

Cinética de secagem de sementes de melão descrita por um modelo de difusão

Melon seed drying kinetics described by a diffusion model

Cinética de secado de semillas de melón descrita por un modelo de difusión

Recebido: 23/03/2020 | Revisado: 24/03/2020 | Aceito: 25/03/2020 | Publicado: 27/03/2020

Raphael Lucas Jacinto Almeida

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7232-2373>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: raphaelqindustrial@gmail.com

Newton Carlos Santos

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9603-2503>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: newtonquimicoindustrial@gmail.com

Tamires dos Santos Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2627-036X>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: tsantosp16@gmail.com

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6493-3203>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: virginia.mirtes2015@gmail.com

Victor Herbert de Alcântara Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6286-5403>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: victor_herbert@hotmail.com

Lucas Rodolfo Inácio da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3684-3117>

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: rodolfo_i@hotmail.com

Fellype Diorgennes Cordeiro Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5757-019X>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: fellypediorgennes22@gmail.com

Flávia Izabely Nunes Moreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8863-5526>

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Brasil

E-mail: flavia_izabely@hotmail.com

Soares Elias Rodrigues Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0908-4012>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: soareselias23@gmail.com

Raphael da Silva Eduardo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5968-7578>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: raphael_leahpar17@hotmail.com

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo realizar a cinética de secagem das sementes de melão em diferentes temperaturas de secagem e ajustar o modelo de difusão aos dados experimentais considerando a geometria de um cilindro infinito. As secagens foram realizadas em estufa de circulação de ar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e com velocidade do ar de 1,5 m s⁻¹, a partir dos dados obtidos e considerando as sementes de melão com geometria de um cilindro infinito foram calculados os parâmetros pela solução analítica por meio da equação de difusão. O coeficiente de determinação apresentou valores superiores a 0,99 e baixos valores da função qui-quadrado, indicando que o modelo de difusão apresentou ajuste satisfatório aos dados experimentais da cinética de secagem das sementes de melão. De acordo com os dados obtidos na cinética de secagem das sementes de melão foi visto que a difusividade efetiva, o coeficiente de transferência de calor e o número de *Biot* mostraram forte correlação positiva, indicando que o aumento da temperatura foi diretamente proporcional aos valores dos parâmetros de difusão calculados. O acréscimo da temperatura favorece a transferência de massa, diminuindo a umidade de equilíbrio dinâmico e o tempo de secagem que variou de 1020, 940 e 880 minutos para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, visualiza-se que para o maior intervalo de tempo maiores eram as variações de umidade no interior da semente.

Palavras-chave: Modelagem matemática; Cilindro infinito; Conservação; Correlação de Pearson.

Abstract

The present work aimed to perform the drying kinetics of melon seeds at different drying temperatures and to adjust the diffusion model to the experimental data considering the geometry of an infinite cylinder. The drying was carried out in an air circulation oven at temperatures of 50, 60 and 70 °C and with an air speed of 1.5 m s⁻¹, based on the data obtained and considering the melon seeds with infinite cylinder geometry. The parameters were calculated by the analytical solution using the diffusion equation. The coefficient of determination showed values above 0.99 and low values of the chi-square function, indicating that the diffusion model presented satisfactory adjustment to the experimental data of the drying kinetics of melon seeds. According to the data obtained in the drying kinetics of melon seeds, it was seen that the effective diffusivity, the heat transfer coefficient and the Biot number showed a strong positive correlation, indicating that the temperature increase was directly proportional to the values of the parameters calculated diffusion rates. The increase in temperature favors mass transfer, decreasing the dynamic equilibrium humidity and drying time, which varied from 1020, 940 and 880 minutes to temperatures of 50, 60 and 70 °C, it appears that for the longest interval greater time variations were the humidity variations inside the seed.

Keywords: Mathematical modeling; Infinite cylinder; Conservation; Pearson's correlation.

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar la cinética de secado de las semillas de melón a diferentes temperaturas de secado y ajustar el modelo de difusión a los datos experimentales considerando la geometría de un cilindro infinito. El secado se realizó en un horno de circulación de aire a temperaturas de 50, 60 y 70 °C y con una velocidad del aire de 1.5 m s⁻¹, en base a los datos obtenidos y considerando las semillas de melón con geometría cilíndrica infinita. los parámetros fueron calculados por la solución analítica usando la ecuación de difusión. El coeficiente de determinación mostró valores superiores a 0,99 y valores bajos de la función chi-cuadrado, lo que indica que el modelo de difusión presentó un ajuste satisfactorio a los datos experimentales de la cinética de secado de las semillas de melón. Según los datos obtenidos en la cinética de secado de las semillas de melón, se observó que la difusividad efectiva, el coeficiente de transferencia de calor y el número de Biot mostraron una fuerte correlación positiva, lo que indica que el aumento de temperatura fue directamente proporcional a los valores de los parámetros Tasas de difusión calculadas. El aumento de la temperatura favorece la transferencia de masa, disminuyendo la humedad de equilibrio dinámico y el tiempo de secado, que varió de 1020, 940 y 880 minutos a temperaturas de 50, 60 y 70

°C, parece que durante el intervalo más largo mayores variaciones de tiempo fueron las variaciones de humedad dentro de la semilla.

Palabras clave: Modelado matemático; Cilindro infinito; Conservación; La correlación de Pearson.

1. Introdução

As cucurbitáceas são culturas vegetais pertencentes à família *Cucurbitaceae*, cultivadas em todo o mundo em regiões quentes, e aparecem em várias formas e tamanhos. O melão persa é uma das plantas mais cucurbitáceas cultivadas na região mais quente do Irã e em alguns países vizinhos (Kotowski, 1962; Thompson, 1974; Saberali & Shirmohamadi-Aliakbarkhani, 2020). O melão é uma planta hortícola importante, com rica nutrição e com alto valor econômico. Em 2016, a área de plantio de melão no mundo era de 1,72 milhão de hectares, com um rendimento de 47 milhões de toneladas e a China responde por mais de 60%, criando um valor de exportação de cerca de US \$ 2,4 bilhões, tornando-se a segunda maior cultura econômica da família *Cucurbitaceae* (FAO, 2016).

A fim de evitar o impacto do clima adverso ou obter maior valor econômico com a produção fora da estação, a China, o Brasil e outros países importantes em cultivo de melão utilizam cada vez mais instalações protegidas, como estufas, no cultivo de melão (Aguilar et al., 2012; Huang et al., 2017). Ao mesmo tempo, a rotação curta ou a monocultura se tornou uma tendência mundial, e a rotação a longo prazo se torna inviável ou impraticável (Bennett et al., 2012; Zhang et al., 2020). No Brasil, a produção de melão está concentrada na região Nordeste. Essa safra mostra grande importância social e econômica, pois é um dos principais itens das exportações brasileiras, relevantes para a balança comercial do país, além de gerar renda e milhares de empregos em uma das regiões mais pobres do Brasil (Calixto et al., 2019; Ornellas et al., 2019).

A semente de melão pode ser usado para a extração de que é usado principalmente para consumo doméstico, embora usos medicinais e aplicações industriais para produção de biodiesel, sabão, detergentes e margarinas foram relatadas (Jarret et al., 2012; Oluba et al., 2011; Giwa, Abdullah & Adam, 2010; Ogbe & George, 2012; Nyakuma et al., 2018). Além disso a sementes de melão possui enormes quantidades resíduos de biomassa lignocelulósica que pode ser viável para a produção de etanol de segunda geração. O presente trabalho teve como objetivo realizar a cinética de secagem das sementes de melão em diferentes

temperaturas de secagem e ajustar o modelo de difusão aos dados experimentais considerando a geometria de um cilindro infinito.

2. Metodologia

As secagens das sementes de melão (*Cucumis melo* L.) foram realizadas em triplicata, utilizando estufa de secagem com circulação de ar forçado ajustado para operar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e com velocidade do ar de 1,5 m s⁻¹, nas quais as amostras foram distribuídas uniformemente em bandejas de tela de aço, formando uma camada fina. O teor de água inicial e final do produto, após a secagem foi determinado pelo método gravimétrico de acordo com a metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (Brasil, 2008).

Os dados experimentais foram expressos em termos de razão de teor de água (RX), como descrito na Equação (1):

$$RX = \frac{(X - X_e)}{(X_0 - X_e)} \quad (1)$$

em que: RX é a razão do teor de água (adimensional); X é o teor de água (base seca); X_e é o teor de água de equilíbrio (base seca) e X_0 é teor de água inicial (base seca).

Modelo de difusão

A Equação de difusão que descreve a secagem um produto na forma de um cilindro infinito pode ser escrita como:

$$\frac{\partial RX}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(rD \frac{\partial RX}{\partial r} \right) \quad (2)$$

em que: D é a difusividade efetiva de massa e r define uma posição no interior do cilindro com relação ao seu eixo axial. Neste trabalho, uma solução analítica da Equação (2) será usada para descrever a difusão de umidade em corpos cilíndricos.

Solução analítica para condição de contorno convectivo

A condição de contorno do terceiro tipo ou ainda condição de fronteira de Cauchy, é expressa pela imposição de fluxo difusivo interno igual no limite do cilindro infinito e do fluxo convectivo externo próximo a este limite, dado pela Equação (3).

$$-D \frac{\partial RX(r,t)}{\partial r} \Big|_{r=R} = hRX(r,t) \Big|_{r=R} \quad (3)$$

em que: h é o coeficiente de transferência convectiva de massa, $RX(r,t)$ é a razão do teor de umidade na posição radial r no tempo t , e R é o raio do cilindro infinito.

A solução $RX(r,t)$ da Equação (2) para um cilindro homogêneo infinito, com umidade inicial uniforme X_0 e condição de contorno definida pela Equação (3) pode ser obtida por separação de variáveis, o que resulta na Equação (4) (Luikov, 1968; Crank, 1992):

$$RX(r,t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n J_0(\mu_n r/R) \exp\left(-\mu_n^2 \frac{D}{R^2} t\right), \quad (4)$$

onde

$$A_n = \frac{2Bi}{J_0(\mu_n) [\mu_n^2 + Bi^2]} \quad (5)$$

em que J_0 é a função de Bessel de primeiro tipo e ordem zero. O parâmetro Bi é o número de Biot de transferência de massa e é dado pela Equação (6):

$$Bi = \frac{hR}{D}. \quad (6)$$

Os parâmetros μ_n são as raízes da seguinte equação transcendental:

$$\frac{J_0(\mu_n)}{J_1(\mu_n)} = \frac{\mu_n}{Bi}, \quad (7)$$

em que J_1 é a função de Bessel de primeiro tipo e ordem 1. A razão de umidade média no tempo t é dada por:

$$\overline{RX} = \frac{1}{V} \int RX(r, t) dV \quad (8)$$

em que V é o volume do cilindro.

Substituindo a Equação (4) na Equação (8) e integrando, a razão de umidade média do sólido cilíndrico no instante t é obtida:

$$RX(t) = \sum_{n=1}^{16} B_n \exp\left(-\mu_n^2 \frac{D}{R^2} t\right) \quad (9)$$

onde o número de termos do somatório foi estabelecido como 16, ao invés de infinito, e o parâmetro B_n é dado por:

$$B_n = \frac{4Bi^2}{\mu_n^2 (Bi^2 + \mu_n^2)} \quad (10)$$

Para obtenção dos parâmetros de processo D , h e Bi , a otimização do processo foi feita conforme metodologia descrita por Da Silva et al. (2010).

Análise estatística

O coeficiente de correlação de Pearson (r) foi calculado para avaliar a influência do aumento da temperatura nas variáveis quantitativas: difusividade efetiva, coeficiente de transferência de calor e número de Biot, para isso foi utilizado o software Statística 7.0.

3. Resultados

Na Tabela 1 estão expressos os resultados obtidos por solução analítica da equação de difusão nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, considerando as sementes de melão com geometria de um cilindro infinito e o coeficiente de correlação de Pearson.

Tabela 1 – Resultados obtidos pela solução analítica da equação de difusão e o coeficiente de correlação de Pearson.

Temperatura (°C)	D x 10 ⁻¹⁰ (m ² min ⁻¹)	h x 10 ⁻⁶ (m min ⁻¹)	Nº de <i>Biot</i>	R ²	χ^2
50	6,78	2,99	3,40	0,9980	0,006076
60	7,56	6,78	10,00	0,9966	0,009649
70	8,82	12,92	18,5	0,9955	0,012406
O coeficiente de correlação de Pearson (r)	+ 0,9908	+ 0,9908	+ 0,9974	-	-

Nota: D é a difusividade efetiva; h é o coeficiente convectivo de transferência de calor. Fonte: Própria (2020).

Observa-se que para a difusividade efetiva, houve um aumento em seus valores de $6,78 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$ para $8,82 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$ quando se teve aumento na temperatura de secagem de 50 °C para 70 °C. Silva et al. (2018) ao também realizarem a cinética de secagem de sementes de melão, obtiveram valores de difusividade variando de $1,553 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$ a $2,091 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$ quando a temperatura de secagem variou de 35 °C a 50 °C. Silva et al. (2019a) ao determinaram a difusividade efetiva em grãos de sorgo nas temperaturas variando de 40 a 80 °C, também observaram aumento nos valores quando se teve aumento da temperatura de secagem.

Segundo Alves et al. (2019) a difusividade efetiva indica a velocidade em qual água pode ser transferida do interior para a superfície do produto. Para Araújo et al. (2017) normalmente o coeficiente de difusividade é utilizado, devido à complexidade, além de limitadas informações a respeito do movimento da água no interior dos alimentos durante a secagem.

O coeficiente convectivo de transferência de calor, assim como a difusividade efetiva, o mesmo também apresentou relação direta com o aumento da temperatura de secagem. Variando de $2,99 \times 10^{-6} \text{ m min}^{-1}$ (50 °C) a $12,92 \times 10^{-6} \text{ m min}^{-1}$ (70 °C). Santos et al. (2019) ao também determinarem esse mesmo parâmetro em grãos de arroz preto nas temperaturas variando de 40 a 80 °C, obtiveram valores que variaram de 3,75 a $60,8 \times 10^{-5} \text{ m min}^{-1}$. Valores

elevados do coeficiente de transferência de calor tendem a apresentar um menor tempo para atingir a umidade de equilíbrio durante o processo de secagem (Santos et al., 2019).

Com relação aos valores do número de *Biot* os mesmos apresentaram relação direta com o aumento da temperatura de secagem, no entanto, os valores obtidos foram inferiores a 20; e o menor valor obtido foi de 3,40 para as sementes submetidas à 50 °C. De acordo com Kaya et al. (2010) e Ferreira et al. (2020) o número de *Biot* é indicativo da existência de fatores internos e resistências externas à transferência de água, sendo consideradas o caso mais realista em aplicações práticas.

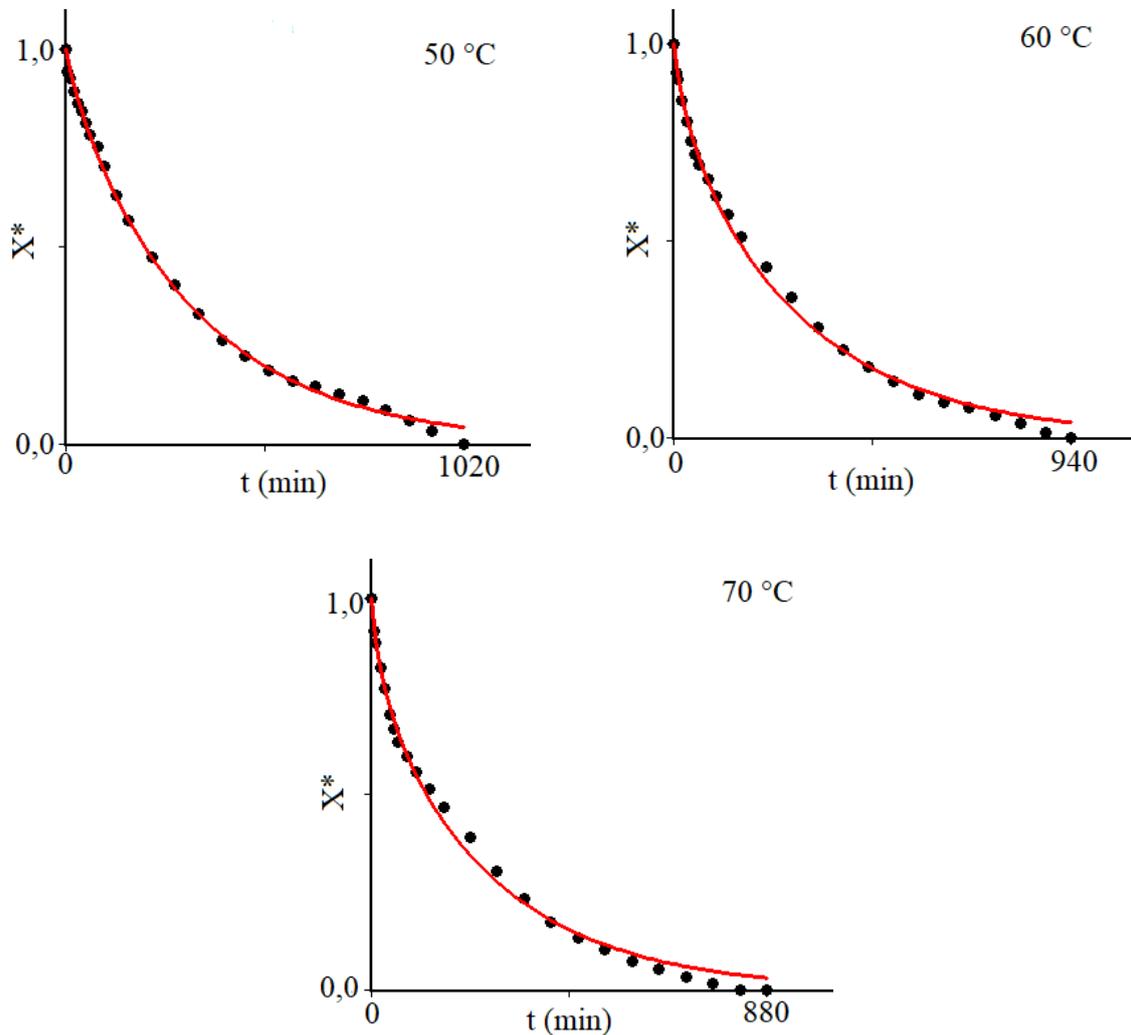
Então, uma possível razão para a falta de soluções analíticas na literatura para problemas de difusão com condição de contorno do terceiro tipo pode ser atribuída à grande quantidade de raízes, que deve ser determinada de forma a cobrir todo o domínio do número de *Biot*, quando são considerados muitos termos da série (Borges, 2016).

O coeficiente de determinação (R^2) apresentou valores superiores a 0,99 ($R^2 > 0,99$), variando de 0,9955 (70 °C) a 0,9980 (50 °C). Segundo Santos et al. (2020) o R^2 não constitui um bom parâmetro para representação do fenômeno de secagem, sendo portanto, avaliado também os valores da função qui-quadrado, que variou de 0,006076 a 0,012406 indicando que o modelo de difusão apresentou ajuste satisfatório aos dados experimentais da cinética de secagem das sementes de melão.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) apresentou um número positivo e acima de 0,99 para as 3 variáveis quantitativas avaliadas, indicando que há uma forte correlação positiva entre os dados. No qual o aumento da temperatura foi diretamente proporcional aos valores dos parâmetros de difusão calculados.

Na Figura 1 tem-se o ajuste do modelo de difusão aos dados experimentais da cinética de secagem das sementes de melão nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Figura 1 – Simulação do modelo de difusão aos dados experimentais da cinética de secagem das sementes de melão nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

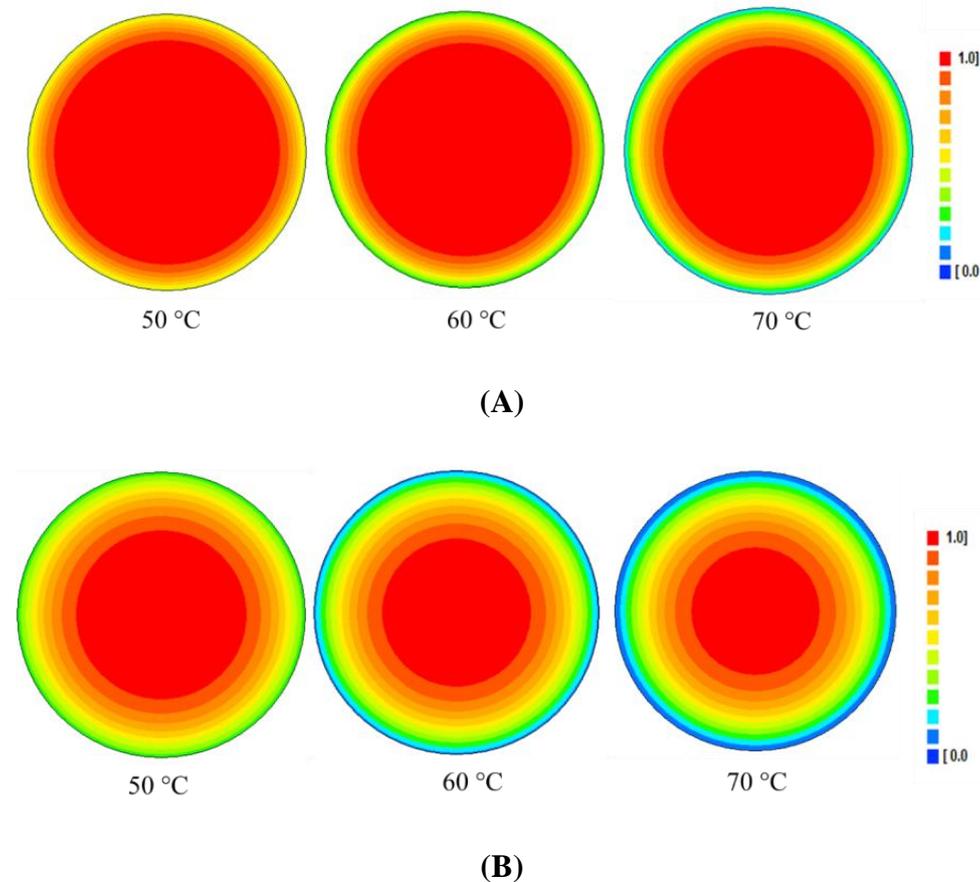


Fonte: Própria (2020).

O estudo da cinética de secagem das sementes de melão mostra que o acréscimo da temperatura favorece a transferência de massa, diminuindo a umidade de equilíbrio dinâmico e o tempo de secagem que variou de 1020, 940 e 880 minutos para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente. Segundo Ribeiro et al. (2019) e Silva et al. (2019b) a elevação da temperatura do ar de secagem desenvolve maior gradiente de umidade entre o produto e o ar, acarretando maior taxa de remoção de água, independentemente do tipo do material utilizado.

Na Figura 2, pode-se observar a distribuição de umidade no interior das sementes de melão nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e no tempo de 60 e 200 minutos.

Figura 2 – Distribuição espacial de umidade no interior das sementes de melão em diferentes tempos: A) 60 minutos e B) 200 minutos



Fonte: Própria (2020).

Através da análise dos gradientes de umidade existentes no interior das sementes de melão durante o processo de secagem, a perda de umidade do produto ocorre principalmente da parte externa à parte interna do produto. Fato este também verificado por Almeida et al. (2020) na secagem de fatias de beterraba.

Quando comparado as mesmas temperaturas (50, 60 e 70 °C) em intervalos de tempos diferentes (60 e 200 minutos) visualiza-se que para o maior intervalo de tempo maiores eram as variações de umidade no interior da semente. E que para o menor tempo e temperatura de exposição das sementes não se tinha uma expressiva variação de umidade.

4. Considerações finais

De acordo com os dados obtidos na cinética de secagem das sementes de melão foi visto que a difusividade efetiva, o coeficiente de transferência de calor e o número de Biot

mostraram forte correlação positiva, indicando que o aumento da temperatura foi diretamente proporcional aos valores dos parâmetros de difusão calculados.

O acréscimo da temperatura favorece a transferência de massa, diminuindo a umidade de equilíbrio dinâmico e o tempo de secagem que variou de 1020, 940 e 880 minutos para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C visualiza-se que para o maior intervalo de tempo, maiores eram as variações de umidade no interior da semente. Como sugestões de trabalhos futuros, pode-se realizar a cinética de secagem das sementes de melão, além de ajustar modelos matemáticos empíricos.

Referências

Aguiar, B. D. M., Vida, J. B., Tessmann, D. J., Oliveira, R. R. D., Aguiar, R. L., Alves, T. C. A., 2012. Fungal species that cause powdery mildew in greenhouse-grown cucumber and melon in Paraná State, Brazil. *Acta Sci. Agron.* 34 (3), 247–252.

Almeida, R. L. J., Santos, N. C, Silva, V. M. A., Ribeiro, V. H. A., Barros, E. R., Cavalcanti, J., Queiroga, A., Luíz, M. R., Nascimento, A., & Nunes, J. (2020). Influência da espessura na cinética de secagem de fatias de beterraba. *Research, Society and Development*, 9(3).

Alves, R. A., Queiroz, A. J. D. M., de Figueirêdo, R. M., Silva, W. P. D., & Gomes, J. P. (2019). Secagem solar de feijão-caupi combinada com secagem em secador acumulador de calor. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(9), 709-715.

Araujo, W. D., Goneli, A. L. D., Corrêa, P. C., Hartmann Filho, C. P., & Martins, E. A. S. (2017). Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. *Revista Ciência Agronômica*, 48(3), 448-457.

Bennett, A. J., Bending, G. D., Chandler, D., Hilton, S., & Mills, P. (2012). Meeting the demand for crop production: the challenge of yield decline in crops grown in short rotations. *Biological Reviews*, 87(1), 52-71.

Borges, F. B. (2016). *Descrição da secagem convectiva de grãos de milho através de modelos difusivos*. 147p. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande –PB.

Brasil. Instituto Adolfo Lutz. (2008). *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4ª ed. 1ª ed. Digital, São Paulo, p.1020.

Calixto, R. R., Pinheiro-Neto, L. G., Calvacante, T. S., Aragão, M. F., Silva, E. O. (2019). A computer vision model development for size and weight estimation of yellow melon in the Brazilian northeast. *Sci. Hortic.* 256, 108521.

Crank, J. (1992). *The Mathematics of Diffusion*. Clarendon Press, Oxford, UK.

Da Silva, W. P., Precker, J. W., Silva, C. M. D. P. S., & Gomes, J. P. (2010). Determination of effective diffusivity and convective mass transfer coefficient for cylindrical solids via analytical solution and inverse method: Application to the drying of rough rice. *Journal of Food Engineering*, 98(3), 302–308.

FAO, F. (2016). Agriculture Organization, 2014. *Livestock Primary. Food and Agriculture Organization of the United Nations*.

Ferreira, J. P. D. L., Castro, D. S. D., Moreira, I. D. S., Silva, W. P. D., de Figueirêdo, R. M., & Queiroz, A. J. D. M. (2020). Cinética de secagem convectiva de cubos de mamão pré-tratados osmoticamente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(3), 200-208.

Giwa, S., Abdullah, L. C., & Adam, N. M. (2010). Investigating “Egusi”(Citrullus colocynthis L.) seed oil as potential biodiesel feedstock. *Energies*, 3(4), 607-618.

Huang, Y., Li, W., Zhao, L., Shen, T., Sun, J., Chen, H., Kong, Q., Nawaz, M.A., & Bie, Z. (2017). Melon fruit sugar and amino acid contents are affected by fruit setting method under protected cultivation. *Sci. Hortic-Amsterdam*, 214, 288–294.

Jarret, R. L., & Levy, I. J. (2012). Oil and fatty acid contents in seed of *Citrullus lanatus* Schrad. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(20), 5199-5204.

Kaya, A., Aydın, O., & Dincer, I. (2010). Comparison of experimental data with results of some drying models for regularly shaped products. *Heat and mass transfer*, 46(5), 555-562.

Kotowski, F. (1962). Temperature relations to germination of vegetable seeds. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 23, 176–184.

Luikov, A. V. (1968). *Analytical Heat Diffusion Theory*. Academic Press, Inc., Ltd., London.

Nyakuma, B. B., Roozbahani, F., Oladokun, O., Dodo, Y. A., Elnafaty, A. S., & Ivase, T. J. P. (2018). Kinetic Analysis of Melon Seed Husk Using Non-Isothermal Thermogravimetric Analysis. *Materials Today: Proceedings*, 5(11), 23249-23257.

Ogbe, A., & George, G. (2012). Nutritional and anti-nutrient composition of melon husks: Potential as feed ingredient in poultry diet. *Research Journal of Chemical Sciences*, 2231, 606X.

Oluba, O. M., Eidangbe, G. O., Ojeh, G. C., & Idonije, B. O. (2011). Palm and Egusi melon oils lower serum and liver lipid profile and improve antioxidant activity in rats fed a high fat diet. *International Journal of Medicine and Medical Sciences*, 3(2), 47-51.

Ornellas, F. L. S., de Sousa, A. O., Pirovani, C. P., do Nascimento Araújo, M., da Costa, D. S., Dantas, B. F., & Barbosa, R. M. (2020). Gene expression, biochemical and physiological activities in evaluating melon seed vigor through ethanol release. *Scientia Horticulturae*, 261, 108884.

Ribeiro, V. H. A., Almeida, R. L. J., Santos, N. C., Barros S. L., & Nascimento, A. P. S. (2019). Mathematical modeling of apple drying kinetics. *Higiene Alimentar*, 33(288/289), 3474-3478.

Saberali, S. F., & Shirmohamadi-Aliakbarkhani, Z. (2020). Quantifying seed germination response of melon (*Cucumis melo* L.) to temperature and water potential: Thermal time, hydrotime and hydrothermal time models. *South African Journal of Botany*, 130, 240-249.

Santos, N. C., Silva, W. P., Barros, S. L., Araújo, A. J. B., Gomes, J. P., Almeida, R. L. J., Nascimento, A. P. S., Almeida, R. D., Silva, C. M. P. D. S., Queiroz, A. J. M., & Figueirêdo, R. M. F. (2019). Study on Drying of Black Rice (*Oryza sativa* L.) Grains: Physical-Chemical and Bioactive Quality. *Journal of Agricultural Science*, 11(9), 203-212.

Santos, N. C., Almeida, R. L. J., Silva, L., Muniz, C., Pereira, T., Silva, V., Ribeiro, V., Moreira, F., Pinheiro, W., & Eduardo, R. (2020). Determinação dos parâmetros cinéticos durante o processo de secagem da casca de abacaxi. *Research, Society and Development*, 9(4).

Silva, I. L., Silva, H. W. D., de Camargo, F. R., de Farias, H. F., & Freitas, E. D. F. (2018). Secagem e difusividade de sementes de melão. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(2), 21-30.

Silva, V. M. A., Ribeiro, V. H. A., Santos, N. C., Barros, S. L., Nascimento, A. P. S., & Araújo, A. J. B. (2019a). Determinação de modelo matemático na secagem do sorgo (*sorghum bicolor* (L.) *moench*). *Caderno de Ciência, Pesquisa e Inovação*, 2(1), 112-120.

Silva, V. M. A., Santos, N. C., Barros, S. L., Almeida, R. L. J., Ribeiro, V. H. A., & Melo, M. O. P. (2019b). Conservação de sementes de abóbora através de secagem convectiva. *Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 9(7), e-7098.

Thompson, P. A. (1974). Characterization of germination responses to temperature of vegetable seeds. I. Tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 2, 35-54.

Zhang, Z., Fan, J., Wu, J., Zhang, L., Wang, J., Zhang, B., & Wang-Pruski, G. (2020). Alleviating effect of silicon on melon seed germination under autotoxicity stress. *Ecotoxicology and environmental safety*, 188, 109901.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Raphael Lucas Jacinto Almeida – 10%

Newton Carlos Santos – 10%

Tamires dos Santos Pereira – 10%

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva – 10%

Victor Herbert de Alcântara Ribeiro – 10%

Lucas Rodolfo Inácio da Silva – 10%

Fellype Diórgennes Cordeiro Gomes – 10%

Flávia Izabely Nunes Moreira – 10%

Soares Elias Rodrigues Lima – 10%

Raphael da Silva Eduardo – 10%