

Ajuste de modelos e difusividade efetiva na secagem de folhas de *Azadirachta indica* A. Juss

Ajuste de los modelos y la difusividad efectiva en el secado de las hojas de *Azadirachta indica* A. Juss

Adjustment of models and effective diffusivity in the drying of *Azadirachta indica* A. Juss. leaves

Vitor Marques Vidal, Osvaldo Resende, Jaqueline Ferreira Vieira Bessa, Wilker Alves Morais, Lilian Abadia Silva, Zirvaldo Zenid Virgolino

Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde. Brasil.

RESUMO

Introdução: a espécie *Azadirachta indica* A. Juss. conhecida como neem indiano, possui ampla utilização nas áreas da medicina, agropecuária e cosmética, proporcionada particularmente pelas folhas desidratadas. Devido à importância da espécie, tem-se a necessidade de conhecimentos específicos no seu pré-processamento.

Objetivo: determinar a curva de secagem, ajustar modelos não lineares aos dados, estimar o coeficiente de difusividade efetiva e a energia de ativação durante a secagem das folhas de *A. indica*, em diferentes temperaturas.

Métodos: as folhas da referida espécie foram submetidas à secagem em diferentes temperaturas com quatro repetições em secador de camada fixa. Utilizaram-se doze modelos para testar o comportamento da cinética de secagem, e seleciono-os que melhor desempenharam respostas funcionais considerando a magnitude do coeficiente de determinação, qui-quadrado, erro médio relativo e desvio padrão. Ainda, ajustou os dados, ao modelo matemático da difusão líquida com a solução analítica para a placa plana infinita, com aproximação de oito termos. Os gráficos foram elaborados pelo Sigma Plot.

Resultados: evidenciou ajuste satisfatório para os modelos de Verma, Newton, Midilli, Logarítmico e Aproximação da Difusão, porém selecionou-se o modelo de Newton por apresentar maior simplicidade de aplicação. Constatou-se que com aumento da temperatura, ocorre um decréscimo no tempo de secagem e aumento na intensidade do fenômeno de transporte de água.

Conclusões: a energia de ativação foi de 27,77 kJ mol⁻¹. O modelo de Newton pode ser utilizado para descrever a cinética de secagem das folhas de *A. indica*. A energia de ativação se mostrou dentro do intervalo indicado para produtos agrícolas.

Palavras chave: Neen indiano; pré-processamento; modelagem matemática; energia de ativação; fenômenos de transporte de água.

RESUMEN

Introducción: la especie *Azadirachta indica* A. Juss. conocida como indiano, posee amplia utilización en las áreas de la medicina, agropecuaria y cosmética, proporcionada particularmente por las hojas deshidratadas. Debido a la importancia de la especie, existe la necesidad de un conocimiento específico en su pre-procesamiento.

Objetivo: determinar la curva del secado, ajustar los modelos no lineales con los datos y estimar el coeficiente de difusividad efectiva y de la energía de activación durante el secado de las hojas de *A. indica*, a diferentes temperaturas.

Métodos: las hojas de dicha especie, fueron sometidas a un secado a diferentes temperaturas con cuatro repeticiones en el secador de capa fija. Se utilizaron doce modelos para probar el comportamiento de la cinética de secado, y se seleccionaron según los que mejor desempeñaron respuestas funcionales, teniendo en cuenta la magnitud del coeficiente de determinación, chi-cuadrado, error medio relativo y la desviación típica. Además, se ajustaron los datos al modelo matemático de difusión líquida con la solución analítica para la placa plana infinita, con la aproximación de 8 terminos. Los gráficos fueron confeccionados por Sigma Plot.

Resultados: se mostró un ajuste satisfatório para los modelos de Verma, Newton, Midilli, Logarítmico y la aproximación de difusión, sin embargo se seleccionó el modelo de Newton, por presentar mayor simplicidad de aplicación. Se constató que con el aumento de la temperatura ocurre una disminución en el tiempo de secado y aumento en la intensidad del fenómeno de transporte del agua.

Conclusiones: la energía de activación fue de 27,77 kJ mol⁻¹. El modelo de Newton puede ser utilizado para describir la cinética de secado de las hojas de *A. indica*. La energía de activación se mostró dentro del alcance indicado para productos agrícolas.

Palabras clave: Neen indiano; pre-procesamiento; modelización matemática; energía de activación; fenómenos de transporte de agua.

ABSTRACT

Introduction: The species *Azadirachta indica* A. Juss, commonly known as Indian neen, is broadly used in medicine, agriculture and the cosmetic industry, mainly in the form of dehydrated leaves. Due to the importance of this species, specific knowledge is required for its preprocessing.

Objective: Determine the drying curve, adjust non-linear models to the data, and estimate the effective diffusivity and activation energy coefficient during the drying of *A. indica* leaves at different temperatures.

Methods: Leaves from the study species were dried at different temperatures with four replications in the fixed layer dryer. Twelve models were used to test the behavior of the drying kinetics. These were selected from among those providing better functional responses, bearing in mind the magnitude of the determination coefficient, chi-square, relative mean error and typical deviation. Additionally, data were adjusted to the liquid diffusion mathematical model with the analytical solution for the infinite plane plate with an approximation of 8 terms. The charts were developed by Sigma Plot.

Results: A satisfactory adjustment was achieved for the models Verma, Newton, Midilli, logarithmic, and diffusion approximation, but the Newton model was chosen, due to the simplicity of its application. It was found that as temperature increases, there is a decrease in drying time and an increase in water transport intensity.

Conclusions: Activation energy was 27.77 kJ mol⁻¹. The Newton model may be used to describe the drying kinetics of *A. indica* leaves. Activation energy was within the scope established for agricultural products.

Keywords: Indian neem; preprocessing; mathematical modeling; activation energy; water transport phenomena.

INTRODUÇÃO

O neem *Azadirachta indica* A. Juss. (indiano) pertence à família Meliaceae, é uma árvore nativa da Índia e foi introduzida no Brasil pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) para estudos na utilização como planta inseticida.¹

Nos últimos anos, o *A. indica* tem despertado interesse, por apresentar ampla utilização nas áreas da medicina, pecuária, agricultura e cosmética, proporcionada pelas folhas desidratadas, frutos, sementes, cascas, madeira e principalmente, extratos pesticidas oleosos.²⁻⁴

Para utilização das folhas de neem deve-se adotar o processo de secagem, que consiste na retirada de parte da água que é prejudicial na conservação pós-colheita dos materiais.

Outro fator importante proporcionado pela secagem é o rendimento do óleo extraído, uma vez que, diferentes temperaturas do ar, interferem na permeabilidade ou resistência físico-mecânica dos tecidos vegetais, afetando a retenção dos compostos voláteis nas estruturas originais.⁵

É de grande importância a simulação e a obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento de cada produto durante a remoção de água, sendo assim, modelos matemáticos, geralmente baseando-se em variáveis externas ao produto, como a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem, têm sido utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas.⁶ Dessa forma, tem-se a importância em estabelecer o modelo que forneça o melhor ajuste aos dados experimentais baseando-se na verificação do grau de ajustes das equações.

Diante o exposto, neste estudo objetivou-se determinar as curvas de secagem, ajustar modelos tradicionais de secagem aos dados experimentais, estimar o coeficiente de difusividade efetiva e a energia de ativação durante a secagem das folhas de *A. indica*, nas temperaturas de 35, 50 e 65 °C.

MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano-Câmpus Rio Verde (IF Goiano), com folhas de *A. indica* (número de registro HJ 7261), extraídas de árvores da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) da cidade de Rio Verde-Goiás.

A secagem foi realizada em secador de camada fixa, confeccionado em chapa metálica número 16. A câmara de secagem tem as seguintes dimensões: 0,60 × 0,60 × 0,60 m, totalizando um volume de 0,216 m³, e possui ainda uma chapa com 25 % de perfuração, situada a 0,33 m de altura. O ventilador é do tipo centrífugo, acionado por motor trifásico com potência de 1,5 cv e rotação de 1.720 rpm, composto por rotor, paletas, voluta e suporte. A conexão entre a câmara de secagem e o ventilador é realizada por um elemento de expansão que transforma a seção de 0,20 × 0,20 m na saída do ventilador para 0,57 × 0,03 m na entrada da câmara de secagem, ao longo de 0,64 m de comprimento.

Cada secador é composto por seis sensores de temperatura pendulares e quatro resistências elétricas de 1.500 watts, perfazendo um total de 6.000 watts. Os sensores foram posicionados antes e após o sistema de aquecimento e no interior de cada bandeja. Na câmara de secagem foram colocadas quatro bandejas removíveis com fundo perfurado, com dimensões de 0,28 × 0,28 × 0,15 m. O sistema ainda dispõe de um controlador automático que gerencia o sistema e armazena os dados gerados.

Foram envolvidas cerca de 0,25 kg de folhas de *A. indica* por tecido do tipo voile e espalhadas sobre a bandeja, perfazendo uma camada de aproximadamente 0,06 m. A velocidade do ar utilizada para a secagem foi de 1,0 m.s⁻¹. O sistema foi regulado para aquecer a 35, 50 e 65 °C. A umidade relativa dentro dos secadores durante a secagem foi de 40,39; 19,21 e 10,03 % para as temperaturas de 36,2; 50,5 e 64,3 °C, respectivamente.

As folhas apresentavam o teor de água inicial de 1,96 ± 0,003 b.s. (base seca, decimal). A secagem prosseguiu até que as folhas atingissem o teor de água de 0,037 ± 0,004 b.s., determinado em estufa a 105 ± 1 °C, durante 24 h, em três repetições.⁷

A redução do teor de água ao longo da secagem foi acompanhada pelo método gravimétrico (perda de massa), conhecendo-se o teor de água inicial do produto até atingir o teor de água desejado, utilizando-se uma balança com resolução de 0,01 g.

A temperatura e a umidade relativa do ambiente externo à câmara de secagem foram monitoradas por meio de psicrômetro, e a temperatura interna foi monitorada por um termômetro instalado no interior da câmara de secagem. A umidade relativa no interior do secador foi obtida por meio dos princípios básicos de psicrometria, utilizando o programa computacional GRAPSI.

Determinou-se as razões de teor de água das folhas do *A. indica* durante a secagem, e ainda, determinou-se o teor de água de equilíbrio das folhas em cada condição, utilizando três repetições contendo 5 g, que permaneceram nas mesmas condições de secagem. As amostras foram pesadas periodicamente e o equilíbrio higroscópico foi atingido quando a variação da massa permaneceu, aproximadamente, invariável durante três pesagens consecutivas. Em seguida, as folhas de neem (5 g) foram colocadas em estufa a 105 °C por 24 h.⁷

Os dados experimentais da secagem das folhas foram ajustados aos modelos frequentemente utilizados para representação da secagem de produtos agrícolas, sendo, Wang e Sing (1), Verma (2), Thompson (3), Page (4), Newton (5), Midilli (6), Logarítmico (7), Henderson e Pabis (8), Henderson e Pabis Modificado (9), Exponencial de Dois Termos (10), Dois Termos (11) e Aproximação da Difusão (12).

Os modelos matemáticos foram ajustados por meio de análise de regressão não linear pelo método Gauss-Newton. Os modelos foram selecionados considerando a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), do teste de qui-quadrado (χ^2), do erro médio relativo (P) e do desvio padrão da estimativa (SE). Considerou-se o valor do erro médio relativo inferior a 10% como um dos critérios para seleção.⁸

Ajustou-se aos dados observados o modelo da difusão líquida com solução analítica para a placa plana infinita, com aproximação de oito termos.

Obteve-se o volume de cada folha (V_f) por meio da medição dos três eixos ortogonais (comprimento, largura e espessura), em quinze folhas, no final da secagem, com auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm.⁹

A relação entre o coeficiente de difusão efetivo e a elevação da temperatura do ar de secagem foi descrita por meio da equação de Arrhenius.

RESULTADOS

De acordo com SE e P, observou-se que os modelos: Verma, Newton, Midilli, Logarítmico e Aproximação da Difusão, tiveram valores de P menores que 10 %. Além disso, os modelos selecionados em função de P apresentaram menores valores para SE, com relação à Wang e Singh e Thompson, e valores próximos aos demais modelos estudados. Os valores da magnitude do coeficiente de determinação (R^2) se mostraram superiores a 95 % para todos os modelos e temperaturas de ar estudadas (tabela 1).

Com relação aos modelos selecionados (modelos 2, 5, 6, 7 e 12) para descrever o processo de secagem de folhas de *A. indica*, estes apresentaram valores de significativos e inferiores a 0,0002, aumentando a confiabilidade da seleção.

Dentre os modelos que apresentaram bons ajustes aos dados experimentais, o modelo de Newton foi selecionado para descrever a cinética de secagem das folhas de *A. indica*, devido a concordância com os parâmetros analisados e a sua simplicidade de aplicação por possuir menor quantidade de coeficientes. Observou-se na fig 1 que, com o aumento da temperatura ocorre um decréscimo no tempo de secagem. Quando comparados com a temperatura de 35 °C, as secagens de 50 e 65 °C das folhas de *A. indica* proporcionaram redução de tempo de 3,77 e 6,31 vezes, respectivamente.

Os valores estimados do coeficiente k , para o modelo de Newton, nas diferentes temperaturas de secagem de folhas de *A. indica*, são apresentados na tabela 2.

Tabela 1. Erro médio estimado (SE, decimal), erro médio relativo (P, %), qui-quadrado χ^2 , decimal $\times 10^{-4}$) e coeficientes de determinação (R^2 , %) para os modelos analisados, durante a secagem de folhas de *A. indica* com fluxo de ar de $1,0 \text{ m s}^{-1}$ em três condições de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Modelos	1,0 m.s ⁻¹											
	35 °C		50 °C		65 °C		35 °C		50 °C		65 °C	
	SE	P	SE	P	SE	P	χ^2	R ²	χ^2	R ²	χ^2	R ²
(1)	0,06	73,0	0,07	62,8	0,06	55,3	0,00331	97,37	0,00454	96,10	0,00408	96,63
(2)	0,01	9,7	0,01	4,1	0,01	7,1	0,00012	99,91	0,00013	99,89	0,00018	99,86
(3)	0,05	30,5	0,06	29,9	0,07	32,9	0,00206	98,37	0,00339	97,08	0,00452	96,27
(4)	0,01	10,4	0,01	6,4	0,01	9,0	0,00012	99,91	0,00008	99,93	0,00006	99,95
(5)	0,01	9,7	0,01	4,1	0,01	7,1	0,00011	99,91	0,00011	99,89	0,00015	99,86
(6)	0,01	4,3	0,01	4,5	0,01	2,9	0,00006	99,95	0,00008	99,94	0,00004	99,97
(7)	0,01	4,4	0,01	3,9	0,01	9,6	0,00006	99,96	0,00010	99,92	0,00013	99,90
(8)	0,01	11,2	0,01	4,6	0,01	7,3	0,00009	99,92	0,00009	99,92	0,00012	99,90
(9)	0,01	11,2	0,01	4,6	0,01	7,3	0,00011	99,92	0,00012	99,92	0,00019	99,90
(10)	0,011	9,7	0,01	6,9	0,01	11,4	0,00012	99,91	0,00011	99,91	0,00009	99,92
(11)	0,010	11,2	0,01	5,3	0,008	8,3	0,00010	99,92	0,00008	99,94	0,00006	99,96
(12)	0,011	7,0	0,01	5,3	0,007	8,3	0,00012	99,91	0,00007	99,94	0,00005	99,96

Tabla 2. Fitoconstituyentes encontrados en el EHAM₇

Plantas	Rendimiento total	Ácido Siálico	Carbohidratos	Polifenoles	Hexosaminas	Total
<i>Bidens odorata</i>	18,70	0,897	1,254	1,541	4,300	7,992
<i>Tecoma stans</i>	14,97	0,554	0,768	1,233	5,708	8,263
<i>Linum usitatissimum</i>	5,42	0,069	0,130	0,014	5,210	5,423
<i>Cynara scolymus</i>	23,88	1,000	6,460	3,200	0,391	11,051
<i>Equisetum hyemale</i>	16,72	0,641	2,174	0,040	3,880	6,735
<i>Peumus boldus</i>	22,97	3,420	4,650	2,848	1,121	12,039
<i>Rosmarinus officinalis</i> L	14,47	0,654	0,900	1,505	2,344	5,403

Los datos se presentan en g por cada 100 g de hojas y flores secas.

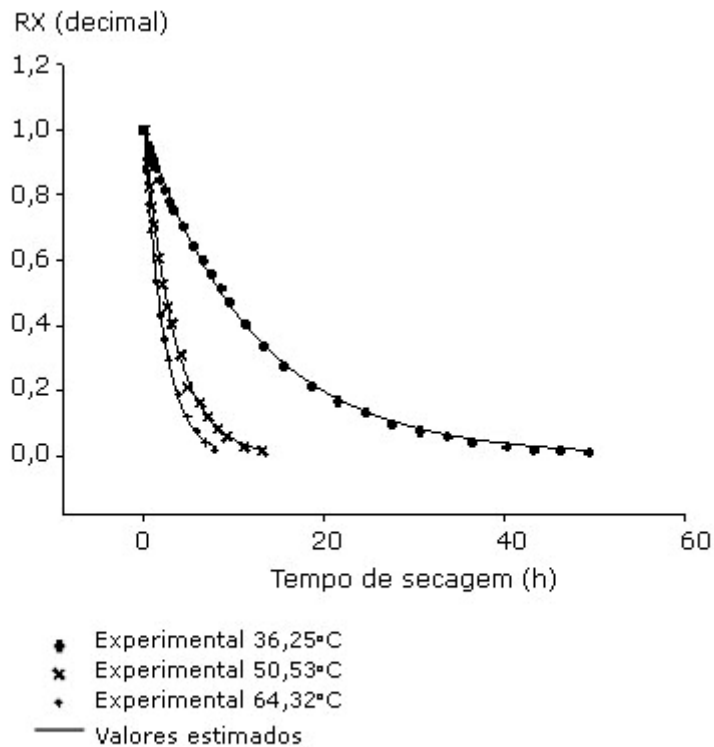


Fig. 1. Curva de secagem das folhas de *A. indica* determinada pelo modelo de Newton em função das temperaturas do ar de secagem.

Na medida em que alterou a temperatura de secagem, observou-se oscilação nos valores do coeficiente k , ou seja, os mesmos não apresentam tendência definida.

Verificou aumento linear do coeficiente de difusão em função do aumento da temperatura, ainda, verificou que, os coeficientes de difusão apresentaram magnitudes entre $1,71 \times 10^{-12}$ a $9,93 \times 10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, para a faixa de temperatura de 35 a 65 °C, mostrando um aumento na difusividade em função da elevação da temperatura ([fig. 2A](#)).

Com base na [fig. 2B](#), evidenciou-se maior difusão de água na temperatura mais elevada (65 °C) e a energia de ativação para o processo de secagem das folhas de *A. indica* foi de $27,77 \text{ kJ mol}^{-1}$.

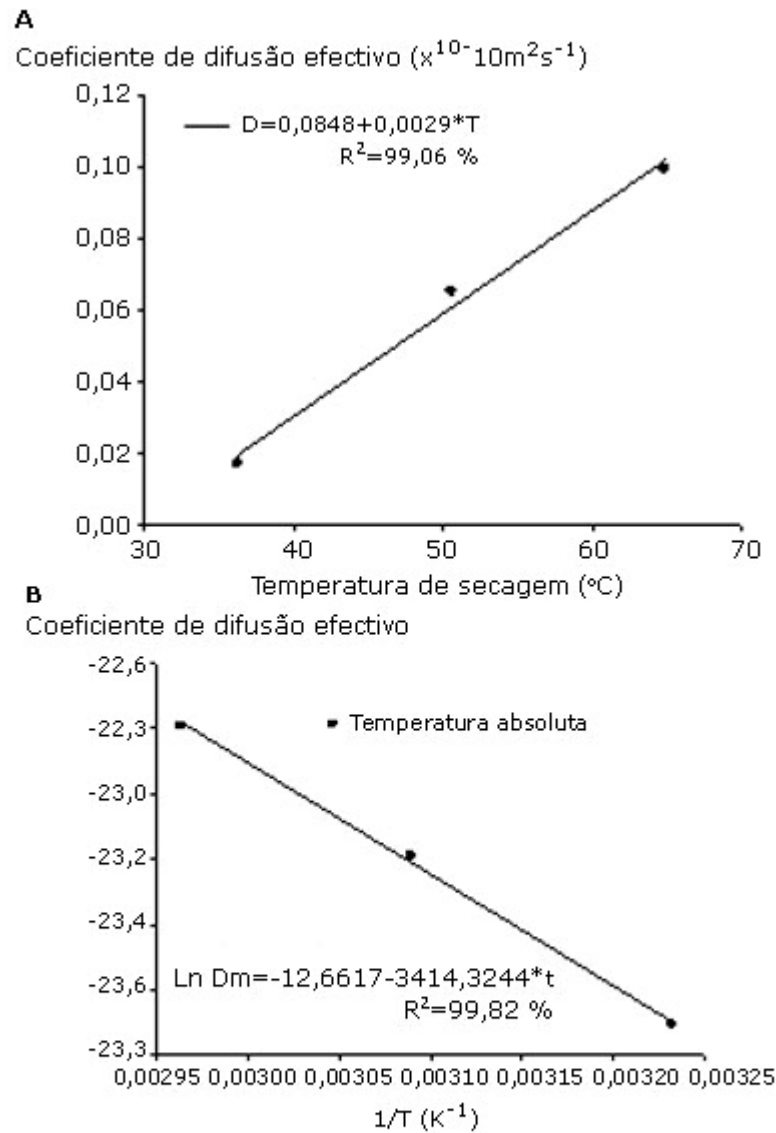


Fig 2. A: Coeficiente de difusão efetivo ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) da secagem de folhas de *A. indica* em função das temperaturas do ar de secagem.

B: Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo da secagem de folhas de *A. indica* em função das temperaturas do ar de secagem.

O modelo de Newton pode ser utilizado para descrever a cinética de secagem das folhas de *A. indica* e a energia de ativação se mostrou dentro do intervalo indicado para produtos agrícolas.

DISCUSSÃO

Valores de P menores que 10 % são indicados para descrever o processo de secagem⁸ e os valores da magnitude do coeficiente de determinação (R^2) superiores a 95 % para um determinado modelo indica, representação satisfatória da secagem.¹⁰

Quando analisado o R^2 individualmente, este não constitui um bom critério para seleção de modelos não lineares que descrevam o processo de secagem,^{10,11} em função disso, o modelo mais aprimorado deve respeitar valores de R^2 o mais próximo de zero.¹²

Com relação ao decréscimo no tempo de secagem das folhas de *A. indica* com o aumento da temperatura, concordaram com a cultura da sálvia⁵ e do capim limão.¹³

O modelo de Newton apresentou bom ajuste para as folhas de capim limão, nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C.¹⁴ Oposto ao modelo selecionado para folhas de *A. indica*, ajustou-se o modelo de Midilli.¹⁵

O modelo exponencial simples, melhor se ajustou na secagem de folhas de manjerição nas temperaturas entre 50 e 80 °C e também, entre as temperaturas de 30 e 50 °C.^{15,16} É importante ressaltar que a determinação do modelo matemático depende primordialmente da espécie estudada¹⁷ devido sua estrutura e conteúdo de água variável.

Uma maior intensidade do fenômeno de transporte de água é ocorrido com o aumento linear do coeficiente de difusão, em função do aumento da temperatura.^{18,19} Com isso, ocorreu aumento do coeficiente de difusão de acordo com a elevação da temperatura do ar de secagem para folhas de capim-limão.^{20,11}

Com o aumento da temperatura, ocorre elevação no nível de vibração das moléculas de água e, conseqüentemente, ocorre celeridade da difusividade.²¹

A energia de ativação para o processo de secagem das folhas de neem apresentou-se em conformidade para produtos agrícolas, que variam entre 12,7 e 110 kJ mol⁻¹.²² Valores superiores que das folhas de *A. indica*, foram encontrados para cidreira-brasileira,²³ apresentando energia de ativação de 31,79 kJ mol⁻¹, para Sorghum bicolor [L.]²⁴ com valor de 42,05 kJ mol⁻¹, para folhas de aroeira,²⁵ com valor de 74,96 kJ mol⁻¹ e para folhas de manjerição¹⁵, com energia de ativação de 70,79 kJ mol⁻¹.

Nos processos de secagem, quanto menor a energia de ativação, maior será a difusividade de água no produto.²⁶

Contudo, propõe-se que a influência da temperatura de secagem sobre alterações dos teores de metabólitos secundários seja verificado, a fim de indicar possíveis alterações consecutivas das atividades biológicas do material vegetal do neem, uma vez que em outra pesquisa foi verificada diminuição na proporção relativa dos monoterpenos e sesquiterpenos de *Ocimum selloi* Benth., e que a temperatura de secagem igual a 40 °C é indicada para esta espécie.²⁷

A energia de ativação foi de 27,77 kJ mol⁻¹. O modelo de Newton pode ser utilizado para descrever a cinética de secagem das folhas de *A. indica*. A energia de ativação se mostrou dentro do intervalo indicado para produtos agrícolas.

Apoio financeiro: Laboratório de Pós - Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde.

CONFLITOS DE INTERESSES

Os autores declaram que não há conflitos de interesses.

REFERÊNCIAS

1. Martinez SSO. Nim: *Azadirachta indica* -Natureza, usos múltiplos, produção. Londrina: IAPAR; 2002.
2. Mourão AS, Zanuncio JC, Silva JCT, Jham GN. Nim indiano (*Azadirachta indica*): *mil utilidades*. Boletim de Extensão, 47. Viçosa: UFV; 2004.
3. Bittencourt AM, Santos AJ, Hoeflich VA, Berger R. O cultivo do nim indiano (*Azadirachta indica* A. Juss.): uma visão econômica. Floresta (Curitiba). 2009;39(3):629-42.
4. Miranda DLC, Kelm V, Santos JP. Crescimento de nim (*Azadirachta Indica* A. Juss) em plantio puro e consorciado no norte de mato grosso. Nativa (Sinop). 2014;2(1):37-41.
5. Radünz LL, Melo EC, Barbosa LCA, Barbosa FF. Influência da temperatura do ar secagem no rendimento do óleo essencial d hortelã comum (*Mentha x villosa* Huds). Engenharia na Agricultura. 2006;14(4):250-7.
6. Resende O, Ferreira LU, Almeida DP. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão Adzuki (*Vigna angularis*). Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais (Campina Grande). 2010;12(2):171-8.
7. Brasil. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para Análise de Sementes. Brasília: SNDA/ DNDV/CLAV; 2009.
8. Mohapatra D, Rao PS. A thin layer drying model of parboiled wheat. Journal of Food Engineering (London). 2005;66(4):513-8.
9. Mohsenin NN. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Publishers; 1986.
10. Madamba PS, Driscoll RH, Buckle KA. Thin-layer drying characteristics of garlic slices. Journal of Food Engineering (London). 1996;29(1):75-97.
11. Prates MFO, Reis RC, Devilla IA, Faria RQ, Lima Junior AF. Cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. (fruta-de-lobo). Revista Brasileira de Plantas medicinais (Botucatu). 2012;14(3):514-21.
12. Panchariya PC, Popovic D, Sharma AL. Thin-layer modelling of black tea drying process. Journal of Food Engineering. 2002;52(4):349-57.

13. Martinazzo AP, Melo EC, Corrêa PC, Santos RHS. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf]. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais (Botucatu). 2010;12(4):488-98.
14. Ibrahim M, Sopia K, Daud WRW. Study of the drying kinetics of lemon grass. American Journal of Applied Sciences. 2009;6(6):1070-5.
15. Reis RC, Devilla IA, Ascheri DPR, Servulo ACO, Souza ABM. Cinética de secagem de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) via infravermelho. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Campina Grande). 2012;16(12):1346-52.
16. Oliveira MTR, Berbert PA, Martinazzo AP. Avaliação de modelos matemáticos na descrição das curvas de secagem por convecção de *Pectis brevipedunculata* (Gardner) Sch. Bip. Revista Brasileira Plantas Mediciniais (Botucatu). 2013;15(1):1-12.
17. Radünz LL, Mossi AJ, Zakrzewski CA, Amaral AS, Grassmann L. Análise da cinética de secagem de folhas de sálvia. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Campina Grande). 2010;14(9):979-86.
18. Almeida DP, Resende O, Costa LM, Mendes UC, Sales JF. Cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). Global Science and Technology (Rio Verde). 2009;2(1):72-83.
19. Sousa KA, Resende O, Chaves TH, Costa LM. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). Revista Ciência Agronômica. 2011;42(4):883-92.
20. Martinazzo AP, Corrêa PC, Melo EC, Barbosa FF. 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 (Botucatu). 2007;9(1):68-72.
21. Botelho FM, Corrêa PC, Goneli ALD, Martins MA, Baptestini FM. Análise de hidratação do arroz na parboilização. Ciência e Tecnologia de Alimentos (Campinas). 2010;30(1):713-8.
22. Zogzas NP, Maroulis ZB, Marinos-Kouris D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. Drying Technology. 1996;14(10):2225-53.
23. Barbosa FF, Melo EC, Santos RHS, Rocha RP, Martinazzo AP, Radünz LL, *et al.* Evaluation of mathematical models for prediction of thin layer drying of brazilian lemon-scented verbena leaves (*Lippia alba* (Mill) N.E. Brown). Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais. 2007;9(1):73-82.
24. Resende O, Oliveira DEC, Chaves TH, Bessa JFV. Kinetics and thermodynamic properties of the drying process of sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) grains. African Journal of Agricultural Research. 2014;9(32):2453-62.
25. Goneli ALD, Vieira MC, Vilhasanti HCB, Gonçalves AA. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. Pesquisa Agropecuária Tropical (Goiânia). 2014;44(1):56-64.

26. Goneli ALD, Corrêa PC, Resende O, Reis Neto SA. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. *Ciência e Tecnologia de Alimentos (Campinas)*. 2007;27(1):135-40.

27. David EFS, Pizzolato M, Facanali R, Morais LAS, Ferri AF, Marques MOM, *et al.* Influência da temperatura de secagem no rendimento e composição química do óleo essencial de *Ocimum selloi* Benth. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais (Botucatu)*. 2006;8(4):66-70.

Recibido: 21 de abril de 2015.

Aprobado: 6 de octubre de 2016.

Vitor Marques Vidal. Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde. Brasil. Correo electrónico: vmarquesvidal@gmail.com