

INFLUÊNCIA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA NA CINÉTICA DE SECAGEM DO MAMÃO

Geanderson Leonardo de Lima Pereira¹, Cintia da Silva Araújo², Leandro Levate Macedo¹, Maria Eduarda Nascimento de Jesus¹, Sérgio Henriques Saraiva¹.

¹Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário - 29500-000 – Alegre-ES, Brasil, geandersonllima@gmail.com,

leandrolevate@hotmail.com, mnascimentodejesus626@gmail.com, sergiohsaraiva@gmail.com.

²Universidade Federal da Grande Dourados/Faculdade da Engenharia, Rodovia Dourados/Itahum, km 12, Unidade II – Dourados-MS, Brasil, cintiaaraujo@ufgd.edu.br.

Resumo

O mamão, rico em açúcares e compostos bioativos, é altamente perecível devido ao seu alto teor de umidade. A desidratação osmótica (DO) é uma operação unitária de transferência de massa, geralmente combinada com uma posterior secagem convectiva para garantir a estabilidade do produto. Este estudo teve como objetivo analisar a adequação de diferentes modelos à cinética de secagem do mamão in natura e do mamão previamente desidratado em solução de açúcar de coco. Cubos de mamão foram submetidas à DO usando solução osmótica de açúcar de coco na concentração de 58,64%, a 30°C, por 2,6 horas. Posteriormente, os cubos de mamão in natura e osmo-desidratados foram submetidas à secagem a 60°C. A razão de umidade foi calculada e modelos matemáticos foram ajustados. O mamão in natura secou em 564,24 minutos, enquanto o mamão osmo-desidratado com açúcar de coco levou 930 minutos. A diferença é devido ao agente osmótico, que altera a estrutura celular e afeta a difusão da umidade. Os modelos matemáticos ajustaram-se bem aos dados experimentais, destacando-se o modelo de Page.

Palavras-chave: Mamão. Desidratação Osmótica. Cinética de Secagem. Açúcar de Coco. Modelos Matemáticos.

Área do Conhecimento: Ciências da saúde/Ciência e tecnologia de alimentos.

Introdução

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é a espécie de mamão mais amplamente cultivada no mundo. Sua origem é atribuída à região noroeste da América do Sul, com maior probabilidade de ser proveniente da vertente oriental dos Andes ou da Bacia Amazônica Superior, onde a diversidade genética da planta atinge seu ponto máximo (Dantas, 2001). Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor mundial de mamão, destacando-se os estados da Bahia e Espírito Santo (Kist *et al.*, 2022).

Por ser um fruto predominante em regiões tropicais e subtropicais, o mamão é amplamente consumido tanto fresco quanto industrializado. Reconhecido por seu valor nutricional significativo, o mamão é rico em açúcares e compostos bioativos, como carotenoides e vitamina C. Além disso, possui sabor e aroma agradáveis devido à presença de compostos voláteis. No entanto, o mamão amadurece rapidamente, resultando em amolecimento estrutural. Esse processo, aliado ao seu alto teor de umidade e elevada atividade de água, o torna extremamente perecível, ocasionando perdas pós-colheita significativas ao longo de sua cadeia de produção (Khonsarn *et al.*, 2012). Uma solução viável para esse problema é o processamento do mamão, que aumenta sua vida útil, preserva sua qualidade e facilita sua disponibilidade e comercialização (Khonsarn *et al.*, 2012). Essa abordagem não só reduz o desperdício utilizando os frutos excedentes, como também oferece benefícios ambientais importantes.

A desidratação osmótica é uma técnica amplamente utilizada como pré-tratamento no processamento de frutas, visando reduzir a atividade de água, aumentar a estabilidade e melhorar diversas propriedades sensoriais, funcionais e nutricionais. Esse método envolve a remoção parcial de água de um alimento sólido, através da imersão em uma solução hipertônica. O gradiente de concentração entre a solução e o alimento promove a transferência de água do alimento para a solução

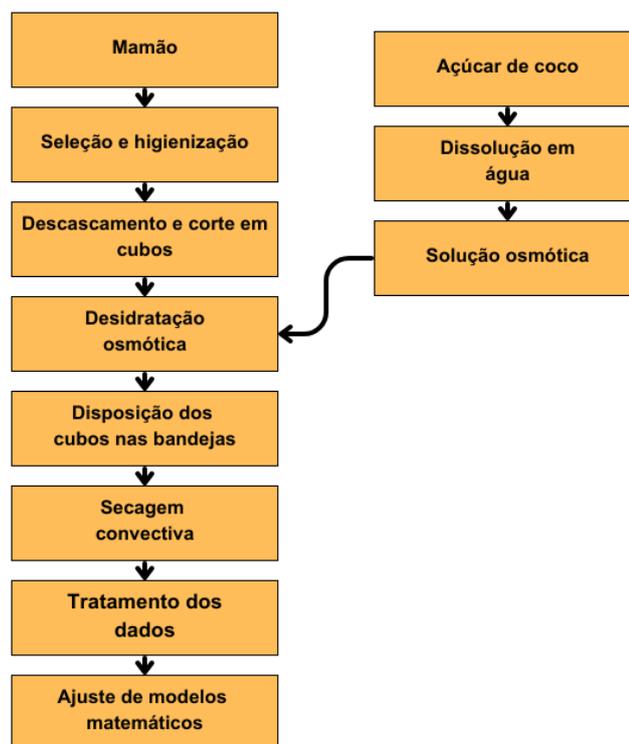
osmótica, enquanto solutos da solução são transferidos para o alimento. Apesar de produzir alimentos com características específicas, essa técnica não garante a estabilidade físico-química do produto. Portanto, é necessário um processo de secagem subsequente para reduzir o teor de umidade a níveis seguros (Giannakourou; Lazou; Dermesonlouglou, 2020).

A sacarose é o açúcar predominante na maioria dos estudos sobre desidratação osmótica. Embora melhore a aceitação sensorial do produto, o consumo excessivo de sacarose pode representar sérios riscos à saúde, especialmente para indivíduos diabéticos. Uma alternativa promissora à sacarose é o açúcar de coco, extraído do néctar das flores da palma de coco, que possui elevado teor de potássio, magnésio, zinco, cálcio e ferro, além de quantidades significativas de compostos antioxidantes como flavonoides, antocianinas e polifenóis (Suárez *et al.*, 2021). Diante disso, este estudo teve como objetivo analisar a adequação de diferentes modelos à cinética de secagem do mamão in natura e do mamão previamente desidratado em solução de açúcar de coco.

Metodologia

Mamão da variedade havaí (*Carica papaya L.*) proveniente do norte do estado do Espírito Santo, foi adquirido no comércio local da cidade de Alegre – ES. Os frutos foram obtidos no estágio de maturação 3 com a polpa apresentando até 25% da superfície amarela (1/4 madura). O açúcar de coco foi adquirido da empresa Wlk Food's. As etapas do processo realizado são mostradas na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma experimental



Fonte: o autor.

Os frutos foram lavados, sanitizados em água clorada (200 ppm por 10 min), seguido de enxágue e armazenamento a 8 °C por, no máximo, 2 dias. Para realização dos experimentos, a casca foi removida e a fruta cortada em formato de cubos de 10x10mm, utilizando um molde de aço inox.

Os cubos de mamão foram inseridos em solução osmótica de açúcar de coco em uma concentração de 58,64% e deixados por 156 minutos em incubadora a 30 °C. Ao fim do processo osmótico, o líquido foi drenado e os cubos de mamão foram imersos em água gelada por 20 segundos para interrupção das transferências de massa. A superfície das amostras foi seca com papel absorvente e as fatias foram dispostas em bandejas perfuradas, as quais foram levadas ao secador de cabine a 60 °C. A massa das amostras foi registrada a cada 15 minutos para elaboração das curvas de cinética de secagem. O processo foi interrompido quando a umidade das amostras estava em torno de 18%. Além das amostras previamente desidratadas, o mamão in natura também foi seco sob as mesmas condições.

A razão de umidade (RU) foi determinada através da Equação 1.

$$RU = \frac{X_T - X_e}{X_0 - X_e} \quad (1)$$

Em que, X_T é o teor de água, em base seca, em qualquer instante de tempo, X_e é o teor de água na condição de equilíbrio e X_0 é o teor de água inicial.

Os modelos de Lewis, Henderson & Pabis e Page, conforme descritos nas Equações 2, 3 e 4, foram ajustados aos dados por meio de regressão não linear.

$$RU = \exp^{-k*t} \quad (2)$$

$$RU = a * \exp^{-k*t} \quad (3)$$

$$RU = \exp^{-k*t^n} \quad (4)$$

Em que, k, a e n são parâmetros dos modelos, t é o tempo (min).

A qualidade do ajuste dos modelos foi verificada com base nos valores do coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) e erro padrão da regressão (SE), calculados de acordo com as Equações 5, 6 e 7, respectivamente.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - RU_{pred,i})^2}{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - \bar{RU})^2} \quad (5)$$

$$R^2_{adj} = \frac{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - RU_{pred,i})^2}{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - \bar{RU})^2} \frac{N-1}{N-p} \quad (6)$$

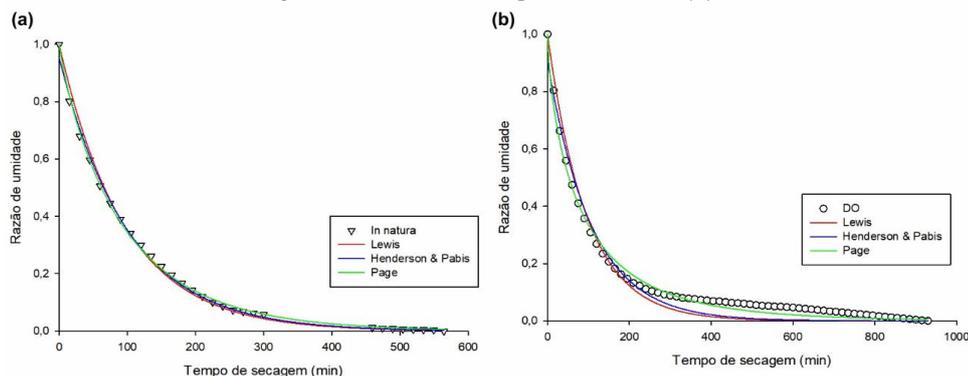
$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - RU_{pred,i})^2}{N-p}} \quad (7)$$

Em que $RU_{exp,i}$ e $RU_{pred,i}$ representam, respectivamente, os valores experimentais e previstos da razão de umidade para a i-ésima observação; \bar{RU} é a média dos valores experimentais da razão de umidade; N é o total de observações; e p é o número de constantes no modelo.

Resultados

Para ajustar os modelos de cinética de secagem, foram calculados os valores de razão de umidade ao longo do tempo de secagem, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Modelos de cinéticas de secagem para mamão in natura (a) e mamão osmo-desidratado usando açúcar de coco como agente osmótico (b).



Fonte: o autor.

Na Tabela 1, estão apresentadas as equações dos modelos de Lewis, Henderson & Pabis, e Page para o mamão in natura e para o mamão osmo-desidratado com açúcar de coco.

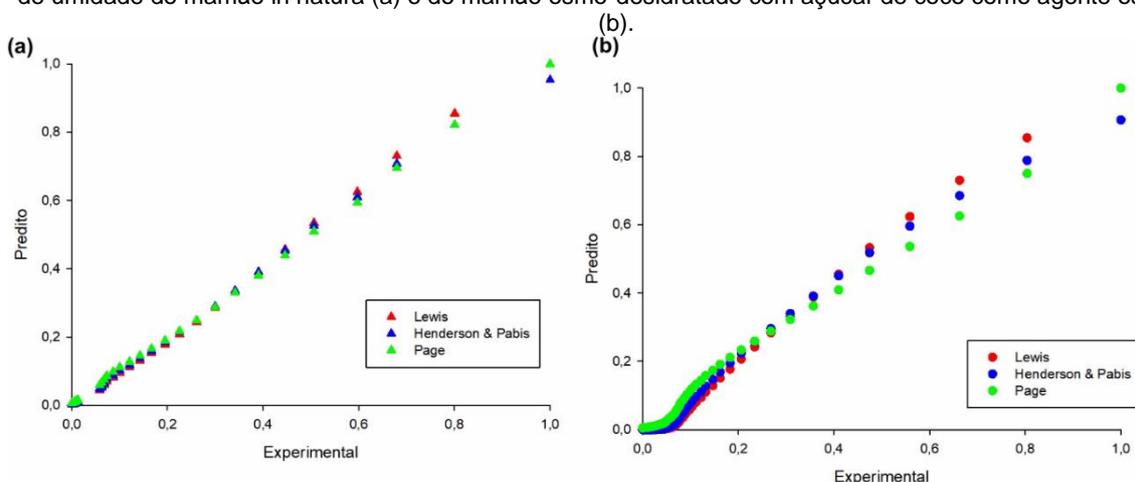
Tabela 1 - Modelos ajustados com suas respectivas equações e os valores de coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) e erro padrão da regressão (SE).

Tratamentos	Modelos	Equação ajustada	R^2	R^2_{adj}	SE
In natura	Lewis	$RU = e^{0,010435*t}$	0,9953	0,9953	0,0182
	Henderson & Pabis	$RU = 0,95335 * e^{0,00992*t}$	0,9976	0,9975	0,0131
	Page	$RU = e^{0,017448*t^{0,89219}}$	0,9989	0,9988	0,0089
DO	Lewis	$RU = e^{0,01049*t}$	0,9600	0,9600	0,0389
	Henderson & Pabis	$RU = 0,90642 * e^{0,009329*t}$	0,9671	0,9666	0,0356
	Page	$RU = e^{0,04287*t^{0,70331}}$	0,9899	0,9898	0,0196

Fonte: o autor.

Na Figura 3 são apresentados os valores experimentais e preditos pelos modelos ajustados.

Figura 3 – Comparação entre os valores preditos pelos modelos matemáticos e os dados experimentais de razão de umidade do mamão in natura (a) e do mamão osmo-desidratado com açúcar de coco como agente osmótico (b).



Fonte: o autor.

Discussão

A Figura 2 ilustra a diminuição da razão de umidade (RU) ao longo do tempo de secagem, seguindo um padrão exponencial, típico da secagem convectiva de produtos alimentícios. Inicialmente, os mamões apresentavam um alto teor de umidade, o que facilitava a remoção da água. No entanto, com a progressão da secagem, a umidade do mamão reduziu, resultando em uma menor quantidade de água disponível para remoção. Além disso, o processo de secagem promove alterações físicas no material, como encolhimento e enrijecimento, que dificultam o movimento da água (Araújo; Macedo; Saraiva, 2023).

A análise dos tempos de secagem revela que o mamão in natura teve uma secagem mais rápida, completando o processo em 564,24 minutos. Em contraste, o mamão osmo-desidratado com açúcar de coco apresentou um tempo de secagem significativamente maior, de 930 minutos. Essa diferença é atribuída à ação do agente osmótico, que altera a estrutura celular do mamão e interage com a água do material, o que, conseqüentemente, influencia na difusão da umidade.

Durante a desidratação osmótica (DO), ocorrem simultaneamente três fluxos de massa entre o alimento e a solução osmótica: a remoção de compostos solúveis, a perda de água e a absorção de sólidos. O primeiro fluxo resulta na perda de compostos como vitaminas e minerais, que se lixiviam para a solução osmótica, acarretando uma perda qualitativa significativa. Os dois fluxos restantes

representam a remoção de água do alimento para a solução osmótica e a incorporação de açúcares da solução pelo alimento. Esses fluxos são impulsionados pelo gradiente de pressão osmótica, resultante da diferença de concentração de solutos entre o alimento e a solução. A perda de água reduz o teor de umidade do alimento, enquanto a absorção de açúcares aumenta o conteúdo de sólidos. Como consequência, o alimento contém menos água a ser removida na etapa de secagem convectiva subsequente, tornando o processo mais eficiente quando a DO é realizada previamente (Araújo; Macedo; Saraiva, 2023).

Os modelos matemáticos de Lewis, Henderson & Pabis e Page apresentaram um bom ajuste aos dados experimentais, conforme ilustrado na Figura 2 e na Tabela 1, com valores de coeficiente de determinação (R^2) superiores a 0,96. Modelos bem ajustados são úteis para obter informações detalhadas sobre o processo e permitir a previsão de resultados em qualquer ponto da curva, mesmo aqueles não diretamente medidos nos experimentos, desde que as condições de modelagem sejam constantes (Araújo; Macedo; Saraiva, 2023).

Para comparar a eficácia dos diferentes modelos matemáticos, são utilizados o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) e o erro padrão da regressão (SE). Modelos com valores elevados de R^2_{adj} e baixos valores de SE indicam um ajuste superior e uma melhor representação dos dados experimentais. De acordo com a Tabela 1, o modelo de Page apresentou os maiores valores de R^2_{adj} e os menores valores de SE para ambos os tratamentos analisados, indicando a melhor capacidade preditiva entre os modelos estudados.

A qualidade do ajuste do modelo também pode ser avaliada pela dispersão entre os valores preditos e os dados experimentais, como mostrado na Figura 3. Um ajuste satisfatório é indicado quando a disposição dos dados está alinhada com uma linha imaginária de 45° (Macedo *et al.*, 2020). Quanto mais próxima a dispersão estiver dessa linha, mais preciso é o ajuste. A Figura 3 demonstra que todos os três modelos apresentam dados próximos a essa linha para as duas amostras analisadas.

Conclusão

A aplicação da desidratação osmótica, ao alterar a estrutura celular e promover a absorção de açúcares, resultou em um aumento significativo no tempo de secagem do mamão osmo-desidratado em comparação ao mamão in natura.

Os modelos matemáticos analisados mostraram um ajuste satisfatório aos dados experimentais. Dentre eles, o modelo de Page destacou-se como o mais adequado para o experimento, apresentando o melhor ajuste.

Referências

ARAÚJO, C. S.; MACEDO, L. L.; SARAIVA, S. H. **INFLUÊNCIA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E DO AGENTE OSMÓTICO NA CINÉTICA DE SECAGEM DE BANANA PRATA**. Anais do XXVII INIC, XXIII EPG, XVII INIC Jr, XIII INID, III ENEXUN. Anais. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2023.

DANTAS, J. L. L., LIMA, J. F. Seleção e recomendação de variedades de mamoeiro – Avaliação de linhagens e híbridos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, n.3, p.617-621, 2001.

GIANNAKOUROU, M. C.; LAZOU, A. E.; DERMESONLOUGLOU, E. K. Optimization of Osmotic Dehydration of Tomatoes in Solutions of Non-Conventional Sweeteners by Response Surface Methodology and Desirability Approach. **Foods**, v. 9, n. 10, p. 1393, out. 2020.

KIST, B. B.; CARVALHO, C.; BELING, R. R. **Anuário Brasileiro de HORTI & FRUTI 2022**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2022.

KHONSARN, N.; LAWAN, S. Level of Xanthophyll, Lutein and Zeaxanthin in Selected Thai Fruits Determined by HPLC. **International Proceedings of Chemical**, v. 39, p. 240-243, 2012.

MACEDO, L. L. et al. Effect of drying air temperature on drying kinetics and physicochemical characteristics of dried banana. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. April, p. 1–10, 28 maio 2020.

SUÁREZ, N. F. et al. Consumer profile: Blackberry processing with different types of sugars. **Food Science and Technology (Brazil)**, v. 41, n. 3, p. 653–660, 2021.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UFES, à Fapes pela bolsa de Pesquisador Capixaba de Sérgio Henriques Saraiva e ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.