

## CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE AMORA-PRETA (*Morus nigra* L.)

ELTON APARECIDO SIQUEIRA MARTINS<sup>1</sup>, ANDRÉ LUÍS DUARTE GONELI<sup>2</sup>, ALEXANDRE ALVES GONÇALVES<sup>3</sup>, GUILHERME CARDOSO OBA<sup>4</sup>, CESAR PEDRO HARTMANN FILHO<sup>5</sup>,

<sup>1</sup> Eng. Agrícola, Prof. Assistente, Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD / Dourados-MS, eltonmartins@ufgd.edu.br

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, UFGD / Dourados-MS, andregoneli@ufgd.edu.br

<sup>3</sup> Eng. Agrícola, Mestrando em Engenharia Agrícola, UFGD / Dourados-MS, alexandre\_alvesg@hotmail.com

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, Doutorando em Agronomia, UFGD / Dourados-MS, guilherme\_oba@hotmail.com

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, Doutorando em Agronomia, UFGD / Dourados-MS, cphartmann21@hotmail.com

Apresentado no

XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017  
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

**RESUMO:** As folhas de amora-preta possuem propriedades medicinais, sendo popularmente utilizadas no tratamento de diabetes, colesterol, problemas cardiovasculares e reposição hormonal no climatério. Desta forma, a secagem se torna importante para a conservação e o armazenamento do produto até o seu uso ou processamento. Assim, objetivou-se com o presente estudo avaliar a cinética de secagem de folhas de amora-preta em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem. As folhas de amora-preta foram colhidas com teor de água inicial de aproximadamente 67% b.u., sendo submetidas a secagem em um secador experimental de leito fixo em quatro condições controladas de temperatura (40, 50, 60 e 70 °C) e duas velocidades do ar de secagem (0,4 e 0,8 m s<sup>-1</sup>) até atingirem o teor de água de aproximadamente 10% b.u.. Aos dados experimentais de razão de umidade foram ajustados oito modelos matemáticos para representarem o processo de secagem em camada delgada de produtos agrícolas. Com base nos resultados obtidos, verificou-se que o modelo de Midilli foi o que melhor representou o fenômeno da secagem de folhas de amora. O aumento da temperatura e da velocidade do ar reduziu o tempo de secagem das folhas de amora-preta.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Morus nigra* L., Plantas medicinais, Velocidade do ar

## KINETIC DRYING OF BLACKBERRY (*Morus nigra* L.) LEAVES

**ABSTRACT:** The leaves of blackberry have medicinal properties, being popularly used in the treatment of diabetes, cholesterol, cardiovascular problems and climacteric hormone replacement. Thus, the drying becomes important for the conservation and storage of the product until processing. Thus, the aim of the present study was to evaluate the blackberry leaf drying kinetics at different temperatures and air drying velocity. The blackberry leaves were harvested at initial moisture content of approximately 67% w.b. and dried in a fixed bed experimental dryer under four controlled temperature conditions (40, 50, 60 and 70 °C) and two air velocities (0.4 and 0.8 m s<sup>-1</sup>) until reaching a moisture content of approximately 10% w.b.. The experimental moisture ratio data eight mathematical models have been adjusted to represent the drying process a thin layer of agricultural products. Based on the results, it was found that the Midilli model was best represented the phenomenon of dry blackberry leaves. The increase of temperature and air velocity reduced the drying time of the blackberry leaves.

**KEYWORDS:** *Morus nigra* L., Medicinal plants, Air velocity

**INTRODUÇÃO:** A amora-preta (*Morus nigra* L.) tem origem asiática, podendo atingir de 4 a 12 m de altura. As características das plantas são folhas bastante grossas, simples e alternas, cordiformes, simétricas na base, de cor verde escura, pecíolos curtos, ásperas, com dentes largos e regulares, estípulas longas, membranosas e felpudas. Seus frutos são comestíveis de sabor agridoce, muito sumosa e todas as partes desta planta são empregadas na medicina popular, com base no conhecimento popular (MORGAN, 1982). O chá das folhas de amora é utilizado para aliviar sintomas do climatério, sintomas de cefaleia e irritação que ocorrem no período pré-menstrual, pela presença de flavonoides, especialmente as isoflavonas (LORENZI & MATOS, 2008). Barbosa & Silva (2009) destacam o

efeito do melaço das folhas da amoreira no tratamento de bronquite asmática, verificando efeito positivo na diminuição das tosse noturnas e na excreção de catarros. Assim como muitas plantas medicinais, a amora preta é normalmente colhida com um teor de água inadequado para um correto armazenamento. A secagem de plantas medicinais é uma operação que tem a finalidade de preparar as plantas para um armazenamento seguro, garantindo-lhe a permanência de suas propriedades medicinais, visando atender as necessidades das indústrias farmacêuticas de fitoterápicos, as quais não têm meios de utilizar plantas frescas na quantidade exigida para a produção industrial (LORENZI & MATOS, 2008). Diante do exposto, objetivou com o presente trabalho ajustar e modelar, estatisticamente, modelos matemáticos para representar à cinética de secagem de folhas de amora (*Morus nigra* L.), para diferentes condições de temperatura (40, 50, 60 e 70 °C) e velocidades (0,4 e 0,8 m s<sup>-1</sup>) do ar de secagem.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Foram utilizadas folhas de amora-preta, colhidas com um teor de água inicial de  $67 \pm 2$  % (b.u.). O teor de água inicial foi determinado através do método gravimétrico em estufa, a  $103 \pm 1$  °C, durante 24 h, em triplicata (ASABE, 2010). A secagem das folhas de amora-preta foi realizada para diferentes condições controladas de temperatura (40, 50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar de secagem (0,4 e 0,8 m s<sup>-1</sup>) em um secador experimental de leito fixo, dotado de um sistema que controla com precisão a velocidade e a temperatura do ar de secagem. O secador experimental utilizado possui como fonte de aquecimento um conjunto de resistências elétricas, totalizando 12 kW de potência, um ventilador Siroco com motor de 1 cv, do fabricante Ibram, modelo VSI-160, para insuflação de ar, e possui duas bandejas removíveis para a secagem de produtos em camada delgada. Durante o processo de secagem, as bandejas com as amostras foram pesadas periodicamente, com o auxílio de uma balança digital de 0,01g de resolução. Para fins de modelagem matemática, o teor de água como ponto final da secagem foi considerado de  $10 \pm 1$  % ( b.u.). A razão de umidade (RU) das folhas de amora, durante a secagem nas diferentes condições de ar, foi determinada por meio da seguinte Equação 1:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (1)$$

em que,

RU - razão de umidade do produto, adimensional; U - teor de água do produto em um determinado tempo, decimal b.s.; U<sub>e</sub> - teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s.; e U<sub>i</sub> - teor de água inicial do produto, decimal b.s..

Aos dados observados de razão de umidade da secagem de folhas de amora-preta foram ajustados os seguintes modelos matemáticos (Tabela 1).

TABELA 1. Modelos matemáticos ajustados às curvas de secagem das folhas de amora.

Designação do modelo	Modelo	
Aproximação da difusão	$RU = a \exp(-k \theta) + (1 - a) \exp(-k b \theta)$	(2)
Dois termos	$RU = a \exp(-k_0 \theta) + b \exp(-k_1 \theta)$	(3)
Exponencial de Dois Termos	$RU = a \exp(-k \theta) + (1 - a) \exp(-k a \theta)$	(4)
Henderson e Pabis	$RU = a \exp(-k \theta)$	(5)
Logarítmico	$RU = a \exp(-k \theta) + c$	(6)
Midilli	$RU = a \exp(-k \theta^n) + b \theta$	(7)
Newton	$RU = \exp(-k \theta)$	(8)
Page	$RU = \exp(-k \theta^n)$	(9)

k, k<sub>0</sub>, k<sub>1</sub>: constantes de secagem, h<sup>-1</sup>; a, b, c, n: coeficientes dos modelos; θ: tempo de secagem, h.

Os dados experimentais de razão de umidade durante a secagem, em camada delgada, das folhas de amora-preta foram submetidos à análise de regressão não linear, pelo método de Gauss-Newton, e seleção do modelo matemático adequado para expressar a relação entre as variáveis estudadas. Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi utilizado o programa computacional Statistica 8.0<sup>®</sup>. Para análise do grau de ajuste de cada modelo, para todas as condições

do ar de secagem, foram consideradas as maiores magnitudes do coeficiente de determinação, valores reduzidos do erro médio relativo e desvio padrão da estimativa, além do comportamento da distribuição dos resíduos.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 2, são apresentadas as magnitudes do desvio padrão da estimativa (SE), erro médio relativo (P) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), além da distribuição dos resíduos utilizados para a comparação entre os oito modelos ajustados aos dados experimentais de razão de umidade da secagem das folhas de amora preta para diferentes temperatura e velocidades do ar de secagem.

TABELA 2. Parâmetros estatísticos obtidos na secagem das folhas de amora-preta.

Modelos	0,4 m s <sup>-1</sup>				0,8 m s <sup>-1</sup>			
	SE (decimal)	P (%)	R <sup>2</sup> (decimal)	Resíduo	SE (decimal)	P (%)	R <sup>2</sup> (decimal)	Resíduo
40 °C								
(2)	0,0169	8,4960	0,9971	TD	0,0067	4,9932	0,9995	AL
(3)	0,0312	18,2692	0,9902	TD	0,0342	35,5409	0,9862	TD
(4)	0,0178	9,4502	0,9967	TD	0,0170	16,9787	0,9965	TD
(5)	0,0307	18,2690	0,9902	TD	0,0311	30,5449	0,9884	TD
(6)	0,0098	5,1307	0,9990	AL	0,0079	6,6288	0,9992	AL
(7)	0,0082	2,9980	0,9993	AL	0,0057	3,2213	0,9996	AL
(8)	0,0326	20,5178	0,9888	TD	0,0345	35,1279	0,9854	TD
(9)	0,0194	9,2402	0,9961	TD	0,0172	15,0631	0,9964	TD
50 °C								
(2)	0,0289	25,7472	0,9906	TD	0,0081	5,5964	0,9992	AL
(3)	0,0262	21,8166	0,9924	TD	0,0256	20,7900	0,9928	TD
(4)	0,0121	7,9068	0,9983	TD	0,0137	10,0025	0,9978	TD
(5)	0,0255	21,8170	0,9924	TD	0,0248	20,7895	0,9928	TD
(6)	0,0135	11,6465	0,9980	TD	0,0094	7,1292	0,9990	AL
(7)	0,0091	5,6663	0,9991	AL	0,0087	4,9119	0,9992	AL
(8)	0,0282	25,7474	0,9906	TD	0,0267	23,6281	0,9914	TD
(9)	0,0131	6,8514	0,9980	TD	0,0148	9,5861	0,9974	TD
60 °C								
(2)	0,1484	48,7990	0,7620	TD	0,0192	12,7678	0,9963	TD
(3)	0,0382	29,3516	0,9847	TD	0,0407	28,8397	0,9839	TD
(4)	0,0198	11,1774	0,9956	AL	0,0207	14,6769	0,9955	TD
(5)	0,0370	27,6202	0,9848	TD	0,0390	28,8398	0,9839	TD
(6)	0,0210	14,6172	0,9952	AL	0,0138	9,4836	0,9981	AL
(7)	0,0141	4,7146	0,9979	AL	0,0111	6,1239	0,9988	AL
(8)	0,0402	32,3802	0,9816	TD	0,0432	33,4536	0,9795	TD
(9)	0,0197	7,6632	0,9957	AL	0,0194	11,2890	0,9960	TD
70 °C								
(2)	0,0280	20,4360	0,9931	TD	0,0469	30,9039	0,9808	TD
(3)	0,0554	41,2041	0,9747	TD	0,0525	30,9043	0,9808	TD
(4)	0,0296	23,2203	0,9918	TD	0,0241	16,2139	0,9949	TD
(5)	0,0517	42,3852	0,9749	TD	0,0469	30,9039	0,9808	TD
(6)	0,0190	14,8630	0,9968	AL	0,0125	7,4549	0,9988	AL
(7)	0,0162	9,5931	0,9978	AL	0,0106	4,9279	0,9992	AL
(8)	0,0555	48,0328	0,9692	TD	0,0494	34,5807	0,9766	TD
(9)	0,0258	15,9781	0,9938	TD	0,0213	12,2643	0,9960	TD

O modelo de Midilli foi o único ajustado aos dados experimentais da cinética de secagem das folhas de amora-preta que para todas as temperaturas e velocidade do ar de secagem, apresentou valores de erro médio relativo (P) inferiores a 10% (Tabela 2). Mohapatra & Rao (2005) afirmam que modelos que apresentam valores de erro médio relativo superior a 10% são inadequados para representar o processo de secagem. Com relação ao coeficiente de determinação ( $R^2$ ), destacam-se, os modelos Exponencial de Dois Termos, Logarítmico, Midilli, Newton e Page, apresentando valores de  $R^2$  maior ou igual a 0,98 para todas as temperaturas e velocidades do ar de secagem (Tabela 2). O desvio padrão

da estimativa (SE) indica a capacidade de um modelo em descrever com fidelidade um determinado processo físico, sendo que quanto menor for sua magnitude melhor será a qualidade de ajuste do modelo em relação aos dados observados. O modelo de Midilli destaca-se para todas as condições de temperaturas e velocidade do ar de secagem, apresentando os menores valores de SE (Tabela 2). Já quanto a distribuição dos resíduos apenas o modelo de Midilli, apresenta distribuição aleatória dos resíduos para todas as condições de secagem (temperaturas e velocidades do ar) (Tabela 2). Com base nos parâmetros estatísticos, dentre os modelos analisados, o único modelo que pode ser usado para representar o processo de secagem em camada delgada das folhas de amora-preta, para todas as condições do ar de secagem (temperatura e velocidade do ar), é o modelo de Midilli (Tabela 2). Na Figura 1 são apresentadas as curvas de cinética de secagem em camada delgada das folhas de amora-preta para diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.

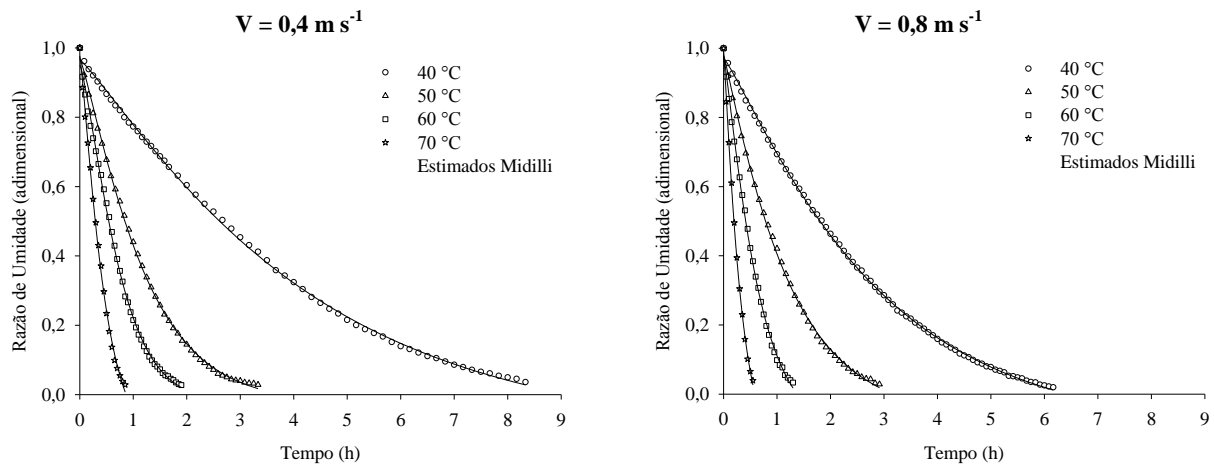


FIGURA 1. Valores de razão de umidade experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para a secagem das folhas de amora em camada delgada para as diferentes condições do ar de secagem.

Nota-se que na medida em que se eleva a temperatura do ar de secagem das folhas de amora-preta, o tempo gasto para concluir o mesmo é reduzido. Verifica-se, também, que o acréscimo da velocidade do ar de secagem tem efeito mais pronunciado para as menores temperaturas avaliadas, em que o tempo de secagem para a temperatura de 40 °C reduziu consideravelmente na velocidade do ar de secagem de 0,8 m s<sup>-1</sup> quando comparada a secagem na velocidade do ar de 0,4 m s<sup>-1</sup> (Figura 1), ao avaliar as demais temperaturas do ar de secagem estudadas, nota-se que quanto maior a temperatura menor o efeito da velocidade do ar no com relação ao tempo de secagem das folhas de amora-preta.

**CONCLUSÕES:** Com base nos parâmetros estatísticos, apenas o modelo de Midilli apresentou ajuste satisfatório em todas as condições de secagem das folhas de amora estudadas neste trabalho, sendo este o modelo selecionado para representar a cinética de secagem em camada delgada das folhas de amora-preta. A velocidade do ar de secagem tem efeito mais pronunciado, com relação a redução do tempo de secagem, para as menores temperaturas avaliadas na secagem de folhas de amora-preta.

**AGRADECIMENTOS:** À Capes e à Fundect, pelo apoio financeiro à pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ASABE, S J. Moisture Measurement - Forages: Standard S358.2 DEC1988, R2008. In: **American Society of Agricultural and Biological Engineers** (ed.). Standards, Engineering Practices, and Data. St. Joseph: ASABE, p.684-685, 2010.
- BARBOSA, M.C; SILVA, S.A.R. Estudo Etnobotânico da amoreira (*Morus nigra* L.). 3º Simpósio de Plantas Mediciniais. Anais. UNB. Brasília. p.14-17, 2009.
- LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: Nativas e exóticas**. 2 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 2008. 544p.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**. p.513-518, 2005.
- MORGAN R. **Enciclopédia das ervas e Plantas Mediciniais**. São Paulo: Hemus Editora, 1982.