CINÉTICA DE SECAGEM APLICADA A SEMENTES DE AVELÃ SEM CASCA

VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA[1]; RAPHAEL LUCAS JACINTO ALMEIDA[2]; NEWTON CARLOS SANTOS[3]; VICTOR HERBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO[4]; PAULO ROBERTO MEGNA FRANCISCO[5]

[1]Drª. em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, CTRN/UFCG, Campina Grande-PB, virginia.mirtes2015@gmail.com;
[2]Msc. em Engenharia Química, Doutorando/CAPES, UFRN, Natal-RN, raphaelqindustrial@gmail.com;
[3]Msc. em Engenharia Agrícola, Doutorando/CAPES, UFRN, Natal-RN, newtonquimicoindustrial@gmail.com;
[4]Msc. em Ciências Agrárias, Doutorando/CAPES, UFCG, Campina Grande-PB, victor_herbert@hotmail.com;
[5]Dr. em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: Este trabalho objetivou analisar e ajustar os modelos matemáticos aos dados experimentais, verificando quais destes modelos se ajustam de maneira satisfatória ao processo de secagem de avelã, e observar a influência da temperatura aplicada ao processo de secagem nas dimensões do produto. Para realização da cinética de secagem as sementes foram colocadas em bandejas de aço inoxidável, e uniformemente espalhadas, formando uma camada fina. Foi utilizado um secador com circulação de ar com velocidade de ar de 1,5 m/s e nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C. Para os dados foram aplicados os modelos matemáticos de Midilli e Page. Observa-se que, o modelo de Midilli adequou-se bem aos dados experimentais obtidos, resultando em coeficientes de determinação (R^2) que variaram de 0,9992 a 0,9976 e baixos DQM, no qual variaram de 0,041671 a 0,074158. Indicando assim, uma representação satisfatória do processo de secagem. O modelo de Page apresentou melhores ajustes aos dados experimentais obtidos (valores superiores de R^2 e inferiores de DQM) e distribuição de resíduos aleatória, sendo considerado como o modelo mais eficiente para a descrição do processo de secagem de avelã.
PALAVRAS-CHAVE: Constante de secagem, modelos empíricos, Midilli.

DRYING KINETICS APPLIED TO HAZELNUT SEEDS

ABSTRACT: This work aims to analyze and adjust the mathematical models to the experimental data, verifying which models can be adjusted satisfactorily to the drying process of a hazelnut and to observe the influence of the temperature applied to the drying process on the product measurements. To perform drying kinetics like seeds placed in stainless steel trays, and spread evenly, forming a thin layer. A dryer with air circulation with a speed of 1.5 m/s and temperatures of 50, 60, 70 and 80°C was used. For the data, the mathematical models of Midilli e. Note that the Midilli model suitable for experimental data is used, resulting in coefficients of determination (R^2) that use 0.9992 to 0.9976 and low DQM, with no qualification from 0.041671 to 0.074158. Thus indicating a satisfactory representation of the drying process. The page model shows better adjustments for experimental data (values higher than R^2 and lower DQM) and random distribution of residues, being considered as the most efficient model for describing the hazelnut drying process.
KEYWORDS: Drying constant, empirical models, Midilli.

INTRODUÇÃO

A avelã é o fruto da aveleira, um arbusto da família Betulaceae que é cultivado na maioria dos países europeus, Ásia Menor e parte da América do Norte. Esta espécie está bem adaptada a diferentes condições climáticas, mas se desenvolve melhor em climas frios e altitudes moderadas. Além de seu uso para consumo *in natura* como lanche, a avelã é amplamente utilizada na elaboração de produtos

de panificação e confeitaria, como biscoitos, sorvetes, cereais matinais, cremes ou chocolates (Lopes et al., 2016).

As avelãs possuem elevado valor nutricional, apresentam em sua composição diversos nutrientes como proteínas, lipídios, vitaminas, ácidos graxos monoinsaturados, fitoesteróis e outros fitoquímicos não-nutrientes, como polifenóis. Estas substâncias são associadas à diversos benefícios para a saúde humana, proteção ao sistema cardiovascular e promoção do bem estar dos consumidores (Ghirardello et al., 2016).

Para reduzir o teor de umidade dos alimentos, é adequado realizar o processo de secagem, que, além de prolongar a vida útil, reduz significativamente os custos de certas operações, como embalagem, transporte e armazenamento, que consequentemente aumenta o valor comercial do produto. No entanto, a seleção das condições adequadas à operação de secagem (temperatura, tipo de secagem e tempo) influenciam diretamente na qualidade. Os modelos matemáticos são comumente utilizados na descrição do processo de secagem de produtos alimentícios (Sousa et al., 2017).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar e ajustar os modelos matemáticos aos dados experimentais, verificando quais destes modelos se ajustam de maneira satisfatória ao processo de secagem de avelã, e observar a influência da temperatura aplicada ao processo de secagem nas dimensões do produto.

MATERIAL E MÉTODOS

As sementes de avelã (*Corylusavellana* L.) sem cascas foram adquiridas no comércio de Campina Grande, Paraíba. Para realização da cinética de secagem as sementes foram colocadas em bandejas de aço inoxidável, e uniformemente espalhadas, formando uma camada fina. Foi utilizado um secador com circulação de ar com velocidade de ar de 1,5 m/s e nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C.

Utilizando os dados experimentais, foi calculado os valores da razão do teor de água (Equação 1). Com o cálculo da razão de teor de água das nozes, traçaram-se as curvas da cinética de secagem, representada pela razão do teor de água em função do tempo de secagem em minutos, aplicando os modelos matemáticos de Midilli ($RX=a.\exp(-k.t^n)+b.t$) e Page ($RX= \exp(-k.t^n)$).

$$RX = \frac{X_{bs} - X_e}{X_{bs(inicial)} - X_e} \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Onde: RX = Razão de umidade (Adimensional); X_e = Teor de água de equilíbrio em base seca; X_{bs}= Teor de água em base seca; $X_{bs\ (inicial)}$ = Teor de água inicial em base seca.

Para análise dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi utilizado o programa computacional STATISTICA v.7, utilizando-se a análise de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton. Os modelos foram selecionados tomando-se como parâmetro a magnitude do coeficiente de determinação (R^2) e do desvio quadrático médio (DQM) (Equação 2).

$$DQM = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(RX_{\exp} - RX_{pred}\right)^2}{N}} \qquad \text{(Eq.2)}$$

Em que: RX_{exp} = Razão de teor de água obtida experimentalmente; RX_{pre} =Razão de teor de água predita pelo modelo matemático; N = número de observações ao longo da cinética de secagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 se encontra expresso os valores dos parâmetros obtidos para os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem das sementes de avelã sem casca.

Tabela 1. Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos utilizados na predição da cinética de secagem das sementes de avelã sem casca nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C

Modelos	T (°C)	Parâmetros			
		a	k	n	b
Midilli	50	1,016274	0,032133	0,642923	-0,000166
	60	1,016263	0,032139	0,642957	-0,000166
	70	1,033958	0,060699	0,621237	-0,000069
	80	1,026587	0,062654	0,690656	0,000010
Page	50	-	0,018939	0,770451	-
	60	-	0,028437	0,721535	-
	70	-	0,047868	0,680562	-
	80	-	0,054205	0,709606	-

Nota: k: constante de secagem; “a”, “n” e “b”: parâmetros dos modelos matemáticos. Fonte: Própria (2020).

Com a elevação da temperatura do ar de secagem, para a constante k pode-se observar tendência definida onde a mesma aumenta linearmente com o aumento da temperatura do ar de secagem, para todos os modelos aplicados. Esse mesmo comportamento também foi observado por Moscon et al. (2017), ao estudarem o processo de secagem em grãos de quinoa nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C. Segundo Martins et al. (2015), o parâmetro “k” pode ser usado como aproximação para caracterizar o efeito da temperatura, e está relacionado com a difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente, sendo que, a difusão líquida controla o processo.

Para o parâmetro “n” reflete a resistência interna do produto à secagem, e não se observa nenhuma tendência em seus valores em função do incremento da temperatura. Fato este também observado por Araújo et al. (2017), para secagem de amendoim em camada delgada nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C. Os parâmetros “a” e “b” não sofre influência da temperatura aplicada, assim como observado por Santos et al. (2019), em seus estudos com grãos de arroz na temperatura variando de 40 a 80°C.

Na Tabela 2, observa-se os valores do coeficiente de determinação (R^2), os desvios médios quadrático (DQM) e a distribuição dos resíduos (DR) para cada modelo ajustado à cinética de secagem.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos e distribuição de resíduos dos modelos matemáticos utilizados na predição da cinética de secagem das sementes de avelã sem casca nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C

T (°C)	Midilli			Page		
	R^2	DQM	DR	R^2	DQM	DR
50	0,9992	0,041671	A	0,9966	0,0024781	A
60	0,9993	0,036974	A	0,9953	0,0019870	A
70	0,9964	0,014529	A	0,9960	0,0034621	A
80	0,9976	0,074158	A	0,9974	0,0281360	A

Nota: R^2: coeficiente de determinação; DQM; desvio quadrático médio; DR: distribuição de resíduos; A: aleatório.

Observa-se que, o modelo de Midilli adequa-se bem aos dados experimentais obtidos, resultando em coeficientes de determinação (R^2) que variam de 0,9992 a 0,9976 e baixos DQM, no qual variam de 0,041671 a 0,074158. Indicando assim, uma representação satisfatória do processo de secagem.

Com relação ao modelo de Page, os valores de R^2 apresentam variação de 0,9966 a 0,9974, e são observados valores inferiores de DQM quando comparados aos demais modelos aplicados, variando de 0,0024781 na temperatura de 50°C e 0,0281360 na temperatura de 80°C, indicando maior precisão na descrição da secagem das sementes de avelã sem casca.

Os modelos matemáticos de Midilli e Page apresentam distribuição de resíduos aleatória para todos as temperaturas aplicadas. Segundo Goneli (2008), um modelo é considerado aceitável, se apresentar a distribuição dos resíduos aleatória, ou seja, se os valores dos resíduos se encontrarem próximos à faixa horizontal em torno de zero e, caso o modelo apresente distribuição dos resíduos de forma tendenciosa, o mesmo não é adequado para representar o fenômeno em questão (Martins et al., 2015).

Nas Figuras 1 e 2, observa-se a cinética de secagem das sementes de avelã sem casca em camada fina a diferentes temperaturas de ar de secagem (50, 60, 70, e 80°C) para os modelos matemáticos de Midilli e Page.

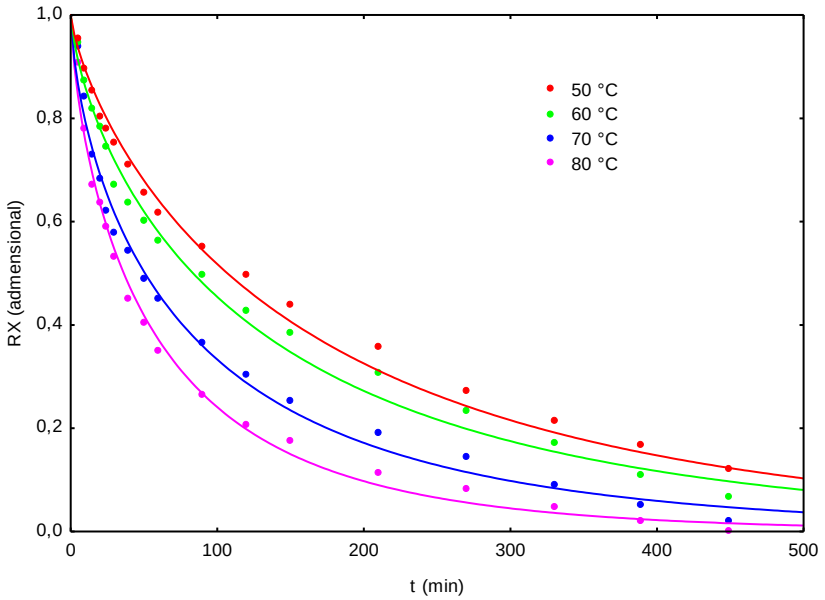

Figura 1. Curvas de secagem das sementes de avelã sem casca obtido pelo modelo matemático de Midilli.

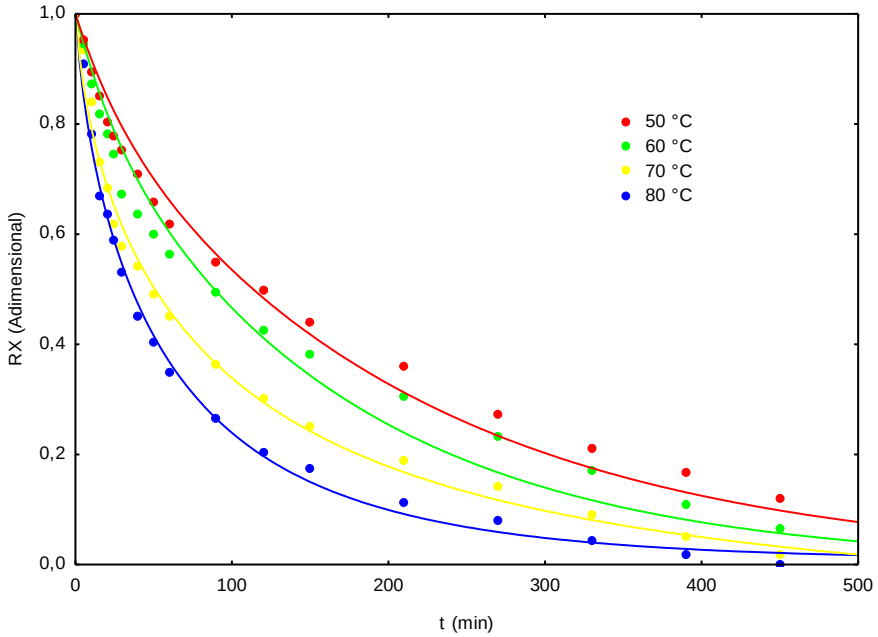

Figura 2. Curvas de secagem das sementes de avelã sem casca obtido pelo modelo matemático de Page.

Observa-se que, o aumento da temperatura, reduz o tempo de secagem aumentando a taxa de perda de água. O tempo de secagem varia de 450 a 750 minutos, sendo o menor e maior tempo, respectivamente para as temperaturas de 80 e 50°C.

CONCLUSÃO

Verificou-se uma tendência para o aumento do parâmetro k devido ao incremento da temperatura do ar aplicado ao processo de secagem, porém não foi observada correlação entre os parâmetros (n, a e b), e a temperatura utilizada.

Maiores taxas de perda de água foram observadas em temperaturas superiores, que consequentemente apresentaram menores tempos de secagem.

O modelo de Page apresentou melhores ajustes aos dados experimentais obtidos (valores superiores de R^2 e inferiores de DQM) e distribuição de resíduos aleatória, sendo considerado como o modelo mais eficiente para a descrição do processo de secagem de avelã.

REFERÊNCIAS

Araújo, W. D.; Goneli, A. L. D.; Corrêa, P. C.; Hartmann Filho, C. P.; Martins, E. A. S. Mathematical modelling of thin-layer drying in peanut fruit. Revista Ciência Agronômica, v.48, n.3, p.448-457, 2017.

Ghirardello, D.; Bertolino, M.; Belviso, S.; Dal Bello, B.; Giordano, M.; Rolle, L.;Gerbia, V.; Antonuccib, M.; Spingolonb, N.; Zeppa, G. Phenolic composition, antioxidante capacity and hexanal contento fhazelnuts (*Corylusavellana L.*) as affected by diferente storage conditions. Postharvest Biologyand Technology, v.112, p.95–104, 2016.

Goneli, A. L. D. Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade da mamona (*Ricinuscommunis* L.) durante a secagem e o armazenamento. 186f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2008.

Lopes, A.; Matos, A.; Guiné, R. Evaluation of morphological and physical characteristics of hazel nutvarieties. Millenium, v.2, n.1, p.13-24, 2016.

Martins, E. A.; Lage, E. Z.; Goneli, A. L. D.; Hartmann Filho, C. P.; Lopes, J. G. Drying kinetics of Serjania marginata Casar leaves. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, n.3, p.238–244, 2015.

Moscon, E. S.; Martin, S.; Spehar, C. R.; Devilla, I. A.; Rodolfo Júnior, F. Drying kinetic of quinoa grain (*Chenopodiumquinoa* W.). Revista Engenharia na Agricultura, v.25, n.4, p.318-328, 2017.

Santos, N. C.; Silva, W. P.; Barros, S. L.; Araújo, A. J. B.; Gomes, J. P.; Almeida, R. L. J.; Nasicmento, A. P. S.; Almeida, R. D.; Silva, C. M. D. P. S.; Queiroz, A. J. M.; Figueirêdo, R. M. F. Study on drying of black rice (*Oryza sativa* L.) grains: Physical-chemical and bioactive quality. Journal of Agricultural Science, v.11, n.9, p.203-212, 2019.

Sousa, E. P.; Figueiredo, R. M. F.; Gomes, J. P.; Queiroz, A. J. M.; Castro, D. S.; Lemos, D. M. Mathematical modeling of pequi pulp drying and effective diffusivity determination. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.21, n.7, p.493-498, 2017.