

Processo de secagem solar e transferência de massa em amostras de mandioca

Study of drying kinetics of manioc samples in a solar dryer

DOI:10.34117/bjdv6n11-186

Recebimento dos originais:05/10/2020

Aceitação para publicação:10/11/2020

Thamirys de Luna Souza

Aluna do curso de Engenharia de Alimentos, Unidade Acadêmica de Tecnologia de Alimentos,
UFCG, Pombal, PB

E-mail: thamirys_luna@hotmail.com

Maria Ester Maia Evangelista

Aluna do curso de Engenharia de Alimentos, Unidade Acadêmica de Tecnologia de Alimentos,
UFCG, Pombal, PB

E-mail: estermaiamaiatm@hotmail.com

Maria Mikaele da Silva Fernandes

Aluna do curso de Engenharia de Alimentos, Unidade Acadêmica de Tecnologia de Alimentos,
UFCG, Pombal, PB

E-mail: mariamikaele15_@hotmail.com

Kalinne Passos dos Santos

Aluna do curso de Engenharia de Alimentos, Unidade Acadêmica de Tecnologia de Alimentos,
UFCG, Pombal, PB

E-mail: kalinne2012.2@gmail.com

Jocielys Jovelino Rodrigues

Doutor em Engenharia Química

Professor do Magistério Superior, Unidade Acadêmica de Tecnologia de Alimentos, UFCG, Pombal,
PB

E-mail: jocielysr@gmail.com

RESUMO

As frutas exercem um papel fundamental, por serem ricas em nutrientes, vitaminas e minerais. A secagem consiste em realizar remoção da água e outros líquidos contidos no alimento, podendo alterar as características sensoriais e seu valor nutricional, no entanto preservando a qualidade do mesmo. Em contrapartida o alimento apresenta o aumento da vida útil, fácil transporte e comercialização, pois o alimento seco é leve e compacto e permanecem inteiros por longos períodos, evitando assim perdas e descartes em áreas inadequadas, além de utilizar a luz solar que não polui o meio ambiente. O objetivo do estudo foi realizar a desidratação de amostras de Mandioca através da secagem solar para obter as respectivas análises de transferência de calor e massa das curvas de secagem. As amostras foram submetidas à desidratação em dois tipos de geometrias, circulares com 1 cm de espessura e em

retangular com 1 cm de comprimento. Os dados experimentais das curvas de secagem para as duas condições foram ajustados ao modelo matemático de secagem baseado na Segunda Lei de Fick. As amostras apresentaram peso constante a partir de 6 horas de experimento para ambas as geometrias. O coeficiente difusivo, obtido através da aplicação da Segunda Lei de Fick, para geometria retangular foi de $2,65 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ e para a geometria cilíndrica de $2,66 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. O que confirma os bons resultados da secagem solar.

Palavras-chave: Secagem solar, Meio ambiente, Transferência de massa, Mandioca.

ABSTRACT

Fruits exert a fundamental role in human health, as they are rich in nutrients, vitamins and minerals. Drying consists of removing water and other liquids contained in the food, which may alter the sensory characteristics and its nutritional value, while preserving its quality. On the other hand, the food has an increased useful life, easy transport and commercialization, as the dry food is light and compact and remains whole for long periods, thus avoiding losses and discharges in inappropriate areas, in addition to using sunlight that does not pollute the environment. The objective of the study was to dehydrate cassava samples through solar drying to obtain the respective heat and mass transfer analyzes of the drying curves. The samples were subjected to dehydration in two types of geometries, circular 1 cm thick and rectangular 1 cm long. The experimental data of the drying curves for the two conditions were adjusted to the mathematical drying model based on Fick's Second Law. The samples showed constant weight after 6 hours of experiment for both geometries. The diffusive coefficient, obtained by applying the Second Fick's Law, for rectangular geometry was $2.65 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ and for cylindrical geometry $2.66 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Which confirms the good results of solar drying.

Keywords: Solar dryer, Environment, Transfer of mass, Manioc.

1 INTRODUÇÃO

O tempo de prateleira para comercialização de um produto é de grande importância, para que não ocorra perda de qualidade, torna-se interessante aplicação de métodos de conservação, principalmente métodos que agridam o meio ambiente. A opção para aplicação do método é fundamental, pois o tipo de processamento aplicado poderá afetar a qualidade do produto (DEFRAEYER; RADU, 2018; DEFRAEYER, 2017).

A secagem natural é considerada de baixo custo, com fácil manuseio de equipamentos, podendo ser aplicada em regiões de clima quente, com alta taxa de radiação solar. Na desidratação de frutas, o açúcar natural se concentra com a eliminação da água e antes desse processo em geral é realizado o branqueamento. Este consiste em um pré-tratamento para minimizar o número de microrganismos contaminantes que estão nas superfícies dos alimentos, contribuindo com o processo de conservação (WILKINS; BRUSEY; GAURA, 2018; DEHGHNNYA; HOSSEINLAR; HESHMATI, 2018; FONTENA et al., 2018; REZAUL; CHEN, 2017; KEK; CHIN; YUSOF, 2013).

Pode-se obter o coeficiente de difusão na secagem de frutas através das Leis de Fick para transferência de massa e da equação da continuidade. Transferência de massa consiste em um fenômeno ocasionado pela diferença de concentração, maior para menor, de um determinado soluto em certo meio (INCROPERA et al.; 2008).

A equação da continuidade mássica apresentada na equação (1) mostra 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 promove os processos difusivos em estado não estacionário, Crank (1975) sugeriu um ajuste experimental, considerando a razão de umidade para placas retangulares, conforme apresentado na equação 2:

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left[-(2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2}\right] \quad (2)$$

onde: 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 (m^2/s); L = meia espessura (m); t = tempo de processo (s).

E para a geometria cilíndrica, Brooker (1992) apresenta a solução analítica (equação 3):

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

em que r = raio equivalente (m). (CREMASCO, 2008).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar a desidratação de amostras de mandioca 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 mandioca foram adquiridas em comércio local da região de Pombal-PB. Os experimentos foram conduzidos 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.

O processo de secagem solar foi realizado em um protótipo de secador por meio da exposição direta e com coletor solar acoplado.

As frutas foram submetidas à lavagem e posteriormente a sanitização com 100ppm de cloro ativo por 15 minutos. Após esse tempo, as amostras de maçãs foram cortadas em fatias circulares, com um raio de 1 cm, e retangulares, com comprimento de 2,0 cm. As amostras foram submetidas a tratamento térmico, sendo realizado um branqueamento por 15 segundos em temperatura próxima dos 100 °C para inibir reações enzimáticas.

Pesaram-se os cestos vazios para calibrar a balança, e em seguida verificou-se o peso das amostras de mandioca. 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 partir 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):

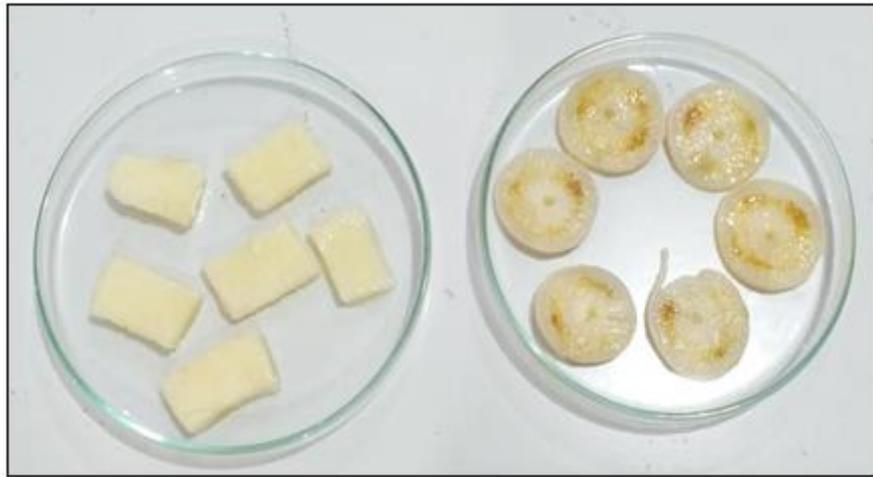
$$X_{bs} = \frac{m_{su} - m_{ss}}{m_{ss}} \quad (4)$$

$$X_{bu} = \frac{X_{bs}}{1 + X_{bs}} \quad (5)$$

Onde: m_{su} é a massa em base úmida e m_{ss} é a massa em base seca.

Na Figura 1 está apresentado os perfis dos cortes realizados nas amostras de mandioca.

Figura 1: Perfil dos cortes retangulares e circulares das amostras de mandioca antes da secagem.

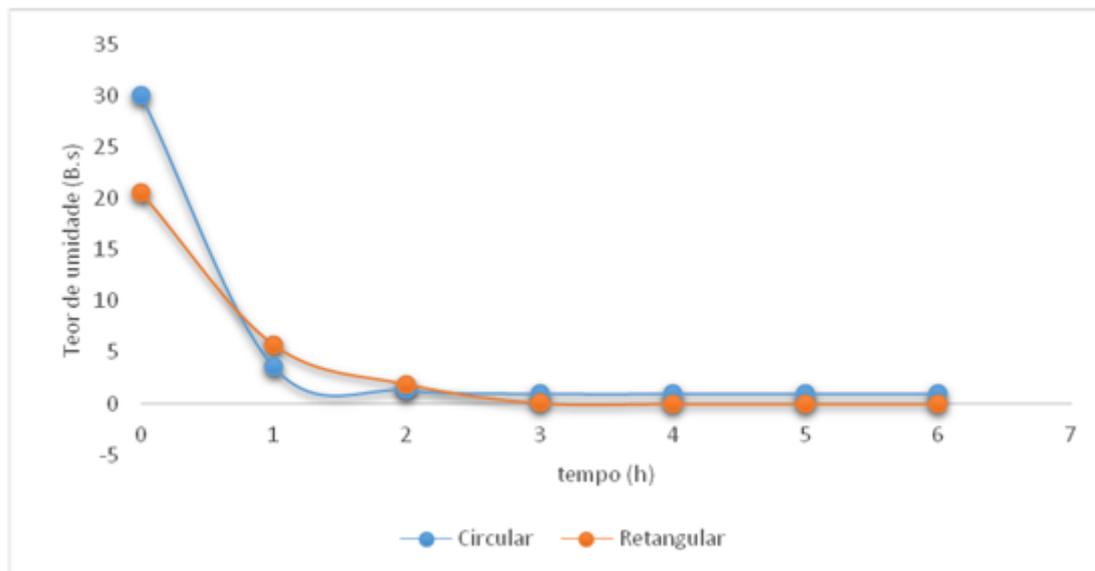


3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CURVAS DE SECAGEM

Na Figura 2 estão apresentados os resultados da relação entre os valores do teor de água (base seca) experimental em função do tempo para a secagem das amostras de mandioca.

Figura 2: Curva de secagem para as amostras de mandioca em geometria circular e retangular.

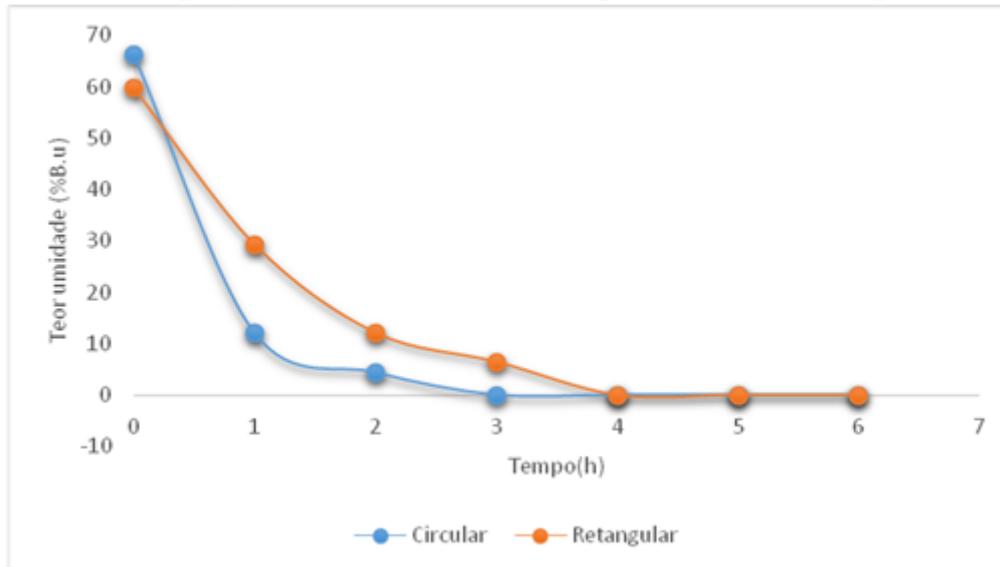


Verifica-se que a geometria cilíndrica proporcionou maior velocidade de secagem pela transferência de massa, significando que perdeu água mais rapidamente em relação à geometria cilíndrica. Diante disso, o corte em retângulos apresenta maior difusividade efetiva. Isso possivelmente esta associado ao fato que, a área de superficial da amostra e a corrente de ar quente, são fatores que

determinam a rapidez do processo de secagem. A evaporação da umidade do alimento é motivada por diversos fatores intrínsecos e extrínsecos.

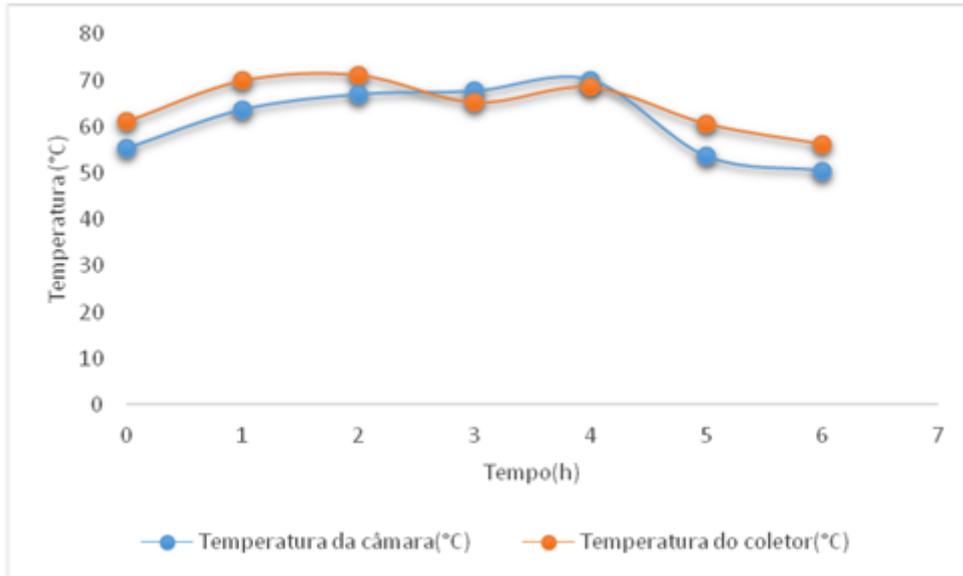
Na Figura 3 estão apresentados os resultados da relação entre os valores do teor de água (base úmida) experimental em função do tempo para a secagem das amostras de mandioca.

Figura 3: Curva de secagem para as amostras de mandioca em geometria circular e retangular em base úmida.



Com relação à curva de secagem em base úmida a retirada da umidade acontece devido à movimentação da água, decorrente de uma diferença de pressão de vapor d'água, entre a superfície do produto e o ar quente que circula (CASTRO; MAYORGA; MORENO, 2018; DANTAS et al.; 2018; DATTOLA et al.; 2019; SHASHIREKHA et al., 2008). Nas primeiras horas, acontece uma rápida redução do teor de água, caracterizado pela saída da água livre, presente nas camadas superficiais. A partir da segunda hora para ambas as geometrias, o processo tornou-se mais lento, possivelmente devido à maior dificuldade de perda da água do interior de ambas as amostras. Quando as curvas atingem a estabilidade, significa que alcançaram a umidade de equilíbrio para as condições do sistema de temperatura e umidade do ar isso pode ser verificado na Figura 4.

Figura 4: Variações da temperatura da camada, ao longo do tempo para a as amostras de mandioca.



A localização do equipamento com relação ao posicionamento do sol ocasionou o declínio da temperatura do tempo 3, posteriormente, foi reajustado para que a incidência luminosa tivesse contato direto com o coletor, acarretando a elevação da temperatura no tempo 4. Após esse tempo, as temperaturas mostraram um comportamento semelhante, ocorrendo o declínio das mesmas, fato explicado pela diminuição dos raios solares.

3.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

Para a obtenção da modelagem, foi utilizado modelo não linear. Foram realizados ajustes na fórmula da razão de umidade para placas retangulares e circulares, tendo como resultado as seguintes equações, respectivamente:

$$RTA=0,810*((1*\exp(-434384*D*t))+(0,111*\exp(-754384*D*t)))$$

$$RTA= 0,691674978*\exp (-578,306*D*t)$$

Onde: RTA é a razão do teor de água, D é o coeficiente de difusão e t o tempo de secagem.

Nas Figuras 5 e 6 estão apresentadas as curvas de reajuste da razão do teor de água e tempo de secagem de mandioca, em geometria retangular e geometria circular, respectivamente.

Figura 5: Curva de reajuste da razão do teor de água e tempo de secagem de mandioca em geometria retangular.

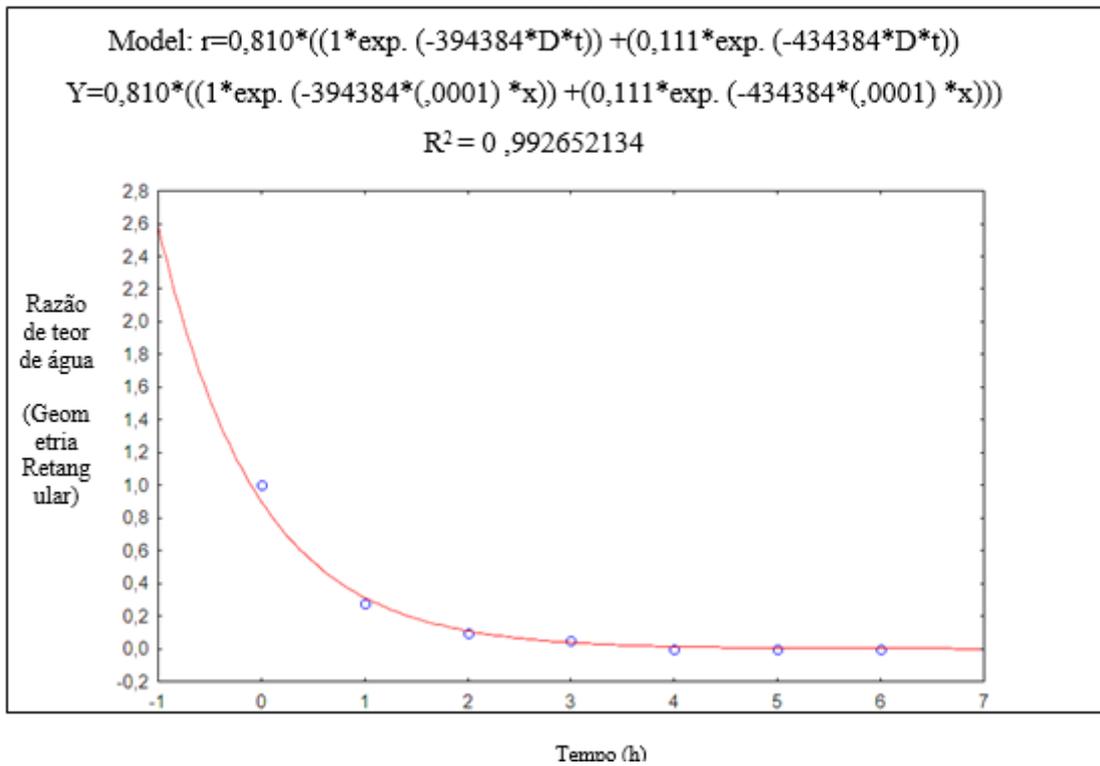
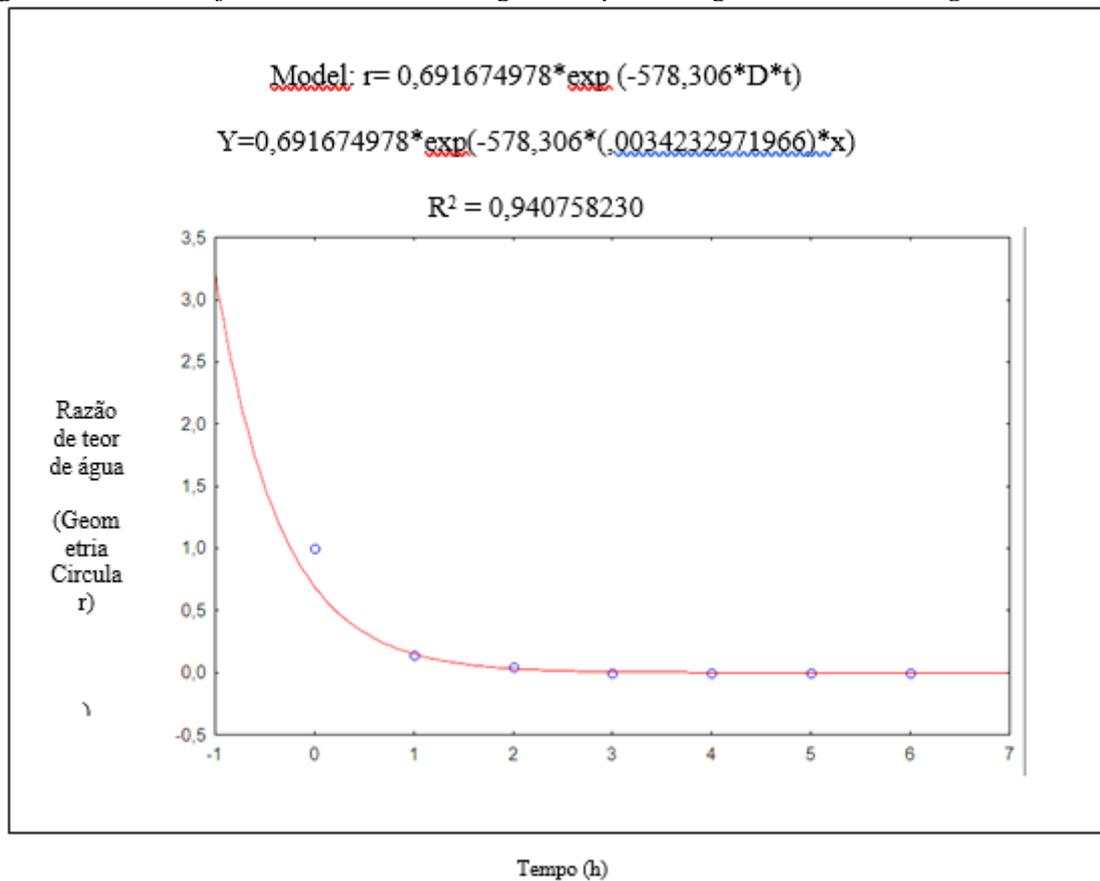


Figura 6: Curva de reajuste da razão do teor de água e tempo de secagem de mandioca em geometria circular.



Com base na Segunda Lei de Fick para os processos difusivos em estado não estacionário, de acordo com Crank (Equação 2) o ajuste experimental é feito considerando a razão de umidade para placas retangulares. E para a geometria cilíndrica, Brooker (1992) foi o modelo adotado (Equação 3). Segundo CASTIGLION *et al.* (2013) esse fenômeno ocorre devido ao aumento da energia cinética do sistema, decorrente da elevação da temperatura, conseqüentemente as forças de atração entre as moléculas de água e os demais constituintes diminuí, acarretando o decréscimo da umidade das amostras.

Com base nessas equações foi possível verificar a difusividade para cada tipo de geometria estudada. A amostra com geometria cilíndrica apresentou difusividade de $2,66 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ e a retangular de $2,65 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Observa-se entre os valores de difusividade, que a geometria cilíndrica possui maior eficácia na secagem. Isto coincide com a curva de secagem, a retirada da umidade acontece devido à movimentação da água, favorecida pela diferença de pressão de vapor d'água, entre a superfície do produto e o ar quente que circula. De início, acontece uma rápida redução do teor de água, caracterizado pela saída da água livre, presente nas camadas superficiais. Em seguida o processo tornou-se mais lento, possivelmente devido à maior dificuldade de perda da água do interior de ambas as amostras.

4 CONCLUSÕES

A geometria cilíndrica mostrou-se mais eficaz com relação à secagem do fruto, levando menos tempo em comparação a geometria retangular para atingir um ponto de pesagem estável, devido ao seu maior coeficiente de difusão. O processo de secagem solar apresentou elevada eficiência, pois o equipamento apresenta grande capacidade de absorver e aumentar a temperatura interna da câmara de secagem. Sendo a secagem realizada por luz solar considerada limpa e que não agride o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Drying and storage of grains and oilseeds. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

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.

CASTIGLION, Gabriel L. et al. Modelagem matemática do processo de secagem da massa fibrosa de mandioca. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, 2013, p. 987-994. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000900012>.

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>

DATTOLA, A.; SORTINO, G.; VONELLA, V.; ZAPPIA, R.; GULLO, G. Effect of fruit-set time on the quality performance of Anona cherimola Mill. fruit in south italy. *Scientia Horticulturae*, v. 246, 2019, p. 272-278. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.021>

DEFRAEYER, T.; RADU, A. Insights in convective drying of fruit by coupled modeling of fruit drying, deformation, quality evolution and convective exchange with the airflow. *Applied Thermal Engineering*, v. 129, 2018, p. 1026-1038. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.10.082>

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>

DEHGHNNYA, 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.

KEK, S. P.; CHIN, N. L.; YUSOF, Y. A. Direct and indirect power ultrasound assisted preosmotic treatments in convective drying os guava slices. *Food and Bioproducts Processing*, v. 91, 2013, p. 495-506. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.05.003>

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>

SHASHIREKHA, M. N.; BASKARAN, R.; RAO, L. J.; VIJAYALAKSHMI, M. R.; SOMASUNDARAM, R. Influence of processing conditions on flavour compounds of custard apple (*Annona squamosa* L.). *Food Science and Technology*, v. 41, 2008, p. 236 -243. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.03.005>

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>