

SECAGEM CONVECTIVA DE QUIABO (*Abelmoschus esculentus*): INFLUÊNCIA DOS PRÉ-TRATAMENTOS COM ULTRASSOM E ETANOL

VICTOR HERBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO¹, NEWTON CARLOS SANTOS², RAPHAEL LUCAS JACINTO ALMEIDA², VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA³, PAULO ROBERTO MEGNA FRANCISCO⁴

^{1,4} Doutorandos em Eng. e Gestão de Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande-PB, victor_herbert@hotmail.com, paulomegna@gmail.com

²Doutorandos em Eng. Química, UFRN, Natal-RN, newtonquimicoindustrial@gmail.com, raphaelqindustrial@gmail.com

³ Dra. em Eng. e Gestão de Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande-PB, virginia.mirtes2015@gmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
04 a 06 de outubro de 2022

RESUMO: O objetivo deste estudo foi realizar a cinética de secagem das fatias de quiabo com aplicação dos pré-tratamentos de ultrassom (USM) e etanol (ETL) isolados e combinados e aplicar um modelo matemático empírico aos dados experimentais para descrever o processo. Para isso, fatias de quiabo com 3 mm de espessura foram submetidas aos pré-tratamentos isolados de USM (25 kHz e 4870 W m⁻²) e imersão em ETL (99.5%, 10 min/30 °C) e combinados (USM+ETL). A cinética de secagem foi realizada em estufa de circulação de ar (70 °C/ 2,0 m s⁻¹) e o modelo empírico de Page foi ajustado para descrever o processo. A aplicação dos pré-tratamentos de ultrassom e etanol, foi eficiente na redução do tempo de secagem do processo em 60 min. O ajuste do modelo de Page apresentou valores da função qui-quadrado na ordem de 10⁻² e 10⁻¹, evidenciando um bom ajuste do modelo aos dados experimentais. Com base nos nossos resultados, pode-se concluir que a combinação dos pré-tratamentos (USM+ETL) é o mais indicado para a secagem das fatias de quiabo, pois apresentou maiores taxas de secagem.

PALAVRAS-CHAVE: Pré-tratamentos, Page, modelagem matemática, transferência de massa.

CONVECTIVE DRYING OF OKABO (*Abelmoschus esculentus*): INFLUENCE OF PRE-TREATMENTS WITH ULTRASOUND AND ETHANOL

ABSTRACT: The objective of this study was to perform the drying kinetics of okra slices with application of isolated and combined ultrasound (USM) and ethanol (ETL) pretreatments and apply an empirical mathematical model to the experimental data to describe the process. For this, 3 mm thick slices of okra were subjected to isolated pre-treatments of USM (25 kHz and 4870 W m⁻²) and immersion in ETL (99.5%, 10 min/30 °C) and combined (USM+ ETL). The drying kinetics was performed in an air circulation oven (70 °C/ 2.0 m s⁻¹) and Page's empirical model was adjusted to describe the process. The application of ultrasound and ethanol pre-treatments was efficient in reducing the drying time of the process by 60 min. The adjustment of the Page model presented values of the chi-square function in the order of 10⁻² and 10⁻¹, evidencing a good fit of the model to the experimental data. Based on our results, it can be concluded that the combination of pre-treatments (USM+ETL) is the most suitable for drying okra slices, as it presented higher drying rates.

KEYWORDS: Pretreatments, Page, mathematical modeling, mass transfer.

INTRODUÇÃO

O quiabo é um alimento de fundamental importância, tendo importantes componentes nutricionais como vitaminas, minerais, açúcares solúveis, amido, fibras, hemicelulose e lignina. Embora não seja uma fonte rica em carboidratos, o fruto fresco oferece à nutrição humana, proteínas e vitamina A, B1 e C, assim como cálcio e ferro. Além da pectina e lignina responsável pela textura viscosa dos frutos. O quiabo imaturo é rico em compostos flavonoides que têm atividade antioxidante

(Santos, 2018). A cultura do quiabeiro é realizada durante todo o ano, já que o Brasil possui condições climáticas ideais para seu cultivo, no entanto, as regiões nordeste e sudeste do país ganham destaque com maiores taxas de produção, sendo efetuada majoritariamente pela agricultura familiar (COUTO e COQUEIRO, 2020).

Apesar das inúmeras qualidades relatadas anteriormente, o quiabo in natura possui alto teor de água, que é um dos parâmetros responsáveis pela ocorrência de reações de deterioração e desenvolvimento de microrganismos, resultando em uma vida útil curta. No entanto, a viabilidade da utilização do processo de secagem como método de conservação, que consiste na retirada de água do produto e visa reduzir as perdas relacionadas às etapas de pós-colheita, desenvolvimento de um produto com maior valor agregado e redução de peso e volume, implicando em menor necessidade de espaços para transporte, armazenamento e redução de custos com embalagens (SANTOS et al., 2019).

A secagem baseada no uso do ar quente, é o método mais amplamente utilizado para preservar e obter produtos secos, no entanto, as altas temperaturas aplicada durante a secagem podem causar a degradação da qualidade do produto. Mesmo assim, diferentes tecnologias emergentes ou técnicas combinadas estão sendo usadas para melhorar e otimizar esses processos (HUANG et al., 2020).

O ultrassom tem sido extensivamente aplicado em vários processos alimentares, devido aos seus atributos potentes, que resultam em um notável aprimoramento da transferência de massa e calor. Os efeitos mecânicos e de cavitação do ultrassom são responsáveis pela redução das resistências de difusão internas e externas dos materiais na transferência de massa durante a secagem e, como resultado, a taxa de secagem pode ser melhorada, e como consequência, a redução do tempo de secagem, reduzindo gastos energético (GUO et al., 2020; SANTOS et al., 2020). O uso do etanol na secagem, como pré-tratamento, seja pela inserção na superfície ou como componente de atmosfera modificada, reduz o tempo de secagem, promove a retenção de compostos voláteis e a preservação das características nutricionais dos alimentos (BRAGA et al., 2009).

Nesse contexto, visando reduzir as perdas pós-colheita e otimizar o processo de secagem para diferentes matrizes alimentares, o presente estudo tem como objetivo aplicar os pré-tratamentos de ultrassom (USM) e etanol (ETL) isolados e combinados em fatias de quiabo, além disso, outro objetivo desse estudo é realizar a cinética de secagem das fatias de quiabo e aplicar um modelo matemático empírico para descrever o processo.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realização deste estudo foram utilizados quiabos (*Abelmoschus esculentus*) adquiridos no comércio local. Após seleção, higienização e sanitização os quiabos foram cortados em fatias de 3 mm com auxílio de uma faca doméstica e de uma paquímetro digital.

Pré-tratamentos com ultrassom e etanol

As fatias de quiabo foram submetidas aos pré-tratamentos de ultrassom (USM), imersão em etanol (ETL) e a combinação de ambos (USM+ETL). Para todos os pré-tratamentos, as fatias de quiabo foram imersas em etanol absoluto (99.5%, Dinâmica Química Contemporânea, Indaiatuba, Brasil) por 10 min, mantidas a 30 °C, na proporção amostra/solução de 1:4 (m/m). Para as amostras submetidas ao ultrassom, os recipientes foram colocados em banho ultrassônico com frequência de 25 kHz, intensidade de 4870 W m⁻².

Cinética de secagem e modelo empírico

A secagem das amostras controle, USM, ETL e USM+ETL foi realizada na temperatura de 70 °C em estufa de circulação de ar com velocidade fixa de ar de 2,0 m s⁻¹. A perda de umidade foi registrada por meio de balança digital com precisão de 0,001g. O processo de secagem foi continuado até que a leitura constante da massa fosse registrada. O ajuste da equação empírica de Page (Equação 1) aos dados experimentais foi realizado por meio do programa computacional *LAB Fit*, além disso também foram avaliados o coeficiente de determinação (R²) e a função qui-quadrado (χ^2).

$$X^* = \frac{X(t) - X_{eq}}{X_i - X_{eq}} = \exp(-at^b) \quad (1)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, pode-se observar os valores do parâmetro “a” obtidos pelo ajuste do modelo de Page aos conjunto de dados experimentais da cinética de secagem das fatias de quiabo. O modelo de Page foi escolhido para representar o fenômeno investigado no presente estudo, devido a sua simplicidade e baixo número de parâmetros.

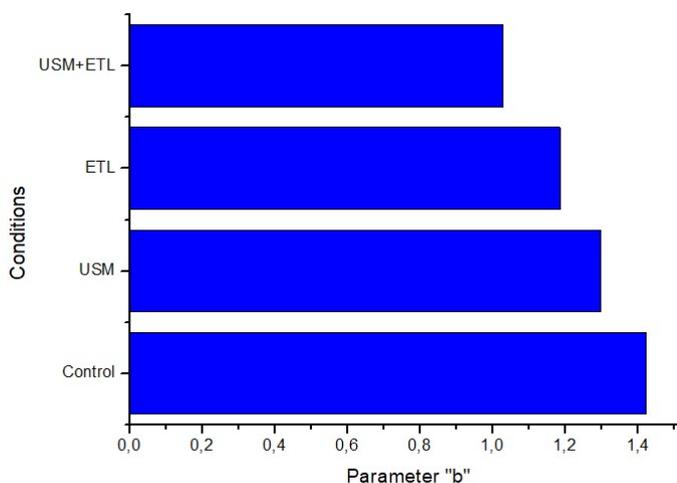
Tabela 1 – Parâmetro “a” obtido pelo ajuste do modelo de Page aos dados experimentais da cinética de secagem das fatias de quiabo nas diferentes condições.

Condições	a
Controle	$0,2017 \times 10^{-2}$
USM	$0,4008 \times 10^{-2}$
ETL	$0,7488 \times 10^{-2}$
USM+ETL	$0,1028 \times 10^{-1}$

Nota: Ultrassom (USM), etanol (ETL) e ultrassom + etanol (USM+ ETL). Fonte: Própria (2022).

Observa-se através da Tabela 1 que os valores do parâmetro “a” aumentaram na medida que as fatias foram submetidas aos pré-tratamentos, com variação dos valores entre 0,002017 a 0,01028. Esse mesmo comportamento também foi observado por Santos et al. (2020) ao secarem fatias de goiaba pré-tratadas com ultrassom. Corrêa et al. (2010) afirmaram que o parâmetro a do modelo de Page tende a aumentar quando se tem maiores taxas de secagem, chegando ao teor de água de equilíbrio em menor tempo de exposição do produto ao ar de secagem, dessa forma evidenciando que o processo das fatias pré-tratadas com USM+ETL ocorreu com maior taxa de secagem. Na Figura 1, pode-se visualizar os valores obtidos para o parâmetro do “b” do modelo de Page.

Figura 1 – Parâmetro “b” obtido pelo ajuste do modelo de Page aos dados experimentais da cinética de secagem das fatias de quiabo nas diferentes condições: controle, ultrassom (USM), etanol (ETL) e ultrassom + etanol (USM+ ETL).



Fonte: Própria (2022).

Os valores do parâmetro “b” foram de 1,4235 (controle), 1,298 (USM), 1,1862 (ETL) e 1,0284 (USM+ETL). Foi observado comportamento semelhante ao parâmetro “a” (Tabela 1), no qual, os valores apresentaram reduções na medida que as fatias de quiabo receberam aplicação de pré-tratamentos. Na Tabela 2, pode-se observar os valores do parâmetro estatísticos obtidos pelo ajuste do modelo de Page aos conjunto de dados experimentais da cinética de secagem das fatias de quiabo.

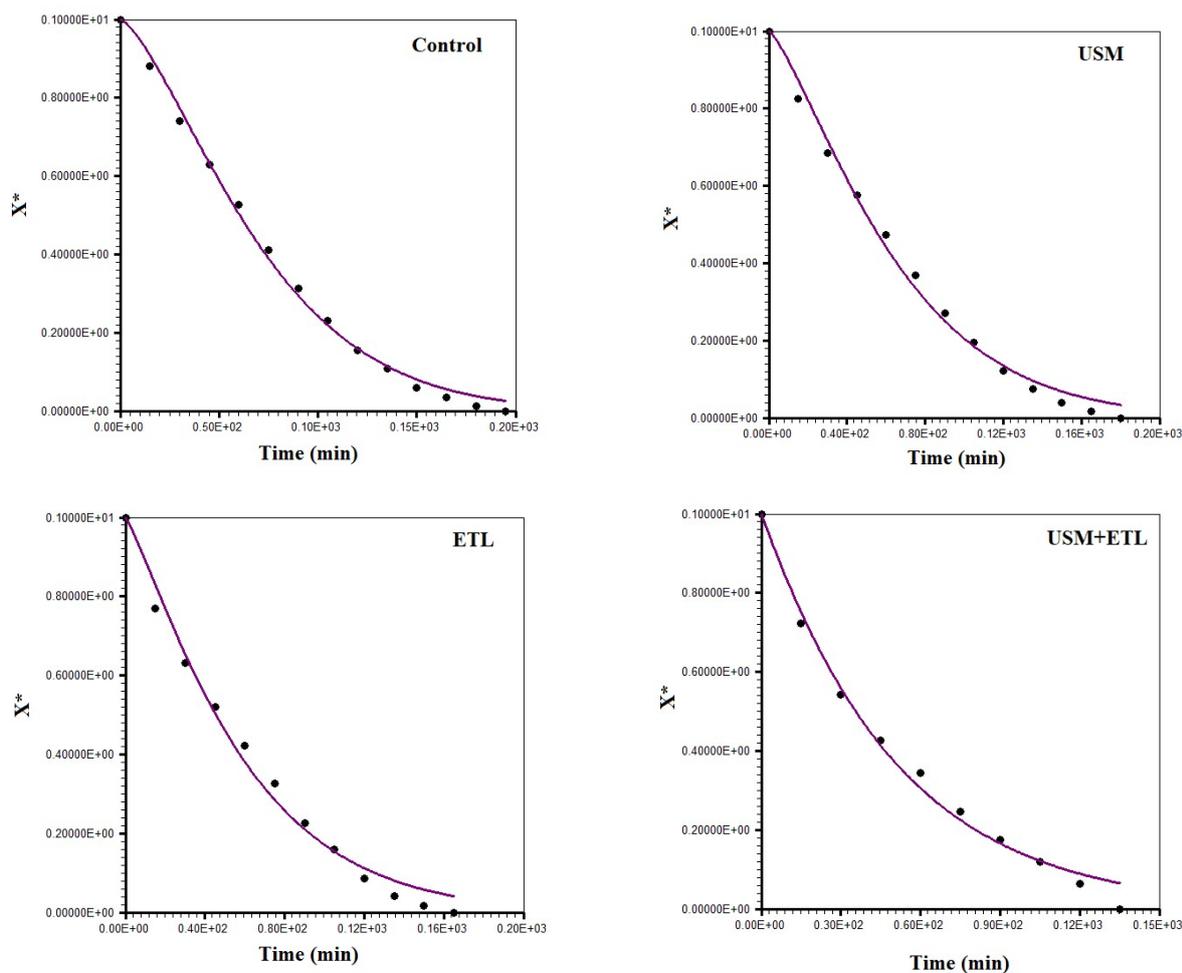
Tabela 2 – Parâmetros estatísticos obtidos pelo ajuste do modelo de Page aos dados experimentais da cinética de secagem das fatias de quiabo nas diferentes condições.

Condições	R ²	χ ²
Controle	0,9966	0,5669x10 ⁻²
USM	0,9933	0,9588x10 ⁻²
ETL	0,9892	0,1358 x10 ⁻¹
USM+ETL	0,9913	0,8179x10 ⁻²

Nota: Ultrassom (USM), etanol (ETL) e ultrassom + etanol (USM+ ETL); Coeficiente de determinação (R²); Função qui-quadrado (χ²). Fonte: Própria (2022).

Em referência aos valores dos coeficientes de determinação (R²) obteve-se valores superiores a 0,99 (R²>0,99), exceto as fatias submetidas ao pré-tratamento com etanol que apresentou valor de 0,9892 (0,98< R²<0,99). Os valores da função qui-quadrado foram na ordem de 10⁻² e 10⁻¹, evidenciando um bom ajuste do modelo aos dados experimentais. Na Figura 2 estão dispostas as curvas experimentais das cinéticas de secagem do quiabo nas diferentes condições (controle, ultrassom (USM), etanol (ETL) e ultrassom + etanol (USM+ ETL)), ajustadas com o modelo de Page, que foi o modelo escolhido para ser ajustado aos dados experimentais.

Figura 2 – Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais da cinética de secagem das fatias de quiabo nas diferentes condições: controle, ultrassom (USM), etanol (ETL) e ultrassom + etanol (USM+ ETL).



Observa-se que a perda de água é mais acentuada no início da secagem reduzindo esse ritmo com o decorrer do tempo. Nota-se ainda que os pré-tratamentos aplicados influenciaram diretamente no tempo total de secagem, em que os quiabos pré-tratados com combinação de ultrassom e etanol (USM+ETL) demandaram menor intervalo de tempo (135 min) para atingir o teor de água de

equilíbrio. Pode-se observar também, que os pré-tratamentos aplicados promoveram uma elevação das taxas de remoção de água do produto e diminuição do tempo de secagem para as fatias de quiabo atingirem o equilíbrio, quando comparados com as fatias controle que não foi aplicado nenhum pré-tratamento (195 min). Verificou-se que os pontos experimentais ficaram muito próximos das curvas preditas, explicados pelos elevados valores do coeficiente de determinação e baixos valores da função qui-quadrado para o modelo selecionado na predição das curvas de secagem.

CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos pode-se concluir que: A aplicação dos pré-tratamentos de ultrassom e etanol, foi eficiente na redução do tempo de secagem do processo; O modelo de Page descreveu satisfatoriamente o fenômeno do processo de secagem; Os parâmetros do modelo de Page foram reduzidos significativamente com aplicação dos pré-tratamentos; A combinação dos pré-tratamentos (USM+ETL) é o mais indicado para a secagem das fatias de quiabo, pois apresentou maiores taxas de secagem.

REFERÊNCIAS

- BRAGA, A. M. P.; PEDROSO, M. P.; AUGUSTO, F.; SILVA, M. A. Volatiles identification in pineapple submitted to drying in an ethanolic atmosphere. *Dry. Technol.*, v. 27, p. 248-257, 2009.
- CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Revista Ceres*, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.
- COUTO, L. A., & COQUEIRO, J. S. (2020). Desenvolvimento de farinha de quiabo orgânico. *Profiscientia*, (14), 194-208.
- GUO, Y., WU, B., GUO, X., DING, F., PAN, Z., & MA, H. (2020). Effects of power ultrasound enhancement on infrared drying of carrot slices: Moisture migration and quality characterizations. *LWT*, 109312.
- HUANG, D., MEN, K., LI, D., WEN, T., GONG, Z., SUNDEN, B., WU, Z. (2020). Application of ultrasound technology in the drying of food products. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63, 104950.
- SANTOS, F. S. Liofilização e secagem convectiva de quiabo. 181f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2018.
- SANTOS, N. C., ALMEIDA, R. L. J., DA SILVA, G. M., MONTEIRO, S. S., & ANDRE, A. M. M. (2020). Effect of ultrasound pre-treatment on the kinetics and thermodynamic properties of guava slices drying process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 66, 102507.
- SANTOS, N. C., BARROS, S. L., DO NASCIMENTO SILVA, S., DE ALCÂNTARA RIBEIRO, V. H., MELO, M. O. P., DA SILVA, W. P., ... & VIEIRA, D. M. (2019). Physico-chemical characterization and kinetics of drying of organic yellow bell pepper (*Capsicum annum* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 14(29), 1247-1253.