

Cinética de secagem de folhas de *Bauhinia forficata* Link

Fernanda Pimentel da Silva¹, Valdiney Cambuy Siqueira², Maria Heloisa Junqueira¹, Elton Aparecido Siqueira Martins², Fábio Maciel Neto Miranda³

¹ Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola – PGEA, Universidade Federal da Grande Dourados/UFGD

² Professor da Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados/UFGD

³ Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD

Resumo: Objetivou-se com o presente trabalho determinar o coeficiente de difusão e as propriedades termodinâmicas das folhas de *Bauhinia forficata* Link, considerando duas formas de medições de espessura, bem como, descrever o processo de secagem por meio do ajuste de modelos matemáticos. As folhas foram levadas ao laboratório e selecionadas para dar início ao processo de secagem em quatro temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C). Após a secagem, determinou-se o coeficiente de difusão por meio da teoria da difusão líquida, permitindo a obtenção dos valores da energia de ativação, entalpia, entropia e energia livre de Gibbs. Já a descrição do processo de secagem foi realizada por meio do ajuste de treze modelos matemáticos constantemente utilizados para representação de secagem de produtos agrícolas. O modelo de Valcam foi selecionado para representar a cinética de secagem de folhas de *Bauhinia forficata* Link. O aumento da temperatura promove: decréscimo de entalpia e entropia; aumento da energia livre de Gibbs e do coeficiente de difusão efetivo. O coeficiente de difusão efetivo é maior quando se considera a espessura da nervura, sendo necessária a padronização e/ou especificação dos pontos de medição da espessura da folha.

Palavras-chave: plantas medicinais, coeficiente de difusão efetivo, temperatura

Drying kinetics of *Bauhinia forficata* Link leaves

Abstract: The aim of this study to determine the diffusion coefficient and the thermodynamic properties of *Bauhinia forficata* Link, considering two forms of thickness measurements and describe the process by adjusting mathematical models. The leaves were taken to the laboratory and selected to start the drying process in which four temperatures (40, 50, 60 and 70 °C) were applied. After the drying process, the diffusion coefficient through the theory of diffusion in liquid was determined, allowing obtaining the values of the activation energy, enthalpy, entropy and Gibbs free energy. The description of the drying process was performed by setting the thirteen mathematical models used to represent constant drying of agricultural products. The Valcam model was selected to represents the drying kinetics *Bauhinia forficata* Link. The increased temperature promotes: decreasing enthalpy and entropy; increased Gibbs free energy and the effective diffusion coefficient. The effective diffusion coefficient is higher when considering the rib thickness and a standardization and / or specification of the measurement points of the leaf thickness is required.

Key words: medicinal plants, effective diffusion coefficient, temperature

INTRODUÇÃO

O emprego de plantas medicinais no tratamento de doenças é utilizado desde as gerações passadas, o que caracteriza o uso milenar destes produtos, justaposto ao conhecimento e o saber popular (Feijó et al., 2012). Dentre as mais de 300 espécies conhecidas do gênero *Bauhinia* (Lusa & Bona, 2009), a espécie *Bauhinia forficata* Link, conhecida popularmente no Brasil como pata-de-vaca é constantemente utilizada na medicina popular se destacando no tratamento de diabetes mellitus (Rodrigues et al., 2012).

Assim como a maioria dos produtos agrícolas, algumas plantas medicinais necessitam passar por um processo de secagem. No entanto, cada produto agrícola apresenta comportamento distinto durante este processo, uma vez que, além das características do ar de secagem, as suas propriedades físicas e composição química também exercem grande influência. Diante disso, vários autores (Martinazzo et al., 2007; Rocha et al., 2012; Prates et al., 2012) utilizam a técnica da modelagem estatística para prever tal comportamento.

No decorrer do processo de secagem é interessante não só descrever a cinética de secagem, mas também observar as propriedades termodinâmicas. Elas fornecem informações importantes sobre as propriedades da água como também sobre a energia necessária no processo (Corrêa et al., 2010).

Objetivou-se com o presente trabalho determinar o coeficiente de difusão e as propriedades termodinâmicas das folhas de pata-de-vaca (*Bauhinia forficata* Link), considerando duas formas de medições de espessura, bem como descrever o processo de secagem por meio do ajuste de modelos matemáticos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no laboratório de Propriedades Físicas de Produtos Agrícolas, da Faculdade de Ciências Agrárias – FCA, pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul. As folhas de pata-de-vaca (*Bauhinia forficata* Link) foram coletadas no Horto de Plantas Medicinais da FCA.

O teor de água inicial e o teor de água de equilíbrio das amostras foram determinados utilizando o método gravimétrico proposto pela ASABE (2010), utilizando estufa de ventilação forçada a 103 ± 1 °C, durante 24h, em quatro repetições.

Para condução do experimento, utilizou-se secador experimental com quatro bandejas, dotado de um sistema que controla com precisão o fluxo de ar e a temperatura do ar de secagem.

As temperaturas de secagem adotadas foram: 40, 50, 60 e 70 °C, em condições controladas. Em todas as temperaturas, a secagem foi interrompida quando não observou-se variação da massa do produto em três pesagens consecutivas.

A razão de umidade das folhas de pata-de-vaca em todas as temperaturas foi determinada através da Eq. 1.

$$RU = U - U_e / U_i - U_e \quad (1)$$

sendo:

RU - razão de umidade do produto, adimensional; U - teor de água em determinado tempo, decimal (b. s.); U_e - teor de água de equilíbrio, decimal (b. s.); U_i - teor de água inicial, decimal (b. s.).

Foram ajustados aos dados de razão de umidade das folhas de pata-de-vaca, os treze modelos matemáticos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos ajustados as curvas de secagem de folhas de pata-de-vaca

Nome do modelo	Modelo	
Aproximação da difusão	$RU = a.exp(-k.t) + (1-a)exp(-k.b.t)$	(2)
Dois termos	$RU = a.exp(-k_0.t) + b.exp(-k_1.t)$	(3)
Exponencial de dois termos	$RU = a.exp(-k.t) + (1-a)exp(-k.a.t)$	(4)
Henderson e Pabis modificado	$RU = a.exp(-k.t) + b.exp(-k_0.t) + c.exp(-k_1.t)$	(5)
Henderson e Pabis	$RU = a.exp(-k.t)$	(6)
Logarítmico	$RU = a.exp(-k.t) + c$	(7)
Midilli	$RU = a.exp(-k.t^n) + b.t$	(8)
Newton	$RU = exp(-k.t)$	(9)
Page	$RU = exp(-k.t^n)$	(10)
Thompson	$RU = exp\left\{\left[-a(-a^2 + 4.b.t)^{0.5}\right](2.b)^{-1}\right\}$	(11)
Valcam	$RU = a + b.t + c.t^{1.5} + d.t^2$	(12)
Verma	$RU = -a.exp(-k.t) + (1-a)exp(-k_1.t)$	(13)
Wang e Singh	$RU = 1 + (a.t) + (b.t^2)$	(14)

t - tempo de secagem, h;

k, k₀, k₁ - constantes de secagem h⁻¹;

a, b, c, d, n - coeficientes dos modelos.

Para a determinação do coeficiente de difusão efetivo nas diversas temperaturas de secagem, foi utilizada a Eq. 15, fundamentada na teoria de difusão líquida, que considera a forma geométrica do produto como aproximada de uma placa plana com aproximação de oito termos.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \pi^2 D_i \left(\frac{\theta}{4L}\right)^2\right] \quad (15)$$

sendo:

D_i - coeficiente de difusão efetivo, m² s⁻¹; L - espessura do produto, m; θ - tempo de secagem, s; n - número de termos do modelo.

Para a obtenção da espessura (L) das folhas de pata-de-vaca, foi utilizado um micrômetro digital com resolução de 0,001 mm. Foram realizadas 50 repetições, 10 repetições para cada

temperatura, em quatro pontos de cada lado da nervura central da folha e em sete pontos sobre as nervuras das folhas (Figura 1).



Figura 1. (A) pontos de obtenção da espessura das folhas de pata-de-vaca fora da nervura (SN); e (B) fora e sobre as nervuras (CN)

Posteriormente, foi calculada a média da espessura considerando os pontos sem nervura (SN), que foi de 0,250 mm e a média da espessura das folhas de pata-de-vaca considerando os pontos fora e sobre a nervura (CN), que foi de 0,583 mm.

Para que fosse possível avaliar o comportamento do coeficiente de difusão efetivo em relação às diferentes temperaturas aplicadas durante o processo de secagem, para as duas situações: SN e CN aplicou-se a equação de Arrhenius, descrita na Eq. 16.

$$D_i = D_0 \exp(E_a / RT_a) \quad (16)$$

sendo:

D_0 - fator pré-exponencial; E_a - energia de ativação, KJ mol^{-1} ; R - constante universal dos gases, $8,314 \text{ kJ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$; T_a - temperatura absoluta, K .

Após a seleção do modelo de representação da difusividade efetiva, realizou-se um teste de hipótese de igualdade dos modelos utilizando o método de Regazzi (2003). Este método possibilita a análise de equivalência entre os modelos empregados e objetiva estabelecer uma única equação para descrever o fenômeno em estudo.

Os parâmetros do modelo linear utilizados para descrever o efeito da espessura das folhas de pata-de-vaca na difusividade efetiva (a_1 e b_1), foram comparados entre si para verificação de sua igualdade. As hipóteses formuladas foram:

H_0 - $a_1 = a_2$ e $b_1 = b_2$.

H_a - ocorre pelo menos uma desigualdade entre os parâmetros.

Segundo Regazzi (2003), para obtenção das formas do modelo completo das equações com restrição foram consideradas as variáveis dummy (D): sendo $D_i = 1$ se a observação y_{ij} pertence ao grupo i e $D_i = 0$ em caso contrário.

A regra de decisão baseou-se no teste de qui-quadrado (χ^2) de acordo com a Eq. 17.

$$\chi_{\text{calculado}}^2 = -N \ln (SQR_{\Omega} / SQR_{w_i}) \quad (17)$$

sendo:

N - número de observações; SQR_{Ω} - soma dos quadrados residuais do modelo completo; SQR_{w_i} - soma dos quadrados residuais do espaço paramétrico restrito.

O valor tabelado de (χ^2) é função do nível de significância α e do número de graus de liberdade, descrito na Eq. 18.

$$v = P_{\Omega} - P_{w_i} \quad (18)$$

sendo:

v - graus de liberdade do modelo; P_{Ω} - número de parâmetros do modelo completo; P_{W_i} - número de parâmetros do modelo com restrição.

Para comparação dos modelos de difusão foram testadas as duas condições de espessuras mencionadas (0,250 e 0,583 mm).

As propriedades termodinâmicas, associadas ao processo de secagem, foram determinadas de acordo com o método proposto por Jideani & Mpotokwana (2009). Disposto nas Eqs. 19, 20 e 21, respectivamente, entalpia específica, entropia específica e energia Livre de Gibbs.

$$h = E_a - RT_a \quad (19)$$

$$s = R \left(\ln D_0 - \ln \frac{k_B}{h_p} - \ln T_a \right) \quad (20)$$

$$G = h - T_a s \quad (21)$$

sendo:

h - entalpia específica, $J \text{ mol}^{-1}$; s - entropia específica, $J \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$; G - energia livre de Gibbs, $J \text{ mol}^{-1}$; K_B - constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$; h_p - constante de Planck, $6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}^{-1}$.

Para análise do grau de ajuste de cada modelo, foram consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação (R^2), do erro médio relativo (P) e do desvio padrão da estimativa (SE). Que foram calculados de acordo com as Eqs. 22 e 23.

$$P = \frac{100}{N} \sum \frac{|RU_{obs} - RU_{est}|}{RU_{obs}} \quad (22)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (RU_{obs} - RU_{est})^2}{v}} \quad (23)$$

sendo:

RU_{obs} - razão de umidade observada experimentalmente; RU_{est} - razão de umidade estimada pelo modelo; v - graus de liberdade do modelo.

Os dados experimentais provenientes da cinética de secagem de folhas de pata-de-vaca foram analisados e submetidos à análise de regressão não linear, através do método de Gauss-Newton, empregando o software Statistica 8.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apenas o modelo de Wang e Singh apresentou valores de coeficiente de determinação (R^2) inferior a 0,95 que de acordo com Kashaninejad et al. (2007) é o valor mínimo para obter uma representação satisfatória de modelos ao processo de secagem (Tabela 2). No entanto, o coeficiente de determinação não é um parâmetro correto para esse tipo de caracterização quando analisado de forma isolada (Madamba et al., 1996). Segundo Siqueira et al. (2012), a medida que os valores de SE são menores, melhor será o ajuste dos modelos aos dados experimentais. Neste caso, é possível afirmar que a capacidade de um modelo descrever com fidelidade determinado processo físico é inversamente proporcional ao valor do desvio padrão da estimativa (Draper & Smith, 1998).

Os valores aceitáveis de P devem ser inferiores a 10% (Aguerre et al., 1989; Mohapatra & Rao, 2005). Desta forma, os modelos de Henderson e Pabis modificado, Logarítmico, Valcam e Verma são os únicos a atenderem este requisito, além de apresentarem baixos valores de SE e elevados valores de R^2 (Tabela 2), em todas as temperaturas do ar de secagem.

O modelo escolhido para representar as curvas de secagem de pata-de-vaca foi o modelo de Valcam, por apresentar forma simplificada e menor número de coeficientes, sendo de fácil utilização em processos de simulação de secagem.

Tabela 2. Erro médio estimado (SE), erro médio relativo (P) e coeficiente de determinação (R^2), para os treze modelos analisados, durante a secagem das folhas de *Bauhinia Forficata* Link, nas diversas condições de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Modelos	40($^{\circ}\text{C}$)			50 ($^{\circ}\text{C}$)			60 ($^{\circ}\text{C}$)			70 ($^{\circ}\text{C}$)		
	SE	P	R^2	SE	P	R^2	SE	P	R^2	SE	P	R^2
(2)	0,0470	6,019	0,965	0,0208	10,602	0,994	0,0142	7,354	0,998	0,0183	8,217	0,997
(3)	0,0302	3,714	0,986	0,0214	10,601	0,994	0,0164	5,740	0,998	0,0190	8,210	0,998
(4)	0,0458	6,020	0,965	0,0432	10,180	0,974	0,0149	5,784	0,998	0,0206	14,678	0,996
(5)	0,0035	0,700	0,999	0,0079	6,7000	0,999	0,0165	7,739	0,998	0,0139	6,025	0,999
(6)	0,0312	6,715	0,984	0,0330	8,330	0,985	0,0149	5,739	0,998	0,0187	11,704	0,997
(7)	0,0301	3,429	0,986	0,0339	8,301	0,985	0,0145	7,983	0,998	0,0177	7,679	0,998
(8)	0,0141	4,218	0,997	0,0299	16,224	0,989	0,0153	6,751	0,998	0,0164	10,159	0,998
(9)	0,0447	6,020	0,965	0,0421	10,181	0,975	0,0144	5,784	0,998	0,0178	11,363	0,997
(10)	0,0355	9,617	0,979	0,0322	13,697	0,986	0,0142	5,234	0,998	0,0189	11,294	0,997
(11)	0,0420	9,954	0,971	0,0383	14,509	0,980	0,0149	5,789	0,998	0,0189	11,369	0,997
(12)	0,0257	4,862	0,990	0,0299	6,098	0,990	0,0120	6,566	0,999	0,0155	6,779	0,998
(13)	0,0471	6,000	0,970	0,0444	9,782	0,975	0,0142	6,149	0,998	0,0198	9,506	0,997
(14)	0,0577	10,180	0,950	0,0830	46,639	0,906	0,0390	28,012	0,985	0,0424	21,021	0,984

Para que as folhas de pata-de-vaca atingissem no final da secagem o teor de água de aproximadamente $0,10 \pm 0,01$ decimal b.s. foram necessárias 1,8; 1,72; 0,87 e 0,45 horas, respectivamente, para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 $^{\circ}\text{C}$ (Figura 2).

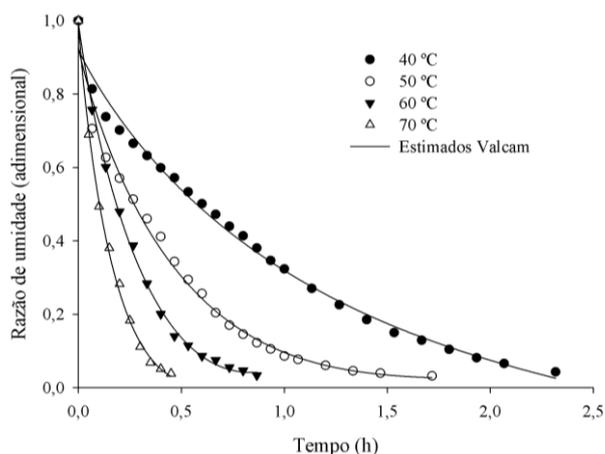


Figura 2. Valores de razão de umidade experimentais e estimados pelo modelo de Valcam, nas diferentes temperaturas de secagem

Dentre os coeficientes do modelo de Valcam (Tabela 3) que foram ajustados aos dados obtidos durante o processo de secagem das folhas de pata-de-vaca, o coeficiente “a” não apresentou comportamento definido, os coeficientes “b” e “d” decresceram de acordo com o

aumento de temperatura e o coeficiente “c” sofreu acréscimo conforme ocorreu incremento de temperatura no ar de secagem.

Tabela 3. Valores estimados dos parâmetros do modelo de Valcam e coeficiente de difusão efetivo, considerando (CN) e desconsiderando (SN) a espessura da nervura das folhas de pata-de-vaca

Temperatura (°C)	Coeficientes				D (m ² s ⁻¹)	
	a	b	c	d	SN	CN
40	0,93522**	-1,58374**	1,41794**	-0,44049*	6,4236x10 ⁻¹²	1,7829x10 ⁻¹¹
50	0,92648**	-2,75860**	2,64556**	-0,71753**	1,3869x10 ⁻¹¹	3,8493x10 ⁻¹¹
60	0,99534**	-4,60885**	5,09702**	-1,42667**	2,2194x10 ⁻¹¹	6,1599x10 ⁻¹¹
70	0,99253**	-8,60268**	13,88675**	-6,33544*	3,9491x10 ⁻¹¹	1,0961x10 ⁻¹⁰

** 1% de significância; * 5% de significância

Os valores do coeficiente de difusão efetivo calculados sem considerar a espessura das nervuras da folha (0,250 mm) e o coeficiente de difusão efetivo calculado considerando os pontos fora e sobre a nervura das folhas (0,583 mm) elevam-se conforme aumenta a temperatura do ar de secagem (Tabela 3). Martinazzo et al. (2007) e Prates et al. (2012) observaram o mesmo comportamento para folhas de capim-limão e folhas de fruta-de-lobo.

A variação dos valores do coeficiente de difusão SN foi de 6,4236x10⁻¹² a 3,9491x10⁻¹¹ m²s⁻¹, comportamento semelhante ao observado em folhas de capim-limão (Martinazzo et al., 2007) e folhas de manjeriço (Reis et al., 2012). Ambos os autores obtiveram valores de coeficiente de difusão variando de 10⁻¹² a 10⁻¹¹ m²s⁻¹. Já os valores do coeficiente de difusão efetivo CN ficaram na faixa entre 1,7829x10⁻¹¹ e 1,0961x10⁻¹⁰ m²s⁻¹. De acordo com Zogzas et al. (1996), os valores do coeficiente de difusão variam de 10⁻¹¹ a 10⁻⁹ m²s⁻¹ para os produtos do ramo alimentício, estando o coeficiente de difusão calculado para as folhas de pata-de-vaca a partir dos dados CN dentro desta faixa de variação.

Conforme o teste de identidade de modelo, os valores de qui-quadrado tabelado (5,991) foram menores que os valores de qui-quadrado calculado (35,963), para o coeficiente de difusão efetivo das folhas de pata-de-vaca. Desta forma, a hipótese formulada H₀ é rejeitada, constatando que os modelos lineares aplicados para representar esse fenômeno, diferem estatisticamente entre si, indicando que a utilização de apenas um único modelo para representar a variação do coeficiente de difusão efetivo em função da temperatura não é representativo.

É possível afirmar que ao considerar as nervuras das folhas no cálculo de difusividade efetiva ocorre variação significativa desses valores. Desta forma, torna-se necessário a padronização das espessuras das folhas utilizadas, e/ou que ocorra especificação dos pontos a serem utilizados para obter a espessura das folhas.

A representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo (SN e CN) e as temperaturas absolutas na secagem das folhas de para-de-vaca foi satisfatória (Figura 3). As Eqs. 24 e 25 apresentam o coeficiente da equação de Arrhenius ajustada para os coeficientes de difusão efetivo (Eq. 17) SN e CN das folhas de pata-de-vaca.

$$D_{SN} = 0,0046 \exp(52,956/RT_a) \quad (24)$$

$$D_{CN} = 0,0128 \exp(52,956/RT_a) \quad (25)$$

A energia de ativação foi de $52,95 \text{ kJ mol}^{-1}$ independentemente da forma de obtenção da espessura da folha, que difere do valor encontrado por Goneli et al. (2014), para folhas de aroeira ($74,96 \text{ kJ mol}^{-1}$), e Rocha et al. (2012), na secagem de tomillo ($77,16 \text{ kJ mol}^{-1}$). Essa diferença pode ser relacionada à composição química e a espessura da folha. O que torna ainda mais importante a padronização da espessura da folha.

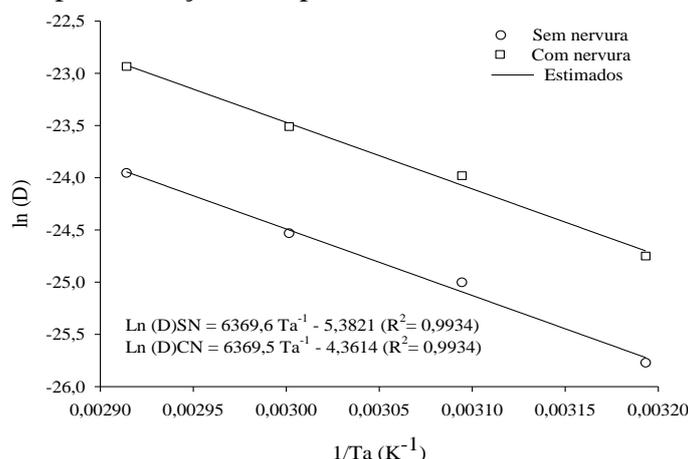


Figura 3. Representação de Arrhenius para a relação entre a difusividade efetiva (SN e CN) e a temperatura absoluta na secagem das folhas de pata-de-vaca

A energia de ativação já foi definida como sendo, a energia fundamental para quebrar a barreira encontrada pelas moléculas de água, quando as mesmas migram para a superfície do produto no decorrer do processo de secagem (Sharma & Prasad, 2004). De maneira geral, produtos com teor de água elevado apresentarão menor energia de ativação, pois quanto maior a energia de ativação menor será a velocidade que a água será retirada (Siqueira et al., 2012).

Analisando as propriedades termodinâmicas (Tabela 4), verifica-se que a entalpia específica diminui com o aumento de temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura menor é a demanda de energia necessária para o processo de secagem. A entropia específica apresentou o mesmo comportamento, já a energia livre de Gibbs aumentou de acordo com a elevação dos valores de temperatura, semelhantemente ao observado por Martins et al. (2014).

Tabela 4. Propriedades termodinâmicas do processo de secagem das folhas de *Bauhinia forficata* Link: entalpia específica (h), entropia específica (s) e energia livre de Gibbs (G)

Variáveis analisadas	40 (°C)		50 (°C)		60 (°C)		70 (°C)	
	SN	CN	SN	CN	SN	CN	SN	CN
h (kJ mol^{-1})	50353,2	50353,2	50270,1	50270,1	50186,9	50186,9	50103,8	50103,8
s ($\text{kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	-290,0	-275,9	-290,3	-276,2	-290,5	-276,4	-290,8	-276,7
G (kJ mol^{-1})	141188,9	136780,0	144090,8	139541,1	146995,3	142304,8	149902	145071,0

Os valores positivos da energia livre de Gibbs evidenciam que o processo de secagem para as folhas de pata-de-vaca não ocorre espontaneamente, e que necessita de uma fonte de energia para que torne os locais de sorção mais disponíveis.

CONCLUSÕES

1. Dentre todos os treze modelos testados os modelos de Valcam, Henderson e Pabis modificado e Logarítmico, podem ser utilizados para representar a cinética de secagem para as folhas de pata-de-vaca.
2. A energia de ativação foi de $52,95 \text{ kJ mol}^{-1}$, obtida através da equação de Arrhenius que estabelece a dependência da difusividade em relação a temperatura.
3. O coeficiente de difusão efetivo aumenta com a elevação de temperatura do ar de secagem.
4. É necessária a padronização e/ou especificação dos pontos de medição da espessura da folha.

REFERÊNCIAS

- Aguerre, R. J.; Suarez, C.; Viollaz, P. E. New bet type multilayer sorption isotherms –Part II: Modelling water sorption in foods. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, v.22, p.192-195, 1989.
- ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers. 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, 2010. p.684-685.
- 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.
- Draper, N. R.; Smith, H. Applied regression analysis. 3. ed. New York: Wiley, 1998. 736p.
- Feijó, A. M.; Bueno, M. E. N.; Ceolin, T.; Linck, C. L.; Schwartz, E.; Lange, C.; Meincke, S. M. K.; Heck, R. M.; Barbieri, R. L.; Heiden, G. Plantas medicinais utilizadas por idosos com diagnóstico de *Diabetes mellitus* no tratamento dos sintomas da doença. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v.14, p.50-56, 2012.
- Goneli, A. L.; Vieira, M. C.; Vilhasanti, H. C. B.; Gonçalves, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.44, p.56-64, 2014.
- Jideani, V. A.; Mpotokwana, S. M. Modeling of water absorption of botswana bambara varieties using Peleg's equation. *Journal of Food Engineering*, v.92, p.182-188, 2009.
- Kashaninejad, M.; Mortazavi, A.; Safekordi, A.; Tabil, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. *Journal of Food Engineering*, v.78, p.98-108, 2007.

Lusa, M. G.; Bona, C. Análise morfoanatômica comparativa da folha de *Bauhinia forficata* Link e *B. variegata* Linn. (Leguminosae, Caesalpinioideae). *Acta Botânica Brasileira*, v.23, p.196-211, 2009.

Madamba, P. S.; Driscoll, R. H.; Buckle, K. A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, v.29, p.75-97, 1996.

Martinazzo, A. P.; Corrêa, P. C.; Melo, E. C.; Barbosa, F. F. Difusividade efetiva em folhas de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf submetidas à secagem com diferentes comprimentos de corte e temperaturas do ar. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v.9, p.68-72, 2007.

Martins, E. A. S.; Lage, E. Z.; Goneli, A. L. D.; Filho, C. P. H.; Lopes, J. G. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, p.238-244, 2015.

Mohapatra, D.; Rao, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, v.66, p.513-518, 2005.

Prates, M. F. O.; Reis, R. C.; Devilla, I. A.; Faria, R. Q.; Lima Junior, A. F. Cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. (fruta-de-lobo). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v.14, p.514-521, 2012.

Regazzi, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não linear. *Revista Ceres*, v.50, p.9-26, 2003.

Reis, R. C.; Devilla, I. A.; Ascheri, D. P. R.; Servulo, A. C. O.; Souza, A. B. M. Cinética de secagem de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) via infravermelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.1346-1352, 2012.

Rocha, R. P.; Melo, E. C.; Corbín, J. B.; Berbert, P. A.; Donzeles, S. M. L.; Tabar, J. A. Cinética del secado de tomillo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.675-683, 2012.

Sharma, G. P.; Prasad, S. Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying. *Journal of Food Engineering*, v.65, p.609-617, 2004.

Siqueira, V. C.; Resende, O.; Chaves, T. H. Drying kinetics of *Jatropha* seeds. *Revista Ceres*, v.59, p.171-177, 2012.

Rodrigues, M. T.; Alves, T. L. S.; Soares, G. L. G.; Ritter, M. R. Plants used as antidiabetics in popular medicine in Rio Grande do Sul, southern Brazil. *Journal of Ethnopharmacology*, v.139, p.155-163, 2012.

Zogzas, N. P.; Mauroulis, Z. B.; Marinos-kouris, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. *Drying Technology Bangkok*, v.14, p.2225-2253, 1996.