

MODELAGEM MATEMÁTICA E CINÉTICA DA SECAGEM DA AMÊNDOA DO BARU (*Dipteryx alata* Vog).

Paulo Cléber Mendonça Teixeira¹, Abraham Damian G Zuniga¹, Layse Ribeiro².

¹Professores do Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins – clebermt@uft.edu.br

²Graduando do Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins.

Recebido em: 31/03/2015 – Aprovado em: 15/05/2015 – Publicado em: 01/06/2015

RESUMO

Neste trabalho objetivou-se avaliar o efeito da temperatura e a velocidade do ar de secagem no processo de secagem da amêndoa do Baru (*Dipteryx alata* Vog), e determinar os coeficientes de difusão. Bem como a modelar matematicamente o processo, aplicando diversos modelos matemáticos. As amêndoas do Baru foram submetidas à secagem sob a temperatura de 50; 60 e 70° C utilizando um desidratador de alimentos com sistema de aquecimento de ar a gás. A cinética de secagem foi realizada do tipo bandeja, com duas velocidades de ar de secagem de 1,7±0,02 m/s e 2,3±0,02 m/s. A difusividade efetiva da água no produto foi determinada, em cada temperatura, usando da Lei de Fick, assumindo forma esférica para a amêndoa do Baru. Uma expressão para a difusividade efetiva da água no produto como uma função da temperatura foi determinada pelo ajuste da equação de Arrhenius para os dados observados. De acordo com a análise dos resultados, é possível concluir que as equações duas termos podem ser utilizadas para representar o processo de secagem durante as condições da presente investigação. O modelo esférico estabelecido para as amêndoas do Baru é satisfatório, resultado em difusividade efetiva que variou de 18,15x10⁻¹¹ até 27,62x10⁻¹¹ m².s⁻¹, e em energia de ativação igual a 26,9 kJ mol⁻¹, para velocidade de 1,7 m.s⁻¹, e 15,36x10⁻¹¹ até 37,08x10⁻¹¹ m².s⁻¹, e em energia de ativação igual a 26,9 kJ mol⁻¹, para velocidade de 2,3 m.s⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: Biotecnologia, Energia de ativação, Lei de Fick.

MATHEMATICAL MODELING AND KINETIC DRYING ALMOND THE BARU (*Dipteryx alata* Vog)

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the effect of temperature and the speed of the drying air in the drying process of the Baru almond (*Dipteryx alata* Vog), and determine the diffusion coefficients and activation energies. As well as the mathematical model of the process, using various mathematical models. The Baru almonds were dried at a temperature of 50; 60 and 70 ° C using a food dehydrator with gas air heating system. Drying kinetics was carried out tray type with two drying air velocities of 1.7 ± 0.02 m / s ± 2.3 m / s. The effective water diffusivity inside the product was determined, for each drying temperature, by using Fick's equation assuming a

spherical shape for the Baru almond. A mathematical expression for the effective water diffusivity inside the product as a function of temperature was determined by fitting Arrhenius's equation to the observed data. According to the analysis of the results, it is possible to conclude that the Two Terms equation can be used to represent the drying process during the current investigation. The assumption of a spherical shape for the Baru almonds was satisfactory, result in effective diffusivity ranging from $7,13 \times 10^{-11}$ to $14,0 \times 10^{-11}$ m².s⁻¹, and activation energy equal to 23,28 kJ mol⁻¹ to speed 1,7 m.s⁻¹ and $7,13 \times 10^{-11}$ to $14,0 \times 10^{-11}$ m².s⁻¹, and activation energy equal to 49,08 kJ mol⁻¹ for speed 2,3 m.s⁻¹

KEYWORDS: Biotechnology, Activation Energy, Fick's Law.

INTRODUÇÃO

O cerrado é o segundo maior bioma do Brasil abrangendo 2 milhões dos km², área equivalente a um quarto do território nacional que abriga 30% da diversidade do país (PAGOTO & SOUZA, 2006), com uma grande variedade de frutos e amêndoas e dentre as diversas amêndoas pode-se citar o Baru (*Dypterix alata* Vog.). O fruto Baru (*Dypterix alata* Vog.) ocupa um lugar de destaque no ecossistema do cerrado, e seus nomes populares são baru, barujo, cocofeijão, cumarurana, emburena brava e pau cumaru, dependendo da região (PIMENTEL 2008).

É um fruto pertencente à divisão Magnoliophyta (*Angiospermae*), a classe Magnoliopdida (*Dicotyledonae*), a ordem Rosales e a família da Leguminosea Papilionoideae (SILVA et al., 1995). A vida de prateleira da amêndoa depende do teor de umidade que influencia diretamente na qualidade durante o armazenamento. Uma das técnicas de conservação que pode ser aplicada para retirar água dos alimentos é a secagem.

Secagem é um processo complexo que envolve fenômenos de calor e transferência de massa, e é freqüentemente usado em indústria de processamento de alimentos (COSTA et al., 2012; MARTINS et al., 2012). É, provavelmente, o principal, e o mais oneroso passo após a colheita. A secagem prolonga a vida útil do produto, sem adição de qualquer conservante químico, e reduz o volume do mesmo e conseqüentemente custo de transporte. Secagem pode ser definida como o processo de remoção da umidade devido transferência de calor e massa simultâneos entre o produto e o ar de secagem por meio de processo de evaporação, geralmente causada por forças de ar aquecido, onde o principal objetivo é a redução da umidade até atingir o conteúdo desejado. Isso permite que a qualidade do produto possa ser conservada durante períodos longos de armazenamento (REIS et al., 2011).

A Modelagem matemática e simulação de curvas de secagem sob diferentes condições são importantes para obter um melhor controle da operação da unidade e melhoria global da qualidade do produto final. Os modelos são frequentemente usados para estudar as variáveis envolvidas no o processo, para a cinética de secagem do produto e otimizar os parâmetros de funcionamento e analisar resultados preliminares (KARATHHANOS & BELESSIOTIS, 1999).

Recentemente foram realizados diversos trabalhos para avaliar a secagem de diversos tipos de grãos e sementes, tais como: COSTA et al., (2011) e FARIA et al., (2012) que estudaram a modelagem matemática da secagem de sementes de

crambe (*Crambe abyssinica*); SACILIK, (2007) estudou a secagem de grãos de abóbora (*C. pepo L.*); SOUSA et al., (2011), investigaram a secagem de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*); ZARIPOUR & HAMIDI, (2011) folhas de hortelã e salsa; ÇAKMAK & YILDIZIL (2011) uvas sem semente; DOYMAZ, (2011) grãos de feijão verde e quiabo. Apesar da grande diversidade de pesquisa envolvendo amêndoas e grãos, na literatura não estão disponíveis pesquisas que abordem o efeito da temperatura de secagem de amêndoas de Baru (*Dypterix alata Vog*).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da temperatura a velocidade do ar de secagem no processo de secagem da amêndoa do Baru. Bem como a modelar matematicamente o processo, aplicando diversos modelos matemáticos.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Processos de Separação de Biomolécula e Desidratação de Alimentos – LAPSDEA, do Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins.

Matéria Prima

A matéria prima foi adquirida no município de Tocantinia, no distrito de Palminha, no Estado do Tocantins, transportada e armazenada de forma adequada ao laboratório. A matéria prima (Figura 1) foi processada com o objetivo de obter a amêndoa do baru (Figura 2) a mesma que foi analisada no presente trabalho. Amêndoa foi cortada na forma cilíndrica. A aquisição dos valores dos diâmetros foi realizada através de um paquímetro



FIGURA 1 - Baru



FIGURA 2 – Amêndoa do Baru

(Fonte: Carrazza & D'Avila, 2010). (Fonte: Carrazza & D'Avila, 2010).

Umidade

O teor de umidade é uma das análises mais importante utilizada na determinação da qualidade dos alimentos. O valor médio da umidade pode variar de acordo com a natureza dos alimentos. A umidade foi determinada pelo método gravimétrico, segundo a metodologia do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).

Secagem

Os ensaios de secagem foram realizados utilizando um desidratador de alimentos do tipo bandeja com sistema de aquecimento de ar a gás. A cinética de secagem foi realizada variando as temperaturas de 50° C, 60° C e 70° C, foram avaliados duas velocidades do ar de secagem de 1,7±0,03 m/s e 2,3±0,03 m/s. As amostras foram pesadas utilizando uma balança analítica digital SHIMADZU Modelo AUY 220 com precisão de 0,001g. A aquisição dos valores dos diâmetros foi realizada através de um paquímetro.

As amostras de aproximadamente 2,5±0,04 g foram pesadas e medidas, inicialmente em intervalos de 10 minutos nos primeiros 50 minutos de secagem, em intervalos de 20 minutos no decorrer da próxima hora e 40 minutos, finalmente fez-se um intervalo de 30 minutos até o peso constante. Todas as amostras foram feitas em triplicata.

Modelagem Matemática

A fim de modelar a cinética de secagem das amêndoas de baru, os dados experimentais das curvas de cinética de secagem foram ajustados através de cinco modelos matemáticos encontrados na literatura, conforme quadro 1. Nestes modelos, a razão de umidade adimensional (U_a) durante a secagem nas diferentes condições de ar, foi calculada usando a equação (01).

$$U_a = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \quad (01)$$

Onde: U_a = Razão de umidade (adimensional) no tempo, X = Teor de água inicial, X_{eq} é o Teor de água de equilíbrio, X_0 é o Teor de água no instante (SACILIK, 2007; DOYMAZ, 2011).

QUADRO 1. Modelos matemáticos utilizados para predizer o fenômeno de secagem da amêndoa do baru.

Nome do Modelo	Modelo	Referência
Newton (WESTERMAN et al., 1973)		$U_a = \exp(-k.t)$
Henderson e Pabis (SOUSA et al., 2011)		$U_a = a.\exp(- k.t)$
Dois termos (JITTANIT, 2011)		$U_a = a.\exp(- k_o.t) + b.\exp(- k_1.t)$
Logaritmico (COSTA et al., 2011)		$U_a = a.\exp(- k.t) + c$
Page (SACILIK, 2007)		$U_a = \exp(- k.t^n)$

Para o ajuste dos modelos matemáticos foi realizada análise de regressão não linear pelo método Gauss Newton, utilizando o software Statístico 7.0, e a validade estatística de todos os modelos foi avaliada e comparada, considerando-se a significância do coeficiente de regressão pelo teste t, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. A magnitude do coeficiente de determinação (R^2), a magnitude de erro médio relativo (P) e do erro médio estimado (SE), para cada um dos modelos ficou estabelecida de acordo com pesquisas na literatura (SACILIK, 2007; GAZOR & MOHSENIMANESH, 2010; DOYMAZ, 2011). Os parâmetros foram calculados utilizando as seguintes expressões:

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|Y_i - \bar{Y}|}{Y_i} \quad (02)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}{GLR}} \quad (03)$$

Onde: Y é o valor observado experimentalmente; \bar{Y} é o valor estimado pelo modelo ajustado; N é o número de observações experimentais; GLR = grau de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

Determinação Coeficiente Efetivo de Difusão

O coeficiente efetivo de difusão foi obtido por meio de ajustes do modelo matemático da difusão líquida, aos dados experimentais de secagem das amêndoas do baru. As amostras foram tratadas como formar esféricas. A solução analítica da difusão para a esfera é dada pela equação 04 (CRANCK, 1975).

$$U_a = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{D_{eff} n^2 \pi^2 t}{r^2}\right) \quad (04)$$

Onde D_{eff} é a difusividade efetiva (m^2/s), r é o raio da esfera (m), e n é o número de termos.

Considerado a forma da amêndoa do baru um esferoide prolata, o volume de cada amêndoa foi obtido por meio da medição dos três eixos ortogonais (comprimento, largura e espessura, conforme apresentado na Figura 1), em oito amêndoas ao longo do processo de secagem, com auxílio de um paquímetro, de acordo com a equação 5 proposta por MOHSENIN (1986).

$$V_g = \frac{\pi.a.b.c}{6} \quad (05)$$

Em que, V_g é o volume da amêndoa, m^3 ; a é maior eixo da amêndoa, mm ; b é eixo médio da amêndoa, mm ; e c é menor eixo da amêndoa, mm .

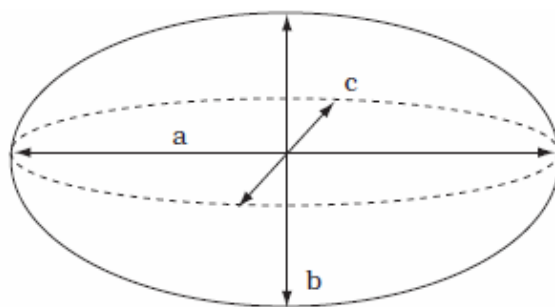


FIGURA 3 - Desenho esquemático da amêndoa do Baru com suas dimensões características.

Foi ajustado aos dados experimentais de secagem das amêndoas do baru considerando o raio equivalente inicial dos mesmos e mantendo-o constante ao longo da secagem e, o raio equivalente considerando-se a contração volumétrica dos materiais, equação 6.

$$r = \sqrt[3]{\frac{3.V_g}{4.\pi}} \quad (06)$$

Segundo OLIVEIRA et al., (2006), a difusividade efetiva contempla o efeito de todos os fenômenos que podem interferir na taxa de transferência de massa, e dificultar a migração de água do interior do sólido para a superfície. A difusividade efetiva não é intrínseca ao material, uma vez que ela varia conforme as condições de secagem. E para períodos mais longos a equação 04 pode ser simplificada apenas no primeiro termo, e logaritmando ambos os termos a equação 04 torna-se:

$$\ln(U_a) = \ln\left(\frac{6}{\pi^2} \frac{D_{eff} \cdot t}{r^2}\right) \quad (07)$$

Para determinação da difusividade efetiva, foi realizado a plotagem dos termos $\ln(U_a)$ versus tempo, que fornece a relação k:

$$K = \frac{6 D_{eff} \cdot t}{r^2} \quad (08)$$

Determinação Energia de Ativação.

A energia de ativação (E_a) foi determinada pela inclinação da equação de Arrhenius, tornando-a assim, uma forma linear logarítmica (equação 10), o que possibilita a construção do gráfico da difusividade efetiva D_{eff} versus o inverso da temperatura absoluta em Kelvin ($1/T$), (DOYMAZ, 2011).

A energia de ativação foi calculada a partir do coeficiente angular da reta:

$$\ln(D_{eff}) = \ln(D_0) - \frac{E_a}{R.T} \quad (09)$$

Onde D_0 é a fator pré-exponencial h^{-1} , E_a é a energia de ativação, $J \text{ mol}^{-1}$, R é a constante universal dos gases, $8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ajustando-se as equações do quadro 1 aos dados obtidos, as curvas de secagem são mostradas nas Figuras 4 a 9. A partir dos resultados experimentais da secagem da amêndoa do baru, foram construídas curvas de secagem. Nas Figuras 4 a 6 estão apresentadas as curvas da secagem das amêndoas do baru nas temperaturas 50, 60 e 70°C, velocidade de 1,7 m/s, e nas Figuras 6 a 8, velocidade de 2,3 m/s, ajustada aos modelos do quadro 1. Os parâmetros dos modelos foram obtidos por regressão não linear (Quase-Newton) com o auxílio do Software Estatística 7.0.

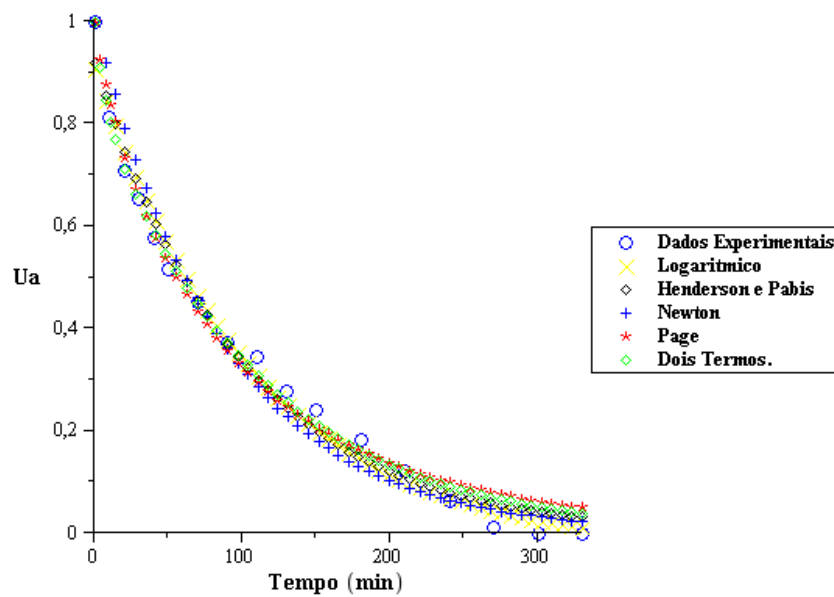


FIGURA 4. Ajuste de modelos matemáticos aos dados de secagem na temperatura 50° C e velocidade de 1,7 m/s.

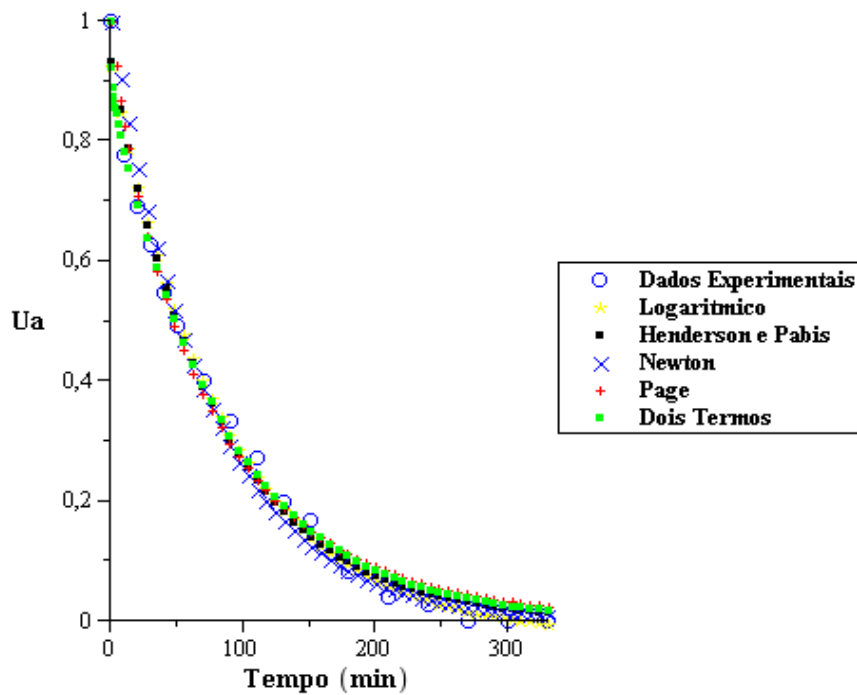


FIGURA 5. Ajuste de modelos matemáticos aos dados de secagem na temperatura 60° C e velocidade de 1,7 m/s.

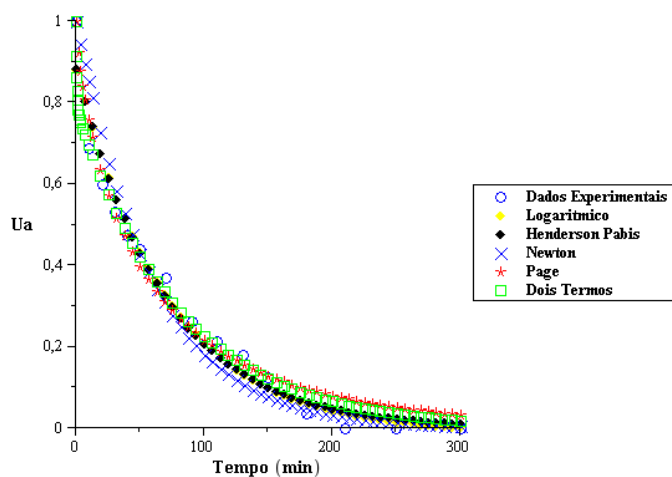


FIGURA 6. Ajuste de modelos matemáticos aos dados de secagem na temperatura 70° C e velocidade de 1,7 m/s.

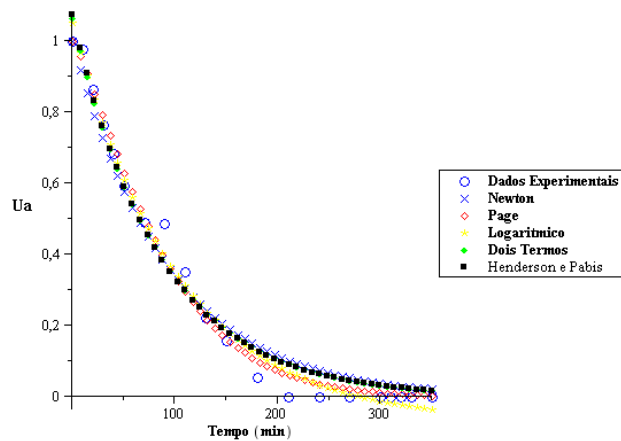


FIGURA 7. Ajuste de modelos matemáticos aos dados de secagem na temperatura 50° C e velocidade de 2,3 m/s.

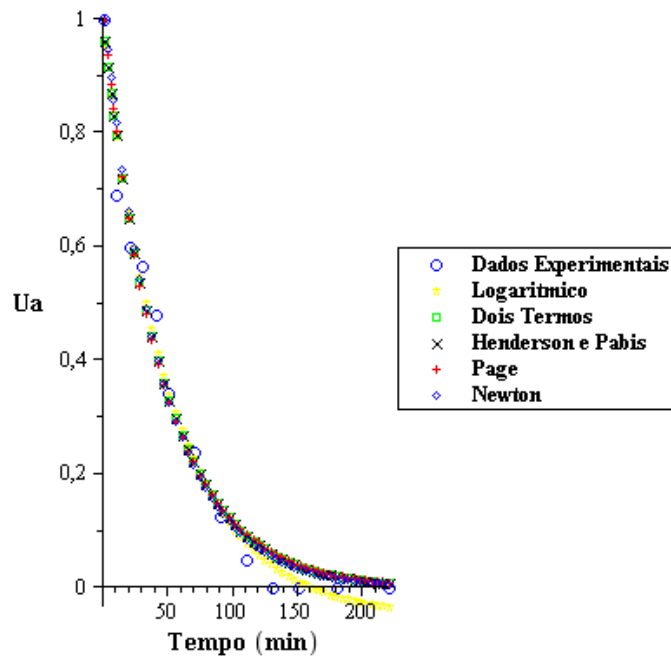


FIGURA 8. Ajuste de modelos matemáticos aos dados de secagem na temperatura 60° C e velocidade de 2,3 m/s.

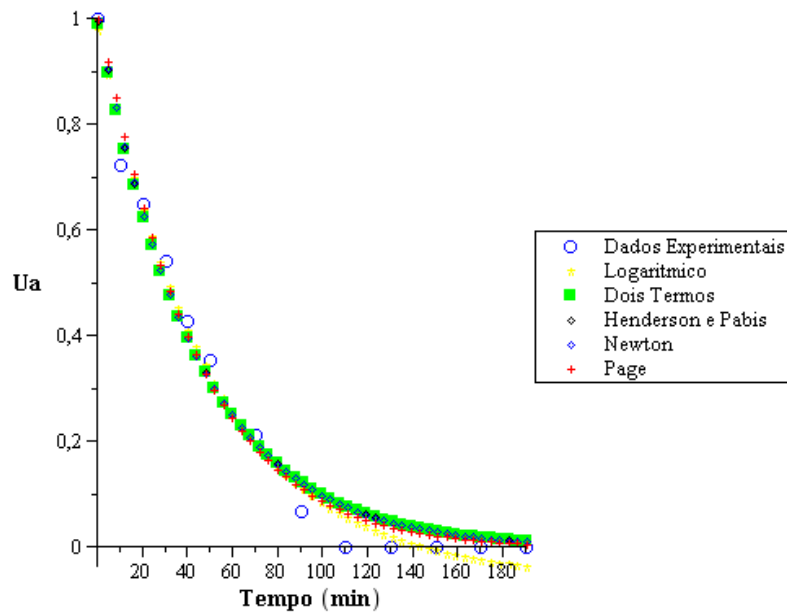


FIGURA 9. Ajuste de modelos matemáticos aos dados de secagem na temperatura 70° C e velocidade de 2,3 m/s.

Nota-se a partir da análise das curvas de secagem das amêndoas de baru, que a umidade diminui continuamente com o tempo de secagem e com o aumento da temperatura do ar de secagem, concordando assim com os fundamentos teóricos da teoria de secagem, (COSTA et al. 2011; SIQUEIRA et al., 2012; SANTOS et al., 2013).

Pode-se constatar o efeito significativo da temperatura sobre as curvas de secagem das amêndoas, ou seja, como o aumento da temperatura, ocorrem maiores taxas de remoção de água do produto, fato observado por diversos pesquisadores para inúmeros produtos agrícolas (MIDILLI et al., 2002; CORRÊA et al., 2007).

Nas tabelas 1 e 2 são apresentados os valores obtidos para os parâmetros dos diferentes modelos matemáticos utilizados para avaliar o comportamento da secagem das amêndoas do baru em duas velocidades e o valor estatístico: coeficiente de determinação R^2 .

TABELA 1. Parâmetros dos modelos matemáticos aplicados aos dados experimentais das curvas de cinética de secagem da amêndoa do baru para velocidade 1,7 m/s

Modelos	Temp. (°C)	Parâmetros				R^2 (%)
		a		K		
Henderson e Pabis	50	0,918434		0,010084		98,3380
	60	0,932891		0,012478		98,9453
	70	0,883335		0,014355		96,4469
		k				
Newton	50	0,01131				97,0906
	60	0,013658				98,1872
	70	0,01699				93,7996
		a	K_0	b	K_1	
Dois Termos	50	0,852405	0,009189	0,147959	0,152252	99,1897
	60	0,883114	0,011642	0,116886	2,183039	99,5500
	70	0,782511	0,012269	0,217488	2,327068	99,1068
		a		k	c	
Logarítmico	50	0,935041		0,009426	-0,024150	98,3772
	60	0,950419		0,011592	-0,026182	99,0075
	70	0,876854		0,014805	0,010035	96,4538
		k			n	
Page	50	0,0026349			0,813905	98,6927
	60	0,025790			0,854417	99,0365
	70	0,054869			0,718559	97,9183

TABELA 2. Parâmetros dos modelos matemáticos aplicados aos dados experimentais das curvas de cinética de secagem da amêndoa do baru para velocidade 2,3 m/s

Modelos	Temp . (°C)	Parâmetros				R ²
		a		k		
Henderson e Pabis	60	1,064543		0,011292		97,3581
	70	0,960897		0,020977		97,3207
	80	0,989309		0,022579		97,6843
		k				
Newton	50	0,010432				96,6889
	60	0,021992				97,0432
	70	0,022864				97,6626
		a	K ₀	b	K ₁	
Dois Termos	50	0,532225	0,011273	0,532223	0,011278	97,3480
	60	0,480448	0,020977	0,480448	0,020977	97,3208
	70	0,494654	0,022579	0,494654	0,022579	97,6843
		a		k	c	
Logarítmico	50	1,39601		0,006274	-0,378542	99,0301
	60	1,06416		0,015773	-0,129826	98,0414
	70	1,187016		0,014670	-0,232332	99,0318
		k		n		
Page	50	0,003233		1,259905		98,2646
	60	0,026864		0,948599		97,1250
	70	0,018350		1,057650		97,7522

As difusividades efetivas da água para as três temperaturas do ar de secagem podem ser determinadas pelo ajuste da solução analítica dada pela equação 5, aos dados experimentais para a razão do teor da água. Uma vez determinada o valor do parâmetro **K** para cada temperatura, pode usar a equação 9 para o cálculo da difusividade.

Na tabela 3, são apresentados os valores de **K** (min⁻¹), os dados foram obtidos pelo ajuste da equação 4 aos dados experimentais de secagem da amêndoa do baru por aproximação de oito termos.

TABELA 3. Parâmetros K (min⁻¹) da equação 08 aos dados obtidos para duas velocidades.

50°		60°		70°	
1,7 m/s	2,3 m/s	1,7 m/s	2,3 m/s	1,7 m/s	2,3 m/s
0,006282	0,005317	0,007724	0,009985	0,009562	0,012818

Nas tabelas 4 e 5, são apresentados os valores do coeficiente de difusão nas diferentes condições de temperaturas utilizando o raio equivalente de 0,00534 m.

TABELA 4. Difusividade efetiva em função da temperatura com velocidades de 1,7 m/s

T(°C)	50°C	60°C	70°C
Deff (m ² /s)	18,15 x 10 ⁻¹¹	22,31 x 10 ⁻¹¹	27,62 x 10 ⁻¹¹

TABELA 5. Difusividade efetiva em função da temperatura com velocidades de 2,3 m/s

T(°C)	50°C	60°C	70°C
Deff (m ² /s)	15,36 x 10 ⁻¹¹	28,85 x 10 ⁻¹¹	37,08 x 10 ⁻¹¹

Como pode ser observado nas tabelas 4 e 5, o valor da difusividade efetiva sofreu aumento com o aumento da temperatura, o que era esperado, visto que em maiores temperaturas a remoção de água é mais rápida. Pesquisadores também reportaram difusividade efetiva na ordem de 10⁻¹¹ m² s⁻¹ grãos de abóbora (JITTANIT, 2011); grãos de ervilha (DOYMAZ & KOCAYIGIT, 2011); grãos de canola (GAZOR & MOHSENIMANESH, 2010); entre outras.

As figuras 10 e 11, mostram os valores de D_{eff} apresentados na forma de ln(D_{eff}) descritos em função em função do recíproco da temperatura absoluta (1/T). A reta obtida indica a uniformidade de variação da difusividade com a temperatura.

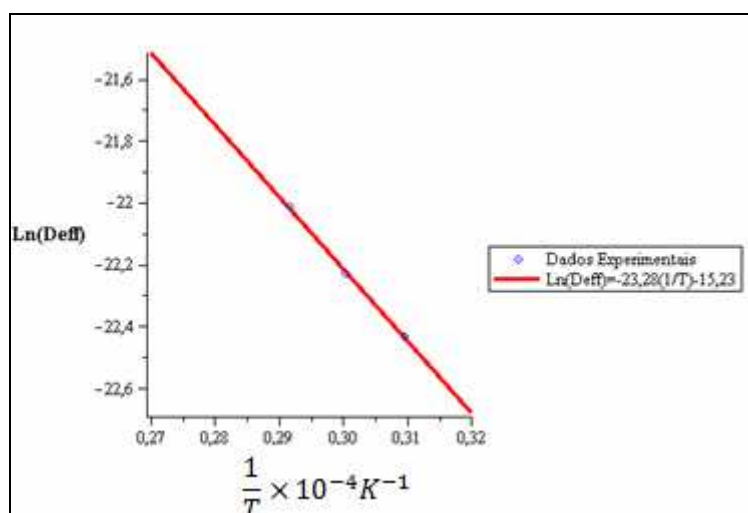


FIGURA 10 Representação de Arrhenius para a relação entre a difusividade efetiva e a temperatura absoluta na secagem da amêndoa do baru, v =1,7 m/s.

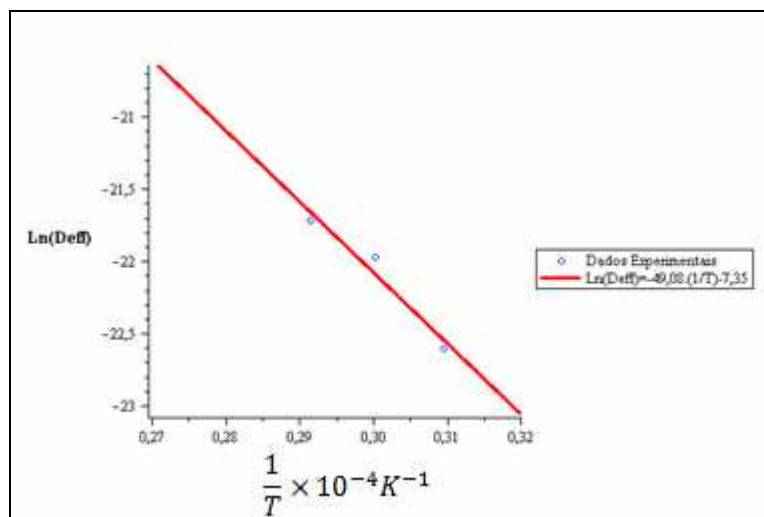


FIGURA 11 Representação de Arrhenius para a relação entre a difusividade efetiva e a temperatura absoluta na secagem da amêndoa do baru, $v = 2,3$ m/s.

A energia de ativação E_a para a difusão líquida da amêndoa do baru, com velocidade de 1,7 m/s, calculada como a inclinação da reta obtida do $\ln(D_{eff})$, foi de $23,7 \text{ KJ mol}^{-1}$, e para a velocidade de 2,3 m/s foi de $49,16 \text{ KJ mol}^{-1}$. Esse valor é coerente com valores encontrados na literatura, como por exemplo, COSTA et al., (2011) e OLIVEIRA, (2012) para secagem, para diversos produtos agrícolas.

CONCLUSÃO

O modelo matemático Dois Termos, com velocidade de 1,7 m/s, em uma temperatura de 60°C , utilizada para caracterizar a secagem, foi o que melhor representou o processo de secagem da amêndoa do Baru, ajustando-se satisfatoriamente aos dados experimentais.

O coeficiente de difusão aumenta com a elevação da temperatura, apresentando valores entre $18,15 \times 10^{-11}$ a $27,62 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$, com velocidade de 1,7 m/s, e $15,36 \times 10^{-11}$ a $37,08 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$, com velocidade de 2,3 m/s, para faixa de temperatura de 50 a 70°C , respectivamente.

A relação do coeficiente de difusão com a temperatura de secagem pode ser descrita pela equação de Arrhenius que representa uma energia de $23,7 \text{ KJ/mol}$ para velocidade de 1,7 m/s, e $49,16 \text{ KJ/mol}$, para velocidade de 2,3 m/s, para a difusão líquida no processo de secagem da amêndoa do Baru.

REFERÊNCIAS

- CARRAZZA, L. R.; D'ÁVILA, J. C. C.. **Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto do Baru**. Instituto Sociedade População e Natureza (ISPN), Brasília-DF, 2010.
- ÇAKMAK, G.; YILDIZ, C. **The drying kinetics of seeded grape in solar dryer with PCM-based solar integrated collector**. Food and Bioproducts Processing, London, v. 89, n. 2, p. 103-108, 2011.

CORRÊA, P. C.; RESESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M.. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; GONÇALVES, D. N.; SOUZA, K. A.; SALES, F. J.; DONADON, J. R..The influence of drying on the physiological quality of crambe fruits. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 34, n. 2, p. 213-218, 2012.

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; GONÇALVES, S. D... Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p.1089-1096, 2011.

CRANK, J., 1975. **The Mathematics of Diffusion**, 2nd ed. Clarendon Press, Oxford, UK

DOYMAZ, I. Drying of green bean and okra under solar energy. **Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly**, Beograd, v. 17, n. 2, p. 199-205, 2011.

DOYMAZ, I.; KOCAYIGIT, F. **Drying and rehydration behaviors of convection drying of green peas**. *Drying Technology*, New York, v. 29, n. 11, p. 1273-1282, 2011.

FARIA, R.; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; RESENDE, O. . Cinética de secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 573-583, 2012.

GAZOR, H.R., MOHSENIMANESH, A.. Modelling the drying kinetics of canola in fluidized bed dryer. **Czech J. Food Sci.** 28 (6), 531–537. 2010.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3.ed São Paulo: IMESP, P. 42-43.1985.

KARATHANOS, V. T.; BELESSIOTIS, V. G. Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 74, n. 04, p. 355-361, 1999.

JITTANIT, W. Kinetics and temperature dependent moisture diffusivities of pumpkin seeds during drying. **Kasetsart Journal: Natural Science**, Bangkok, v. 45, n.1, p. 147-158, 2011.

MARTINS, L. D.; COSTA, F. P.; LOPES, C. J.; RODRIGUES, W. N.. Influence of pre-germination treatments and temperature on the germination of crambe seeds(*Crambe abyssinica Hochst*). **Idesia**, v. 30, n. 3, p. 23-28, 2012.

MIDILLI, A., H. KUCUK AND Z. YAPAR. A new model for single layer drying of some vegetables. **Drying Technology**, 20, 1503-1513. 2002.

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. 2. ed. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.

OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, W. P.; PARK, K. J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p. 181-189, 2006.

OLIVEIRA, D. E. C. **Estudo da secagem artificial e do reumedecimento com ar natural em sementes de milho**. Rio Verde, GO, 2012, 84p. Dissertação (Mestrado). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

PAGOTTO, T.C. S. E SOUZA, P. R. **Biodiversidade do complexo aporé-sucuruí: subsídios à conservação e ao manejo do Cerrado: área prioritária 316 – Jauru**. Campo Grande: UFMS, 308p, 2006.

PIMENTEL, N. M. **Processo produtivo para o aproveitamento dos produtos florestais não-madeireiros do Barú (*Dipteryx alata* Vog.)**. Brasília, 2008. 107 p. (Dissertação de Mestrado).

REIS, R.C.; BARBOSA, L.S.; LIMA, M.L.; REIS, J.S.; DEVILLA, I.A.; ASCHERI, D.P.R.; Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará. **Rev Bras Eng Agric Ambient**. 2011;15(4):347-53.

SACILIK, K. Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 1, p. 23-30, 2007.

SANTOS, D. C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A.. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 223-231, 2013.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Difusividade efetiva de grãos e frutos de pihão-manso. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p.2919-2930, 2012.

SILVA, A.P.U., MAIA, G.A., OLIVEIRA, G.F.S., Figueiredo, R.W., Brasil, I.M., **“Características de qualidade de suco polposo de cajá (*Spondias lutea* L.), obtido por extração mecânica enzimática”**. In: *Encontro Nacional de Análises de Alimentos*, Anais. João Pessoa, 1995.

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

WESTERMAN, P.W., G.M. WHITE AND I.J. Ross. Relative humidity effect on the high temperature drying of shelled corn. **Transactions of the ASAE**, 16, 1136-1139, 1973.

ZAKIPOUR, E.; HAMIDI, Z. Vacuum drying characteristics of some vegetables. **Iranian Journal of Chemistry & Chemical Engineering**, Teerã, v. 30, n. 4, p. 97-105, 2011.