

## AJUSTES DE MODELOS NA SECAGEM DE SEMENTES DE MARACUJÁ

**GERALDO ACÁCIO MABASSO<sup>1</sup>, ADRIELLE BORGES DE ALMEIDA<sup>2</sup>, SAMUEL FERREIRA VIANA<sup>3</sup>, JULIANA APARECIDA CÉLIA<sup>4</sup>, OSVALDO RESENDE<sup>5</sup>, DANIEL EMANUEL CABRAL DE OLIVEIRA<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Doutorando em Ciências Agrárias – Agronomia, IF Goiano – Campus Rio Verde, geral.do@hotmail.com

<sup>2</sup> Doutoranda em Ciências Agrárias – Agronomia, IF Goiano – Campus Rio Verde, drica.engal@gmail.com

<sup>3</sup> Mestrando em Ciências Agrárias – Agronomia, IF Goiano – Campus Rio Verde, vianaferreirasamuel@gmail.com

<sup>4</sup> Doutora em Ciências Agrárias – Agronomia, IF Goiano – Campus Rio Verde, juliana.rv@hotmail.com

<sup>5</sup> Eng.º. Agrícola, Agronomia, Prof. Doutor, IF Goiano – Campus Rio Verde, osvaldo.resende@ifgoiano.edu.br

<sup>6</sup> Eng.º. Agrícola, Agronomia, Prof. Doutor, IF Goiano – Campus Rio Verde, daniel.oliveira@ifgoiano.edu.br

Apresentado no

LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024  
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil

**RESUMO:** Objetivou-se, neste trabalho, descrever o processo de secagem das sementes de maracujá e selecionar os modelos que melhor se ajustam a cada condição de secagem. As sementes foram colhidas com teor de água de  $1,05 \pm 0,02 \text{ kg água kg}^{-1} \text{ matéria seca}$  e submetidas ao processo de secagem até o teor de água final de  $0,11 \pm 0,003 \text{ kg kg}^{-1}$  (base seca, bs), nas temperaturas de 40; 50 e 60 °C, e umidade relativa de 21,41; 14,35 e 7,78%, respectivamente. Com os dados do teor de água ao longo da secagem e teor de água de equilíbrio, foram determinados os valores de razão de teor de água (RX), para o ajuste de três modelos matemáticos de secagem. Os modelos matemáticos foram ajustados pelo método de Gauss-Newton e selecionados pelos critérios AIC e BIC. Conclui-se que o tempo de secagem aumentou com a redução da temperatura do ar de secagem; o modelo de Midilli apresentou melhor ajuste para representar a secagem de sementes de maracujá na temperatura de 40 °C e o modelo de Page para as temperaturas de 50 e 60 °C.

**PALAVRAS-CHAVE:** modelagem matemática; modelo de Page; *Passiflora edulis* Sims.

## MODEL ADJUSTMENTS IN PASSION FRUIT SEED DRYING

**ABSTRACT:** The objective of this study was to describe the drying process of passion fruit seeds and select models that best fit each drying condition. The seeds were harvested with a moisture content of  $1.05 \pm 0.02 \text{ kg water kg}^{-1} \text{ dry matter}$  and subjected to the drying process until reaching a final moisture content of  $0.11 \pm 0.003 \text{ kg kg}^{-1}$  (dry basis, db) at temperatures of 40, 50, and 60 °C, with relative humidity levels of 21.41, 14.35, and 7.78%, respectively. Using the moisture content data during drying and equilibrium moisture content, the moisture content ratio (RX) values were determined for fitting three mathematical drying models. These models were adjusted using the Gauss-Newton method and selected based on the AIC and BIC criteria. It was concluded that the drying time increased with decreasing air temperature; the Midilli model provided the best fit for representing the drying of passion fruit seeds at 40 °C, while the Page model was suitable for temperatures of 50 and 60 °C.

**KEYWORDS:** mathematical modeling; Page model; *Passiflora edulis* Sims.

**INTRODUÇÃO:** A espécie de maracujá *Passiflora edulis* Sims (maracujá-amarelo ou maracujá azedo), está entre as mais produzidas a nível mundial e no Brasil, ocupando cerca de 65% da produção mundial (ROY et al., 2023). Além da polpa usada para produção de sucos, a indústria de processamento de maracujá gera outros subprodutos, com destaque para as sementes que podem ser usadas para o processo de multiplicação, as quais devem passar por um processamento visando sua conservação e preservação da qualidade fisiológica (CASTILLO et al., 2020). A secagem é uma etapa importante na produção de sementes, permite reduzir a atividade da água a níveis que permitam um armazenamento seguro (HUANG et al., 2021). A modelagem matemática é uma excelente ferramenta para descrição de processo de secagem, com bastante aplicação para estimativa do tempo de secagem do produto e dimensionamento de equipamentos (GOMES et al., 2022). Porém, essas curvas são específicas para cada produto e condição de secagem (MOURA et al., 2021). O ajuste ajuda a estabelecer o melhor método e condições adequadas de secagem, descrição do processo, estabelecimento do tempo de secagem e redução de custos, sem comprometer significativamente as características físico-químicas (RUDY et al., 2020). Neste contexto, o objetivo neste trabalho foi descrever o processo de secagem das sementes de maracujá e selecionar os modelos que melhor se ajustam a cada condição de secagem.

**MATERIAL E MÉTODOS:** As sementes de maracujá foram obtidas utilizando frutos de maracujá maduros, da espécie *Passiflora edulis* Sims., cultivar UENF Rio Dourado, colhidos na fazenda experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, coordenadas 17° 48' 24" S; 50° 53' 57" O. Depois da remoção as sementes, com teor de água inicial de  $1,05 \pm 0,02 \text{ kg } \text{água} \text{ kg}^{-1} \text{ matéria seca}$  foram submetidas a secagem nas temperaturas de 40; 50 e 60 °C e umidade relativa de 21,41; 14,35 e 7,78% respectivamente. A secagem foi realizada em uma estufa de circulação forçada em recipientes metálicos usando  $30,30 \pm 0,22 \text{ g}$ . A secagem foi monitorada pela perda de massa, pesagens periódicas até atingir massa constante, correspondente ao teor de água de 0,06; 0,04 e 0,03  $\text{kg} \text{ kg}^{-1}$ , para as temperaturas de 40; 50 e 60 °C, respectivamente. Com os dados do teor de água, em base seca, foram determinados os valores da razão de teor de água. Os valores experimentais de RX foram utilizados para fazer o ajuste de três modelos matemáticos comumente usados para representar a cinética de secagem de diversos produtos agrícolas (Eqs. 1 – 3).

$$\text{Midilli: } RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t \quad (1)$$

$$\text{Page: } RX = \exp(-k \cdot t^n) \quad (2)$$

$$\text{Exponencial de dois termos: } RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k \cdot a \cdot t) \quad (3)$$

em que: t - tempo de secagem, k - constante de secagem, a, b - coeficientes dos modelos.

O ajuste dos modelos matemáticos de secagem foi realizado por meio da análise de regressão não linear pelo método Gauss-Newton, considerando a magnitude do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ), o erro médio relativo (P) e o erro médio estimado (SE). Para complementar foi utilizado o Critério de Informação de Akaike (AIC) e o Critério de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC) (Eqs. 5 e 6), submetendo à análise modelos pré-selecionados pelo método de Gauss-Newton (GOMES et al., 2022).

$$AIC = -2 \log L + 2p \quad (5)$$

$$BIC = -2 \log L + p \ln(n) \quad (6)$$

em que: p e n - número de parâmetros e observações do modelo; L - máxima verossimilhança, considerando as estimativas dos parâmetros.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Para secagem até o teor de água final de  $0,11 \pm 0,003 \text{ kg} \text{ kg}^{-1}$ , bs foram registados seguintes tempos: 12,67; 5,00 e 3,67 h para as temperaturas de 40, 50 e

60 °C respectivamente. A redução da temperatura tende a favorecer um processo de secagem mais lento como consequência de uma menor pressão parcial de vapor de água, além do fato da água se encontrar mais fortemente ligada à medida que a sua disponibilidade reduz, por se encontrar mais fortemente ligada à sua matéria seca, havendo por isso uma maior necessidade de energia para promover a saída de água no produto ou tempo para o movimento da água por difusão até a periferia (RESENDE et al., 2010). Na Tabela 1, estão apresentados os valores do SE, P, R<sup>2</sup>, AIC e BIC utilizados para seleção dos modelos matemáticos com melhor ajuste para descrever a secagem de sementes de maracujá submetidas a diferentes condições do ar de secagem.

TABELA 1. Coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), erro médio relativo (P), erro médio estimado (SE), Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano de Schwarz's (BIC) de sementes de maracujá submetidas a diferentes condições do ar de secagem.

Modelo	Temperatura (°C)	SE	P (%)	R <sup>2</sup>	AIC	BIC
Midilli	40	0,016	5,993	0,997	-213,057	-204,613
	50	0,016	4,384	0,998	-98,800	-94,078
	60	0,011	1,677	0,999	-88,214	-84,673
Page	40	0,021	9,569	0,995	-191,636	-186,569
	50	0,016	3,893	0,997	-99,939	-97,105
	60	0,011	1,519	0,999	-87,885	-85,761
Exponencial de dois termos	40	0,019	9,443	0,996	-200,912	-195,846
	50	0,016	3,840	0,998	-98,671	-95,837
	60	0,040	15,742	0,986	*	*

\* Modelo não ajustado pelo método de Gauss-Newton

Para que os modelos matemáticos de cinética de secagem sejam recomendados devem apresentar valores de P inferiores a 10% (MOHAPATRA; RAO, 2005). E nesta perspectiva, com exceção do modelo Exponencial de dois termos na temperatura de 60 °C em que o valor de P foi superior a 10%, nas demais condições, os modelos testados se mostraram ajustados. Os valores do erro médio estimado (SE) demonstram a precisão com que um modelo pode ser usado para descrever um determinado processo físico, quanto menor for seu valor, melhor será a qualidade de ajuste do modelo em relação aos dados experimentais. Considerando P, SE e R<sup>2</sup> (maior que 0,95) destacaram-se os modelos de Midilli e Page para as três temperaturas. Os critérios de AIC e BIC, que consideram melhor ajuste o modelo que apresenta maiores valores absolutos, neste contexto, destacam-se o modelo de Midilli na temperatura de 40 °C e modelo de Page nas temperaturas de 50 e 60 °C (Tabela 1), considerando que o BIC é mais rigoroso. Os modelos selecionados demonstram bom ajuste para descrever o processo de secagem de sementes de maracujá, apresentando uma boa aproximação entre os valores observados e estimados (Figura 1). Os modelos de Midilli e Page têm sido usados de forma satisfatória para descrever a cinética de secagem de diversos produtos agrícolas (MELO et al., 2016). Para os dois modelos selecionados, verifica-se que, o parâmetro “k” que representa a difusividade efetiva da secagem no período decrescente, aumentou com o aumento da temperatura do ar de secagem.

**CONCLUSÕES:** O tempo de secagem aumentou com a redução da temperatura do ar de secagem, refletindo uma menor taxa de remoção de água nessa condição. O modelo de Midilli apresentou melhor ajuste para representar a secagem de sementes de maracujá na temperatura de 40 °C, enquanto o modelo de Page foi o mais adequado para temperaturas de 50 e 60 °C.

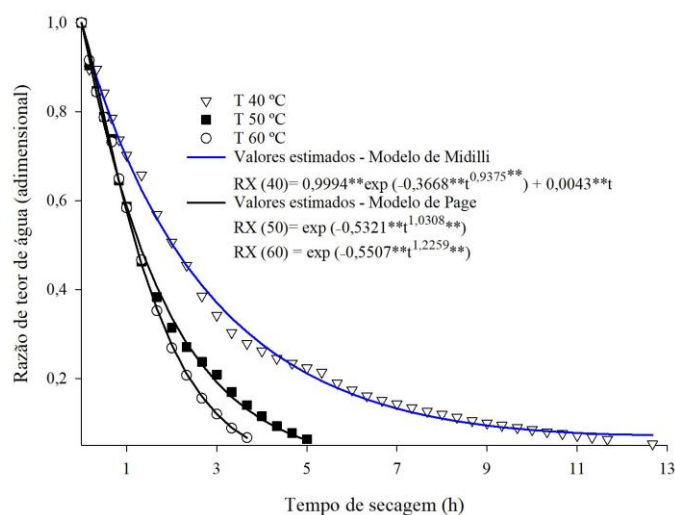


FIGURA 1. Valores da razão de teor de água estimados pelos modelos de Midilli e Exponencial de dois termos para o processo de secagem de sementes de maracujá submetidas a diferentes condições do ar de secagem

**AGRADECIMENTOS:** Ao IF Goiano, CAPES, FAPEG, FINEP e CNPq pelo apoio financeiro indispensável para execução deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS:

- CASTILLO, N. R.; MELGAREJO, L. M.; BLAIR, M. W. Seed structural variability and germination capacity in *Passiflora edulis* Sims f. *edulis*. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. 498, p. 1-10, 2020.
- GOMES, F. P.; RESENDE, O.; SOUSA, E. P. D.; CÉLIA, J. A.; DE OLIVEIRA, K. B. Application of mathematical models and thermodynamic properties in the drying of Jambu leaves. **Agriculture**, v. 12, n. 8, p.1252, 2022.
- HUANG, Y. T.; WU, W.; ZHAO, T. Y.; LU, M.; WU, H. P.; CAO, D. D. Drying temperature regulates vigor of high moisture rice seeds via involvement in phytohormone, ROS, and relevant gene expression. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 5, p. 2143-2155, 2021.
- MELO, P. de C.; DEVILLA, I. A.; CAETANO, J. M.; REIS, V. B. da S. X.; ANTUNES, A. M.; SANTOS, M. M. Modelagem matemática das curvas de secagem de grãos de feijão carioca. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 3, p.247-252, 2016.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of food engineering**, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.
- MOURA, H. V.; DE FIGUEIRÊDO, R. M. F.; DE MELO QUEIROZ, A. J.; DE VILELA SILVA, E. T.; ESMERO, J. A. D.; LISBÔA, J. F. Mathematical modeling and thermodynamic properties of the drying kinetics of tripiá residues. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, n. 8, p. e13768, 2021.
- RESENDE, O.; FERREIRA, L. U.; ALMEIDA, D. P. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão Adzuki (*Vigna angularis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, n. 2, p. 171-178, 2010.
- ROY, A.; LEON M, G.; NUNZIATA, S.; PADMANABHAN, C.; RIVERA, Y.; BRLANSKY, R. H.; HARTUNG, J. S. First report of Passion fruit green spot virus in yellow Passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) in Casanare, Colombia. **Plant Disease**, v. 107, n. 7, p. 2270, 2023.
- RUDY, S.; DZIKI, D.; BIERNACKA, B.; KRZYKOWSKI, A.; RUDY, M.; GAWLIK-DZIKI, U.; KACHEL, M. Drying characteristics of *Dracocephalum moldavica* leaves: drying kinetics and physicochemical properties. **Processes**, v. 8, n. 5, p. 1-17, 2020.