

Análise cinética de secagem solar em amostras de batata doce

Kinetics of sweet potatoes samples in a solar dryer

DOI:10.34117/bjdv7n4-668

Recebimento dos originais: 04/02/2021

Aceitação para publicação: 01/03/2021

Jocielys Jovelino Rodrigues

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, Pombal, PB, Brasil.
E-mail: jocielysr@gmail.com

Maria Eduarda Paz de Lima

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, Pombal, PB, Brasil.

Kaliny Araújo Alves

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, Pombal, PB, Brasil.

Thiago Henrique Pacheco

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, Pombal, PB, Brasil.

Georgia Luiza Nogueira Cunha

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, Pombal, PB, Brasil.

Josevânia Rodrigues Jovelino

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, Pombal, PB, Brasil.

Pluvia Oliveira Galdino

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, Pombal, PB, Brasil.

Adriano Sant'Ana Silva

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, Pombal, PB, Brasil.

RESUMO

O objetivo do estudo foi realizar a desidratação de amostras de batata doce através da secagem solar para realizar as análises de transferência de calor e massa através das curvas de secagem. As amostras foram submetidas à desidratação em dois tipos de geometrias, circulares, com um raio de 1 cm, e retangulares, com comprimento de 2,0 cm. Os coeficientes de difusividade foram obtidos pelo ajuste experimental aos modelos

foram respectivamente $0,0007942 \text{ m}^2/\text{s}$ e $4,19 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ para as geometrias cilíndrica e plana. Comprovando a eficiência da secagem.

Palavras-chave: Batata doce; Meio Ambiente; Secagem solar; Transferência de massa.

ABSTRACT

The aim of this work was to dehydrate sweet potato samples through solar drying to perform the analysis of heat and mass transfer through the drying curves. The samples were subjected to dehydration in two types of geometries, circular, with a radius of 1 cm, and rectangular, with a length of 2.0 cm. The diffusivity coefficients were obtained by the experimental adjustment to the models were $0.0007942 \text{ m}^2/\text{s}$ and $4.19 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, respectively, for cylindrical and flat geometries.

Keywords: Sweet potatoes; Environment; Solar dryer; Transfer of mass.

1 INTRODUÇÃO

A alimentação saudável é um dos fatores mais relevantes para a promoção e manutenção da saúde. Por esse motivo, o estímulo para o aumento do consumo de frutas, legumes e verduras tornou-se uma prioridade de saúde pública em muitos países como uma forma de prevenção contra doenças. A inclusão de frutas e hortaliças na dieta é essencial para o funcionamento adequado do organismo. O consumo regular destes alimentos é capaz de proteger as células contra danos oxidativos e inibir a síntese de substâncias inflamatórias (DEFRAEYER, 2017).

A secagem solar é uma operação unitária que pode ser realizada com baixo custo para a secagem de produtos agrícolas como grãos, frutas e outros produtos alimentícios apresenta-se como uma excelente alternativa para regiões de clima tropical. O processo de secagem envolve transferência simultânea de calor e massa, acompanhada de alterações físicas e estruturais devido à perda de uma parte considerável da água (DANTAS et al, 2018). Conhecer as propriedades de transferência de massa permite entender o processo de remoção de água dos alimentos, através da difusão e evaporação. Existem diferentes modelos disponíveis na literatura para prever os fenômenos de transferência que ocorrem durante a secagem de produtos alimentícios (CASTRO, A. M.; MAYORGA, E. Y.; MORENO, F. L, 2017), sendo os modelos de difusão que descrevem a transferência de estado não estacionário os mais comuns (WILKINS; BRUSEY; GAURA, 2018; DEHGHNNYA; HOSSEINLAR; HESHMATI, 2018; FONTENA et al., 2018; REZAUL; CHEN, 2017).

Pode-se obter o coeficiente de difusão na secagem de frutas através das Leis de Fick para transferência de massa em combinação com a equação da continuidade. A equação da continuidade mássica apresentada na equação (1) apresenta a variação da concentração mássica, resultado do movimento e da produção ou consumo (no exemplo, reagentes A e B) (CREMASCO, 2008; INCROPERA et al.; 2008).

$$\frac{\partial \rho_A}{\partial t} + \frac{\partial \rho_B}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{n}_A + \nabla \cdot \vec{n}_B = r_A''' + r_B''' \quad (1)$$

A segunda Lei de Fick descreve os processos difusivos em estado não estacionário, Crank (1975) propôs um ajuste na equação de difusão, considerando a razão de umidade para placas planas, conforme apresentado na Equação 2:

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{(2i + 1)^2} \exp \left[-(2i + 1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2} \right] \quad (2)$$

sendo:

X_t = Umidade em um determinado tempo;

X_0 = Umidade inicial (Kg/Kg ms);

X_e = Umidade no equilíbrio (Kg/Kg ms);

D_{ef} = Difusividade efetiva (m²/s);

L = Meia espessura (m);

t = Tempo do processo.

E para a geometria cilíndrica, Brooker (1992) sugere a solução analítica apresentada na Equação 3:

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{4}{\lambda_{in}^2} \exp \left[-\frac{\lambda_{in}^2 D t}{r} \right] \quad (3)$$

Onde: r = raio equivalente (CREMASCO, 2008).

Para elaboração da curva da cinética de secagem utilizou-se a o modelo Exponencial Growth Regression no software STATÍSTICA Version 10. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi realizar a desidratação de amostras de batata doce através da secagem solar que não polui o ambiente, assim como, obter as curvas de secagem e os coeficientes de difusão para as amostras com diferentes geometrias.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. SECAGEM DAS AMOSTRAS

As amostras de batata doce foram adquiridas em comércio local da região de Pombal-PB. Os experimentos tiveram cinco horas de duração e foram realizados em um protótipo de secador por meio da exposição direta e com coletor solar acoplado. Localizado no Laboratório de Operações Unitárias e Fenômenos de Transporte (LOUFT) da Unidade Acadêmica de Tecnologia de Alimentos, do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Pombal, Paraíba.

As frutas foram submetidas à lavagem e posteriormente a sanitização com 100ppm de cloro ativo por 15 minutos. Após esse tempo, as amostras foram cortadas em fatias circulares, com um raio de 1 cm, e retangulares, com comprimento de 2,0 cm. A matéria prima utilizada foi lavada e higienizada com 100ppm de cloro ativo por 15 minutos, e em seguida foi cortada em fatias com diâmetro de 1cm e em retângulos com proporções de 1x2cm (seis amostras de formato), buscando a uniformidade quanto a espessura e tamanho, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1: Perfil dos cortes retangulares e circulares das amostras de batata doce.



As amostras foram submetidas a tratamento térmico, sendo realizado um branqueamento por 15 segundos em temperatura próxima dos 100 °C para inibir reações enzimáticas, como pode ser verificado na Figura 2.

Figura 2: Processo de branqueamento realizado nas amostras de batata doce.



Pesaram-se os cestos vazios para calibração da balança, e em posteriormente verificou-se o peso das amostras de batata doce. Colocou-se o material no interior do secador solar, a cada hora verificou-se a temperatura da câmara de secagem e os cestos eram recolhidos para verificar a perda de massa. A secagem terminou ao ser constatado, na pesagem das amostras, massa constante durante três pesagens.

A cada hora foi aferida a temperatura e o peso das amostras, este processo foi realizado até que a massa das amostras permanecesse constante por três pesagens consecutivas. A secagem teve duração total de cinco horas.

Por fim, através dos resultados da massa de sólido úmido obtidos nos tempos pré-determinados ao longo da corrida de secagem, determinou-se o teor de umidade das amostras pelas equações (4) e (5):

$$X_{bs} = \frac{m_{su} - m_{ss}}{m_{ss}} \quad (3)$$

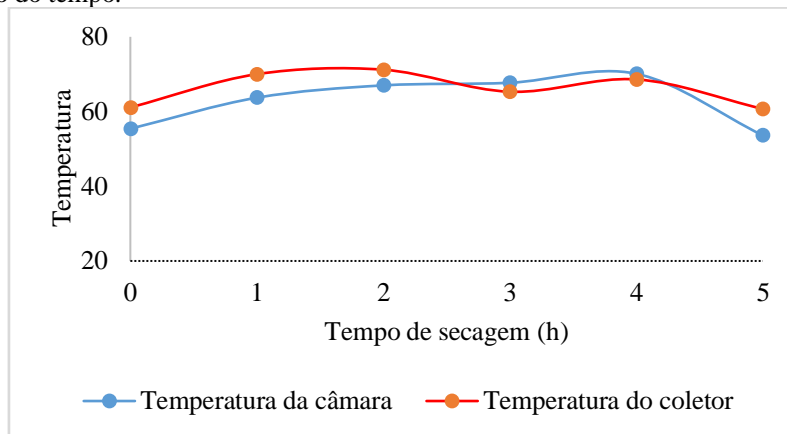
$$X_{bu} = \frac{X_{bs}}{1 + X_{bs}} \quad (4)$$

Onde: m_{su} é a massa em base úmida; m_{ss} é a massa em base seca; X_{bs} refere-se ao teor em base seca e (X_{bu}) teor em base úmida.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Gráfico 1, observa-se as variações de temperatura ao longo do experimento é possível verificar que a temperatura do coletor é superior à temperatura da câmara em quase todas as horas que foram aferidas, exceto nas horas 3 e 4, isso pode ser explicado por erros experimentais em relação à posição do secador solar que não acompanhou o movimento do sol.

Figura 3. Comportamento da temperatura superior (Câmara) e inferior (Coletor) no protótipo de secador solar em função do tempo.



As Figuras 2A e 2B mostram que a perda de água foi significativa durante as duas primeiras horas o que é explicado pela saída das moléculas de água presentes nas camadas superficiais. Já na terceira hora de secagem a velocidade de eliminação de água foi reduzida, devido a água agora presente está ligada ao substrato, por isso o deslocamento da camada desidratada se torna lenta. SOUZA et al., (2020) ao estudar a modelagem da secagem em estufa solar observou este mesmo comportamento, tal fato foi explicado pela maior facilidade de eliminação das moléculas de água livre o oposto de verificou em relação as moléculas ligadas à própria estrutura do produto, tendendo ao equilíbrio no fim do processo.

Figura 1A. Umidade em base seca (A) em função do tempo de secagem.

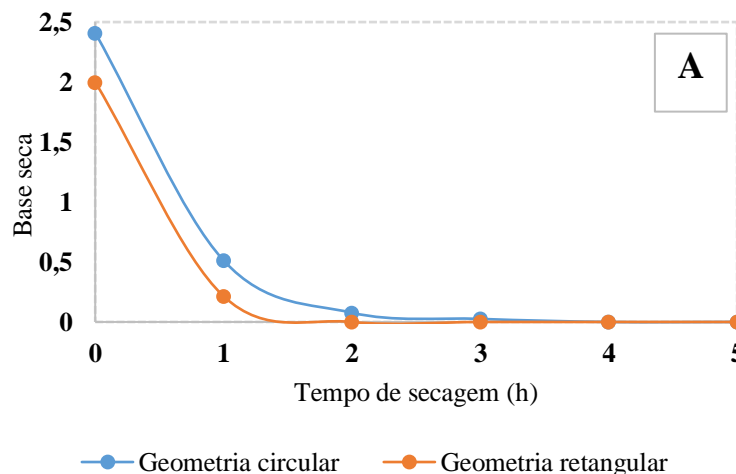
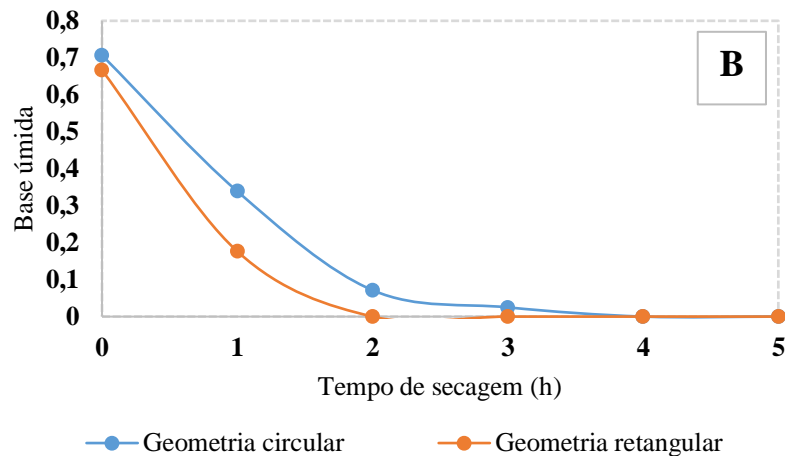


Figura 2B. Umidade em base seca (B) em função do tempo de secagem.



Modelos matemáticos são essenciais para descrever e explicar os processos de secagem, através deles podem ser obtidas as características de secagem para diferentes processos. Nesse estudo, os coeficientes de difusividade foram obtidos pelo ajuste experimental aos modelos de Crank (geometria plana) e Brooker (geometria cilíndrica). Foi calculado o RTA (razão do teor de água) para ambas as geometrias através da relação entre base seca e umidade relativa, e através desse processo foram obtidos os gráficos e consequentemente os valores de difusividade térmica.

De acordo com a literatura, a difusividade é uma propriedade específica do material para caracterizá-lo quanto à condução instável de calor. Este valor descreve quão rapidamente um material reage a mudanças de temperatura. Segundo SOUZA et al. (2020) ao estudar a cinética de secagem em secador solar, a geometria que apresentou maior difusividade (plana) apresentou maior eficácia na secagem, levando pouco mais da metade do tempo utilizado pela geometria cilíndrica para atingir um ponto de pesagem estável, devido ao seu maior coeficiente de difusão.

Através da modelagem apresentada nas Figuras 3 e 4 foram obtidos valores de $0,0007942 \text{ m}^2/\text{s}$ e $4,19 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ para as geometrias cilíndrica e plana, respectivamente. Diante dos resultados obtidos de difusividade, era esperado que o processo de secagem ocorresse de forma mais rápida na amostra de geometria cilíndrica, pois estas tiveram difusividade superior ao da amostra de geometria plana, porém isto não foi observado e pode ser explicado pela variação no conteúdo de água (umidade) e temperatura, o que consequentemente influenciou na variação da difusividade térmica (CRANK, 1975).

Figura 3. Curva de ajuste e tempo de secagem de batata doce em geometria plana.

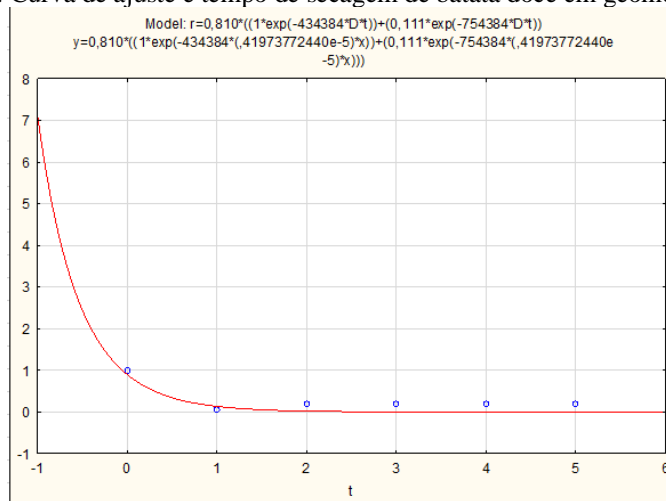
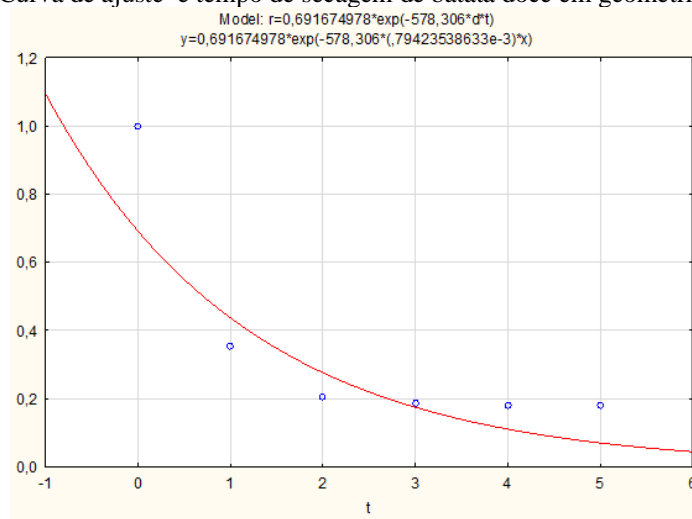


Figura 4. Curva de ajuste e tempo de secagem de batata doce em geometria cilíndrica.



4 CONCLUSÕES

O protótipo de secador solar se mostrou eficiente quanto a capacidade de aumentar a temperatura interna da câmara, devido a este fato influenciar diretamente no tempo de secagem, permitindo a obtenção dos coeficientes de difusividade utilizando os modelos de ajuste às curvas de secagem. Por fim, as amostras de geometria plana se mostraram mais eficazes quanto à redução do tempo de secagem.

REFERÊNCIAS

- CASTRO, A. M.; MAYORGA, E. Y.; MORENO, F. L. **Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review.** *Journal of Food Engineering*, v. 223, 2018, p. 152-167. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.012>
- CREMASCO, M. A. **Fundamentos de transferência de massa.** Editora Unicamp, São Paulo, 2008.
- CRANK, John. **The Mathematics of Diffusion.** Ed. Oxford, Bristol, 1975.
- DANTAS, D.; PASQUALI, M. A.; MATA, M. C.; DUARTE, M. E.; LISBOA, H. M. **Influence of spray drying conditions on the properties of avocado powder drink.** *Food Chemistry*, v. 266, 2018, p. 284-291. <http://dx.doi.org/10.17533/udea.vitae.v25n1a05>
- DEFRAEYER, T. **Impact of size and shape of fresh-cut fruit on the drying time and fruit quality.** *Journal of Food Engineering*, v. 210, 2017, p. 35-41, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.004>
- DEGHNNYA, J.; HOSSEINLAR, S.; HESHMATI, M. K. **Multi-stage continuous and intermittent microwave drying of quince fruit coupled with osmotic dehydration and low temperature hot air drying.** *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 45, 2018, p. 132-151. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.10.007>
- FONTENA, E. J.; PASTENES, C.; GERGICHEVICH, M. G.; FRANCK, N. **Effect of source/sink ratio on leaf and fruit traits of blueberry fruiting canes in the field.** *Scientia Horticulturae*, v. 241, 2018, p. 51-56. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.041>
- INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. **Fundamentos de transferência de calor e de massa.** Editora LTC, Rio de Janeiro, 2008.
- REZAUL, M.; CHEN, W. **Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices.** *Trends in Food Science & Technology*, v. 2017, 65, p. 49-67. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006>
- SOUZA, T. L.; EVANGELISTA, M. E. M.; FERNANDES, M. M. S.; SANTOS, K. P.; RODRIGUES, J. J. **Study of drying kinetics of manioc samples in a solar dryer.** *Brazilian Journal of Development*, v. 6, 2020, p. 86647-86657. [DOI:10.34117/bjdv6n11-186](https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-186)
- WILKINS, R.; BRUSEY, J.; GAURA, E. **Modelling uncontrolled solar drying of mango waste.** *Journal of Food Engineering*, v. 237, 2018, p. 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.05.012>