

**Influência da temperatura na secagem da casca do mangostim
(*Garcinia mangostana*) e avaliação de modelos matemáticos**

**Influence of temperature at drying the mangosteen's (*Garcinia
mangostana*) peel and analysis of mathematical models**

DOI:10.34117/bjdv8n8-265

Recebimento dos originais: 21/06/2022

Aceitação para publicação: 29/07/2022

Jennifer Ines Di Silva Bonzi

Engenheira de Alimentos

Instituição: Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)

Endereço: Rod. Dourados, Itahum, Km 12, Unidade II, CEP: 79804-970,
Dourados - MS

E-mail: jennibonzi@gmail.com

Otávio Maticoli Ferreira

Mestre em Ciências e Tecnologia de Alimentos

Instituição: Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)

Endereço: Rod. Dourados, Itahum, Km 12, Unidade II, CEP: 79804-970,
Dourados - MS

E-mail: otavio_maticolli@hotmail.com

Carolina Mieko Murakami

Engenheira de Alimentos

Instituição: Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)

Endereço: Rod. Dourados, Itahum, Km 12, Unidade II, CEP: 79804-970,
Dourados - MS

E-mail: carolina_smc@hotmail.com

Silvia Maria Martelli

Doutora em Engenharia de Alimentos

Instituição: Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)

Endereço: Rod. Dourados, Itahum, Km 12, Unidade II, CEP: 79804-970,
Dourados - MS

E-mail: silviamartelli@ufgd.edu.br

Leandro Osmar Werle

Doutor em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)

Endereço: Rod. Dourados, Itahum, Km 12, Unidade II, CEP: 79804-970,
Dourados - MS

E-mail: leandrowerle@ufgd.edu.br

Raquel Manozzo Galante

Doutora em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)

Endereço: Rod. Dourados, Itahum, Km 12, Unidade II, CEP: 79804-970,

Dourados - MS

E-mail: raquelgalante@ufgd.edu.br

RESUMO

O mangostin (*Garcinia mangostana*) é uma fruta tropical original do sudeste da Ásia, sendo que as diferentes xantonas presente em sua casca despertou grande interesse na indústria farmacêutica e alimentícia. Este trabalho teve por objetivo analisar a cinética da secagem do mangostin em diferentes temperaturas, e ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais. O coeficiente de determinação (R^2), erro percentual médio absoluto (MAPE) e erro quadrático médio (MSE) foram utilizados para analisar o grau de ajuste dos modelos. Verificou-se que o tempo mínimo para a secagem foi de 13h para a temperatura de 50°C, e os valores obtidos para a difusividade efetiva variou de $2,06 \cdot 10^{-3}$ a $2,55 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ para as temperaturas estudadas. Com relação ao ajuste dos modelos, o de Midilli foi o que melhor representou os dados experimentais da cinética do mangostin, seguido do modelo Logarítimo.

Palavras-chave: cinética, difusividade efetiva, secador de bandeja, taxa de secagem.

ABSTRACT

Mangosteen (*Garcinia mangostana*) is a tropical fruit from Southeast Asia, the different types of xanthenes present in its peel have attracted the pharmaceutical and food industry. Objectives were to analyze the drying kinetics of mangosteen at different temperatures and to adjust the mathematical models at experimental data. The coefficient of determination (R^2), mean absolute percentage error (MAPE) and mean square error (MSE) were used to analyze the fitting degree of the models. It was verified that the minimum time for drying was 13h for the temperature of 50°C. Through the values obtained, the range of the effective diffusivity was from $2.06 \cdot 10^{-3}$ to $2.55 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ for the temperatures at this study. In addition, the adjustment of the models, the best model fitting was Midilli which had a great description about the experimental data of the mangosteen kinetics, followed by the Logarítimo model.

Keywords: kinetics, effective diffusivity, tray dryer, drying rate.

1 INTRODUÇÃO

A secagem é um dos processos mais antigos e utilizados para conservação de alimentos, sendo uma operação unitária frequentemente utilizada em diferentes indústrias alimentícias. Tem como principal objetivo remover água livre dos alimentos a nível de impedir o crescimento microbiano, com intuito de prolongar a vida de prateleira. O processo de secagem traz outros benefícios além da conservação, devido à perda de peso e volume, permite uma redução de custo de embalagens, maior controle, armazenamento e transporte. Os alimentos sofrem um impacto marcante quanto a textura, cor, aroma e

composições nutricionais, as quais são resultados das mudanças físicas, químicas e biológicas que ocorrem durante a secagem. Por isso, a secagem é um processo complexo em alimentos, pois além de estender a vida útil, permite a obtenção de um produto final com qualidade nutricional e com parâmetros organolépticos aceitáveis (Valentas, Rotstein & Singh, 1997).

Os estudos que envolvem a secagem são de amplo espectro como foi dito previamente. Entre estes, está a cinética de secagem que pode ser obtida por meio da remoção de umidade do sólido estudado ao longo do tempo. A curva de secagem de um sólido úmido é determinada conforme o fluxo de ar, a uma dada temperatura, já a taxa de secagem é a derivação dos dados de umidade em função do tempo (Menezes, Stroher, Pereira & Barros, 2013). Os dados obtidos a partir da cinética de secagem são essenciais, pois por meio destes é possível prever o tempo de secagem do produto, o tempo de produção, bem como calcular e avaliar a variação energética que está diretamente conectada ao custo de processamento e ao preço final do produto. Em síntese, os dados obtidos fornecem informações para o desenvolvimento de processos e dimensionar equipamentos (Alexandre et. al., 2013).

Mangostin ou mangostão (*Garcinia mangostana*) é uma fruta tropical original do sudeste da Ásia, a qual é conhecida como “Rainha das frutas” devido ao seu agradável e característico sabor (Pedraza, Cárdenas, Orozco & Pérez, 2008; Jung, Su, Keller, Mehta & Kinghorn, 2006). O pericarpo do mangostin tem sido utilizada na medicina popular para tratamento de traumas, dermatites, dores abdominais, disenteria e feridas (Peres, Nagem e Oliveira, 2000). Possui derivados de xantona, que são os principais metabólitos secundário bioativo do mangostin, os quais possuem propriedades farmacológicas, como bactericida, antifúngico, antioxidante, anti-inflamatório e antialérgico (Pedraza et al., 2008; Obolskiy, Pischel, Siriwaranametanon & Heinrich, 2009). Segundo Carvalho (2014), encontraram-se pelo menos oito xantonas na casca (epicarpo mais mesocarpo) do mangostin, sendo que a casca representa 70% da massa do fruto, tal fato despertou o interesse na indústria de alimentos e de fármacos.

De acordo com Rahman (2007) e Heldman & Lund (2007), a viabilidade econômica que produtos alimentícios secos ou desidratados trazem é marcante devido ao valor agregado no produto final, de acordo com sua qualidade nutricional. Estas características incentivam o interesse no aprofundamento do estudo do processo de secagem.

As variáveis envolvidas na cinética de secagem, tais como temperatura, velocidade e umidade relativa do ar, são necessárias para aplicação da modelagem matemática. Estes modelos empregam tais variáveis para realizar as simulações visando reprodutibilidade do processo de secagem, com isso agregam informações relevantes para o estudo e para o produto final, pois demonstram análise de resultados preliminares, melhor controle e caracterização do processo. Os distintos modelos matemáticos que caracterizam os processos, são classificados como modelos analíticos, empíricos e semi-empíricos (Domenico & Conrad, 2015; Teixeira, Zunga & Ribeiro, 2015).

Diferentes modelos matemático são desenvolvidos e aplicados para simular a trajetória da umidade e a transferência de massa em diferentes produtos. Os seguintes modelos matemáticos, Dois termos, Henderson e Pabis, Lewis, Page e Page Modificado, tem uma frequente aplicação no processo de secagem de produtos agroindustriais (Aregbesola, Ogunsina & Chime, 2015; Domenico & Conrad, 2015).

Apesar da cinética de secagem em diferentes frutas e vegetais ser amplamente estudada, a literatura é escassa em se tratando do estudo de secagem para a *Garcinia mangostana*. Sendo assim, o presente trabalho, teve por objetivo secar a casca do mangostin em diferentes temperaturas (50, 60 e 70°C), ajustar os distintos modelos matemático aos dados experimentais obtidos para verificar qual é o mais representativo do processo analisado e calcular a difusividade efetiva em cada temperatura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATÉRIA PRIMA

De acordo com Carvalho (2014), o mangostin é do tipo bacáceo, subgloboso, com a coloração púrpuro-violácea na casca, a qual representa a maior parte do fruto, já a polpa branca apresenta formato circular em gomos com a coloração branca, apresentando de 0 a 3 sementes. O produto foi obtido no mercado local na cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

A amostra foi obtida a partir de dois cortes longitudinais paralelos na casca do mangostin, com espessura de aproximadamente de $1,17\text{cm} \pm 0,11$, obtendo uma superfície plana exposta ao ar de secagem, sendo sua área calculada para uma geometria de coroa circular.

2.2 SECAGEM

Para a secagem foi utilizado secador de bandeja vertical com fluxo de ar, velocidade constante de 2 m/s, nas temperaturas 50, 60 e 70°C. A escolha de valores baixos das temperaturas é devido a presença de antioxidantes. Para manter os mesmos parâmetros na amostra, foi utilizada somente uma bandeja do secador para as 3 temperaturas avaliadas, este procedimento é recomendado de acordo com Munhoz, Sanjinez-Argadoña, Campagnolli e Macedo (2014).

Para o controle da remoção de umidade da amostra, estas foram pesadas em intervalos de 10 min. nas duas primeiras horas, de 20 min. na terceira hora, de 30 min. na quarta e, após, de hora em hora até obter peso constante, atingindo-se a umidade de equilíbrio. Posteriormente, a amostra foi deixada por 24 horas no secador até a umidade da amostra estabilizar com a umidade relativa do ar seco, ou seja, até atingir a umidade de equilíbrio, obtendo-se o peso final do sólido seco.

Os dados experimentais obtidos durante o processo de secagem, foram ajustados utilizando modelos matemáticos, os quais relacionam o adimensional de umidade pelo tempo de secagem. Para o presente trabalho foram utilizados os modelos de Page, Midilli, Newton, Logaritmo e Verna, conforme apresentado na Tabela 1.

Para o cálculo da difusividade foi utilizado a equação da Segunda Lei de Fick, truncada no primeiro termo (Equação 6), considerando material homogêneo e placa plana, pois a secagem ocorreu com fluxo de ar paralelo a superfície do corte longitudinal da casca.

Tabela 1. Equações dos modelos utilizados no ajuste das cinéticas de 50, 60 e 70°C

	Nome do modelo	Equação do modelo	Referências
(1)	Page	$y = \exp(-kt^n)$	Page (1948)
(2)	Midilli	$y = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli, Kucuk & Yapar (2002)
(3)	Newton	$y = \exp(-kt)$	Ayensy (1997)
(4)	Logaritmo	$y = b \exp(-kt) + c$	Yaldiz, Ertekin & Uzun (2001)
(5)	Verna	$y = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-bt)$	Verna, Bucklin, Endan & Wratten (1985)
(6)	Segunda Lei de Fick	$y = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp^{-D_{ef} \left(\frac{\pi}{2L}\right)^2 t}$	Doymaz (2007), Karina & Guillermo (2008)

Onde:

k: coeficientes de secagem (minuto);

a, b, c, n: constantes dos modelos (adimensional);

y: adimensional de umidade;

D_{ef} : difusividade efetiva ($\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$);

t: tempo de secagem (minutos);

L: espessura (cm);

X: teor de umidade do produto ($\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{sólido seco}}$);

X_0 : teor de umidade inicial do produto ($\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{sólido seco}}$);

X_e : teor de umidade de equilíbrio do produto ($\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{sólido seco}}$).

Como critério de seleção, para o modelo que melhor representou o processo de secagem, foram utilizados o coeficiente de determinação (R^2), o erro percentual médio absoluto (MAPE) (Equação 7) e o erro quadrático médio (MSE) (Equação 8). O MSE é uma medida estatística padrão, o qual pode ser utilizado para definir o modelo de previsão mais preciso, quanto mais próximo de zero, mais preciso será o modelo ajustado. O MAPE apresenta uma medida de erro relativa sendo considerado como uma das medidas mais usadas para se avaliar os modelos de previsão, segundo Mohapatra & Rao (2005), o modelo pode ser considerado preditivo quando são encontrados valores inferiores a 10% para este parâmetro:

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right| \quad (7)$$

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - F_t)^2 \quad (8)$$

Onde:

Y_t = valores preditos pelo modelo matemático;

F_t = valores obtidos experimentalmente;

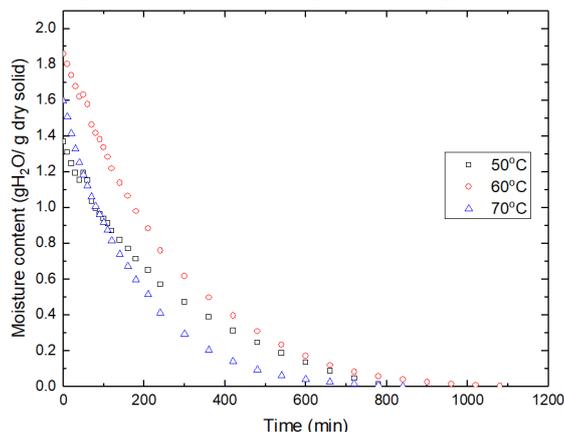
n = número de observações ao longo do experimento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade inicial da amostra variou para cada cinética, sendo de 1,37, 1,86 e 1,60 $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{sólido seco}}$ para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente. Na Figura 1, que relaciona o conteúdo de umidade pelo tempo de secagem, observa-se que para as temperaturas de 50°C e 70°C, o tempo para atingir o equilíbrio foram semelhantes, sendo

de 13h e 14h, respectivamente. Já para a temperatura de 60°C o tempo de estabilização foi de 18h. Tal comportamento se justifica pelo elevado conteúdo de umidade inicial apresentado nas amostras de 60 e 70°C, sendo que a umidade inicial da amostra utilizada a 60°C é 36% maior que a de 50°C.

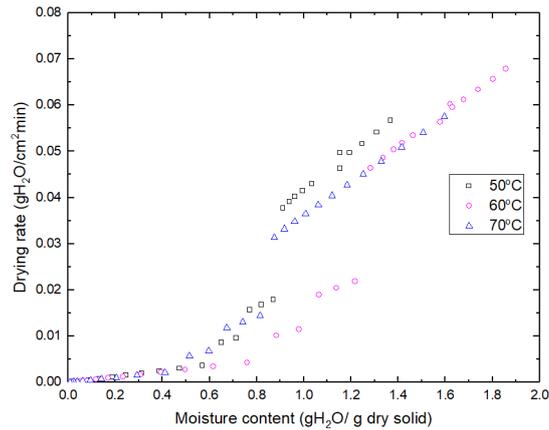
Figura 1. Curva de secagem do mangostim.



A taxa constante durante o processo de secagem é característica em alimentos com alto teor de proteína (Chirife, 1983). Conforme a Figura 2, que representa a taxa de secagem pelo conteúdo de umidade, não houve período constante, pois o mangostim não possui alto teor de proteína, sendo 1 a 3% dependendo da safra, segundo Chisté, Faria, Lopes & Mattietto (2009). As três diferentes temperaturas de secagens, tiveram o mesmo comportamento de taxa de secagem decrescente, característico da difusão molecular interna, o qual é o principal mecanismo da transferência de massa. Comportamento semelhante foi observado por Kaya, Aydim & Kolauli (2010) para a secagem do kiwi, Menezes et al., (2013) que estudaram a secagem do bagaço do maracujá-amarelo e Munhoz et al., (2014) e Rahman, Wahid e Rahman (2015) para a secagem da semente/polpa de bocaiuva e do rambutão, respectivamente.

Nota-se que a velocidade de secagem para a temperatura de 50°C foi maior quando comparada com as demais temperaturas estudadas. Já para as temperaturas de 60 e 70°C, as velocidades iniciais foram semelhantes, porém, posteriormente, a cinética de 60°C apresentou uma queda acentuada durante o processo de secagem. Este comportamento pode ser atribuído a variação de umidade inicial entre as amostras, conforme Figura 1.

Figura 2. Taxa de secagem do mangostin.



A temperatura interfere na velocidade de remoção da umidade, diminuindo o tempo de secagem para amostras com teores semelhantes de umidade inicial, sendo que esta influência não foi observada neste estudo, em virtude do teor inicial de água presente no mangostin. Verifica-se na Figura 2 que a redução da umidade é mais acentuada no início, e no final é mais lenta até estabilizar. Munhoz et al., (2014) também observou a relação entre temperatura e taxa de secagem analisando diferentes frutos.

As Figuras 3, 4 e 5, apresentam o ajuste dos modelos matemáticos (Tabela 1) aos dados experimentais de secagem do mangostin para as três temperaturas estudadas, e os parâmetros estatísticos utilizados para escolha do melhor modelo matemático são apresentados na Tabela 2.

Figura 3. Cinética de secagem a 50°C ajustada em diferentes modelos.

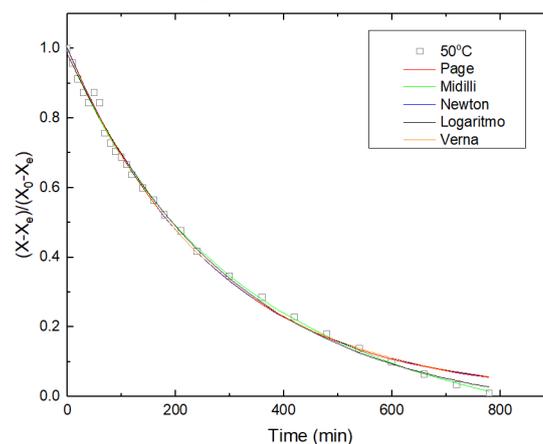


Figura 4. Cinética de secagem a 60°C ajustada em diferentes modelos.

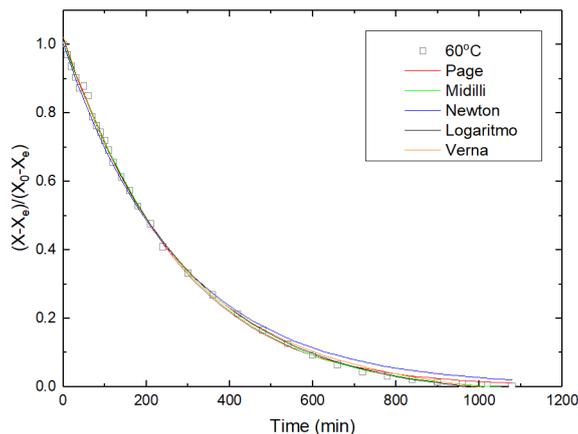


Figura 5. Cinética de secagem a 70°C ajustada em diferentes modelos.

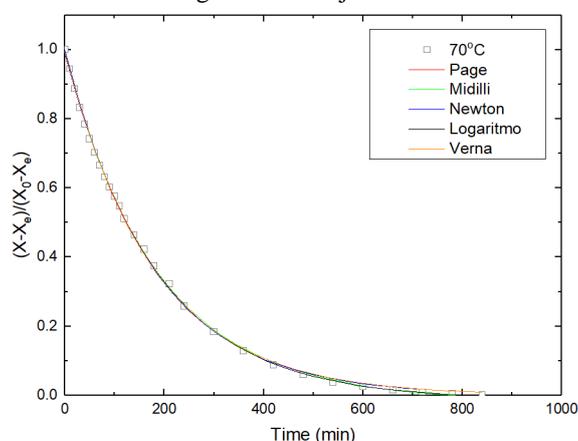


Tabela 2. Critérios de avaliação dos ajustes dos modelos aplicados aos dados experimentais.

Modelos matemáticos	R ² (decimal)			MSE (decimal)			MAPE (%)		
	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
Page	0.9956	0.9992	0.9992	0.0004	0.0001	0.00010	25.1513	43.3355	34.7287
Midilli	0.9974	0.9995	0.9996	0.0002	0.0001	0.00004	3.95490	17.2490	24.1760
Newton	0.9957	0.9969	0.9993	0.0004	0.0004	0.00010	26,3013	90.7463	30.8651
Logaritmo	0.9969	0.9991	0.9996	0.0003	0.0001	0.00004	11.0158	39.9240	12.4084
Verna	0.9954	0.9988	0.9993	0.0002	0.0002	0.00010	5.39750	73.8387	34.9080
Segunda Lei de Fick	0.9956	0.9979	0.9919	0.0004	0.0003	0.00010	26.6221	76.6458	33.2911

A partir do ajuste dos modelos matemáticos, verifica-se que todos obtiveram um bom ajuste com relação ao coeficiente de determinação (R^2), com valores superiores a 0,99, sendo que o modelo de Midilli apresentou os maiores valores. Porém, somente a análise do coeficiente de determinação não é suficiente para afirmar se o modelo é preditivo ou não de acordo com Madamba, Driscoll & Buckle (1996). Para tal, foram considerados o erro quadrático médio (MSE) e o erro percentual médio absoluto (MAPE),

sendo o primeiro utilizado para verificar a precisão dos resultados simulados com experimental, já o MAPE indica se o modelo é preditivo para valores inferiores a 10% (Mohapatra & Rao, 2005)

Em relação aos dois erros utilizados para a análise, o modelo de Midilli apresentou os menores valores de MSE, sendo considerado o modelo mais preciso de todos os modelos testados, seguido do modelo Logaritmo. Analisando o MAPE, verifica-se que o modelo Midilli resultou em menores erros na maiores das condições estudadas, porém não pode ser considerado preditivo, pois apresentou um valor inferior a 10% apenas na temperatura de 50°C.

Desta forma, dentre os modelos estudados, o modelo de Midilli é o que melhor descreve a cinética de secagem do mangostin, seguido do modelo Logaritmo. Isso pode ser atribuído, em parte, pelo fato destes modelos possuírem maior número de parâmetros de ajuste com relação aos demais modelos avaliados. Resultado semelhante foi encontrado por Reis et al., (2011) na secagem da pimenta Cumari e Sousa et al., (2017) na secagem da polpa do pequi.

A Tabela 3, mostra os valores dos parâmetros dos modelos ajustados neste trabalho. Percebe-se que os parâmetros pertencente a cada modelo, não tiveram uma tendência em função da temperatura, exceto o parâmetro k (constante de secagem) dos modelos Logaritmo e Verna, o qual aumentou com acréscimo da temperatura. Este comportamento obtido pela maioria dos modelos, não está de acordo com literatura, conforme Reis et al., (2011), que encontrou valores para k e n diretamente proporcionais com o aumento da temperatura, também encontrado por Nunes, Castro, Moreira, Sousa & Silva (2014), na secagem da polpa de jabuticaba em diferentes modelos e por Silva, Sousa, Sousa, Mata e Duarte (2014) na secagem dos grãos de guandu.

Tabela 3. Parâmetros pertencentes aos modelos aplicados nas cinéticas.

Modelos matemáticos	Parâmetros				
	T(°C)	k	n	a	b
Page	50	0.00346	1.01111		
	60	0.00214	1.09698		
	70	0.00588	0.99131		
Midilli	50	0.00524	0.91602	1.00238	-0.000106
	60	0.00235	1.07596	0.99945	-0.000016
	70	0.00611	0.97877	0.99438	-0.000021
Newton		k			
	50	0.00368			
	60	0.00362			
	70	0.00563			

		k	b	c
Logaritmo	50	0.00322	-1.04101	-0.05727
	60	0.00345	-1.05144	-0.03551
	70	0.00538	-1.00031	-0.01276
		k	a	b
Verna	50	0.00366	-0.99333	0.00365
	60	0.00366	-1.02367	-0.00242
	70	0.00556	-0.98633	0.00557
		k	a	
Segunda Lei de Fick	50	-0.00366	0.99700	
	60	-0.00378	1.02722	
	70	-0.00556	0.99192	

No cálculo da difusividade para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, foi utilizada a Equação 6, onde obteve-se os valores de $2,46 \cdot 10^{-3}$, $2,06 \cdot 10^{-3}$ e $2,55 \cdot 10^{-3}$ $\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$, respectivamente. Os valores da difusividade efetiva obtidos apresentaram valores coerentes com a literatura. Porém, no que se refere ao comportamento com relação a temperatura, observa-se na literatura que a difusividade efetiva e a temperatura apresentam uma tendência diretamente proporcional, conforme apresentado por Munhoz et al. (2014) e Reis et al. (2011).

Tal tendência pode ser explicada pelo comportamento descrito na Figura 2, para valores de umidade inferiores a $9 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{sólido seco}}$, na qual a taxa de secagem foi superior para a temperatura de 70°C, seguida das temperaturas de 50 e 60°C, justificadas pelo conteúdo de umidade inicial para cada amostra.

4 CONCLUSÕES

O tempo de secagem foi acima de 600 minutos para todas as temperatura estudadas, sendo que a secagem realizada a 60°C teve o maior tempo de secagem devido ao maior conteúdo de umidade inicial, comparada com as amostras das outras duas temperaturas avaliadas.

O modelo matemático de secagem proposto por Midilli et al., (2002) obteve o melhor ajuste aos dados experimentais de acordo com os critérios de seleção adotados, porém nenhum modelo estudado foi considerado preditivo para a cinética de secagem do mangostin.

A difusividade efetiva variou de $2,06 \cdot 10^{-3}$ a $2,55 \cdot 10^{-3}$ cm^2/min , para as temperaturas estudadas, apresentando valores condizentes com a literatura.

REFERÊNCIAS

- Alexandre, H. V., Silva, F. L. H., Gomes, J. P., Silva, O. S., Carvalho, J. P., & Lima, E. E. (2013). Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. *Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, 17 (6), 640-646.
- Aregbesola, O. A., Ogusina, B. S., & Chime, N. N. (2015). Mathematical model of thin layer drying characteristics of dika (*Irvingia gabonensis*) nuts and kernels. *Nigerian Food Journal* 33 (2015), 83-89.
- Ayensy, A. (1997). Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy*, 59, 121-126.
- Carvalho, J. E. U. (2014). Mangostanzeira: Botânica, propagação, cultivo e utilização. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36 (1), 148-155.
- Chirife, J. (1983). Fundamentals of drying mechanism during air dehydration of foods. In: Majumdar, A. S. (Ed.), *Advances in drying* (73–102). Washington/New York/London: Hemisphere Publishing Corporation.
- Chisté, R. C., Faria, L. J. G., Lopes, A. S., & Mattietto, R. A. (2009). Características físicas e físico-químicas da casca de mangostão em três período da safra. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31 (2), 416-422.
- Domenico, C. N. B. D., & Conrad, T. M. (2015). Simulação de processos de secagem através dos modelos matemáticos exponencial e de Page. *Vivências: Revista eletrônica de extensão da URI*, 11 (20), 134-146.
- Doymaz, I. (2007). Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 78, 1291-1297.
- Heldman, D. R., & Lund, D. B. (2007). *Handbook of Food Engineering*. CRC Press (2 ed.), Taylor and Francis Group.
- Jung, H. A., Su, B.N., Keller, W.J., Mehta, R.G., & Kinghorn, A.D. (2006). Antioxidant xanthenes from the pericarp of *Garcinia mangostana* (Mangosteen). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 2077-2082.
- Karina, S., & Guillermo, C. (2008). Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper. *Food Science and Technology – Lebensmittel – Wissenschaft & Technologie*, 41, 789-795.
- Kaya, A., Aydim, O., & Kolauli, S. (2010). Effect of diferent drying conditions on the vitamin C (ascorbic acid) content of Hayward kiwifruits (*Actinidia deliciosa planch*). *Food and Bioproducts Processing*, 88, 165-73.
- Madamba, P. S., Driscoll, R. H., & Buckle, K. A. (1996). Thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, 29, 75-97.
- Menezes, M. L. D., Stroher, A. P., Pereira, N. C., & Barros, S. T. D. (2013). Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarela. *Engevista*, 15 (2), 176-186.

- Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. A. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying Technology*, 20, 1503-1513.
- Mohapatra, D., & Rao, P. S. (2005). A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, 66, 513-18.
- Munhoz, C. L., Sanjinez-Argadoña, E. J., Campagnolli, R., & Macedo, M. L. R. (2014). Drying of the kernel and fresh and osmotically dehydrated bocaiuva pulps. *Acta Scientiarum. Technology*, 36 (1), 165-170.
- Nunes, J. S., Castro, D. S., Moreira, I. S., Sousa, F. C., & Silva, W. P. (2014). Descrição cinética de secagem da polpa de jabuticaba usando modelos empíricos. *Revista Verde*, 9 (1), 20-26.
- Obolskiy, D., Pischel, I., Siriwaranametanon, N., & Heinrich, M. (2009). *Garcinia mangostana* L.: a phytochemical and pharmacological review. *Phytotherapy Research*, 23 (2009), 1047-1065.
- Page, G. E. (1948). *Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer*. Indiana: Purdue University.
- Pedraza, J. C., Cárdenas, N. R., Orozco, M. I., & Pérez, J. M. R. (2008). Medicinal properties of mangosteen (*Garcinia mangostana*). *Food and Chemical Toxicology*, 46 (2008), 3227-3239.
- Peres, V., Nagem, T. J., & Oliveira, F. F. (2000). Tetraoxygenated naturally occurring xanthenes. *Phytochemistry*, 55 (2000), 683-710.
- Rahman, M. S. (2007). *Handbook of Food Preservation*. CRC Press (2 ed.), Taylor and Francis Group.
- Rahman, S. N. F. S. A., Wahid, R., & Rahman, N. A. (2015). Drying kinetics of *Nephelium lappaceum* (Rambutan) in a Drying Oven. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 195 (2015), 2734-2741.
- Reis, R. C., Barbosa, L.S., Lima, M. L., Reis, J. S., Devilla, I. A., & Ascheri, D. P. R. (2011). Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará. *Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, 15 (4), 347-353.
- Silva, L. M. M., Sousa, F. C., Sousa, E. P., Mata, M. E. R. M. C., & Duarte, M. E. M. (2014). Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de guandu. *Brazilian Journal of Food Technology*, 17 (4), 310-318.
- Sousa, E. P., Figueiredo, R. M. F., Gomes, J. P., Queiroz, A. J. M., Castro, D. S., & Lemos, D. M. (2017). Mathematical modeling of pequi pulp drying and effective diffusivity determination. *Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, 21 (7), 493-498.
- Teixeira, P. C. M., Zuniga, A. D. G., & Ribeiro, L. (2015). Modelagem matemática e cinética da secagem da amendoa do baru (*Dipteryx alata vog*). *Enciclopedia Biosfera, centro científico conhecer*, 11 (21), 1309.

Valentas, K. J., Rotstein, E., & Singh, R. P. (1997). *Handbook of Food Engineering Practice*. CRC Press: LLC.

Verna, L. R., Bucklin, R. A., Endan, J. B., & Wratten, F. T. (1985). Effects of drying air parameters on rice drying models. *Transaction of the ASAE*, 28, 296-301.

Yaldiz, O.; Ertekin, C.; Uzun, H.I. (2001). Mathematical modeling of thin- layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26, 457-465.