

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

INFLUÊNCIA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E DO AGENTE OSMÓTICO NA CINÉTICA DE SECAGEM DE BANANA PRATA

Cintia da Silva Araújo¹, Leandro Levate Macedo², Sérgio Henriques Saraiva¹.

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

²Instituto Federal do Espírito Santo, Avenida Elisabeth Minete, 500– 29375-000 – Venda Nova do
Imigrante-ES, Brasil, leandrolevate@hotmail.com.

Resumo

A sacarose é o soluto mais utilizado para a desidratação osmótica (DO) de frutas, entre elas a banana. O açúcar de coco representa uma alternativa mais saudável à sacarose. Após a DO, a secagem convectiva é comumente utilizada para complementar a redução do teor de umidade do material. Diante disso, o objetivo do presente estudo foi avaliar a influência da desidratação osmótica usando sacarose ou açúcar de coco na cinética de secagem de fatias de banana. Fatias foram submetidas à DO usando soluções osmóticas de sacarose ou açúcar de coco na concentração de 60%, a 30°C, por 5 horas. Fatias de banana in natura e osmo-desidratadas foram submetidas a secagem a 60°C. A razão de umidade foi calculada e modelos matemáticos foram ajustados. A secagem das fatias de banana in natura demandou 5,75 h. Foi observado que o emprego da DO reduziu o tempo de secagem em 8,7%. O uso do açúcar de coco como alternativa à sacarose não influenciou o tempo de secagem. Portanto, o seu uso pode ser uma boa alternativa para a produção de bananas desidratadas. Os modelos matemáticos ajustaram-se bem aos dados experimentais, destacando-se o modelo de Midilli.

Palavras-chave: Banana. Desidratação osmótica. Solute alternativo. Secagem convectiva.

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

Introdução

As frutas contribuem para a manutenção da saúde e prevenção de doenças, dada suas quantidades de compostos fitoquímicos e vitaminas. A banana, por sua vez, é uma das frutas mais consumidas e apreciadas em todo o mundo (KIM et al., 2022). No entanto, a elevada perecibilidade desse alimento faz com que estudos de processos que possam contribuir para sua conservação por mais tempo sejam necessários.

A desidratação osmótica (DO) consiste em um processo em que o alimento é adicionado à uma solução hipertônica. Nesse processo, ocorre a saída de água do alimento para a solução e a incorporação de soluto pelo alimento. Embora a DO possa gerar produtos com características diferenciadas, esse processo por si só não garante a estabilidade físico-química necessária. Desta forma, um processo subsequente de secagem é necessário para reduzir o teor de umidade do produto a níveis seguros (GIANNAKOUROU; LAZOU; DERMESONLOUGLOU, 2020).

Um dos agentes osmóticos mais utilizados é a sacarose. No entanto, preocupações com a saúde, principalmente relacionadas à falta de nutrientes e elevado nível de calorias deste açúcar, têm levado os pesquisadores a buscarem agentes osmóticos alternativos. Um dos açúcares que vem sendo testado para essa finalidade é o açúcar de coco. Esse açúcar tem a vantagem de possuir menor índice glicêmico do que a sacarose e ainda possuir vitaminas, minerais e compostos com atividade antioxidante (PRAVITHA et al., 2022; SUÁREZ et al., 2021).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o ajuste de diferentes modelos à cinética de secagem de banana in natura e de banana previamente desidratada com soluções de sacarose e açúcar de coco em concentração de 60%.

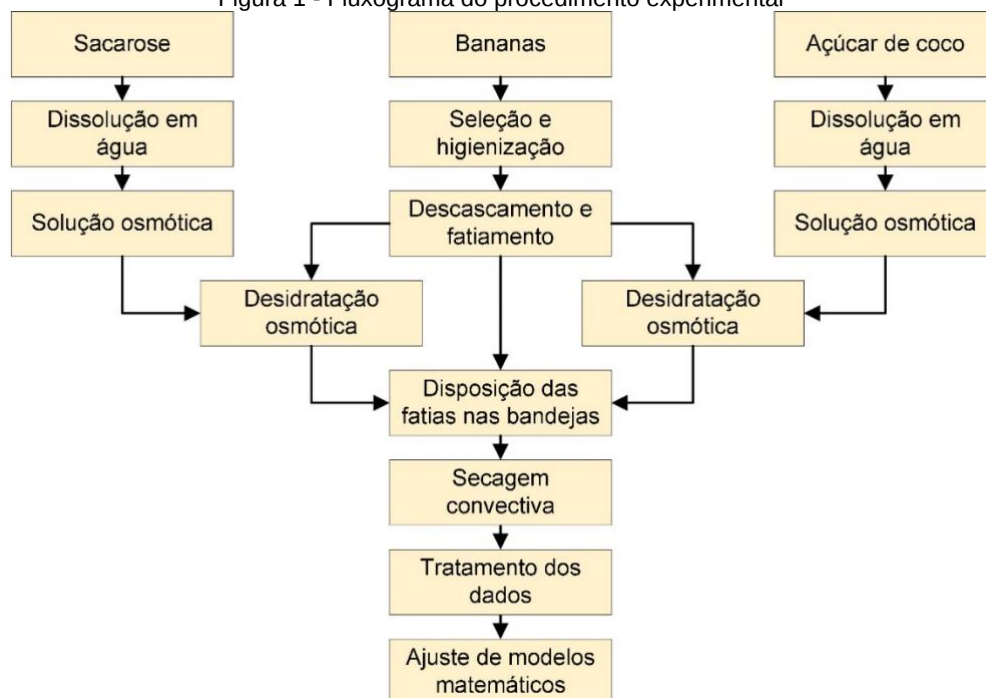
Metodologia

As bananas (cultivar Prata) e o açúcar refinado foram adquiridos no comércio local. O açúcar de coco foi adquirido da Cerealista Castelo®.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

As etapas experimentais realizadas são mostradas na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma do procedimento experimental



Fonte: o autor.

As frutas foram higienizadas e selecionadas quanto a integridade física e grau de maturação. Posteriormente, a casca das bananas foi removida e a fruta foi cortada em cilindros de 5mm de espessura e 28 mm de diâmetro, utilizando um fatiador e um molde, ambos de aço inox.

As bananas fatiadas foram inseridas em soluções osmóticas de sacarose e açúcar de coco em uma concentração de 60% e deixadas por 300 minutos em incubadora a 30 °C. Ao fim do processo osmótico, o líquido foi drenado e as fatias de banana imersas em água gelada 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 e velocidade do ar de 1,5 m/s. 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 17%. Além das amostras previamente desidratadas, a banana in natura também foi seca sob as mesmas condições.

Os valores de razão de umidade (RU) foram calculados de acordo com a 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 Midilli, Equações 2, 3 e 4, respectivamente, foram ajustados aos dados utilizando regressão não-linear.

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

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

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

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

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

A qualidade do ajuste dos modelos foi avaliada pelos valores de coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) e erro padrão da regressão (SE), calculados conforme as Equações 10, 11 e 12, respectivamente.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - RU_{pred,i})^2}{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - \bar{RU})^2} \quad (10)$$

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - RU_{pred,i})^2 \frac{N-1}{N-p}}{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - \bar{RU})^2} \quad (11)$$

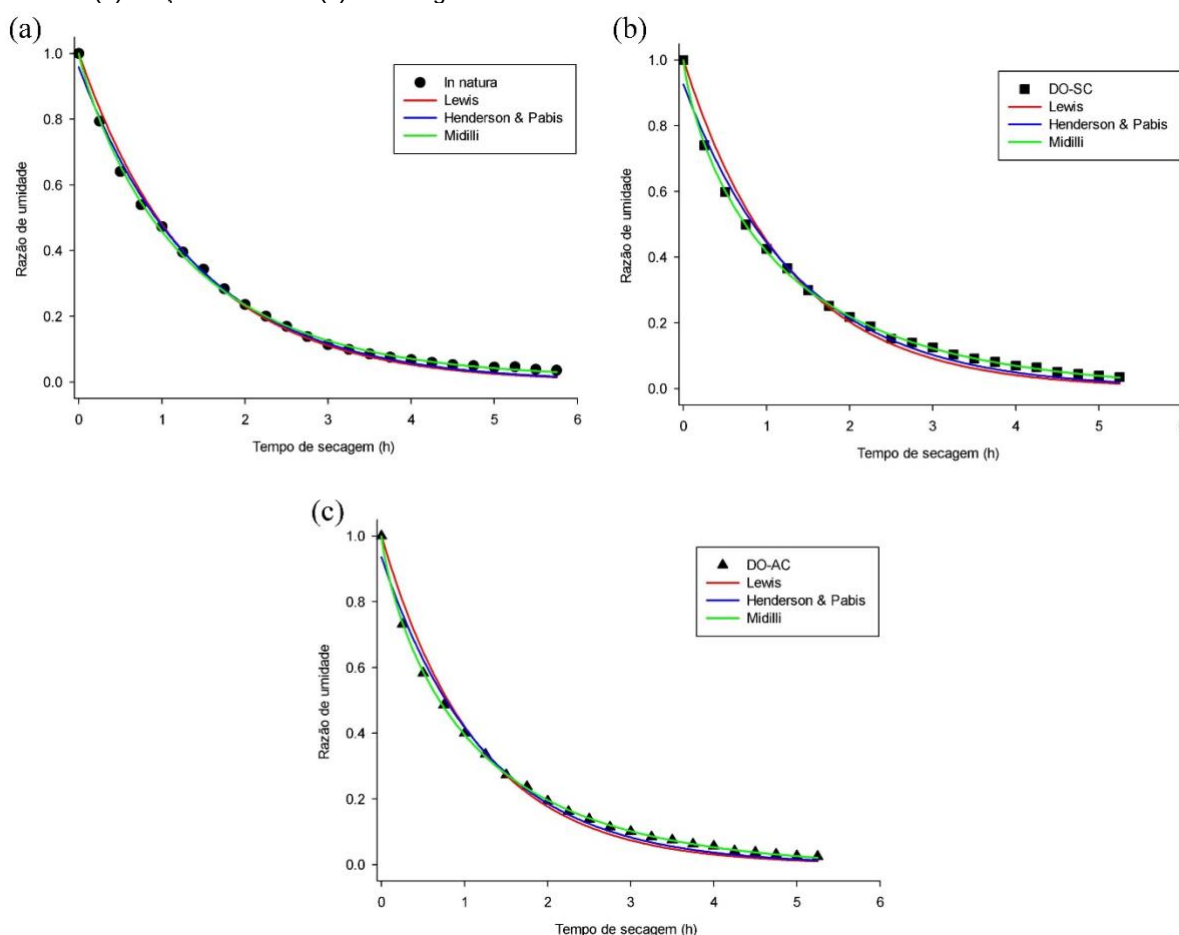
$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - RU_{pred,i})^2}{N-p}} \quad (12)$$

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

Resultados

A disposição dos dados de razão de umidade (RU) em função do tempo de secagem pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 2 - Modelos ajustados às cinéticas de secagem das bananas in natura (a), osmo-desidratadas usando a sacarose (b) e açúcar de coco (c) como agentes osmóticos.



Fonte: o autor.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Na Tabela 1 são mostrados os valores dos parâmetros dos modelos Lewis, Henderson & Pabis, e Midilli para a banana in natura e para a banana desidratada com sacarose e açúcar de coco.

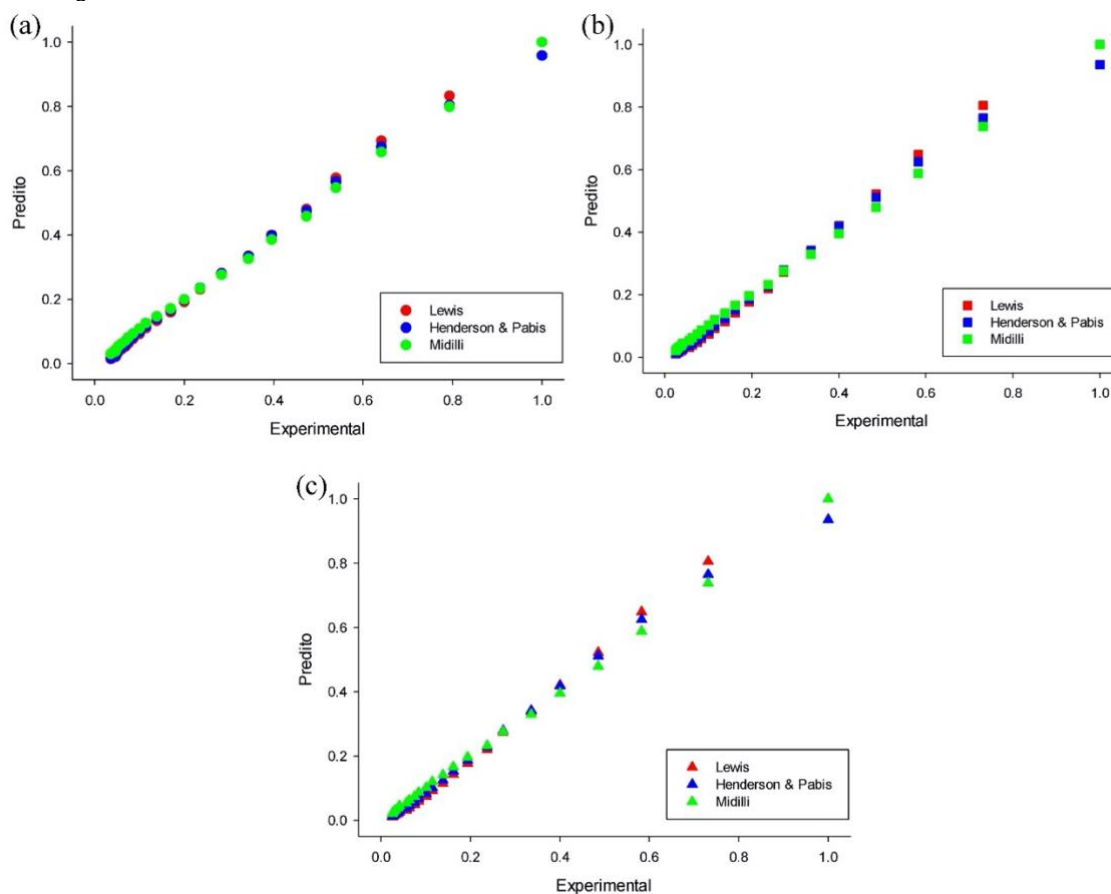
Tabela 1 - Parâmetros (k , a , n e b), coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}), e erro padrão da regressão (SE) dos modelos matemáticos ajustados.

Tratamentos	Modelos	k	a ou n	b	R^2	R^2_{adj}	SE
In natura	Lewis	0,7331	-	-	0,9942	0,9942	0,0201
	Henderson & Pabis	0,7009	0,9579	-	0,9963	0,9961	0,0165
	Midilli	0,7831	0,8990	0,0013	0,9990	0,9989	0,0088
DO-SC	Lewis	0,7972	-	-	0,9826	0,9826	0,0339
	Henderson & Pabis	0,7328	0,9255	-	0,9897	0,9892	0,0268
	Midilli	0,8718	0,7874	-0,0012	0,9997	0,9996	0,0050
DO-AC	Lewis	0,8664	-	-	0,9873	0,9873	0,0293
	Henderson & Pabis	0,8065	0,9353	-	0,9923	0,9919	0,0234
	Midilli	0,9234	0,8028	-0,0017	0,9998	0,9997	0,0042

Fonte: O autor.

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

Figura 3 - Disposição dos dados preditos pelos modelos matemáticos em relação aos dados experimentais das cinéticas de secagem das bananas in natura (a), osmo-desidratadas usando a sacarose (b) e açúcar de coco (c) como agentes osmóticos.



Fonte: o autor.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Discussão

A razão de umidade (RU) reduziu ao longo do tempo de secagem, conforme mostrado na Figura 2. Esta redução apresentou um comportamento exponencial, característico para secagem convectiva de materiais alimentícios. Inicialmente, as bananas apresentaram alto teor de umidade, o que facilita a remoção da água. No entanto, ao longo da secagem, o teor de umidade da banana diminuiu, o que reduz a quantidade de água disponível para remoção. Além disso, ocorrem alterações físicas no material, como encolhimento e enrijecimento, que dificultam o deslocamento da água (KARAM et al., 2016).

As fatias de banana in natura demandaram 5,75 horas para a conclusão da secagem, enquanto que ambas as amostras pré-desidratadas osmoticamente exigiram 5,25 horas. Portanto, o uso da desidratação osmótica (DO) como um pré-tratamento reduziu o tempo de secagem convectiva em aproximadamente 8,7%. Isso implica em vantagens, como, redução nos gastos com energia, redução do uso de mão-de-obra e redução do uso do equipamento, minimizando o desgaste e, consequentemente, os gastos com manutenção.

Durante a DO, três fluxos de massa ocorrem simultaneamente entre o material (banana) e a solução osmótica, que são: lixiviação de compostos solúveis, perda de água, e ganho de sólidos. O primeiro fluxo representa a perda de compostos, como, vitaminas e minerais, presentes no alimento que se solubilizam na solução osmótica e, consequentemente, são perdidos, o que representa uma importante perda qualitativa. Os outros dois fluxos indicam a saída de água do alimento para a solução osmótica, e a impregnação do açúcar da solução osmótica no alimento. Estas transferências de massa ocorrem devido ao gradiente de pressão osmótica entre a solução e o alimento. A perda de água e o ganho de sólidos culminam na redução do teor de umidade do alimento devido a saída de água e ao aumento da matéria seca do alimento. Por esta razão, a quantidade de água a ser removida no processo de secagem convectiva é menor quando a DO é usada previamente (GONZÁLEZ-PÉREZ; RAMÍREZ-CORONA; LÓPEZ-MALO, 2021).

A amostra submetida a DO com sacarose e a com açúcar de coco apresentaram tempos de secagem iguais (Figura 2). Isso pode ser devido a composição do açúcar de coco ser majoritária em sacarose. Segundo Wrage et al. (2019), o açúcar de coco possui cerca de 81,6% a 91,1% de sacarose. Isso pode ter feito com que as características físicas da amostra submetida à DO com açúcar de coco e da amostra submetida à DO com sacarose sejam semelhantes e, consequentemente, tenham influências parecidas na secagem convectiva comparada a banana in natura.

Os modelos matemáticos de Lewis, Henderson & Pabis, e Midilli apresentaram bom ajustes aos dados experimentais, conforme pode ser observado na Figura 2 e na Tabela 1, onde os valores de coeficiente de determinação (R^2) apresentaram-se elevados, superiores a 0,98. Modelos matemáticos com boa qualidade de ajuste podem ser úteis para obtenção de diversas informações importantes sobre o processo, como para a estimativa da resposta em qualquer ponto da curva, mesmo que não seja um ponto experimental, desde que seja dentro das mesmas condições usadas para elaboração do modelo matemático.

O coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) e o erro padrão da regressão (SE) são importantes ferramentas que permitem a comparação entre os modelos matemáticos. Desta forma, modelos que apresentem maior R^2_{adj} e menor SE possuem melhor qualidade de ajuste, sendo capazes de representar melhor os dados experimentais. Conforme a Tabela 1, o modelo de Midilli apresentou os maiores valores de R^2_{adj} e menores de SE para os três tratamentos. Portanto, entre os modelos matemáticos avaliados, o de Midilli possui a melhor capacidade de predição dos dados. O mesmo foi observado também por Macedo et al. (2020) na secagem convectiva de bananas in natura em diferentes temperaturas.

A qualidade do ajuste do modelo matemático também pode ser avaliada através da dispersão dos valores preditos pelo modelo *versus* os dados experimentais, conforme apresentado na Figura 3. Um ajuste perfeito ocorre quando esta disposição coincide com uma linha imaginária com ângulo de 45° (MACEDO et al., 2020). Portanto, quanto mais próxima a dispersão estiver da linha de 45°, melhor o ajuste. Conforme a Figura 3, pode-se observar que os três modelos apresentaram dados próximos a esta linha, para os três tipos de amostras.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Conclusão

A secagem de frutas possibilita a introdução de mais uma opção de produto no mercado, além de garantir estabilidade ao armazenamento e comercialização.

O uso do açúcar de coco como uma alternativa ao uso da sacarose durante a desidratação osmótica influenciou na secagem convectiva.

A desidratação osmótica como um pré-tratamento reduziu o tempo de secagem, tanto usando o açúcar de coco quanto a sacarose.

Os modelos matemáticos avaliados ajustaram-se satisfatoriamente aos dados experimentais. O modelo de Midilli apresentou o melhor ajuste, sendo o mais adequado neste experimento.

Referências

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.

GONZÁLEZ-PÉREZ, J. E.; RAMÍREZ-CORONA, N.; LÓPEZ-MALO, A. Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: Process Factors and Non-Thermal Methods. **Food Engineering Reviews**, v. 13, n. 2, p. 344–374, 16 jun. 2021.

KARAM, M. C. et al. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 188, p. 32–49, nov. 2016.

KIM, D. K. et al. Antioxidant activity of banana flesh and antiproliferative effect on breast and pancreatic cancer cells. **Food Science and Nutrition**, v. 10, n. 3, p. 740–750, 2022.

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.

PRAVITHA, M. et al. Comparison of drying behavior and product quality of coconut chips treated with different osmotic agents. **Lwt**, v. 162, n. September 2021, p. 113432, 2022.

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.

WRAGE, J. et al. Coconut sugar (*Cocos nucifera* L.): Production process, chemical characterization, and sensory properties. **Lwt**, v. 112, n. May, p. 108227, 2019.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pela bolsa de Pesquisador Capixaba de Sérgio Henriques Saraiva.