

## **MODELAGEM MATEMÁTICA PARA DESCRIÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM DAS SEMENTES DE MARACUJÁ AMARELO**

ANASTÁCIA MARIA MIKAELLA CAMPOS NOBREGA ANDRÉ<sup>1\*</sup>; AMANDA PRISCILA SILVA NASCIMENTO<sup>2</sup>; RAPHAEL LUCAS JACINTO ALMEIDA<sup>3</sup>; NEWTON CARLOS SANTOS<sup>4</sup>; RENATA DUARTE ALMEIDA<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Doutoranda do programa de Engenharia de Processos, UFCG, Campina Grande-PB, anastaciakiakella@gmail.com;

<sup>2</sup>Mestranda do programa de Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, amandapriscil@yahoo.com.br.

<sup>3</sup>Mestrando em Engenharia Química, UFCG, Campina Grande-PB, raphaelqindustrial@gmail.com;

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

<sup>5</sup>Doutora do Departamento de Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, renatadual@yahoo.com.br.

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** O maracujá-amarelo é um fruto de ciclo rápido, requer práticas especializadas de cultivo e de fácil adaptação em pequenas propriedades. O objetivo deste trabalho foi de secar as sementes de maracujá, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, e analisar o ajuste dos modelos matemáticos de secagem aos dados experimentais. Os modelos matemáticos utilizados durante o processo de secagem foi Cavalcanti Mata, Page e Parry, para análise dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais utilizou-se o programa computacional STATISTICA 7.0, empregou-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). Os modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Page e Parry, se ajustaram bem aos dados experimentais das secagens, podendo ser utilizados na predição das cinéticas de secagem, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. O tempo de secagem das sementes de maracujá diminuiu em função do aumento da temperatura de secagem. No entanto, o modelo de Cavalcanti Mata, foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem convectiva, a temperatura de secagem de 50°C, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 99,911% e desvio quadrático médio (DQM) de 0,0104.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cavalcanti Mata, Page, Parry, modelos matemáticos.

### **MATHEMATICAL MODELING FOR DESCRIPTION OF DRYING KINETICS OF YELLOW MARACUJÁ SEEDS**

**ABSTRACT:** Yellow passion fruit is a fast-growing fruit, requiring specialized cultivation practices and easy adaptation to small properties. The objective of this work was to dry the passion fruit seeds, at temperatures of 50, 60 and 70 ° C, and to analyze the adjustment of the mathematical models of drying to the experimental data. The mathematical models used during the drying process were Cavalcanti Mata, Page and Parry, for the analysis of the adjustments of the mathematical models to the experimental data, the statistical software STATISTICA was used, the non-linear regression analysis was performed using the Quasi- Newton. The models were selected taking as parameter the magnitude of the coefficient of determination ( $R^2$ ) and the mean square deviation (DQM). The mathematical models of Cavalcanti Mata, Page and Parry, adjusted well to the experimental data of the dryings, and can be used in the prediction of drying kinetics at temperatures of 50, 60 and 70 ° C. The drying time of the passion fruit seeds decreased as a function of the drying temperature increase. However, the Cavalcanti Mata model was the best fit for the convective drying experimental data, the drying temperature of 50 ° C, with a determination coefficient ( $R^2$ ) of 99.911% and mean square deviation (DQM) of 0.0104.

**KEYWORDS:** Cavalcanti Mata, Page, Parry, mathematical models.

## INTRODUÇÃO

O maracujá-amarelo é originário da América Tropical, espécie de clima tropical e subtropical, tendo o seu cultivo em regiões livres de geadas severas. No Brasil, é o mais cultivado e comercializado, destacando o estado do Paraná como um dos estados com maior área apta para o seu cultivo em diferentes regiões. É um fruto de ciclo rápido, requer práticas especializadas de cultivo e de fácil adaptação em pequenas propriedades. Economicamente, é um importante fator de renda para muitos agricultores familiares, com importância significativa na base da economia de 14 alguns municípios do litoral e da região central do Paraná (Carvalho et al., 2015)

A secagem é um método clássico amplamente utilizado, de baixo custo e de simples operação, dispõe inúmeras vantagens, tais como, a fácil conservação do alimento e dos componentes aromáticos que permanecerão estáveis à temperatura ambiente por um período de tempo maior, a proteção contra degradação enzimática e oxidativa, o peso reduzido do produto, a redução de gastos em termos de energia, pois a refrigeração não é necessária e a oferta do produto em qualquer período do ano (Leite et al., 2016).

Por meio da secagem é possível determinar a cinética de secagem, a qual define o comportamento de um material sólido que é desidratado, sendo expresso pelas curvas e taxa de secagem (Menezes et al., 2013). A cinética quantifica a água evaporada, o tempo de secagem, a energia consumida, entre outros fatores. As curvas de secagem são obtidas por meio de pesagens sucessivas, durante o tempo de estância do material no equipamento, determinando-se assim a umidade perdida ao longo do processo (Chielle, 2014). Os modelos matemáticos aplicados nas cinéticas de secagem para descrever o processo de perda de água do produto em relação ao tempo de secagem levam em consideração fatores externos, como por exemplo, a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem.

Diante do exposto, existe a necessidade de estudos sobre o comportamento durante o processo de secagem, com isto, o objetivo deste trabalho foi de secar as sementes de maracujá, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, e analisar o ajuste dos modelos matemáticos de secagem aos dados experimentais.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Secagem, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Alimentos, da Universidade Federal de Campina Grande, PB.

As sementes de maracujá, foram adquiridas de um projeto de pesquisa com a polpa deste fruto, realizado no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA).

As amostras foram colocadas em bandejas de aço inoxidável, e uniformemente espalhadas, formando uma camada fina. A seguir, as bandejas foram colocadas em um secador com circulação de ar com velocidade de ar de 1,5 m/s, para a realização da secagem das sementes de maracujá nas temperaturas de 50, 60 e 70°C. Durante a secagem se fez o acompanhamento da perda de massa e no final das secagens foram determinadas as massas secas e calculados os teores de água de acordo com IAL (2008).

Através dos dados experimentais, foi possível calcular os valores da razão do teor de água (Equação 1). Com o cálculo da razão de teor de água das sementes de maracujá, traçaram-se as curvas da cinética de secagem, representada pela razão do teor de água em função do tempo de secagem em minutos. Os modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Page e Parry (Tabela 1), foram ajustados aos dados experimentais.

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

Onde:

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

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

Modelo	Equação
Cavalcanti Mata	$RX = a_1 \times \exp(-Bxt^{a_2}) + a_3 \times \exp(-B \times t^{a_4}) + a_5$
Page	$RX = \exp(-k \times t^n)$
Parry	$RX = a \times \exp(-k \times t) + c$

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 2).

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

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 2 encontram-se os valores dos parâmetros dos modelos matemáticos Cavalcanti Mata, Page e Parry, ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem das sementes de maracujá, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvio quadrático médio (DQM), para a temperatura de 50, 60 e 70°C.

Tabela 2. Parâmetros dos modelos matemáticos Cavalcanti Mata, Page e Parry, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e desvio quadrático médio (DQM) na secagem a 50, 60 e 70°C para sementes de maracujá.

Modelo	T(°C)	a	a1	k	n	c	b	a2	a3	a4	a5	R <sup>2</sup>	DQM
Cavalcanti Mata	50	-	0,4675	-	-	-	0,0051	0,5187	0,9305	0,9142	-0,4147	99,911%	0,0104
	60	-	0,5675	-	-	-	0,0151	0,7138	0,5675	0,7138	-0,1477	99,868%	0,0122
	70	-	0,6630	-	-	-	0,0242	0,6416	0,5290	0,6416	-0,1960	99,766%	0,0159
Page	50	-	-	0,0054	0,9171	-	-	-	-	-	-	99,746%	0,0174
	60	-	-	0,0118	0,8138	-	-	-	-	-	-	99,375%	0,0266
	70	-	-	0,0176	0,7686	-	-	-	-	-	-	99,129%	0,0307
Parry	50	0,9713	-	0,0030	-	-0,0138	-	-	-	-	-	99,839%	0,0142
	60	0,9287	-	0,0036	-	-0,0123	-	-	-	-	-	99,391%	0,0263
	70	0,9057	-	0,0043	-	-0,0067	-	-	-	-	-	98,875%	0,0349

Observa-se na Tabela 2 que os modelos matemáticos mostram-se equivalentes quanto ao ajuste, visto que apresentaram valores elevados para o coeficiente de determinação, acima de 98,875%, estes, semelhantes aos de Costa et al. (2015), que determinando a cinética de secagem de frutos de crambe em camada delgada encontrou valores de ( $R^2$ ) superiores a 98% constituindo uma representação satisfatória do fenômeno em estudo. Considerando o maior coeficiente de determinação de 99,911% para o modelo de Cavalcanti Mata a temperatura de secagem de 50°C.

O desvio quadrático médio (DQM) apresentou-se valores superiores a 0,0104 e inferiores a 0,0349, os modelos matemáticos que apresentaram menor valor de DQM foi o de Cavalcanti Mata para secagem de 50°C, e o maior valor foi de Parry para secagem de 70°C.

A temperatura de secagem tem efeito significativo sobre o parâmetro “k” no modelo matemático de Page e Parry. O parâmetro “k”, que representa a constante da taxa de secagem, aumenta com a elevação da temperatura, fato também observado por Santos et al., (2018) na cinética de secagem das sementes de maracujá.

Nas Figuras de 1 a 3, as curvas de secagem das sementes de maracujá, submetida à secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, aplicadas aos modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Page e Parry, respectivamente.

Figura 1. Curvas de secagem dos dados experimentais e preditos das sementes de maracujá, submetida à secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, pelo modelo matemático de Cavalcanti Mata.

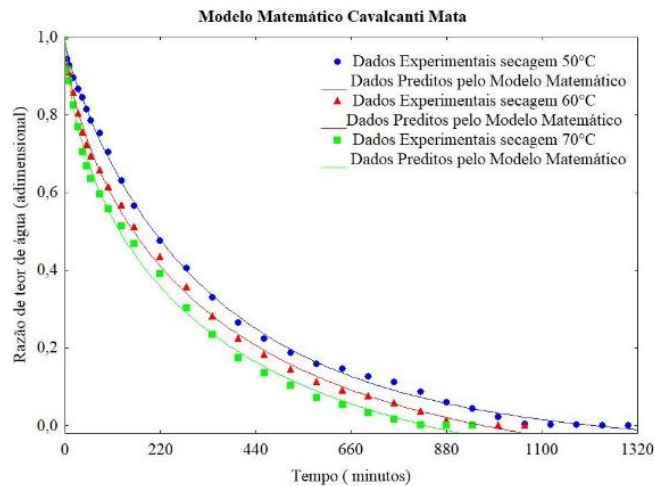


Figura 2. Curvas de secagem dos dados experimentais e preditos das sementes de maracujá, submetida à secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, pelo modelo matemático de Page.

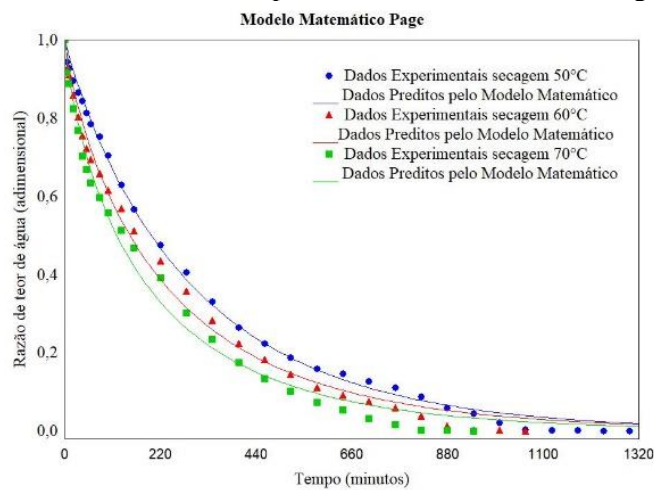
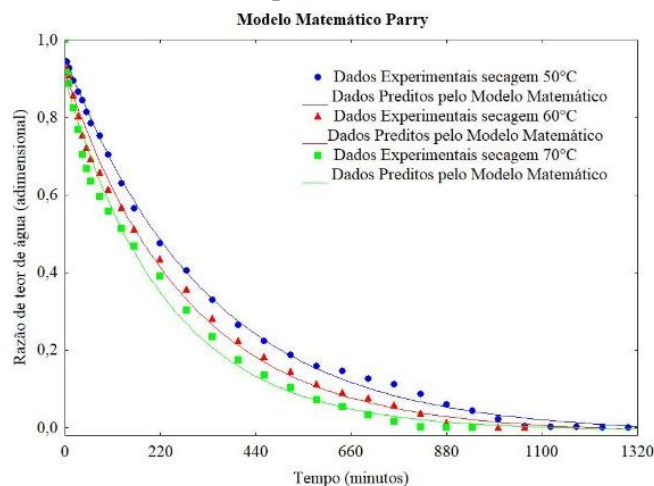


Figura 3. Curvas de secagem dos dados experimentais e preditos das sementes de maracujá, submetida à secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, pelo modelo matemático de Parry.



Observa-se que, o aumento da temperatura do ar de secagem provoca uma redução no tempo de secagem até que o equilíbrio seja atingindo, o que também foi observado por Silva et al., (2016) trabalhando com a secagem das sementes de maracujá ‘brs’ perola.

## CONCLUSÃO

Os modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Page e Parry, se ajustaram bem aos dados experimentais das secagens, podendo ser utilizados na predição das cinéticas de secagem, nas

temperaturas de 50, 60 e 70 °C. O tempo de secagem das sementes de maracujá diminuiu em função do aumento da temperatura de secagem. No entanto, o modelo de Cavalcanti Mata, foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem convectiva, a temperatura de secagem de 50°C, com coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) de 99,911% e desvio quadrático médio (DQM) de 0,0104.

## REFERÊNCIAS

- Carvalho, S. L. C.; Stenzel, N. M. C.; Auler, P. A. M. Maracujá-amarelo: recomendações técnicas para cultivo no Paraná. IAPAR, Londrina - PR, 54 p., 2015.
- Chielle, D. P. Estudo da secagem de sementes de mamão papaya (*Carica papaya* L.) em secador convectivo horizontal e leito de jorro e a influência na extração de óleo. 2014. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Faculdade em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2014.
- Costa, L. M.; Resende, O.; Gonçalves, D. N.; Oliveira, D. E. C. Modelagem matemática da secagem de frutos de crambe em camada delgada. Bioscience Journal, v.31, n.2, p. 392-403.2015.
- IAL (INSTITUTO ADOLFO LUTZ). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4ed. São Paulo: IAL, 2008. 1018p.
- Leite, D. D. F.; Pereira, E. M.; Albuquerque, A. P.; Mendes, F. A.; Alexandre, H. V. Avaliação da cinética de secagem da carambola em secador convectivo. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. Pombal/PB, v. 11, n. 2, 2016.
- Menezes, M. L.; Ströher, A. P.; Pereira, N. C.; Barros, S.T. D. Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá- amarelo. Revista Engevista. v. 15, n. 2, p. 176-186, Agosto, 2013.
- Santos, H. H.; Rodovalho, R. S.; Silva, D. P.; Morgado, V. N. M. Drying kinetics of passion fruit seeds. Científica, Jaboticabal, v.46, n.1, p.49-56, 2018.
- Silva, D. D. A.; Vespucci, I. L.; Araujo, Y. J. D.; Santos, M. M.; Devilla, I. A. Determinação das curvas de secagem das sementes de maracujá 'brs' pérola do cerrado. In: III Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG, 3, 2016, Pirenópolis-GO, *Anais...*, Pirenópolis-GO, 2016.