

## **CINÉTICA DE SECAGEM DOS GRÃOS DE SORGO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)**

VICTOR HEBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO<sup>1</sup>, NEWTON CARLOS SANTOS<sup>2</sup>, VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA<sup>3</sup>, SÂMELA LEAL BARROS<sup>4</sup> e AMANDA PRISCILA SILVA NASCIMENTO<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Mestrando em Ciências Agrárias, UFPB, Bananeiras – PB, victor\_herbert@hotmail.com;

<sup>2</sup>Mestrando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, newtonquimicoindustrial@gmail.com;

<sup>3</sup>Doutoranda em Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande-PB, virginia.mirtes2015@gmail.com;

<sup>4</sup>Mestranda em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, samelaleal7@gmail.com;

<sup>5</sup>Mestre em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, amandapricila@yahoo.com.br.

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
Palmas/TO – Brasil  
17 a 19 de setembro de 2019

**RESUMO:** Objetivou-se neste trabalho realizar a cinética de secagem de grãos de sorgo submetido a diferentes temperaturas de ar de secagem verificando a análise do modelo matemático que melhor descreve o processo aplicado. A cinética de secagem foi realizada em estufa de circulação de ar com velocidade de ar de 1,5m/s e temperatura de ar que variou de 40 a 80°C. Dois diferentes modelos empíricos (Logarítmico e Handerson & Pabis) foram ajustados aos dados experimentais obtidos. Observou-se que, os dados obtidos para a secagem de sorgo se ajustam bem aos modelos, apresentando coeficientes de determinação superiores a 99% e baixos valores de desvio médio quadrático (DQM). Sendo que as temperaturas de 40 e 50°C apresentaram os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e menores valores de DQM. Pode-se concluir que quanto maior foi a temperatura de secagem menor foi o tempo de processo empregado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Armazenamento, temperaturas, modelo matemático

### **DRY KINETICS OF WHITE BEAN (*Phaseolus vulgaris*.)**

**ABSTRACT:** The objective of this work was to carry out the kinetics of grain drying of sorghum submitted to different drying air temperatures, verifying the analysis of the mathematical model that best describes the applied process. The kinetics of drying were performed in an air circulation oven with an air velocity of 1.5 m / s and an air temperature ranging from 40 to 80 ° C. Two different empirical models (Logarithmic and Handerson & Pabis) were fitted to the experimental data obtained. It was observed that the data obtained for sorghum drying fit well with the models, with determination coefficients above 99% and low values of mean square deviation (DQM). As temperatures of 40 and 50 ° C presented the highest coefficients of determination ( $R^2$ ) and lower values of DQM. It can be concluded that the higher the drying temperature the lower the process time used.

**KEYWORDS:** Storage, temperatures, mathematical model

### **INTRODUÇÃO**

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) pertence à família das gramíneas, está entre os cinco cereais mais cultivados no mundo, sendo precedido pelo arroz, trigo, milho e cevada. O Brasil ocupa a nona posição mundial de sua produção, no qual, sua área cultivada está estimada em 626,5 mil hectares, com uma produção de grãos de 1,845 milhões toneladas e produtividade média de 2,97 toneladas ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2018). O Estado de Goiás lidera a produção nacional com 851,5 mil toneladas. Em segundo lugar com 499,7 mil toneladas está Minas Gerais, e em terceiro, Mato Grosso com 291,5 mil toneladas (CONAB, 2017).

A proteína do grão de sorgo contém globulina de albumina (15%), prolamina (26%) e glutelina (44%). O sorgo em geral é uma rica fonte de fibras e vitaminas do complexo B (Gopalan et al., 2000). O sorgo é considerado uma excelente fonte de energia para alimentação animal, sendo o principal substituto do milho na fábrica de rações (Cruz, 2015). Além disso, o sorgo é uma cultura de diferentes aplicações, podendo ser utilizado tanto na produção de silagem, biomassa, álcool ou grão, aos poucos a cultura vem ganhando importância na alimentação humana, em substituição ao trigo na produção de alimentos sem glúten (Moreira et al., 2014; Cação et al., 2012).

Na fase de pós-colheita, a secagem é o processo mais utilizado para assegurar a qualidade e estabilidade dos produtos vegetais, pois a diminuição do teor de água do material reduz a atividade biológica na massa de grãos, assim como as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento (Araújo et al., 2014). O uso de modelos matemáticos é utilizado para simular o processo de secagem de sementes, cujo princípio se fundamenta na secagem de camadas delgadas ou finas do produto (Reis et al., 2011). A análise da cinética de secagem fornece informações sobre o comportamento da transferência de massa entre os grãos e o agente de secagem, e o conhecimento deste comportamento dos grãos é importante para o desenvolvimento de equipamentos para secagem e simulação de secadores (Faria, 2012).

No caso específico do sorgo, a literatura é escassa apesar da espécie começou a despertar interesse, com ênfase nas características agrônômicas e alimentares devido às características do grão. Nesse sentido, conhecendo o potencial dos grãos de sorgo e a necessidade do processo de secagem para o seu armazenamento, o objetivo deste trabalho foi determinar a cinética de secagem de grãos de sorgo submetido a diferentes temperaturas de ar de secagem verificando a análise do modelo matemático que melhor descreve o processo aplicado.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os grãos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) foram adquiridos no município de Sumé no estado da Paraíba. As amostras foram encaminhadas e os experimentos foram realizados no Laboratório de Secagem, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Alimentos, da Universidade Federal de Campina Grande, PB. As amostras foram colocadas em telas de aço inoxidável, e uniformemente espalhadas, formando uma camada fina. Para iniciar o experimento, as bandejas foram colocadas em um secador com circulação de ar com velocidade de ar de 1,5 m/s, para a realização das cinéticas de secagem nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C, no início e no final das secagens foram determinadas as massas secas e calculados os teores de água de acordo com Instituto Adolf Lutz (BRASIL, 2008).

Através dos dados experimentais, foi possível calcular os valores da razão do teor de água (Equação 1).

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

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

Com o cálculo da razão de teor de água dos grãos de sorgo, 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 (Tabela 1) Logarítmico e Handerson & Pabis para ajustar os dados experimentais.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de secagem.

Modelo	Equação
Logarítmico	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$ (Eq.2)
Handerson & Pabis	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$ (Eq.3)

RX: Razão de umidade (adimensional); k: constante de secagem; “a” e “c”: parâmetros dos modelos; t: tempo de secagem.

*Análise estatística*

Para análise dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi utilizado o programa computacional STATISTICA, versão 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 4).

$$DQM = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(RX_{exp} - RX_{pred})^2}{N}} \quad (Eq.4)$$

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 2 se encontra expresso os valores dos parâmetros obtidos para os modelos matemáticos Logarítmico e Handerson & Pabis, ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem dos grãos de sorgo, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvio quadrático médio (DQM), para a temperatura de 40, 50, 60, 70 e 80°C.

Tabela 2. Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos utilizados na predição da cinética de secagem dos grãos de sorgo.

<b>Logarítmico</b>	<b>a</b>	<b>K</b>	<b>c</b>	<b>-</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DQM</b>
40°C	1,060807	0,004233	-0,062350	-	0,99972	0,00842177
50°C	0,950979	0,005887	-0,014606	-	0,99760	0,02286900
60°C	0,882706	0,010237	0,036180	-	0,99199	0,03905800
70°C	0,900335	0,014626	0,035984	-	0,99296	0,03747200
80°C	0,914882	0,018848	0,036397	-	0,99332	0,03652500
<b>Handerson &amp; Pabis</b>	<b>a</b>	<b>K</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DQM</b>
40°C	1,009233	0,004887	-	-	0,99894	0,01630815
50°C	0,939711	0,006127	-	-	0,99753	0,02322200
60°C	0,906767	0,009120	-	-	0,99123	0,04084100
70°C	0,921965	0,013022	-	-	0,99173	0,04060000
80°C	0,935873	0,016798	-	-	0,99168	0,04072800

R<sup>2</sup>: coeficientes de determinação; DQM: desvios quadráticos médios; k: constante de secagem; “a”, “b”, “c” e “n”: parâmetros dos modelos matemáticos.

Através da Tabela 2, se verifica que todos os dados obtidos para a secagem de sorgo se ajustam bem aos modelos Logarítmico e Handerson & Pabis, apresentando coeficientes de determinação superiores a 99% e baixos valores de DQM. Sendo que as temperaturas de 40 e 50°C apresentaram os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e menores valores de DQM

Pode-se observar que a constante de secagem “K” em ambos os modelos, aumentaram com o aumento da temperatura do ar de secagem evidenciando também a diminuição do tempo necessário para a realização do processo de secagem aplicado.

Silva et al. (2019), ao também estudarem o processo de secagem dos grãos de sorgo, concluíram que o modelo matemático de Page melhor se ajustou aos dados experimentais, pois apresentaram elevados ( $R^2$ ) e baixos (DQM).

Nas Figuras 1e 2, observa-se a cinética de secagem do sorgo em camada fina a diferentes temperaturas de ar de secagem para os modelos Logarítmico e Handerson & Pabis. Observa-se que, o aumento da temperatura, reduz o tempo de secagem aumentando a taxa de perda de água. O tempo de secagem variou de 630 a 390 minutos, sendo o maior e menor tempo respectivamente para as temperaturas de 40 e 80°C.

Figura 1. Curvas de secagem dos grãos de sorgo pelo modelo matemático Logarítmico.

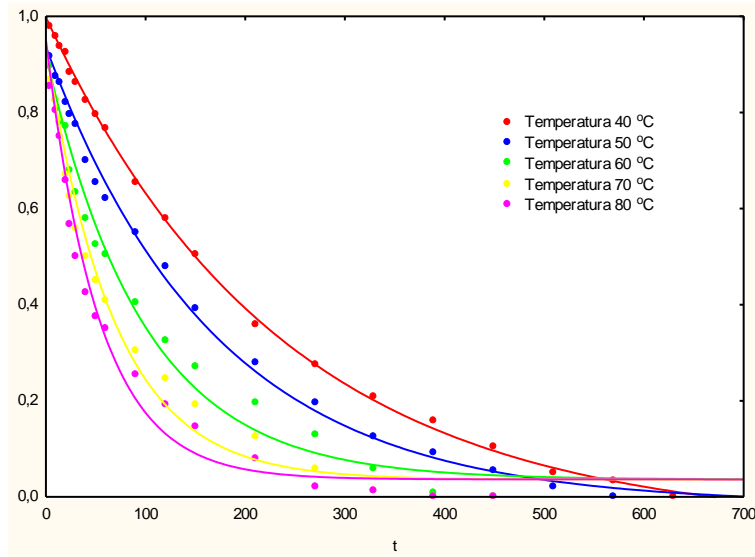
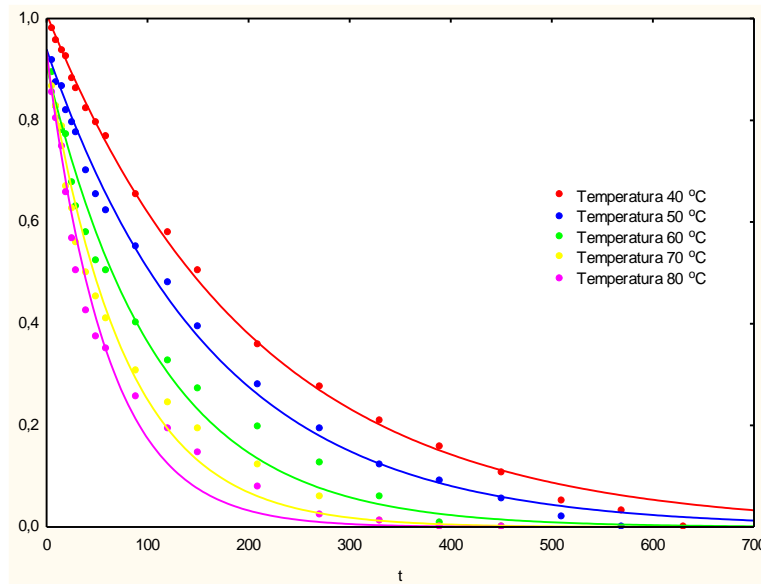


Figura 2. Curvas de secagem dos grãos de sorgo pelo modelo matemático de Handerson & Pabis.



## CONCLUSÃO

Os modelos empregados neste estudo ajustaram-se bem aos dados experimentais, sendo as temperaturas de 40 e 50°C que apresentaram os maiores valores para o  $R^2$  e os menores DQM. A cinética de secagem do sorgo mostra que a temperatura é a variável de maior influência no processo, e que o tempo de secagem do sorgo diminuiu em função do aumento da temperatura de secagem.

## REFERÊNCIAS

- Araujo, W. D.; Goneli, A. L. D.; Souza, C. M. A.; Gonçalves, A. A.; Vilhasantis, H. C. B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.279–286, 2014.
- Brasil, Instituto Adolfo Lutz. (2008). Métodos físico-químicos para análise de alimentos (4th ed., Volume 1, p.1020). São Paulo: Instituto Adolfo Lutz.
- Cação, M. M. F.; Costa, C.; Meirelles, P. R. L. Degradabilidade ruminal da matéria seca de grãos de milho e de sorgo com alto ou baixo conteúdo tanino processados. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.1, n.2, p.516-528, 2012.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2017. Acompanhamento da safra brasileira: grãos safra 2016/2017 1º levantamento. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_10\\_16\\_16\\_34\\_39\\_graos\\_outubro\\_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_10_16_16_34_39_graos_outubro_2017.pdf). Acesso em 13/02/2019
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasil: décimo levantamento, v.5 Safra 2017/2018, julho, 2018. Disponível em: <file:///C:/Users/nilti/Downloads/BoletimZGraosZjulhoZ2018.pdf>. Acesso em: 13/02/2019.
- Cruz, D. B. da. Efeitos da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento sobre propriedades físico-químicas dos grãos e sobre físicoquímicas, estruturais, térmicas e de pasta do amido isolado de grãos de sorgo. 2015. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas, 2015
- Faria, R. Q.; 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*. v.16, n.5, p.573-583, 2012.
- Gopalan, C.; Sastry, B. V.; Balsubramanyam, S. C. Nutritive Value of Indian Foods. National Institute of Nutrition. I.C.M.R., Hyderabad, 2000.
- Mendonça, A. P.; Sampaio, P. T. B.; Almeida, F. A. C.; Ferreira, R. F.; Novais, J. N. Determinação das curvas de secagem das sementes de andiroba em secador solar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 19, n. 4, p. 382-387, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p382-387>
- Moreira, F. R. C.; Costa, A. N.; Martins, T. D. D.; Silva, J. H. V.; Medeiros, H. R.; Cruz, G. R. B. Substituição parcial do milho por sorgo granífero na alimentação de suínos nas fases de creche, crescimento e terminação. *Revista Brasileira de Saúde Produção Animal*, v.15, n.1, p. 94-107, 2014.
- 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. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 15, n. 4, p. 347-353, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000400003>
- Schalch, F. J.; Schalch, D.; Zanetti, M. A.; Brisola, M. L. Substituição do milho em grão moído pela polpa cítrica na desmama precoce de bezerros leiteiros. *Revista Brasileira de Zootecnia*. v. 30, n. 1, p. 280-285, 2001.
- Silva, V. M. A., Ribeiro, V. H. A., Santos, N. C., Barros, S. L., Nascimento, A. P. S., & Araújo, A. J. B. Determinação de modelo matemático na secagem do sorgo (*sorghum bicolor L.bMoench*). (2019). In: Paulo Roberto Megna Francisco (Org.). *Caderno de Ciência Pesquisa e Inovação, EPGRAF-Campina Grande - PB*, 2(1), 114-122.