoriamente o processo de secagem de vagens de algaroba em FMO, com coeficientes de determinação superiores a 0,98 e valores de DQM inferiores a 1,0. Entre os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem, o modelo de Wang e Sing apresentou os maiores coeficientes de determinação (R^2) e menores desvios quadráticos médios (DQM).

A partir do estudo realizado, pode-se também notar a importância da realização da secagem da vagem de algaroba utilizando a tecnologia de FMO, pois esta operação significa uma relevante redução no tempo de secagem das amostras, indicando uma economia energética e maior eficiência do processo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CORRÊA, P. C.; Oliveira, G. H. H.; Botelho, F. M.; Goneli, A. L. D.; Carvalho, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica L.*) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v.57, p. 595-601, 2010.

HENDERSON, S. M. Progress in developing the thin layer drying equation. **Transactions of the ASAE. St. Joseph**, v.17, n.6, p. 1167-1168, 1974.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1ª Edição Digital.

MATA, A. L. M. L. da; COSTA, S. E. D.; CAPISTRANO, D. P.; MORAES FILHO, F. C. de . Cinética da secagem do feijão verde (*Vigna unguiculata L. Walp*) em micro-ondas com e sem pré-tratamento osmótico. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química** – fevereiro, 2014 vol.1, n.2.

MIDILLI, A; KUCUK, H; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology. Philadelphia**. v. 20. n.7. p. 1503-1513, 2002. <http://dx.doi.org/10.108/DRT-120005864>.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.

SILVA S.A. Estudo termogravimétrico e calorimétrico da algaroba. **Quim. Nova**, Vol. 24, Nº 4, 460-464, 2001.

SOUSA, A. P. M; SOUZA, H. P. F; SILVA, A. P. F; OLIVEIRA, J. A. M; MACEDO, A. D. B; PRASAD, S; SANTANA, R. A. C; CAMPOS, A. R. N. Mapeamento térmico do forno de micro-ondas por diferentes procedimentos. **III Workshop de Ciências Naturais e Biotecnologia**, UFCG. Cuité-PB, 2015.

WANG CY & SING RP. 1978. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 11, n.A.

YAGCIOGLU A, DEGIRMENCIOGLU A, CAGATAY F. 1999. Drying characteristics of laurel leaves under different conditions. In: **Internacional congresso on Agricultural Mechanization and Energy**, Adana: Faculty of Agriculture, Cukurova University, p. 565-569.