



APLICAÇÃO DE ESPECTROSCOPIA FT-IR ASSOCIADA À QUIMIOMETRIA NO RECONHECIMENTO DE AMOSTRAS DE AÇAÍ ADULTERADAS

Marcelly L. B. Carvalho¹; Matheus F.L. de Oliveira²; Gilmar S. da Silva³; Arlan. S. Freitas⁴; Eliane. R. Sousa⁵

¹Graduanda em Licenciatura em Química - IFMA – Campus São Luís-Monte Castelo;

²Doutorando em Química - IFMA – Campus São Luís-Monte Castelo;

³Professor Titular- IFMA – Campus São Luís-Monte Castelo;

⁴Professor Titular- IFMA – Campus São Luís-Monte Castelo;

⁵Professora Titular- IFMA – Campus São Luís-Maracanã.

lavignebotelho@acad.ifma.edu.br

Palavras-Chave: autenticidade alimentar, análise multivariada, assinatura espectral.

Introdução

O açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma fruta típica do norte do Brasil, normalmente comercializada como suco, purê ou pó, incluindo polpa liofilizada (Caramês *et al.*, 2021). Uma das formas de consumir a polpa é a sua mistura com granola, banana e guaraná ou misturado com outras polpas de fruta (Sandra *et al.* 2013). Sua produção tem se tornado cada vez mais requisitada devida ao crescimento de exportação dessa polpa para outros países. Vale ressaltar que o mercado de produtos do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) tem se tornado rentável e gerado anualmente mais de 40 milhões de reais em receita (Barbosa; Carvalho Juíunior 2022)

Devido as limitações na produção desse fruto e alta demanda, alguns comerciantes tem agido ilegalmente adulterando a polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). Essa adulteração geralmente ocorre pela adição de amido de milho, amido de mandioca, pigmentos, polpas de outras frutas com cor parecida e também espessantes artificiais. Embora seja uma prática que gere maiores lucros para os comerciantes, ela resulta na perda da qualidade do produto e pode implicar em perigo à saúde humana (Munyendo *et al.* 2024). Neste sentido percebe-se a necessidade da aplicação de técnicas instrumentais analíticas no controle de qualidade desse produto.

A aplicação de espectroscopia de infravermelho associada a ferramentas quimiométricas para análise da autenticidade de alimentos, tem tido grande destaque. Isso se dar principalmente pela viabilidade de utilização dessa técnica em análises rápida. Sendo considerada uma técnica de baixo tempo e custo de análise, facilidade de uso, alta reprodutibilidade e maior portabilidade (Calle *et al.* 2022).

Entretanto, em matrizes alimentares complexas, a análise direta dos espectros gerados pode não ser suficiente para distinguir, de maneira precisa, diferenças discretas entre amostras genuínas e adulteradas. Nesse contexto, a combinação da FTIR com técnicas quimiométricas constitui uma abordagem de elevada importância analítica, uma vez que possibilita o processamento estatístico e matemático dos dados espectrais, favorecendo a identificação de padrões e

correlações entre as amostras analisadas (Valand et al., 2020). Neste sentido o presente trabalho tem como objetivo determinar a presença de adulterantes em polpa de açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) por meio da espectroscopia de infravermelho médio e quimiometria.

Material e Métodos

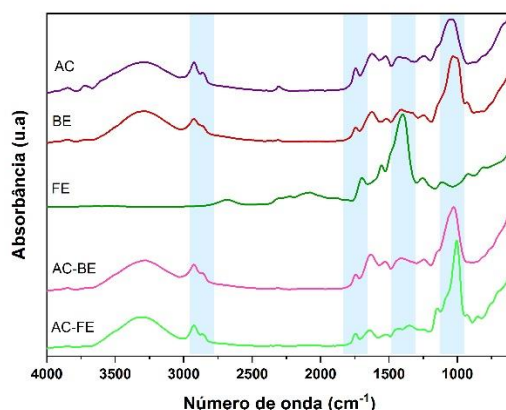
Inicialmente realizou-se a coleta das polpas de açaí. A coleta foi realizada em pontos comerciais, onde foi assegurado que as amostras correspondiam à polpa de açaí integral. Em seguida as amostras foram adulteradas com polpa de beterraba e fécula de mandioca nas concentrações de 1%, 2%, 5%, 15%, 30% e 40% (m/m), visando simular diferentes níveis de adulteração. Posteriormente as amostras adulteradas foram congeladas por 24 horas e em seguida, submetidas ao processo de liofilização por 48h, a fim de remover a umidade e preservar suas características para posterior análise. Após o processo de liofilização realizou-se a análise utilizando um Espectrômetro de Infravermelho com transformada de Fourier com acessório de refletância total atenuada (ATR) a base de seleneto de zinco (ZnSe) modelo IRAffinity-1 da marca Shimadzu. Os espectros foram obtidos em triplicata utilizando uma faixa espectral de 4000 cm^{-1} a 600 cm^{-1} , resolução de 8 cm^{-1} e 32 varreduras. A análise quimiométrica foi realizada através do software The Unscramble X, Camo versão 10.4. A partir da média das triplicatas, fez-se o pré-tratamento dos dados, por meio da correção de linha de base, suavização por Savitzky-Golay e Variação Normal Padrão (SNV). Após o tratamento dos dados aplicou-se a Análise de Componentes Principais (PCA) para o reconhecimento de padrão.

Resultados e Discussão

Análise Espectral

A Figura 1, apresenta os espectros da polpa liofilizada de açaí (AC), da polpa de beterraba (BE), da fécula de mandioca (FE) e das amostras de açaí adulteradas com 40% (m/m) de polpa de beterraba (AC-BE) e 40% (m/m) de fécula de mandioca (AC-FE)

Figura 1: Espectro FTIR comparativo dos padrões e amostras adulteradas



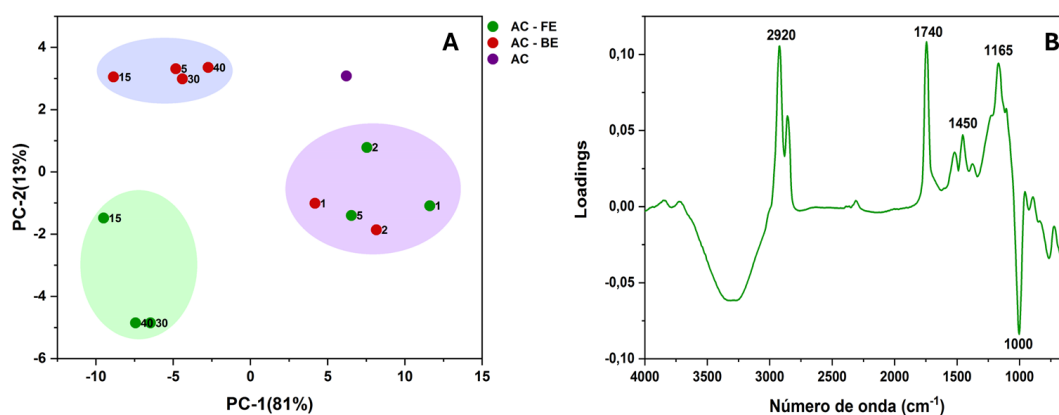
Fonte: próprio autor (2026)

Análises comparativas por FTIR revelaram que o espectro da polpa de açaí apresenta perfil vibracional semelhante ao da polpa de beterraba, destacando-se bandas de absorção em 2920 cm^{-1} atribuída ao estiramento assimétrico das ligações de grupos alifáticos (CH_2 e CH_3), em 1740 cm^{-1} , relacionada ao estiramento da carbonila ($\text{C}=\text{O}$) de ésteres e em torno de 1165 cm^{-1} , atribuída às vibrações de estiramento das ligações $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ e $\text{C}-\text{O}$ de carboidratos e polissacarídeos (Kačuráková; Wilson, 2001). Em contrapartida, o espectro da fécula de mandioca apresentou ausência das bandas em 2920 cm^{-1} e 1165 cm^{-1} , registrando-se a presença proeminente de um sinal em 1400 cm^{-1} , característico dos modos de deformação angular dos grupos de CH e $\text{C}-\text{O}$ presentes na estrutura do amido (Caramês et al. 2019; Onça et al. 2025).

Reconhecimento de Padrão das amostras adulteradas

A Figura 2, apresenta os gráficos de scores em A e o gráfico de loadings em B.

Figura 2: Gráfico de scores (A) e Gráfico de loadings (B)



Fonte: próprio autor (2026)

A Análise de Componentes Principais aplicada aos espectros de FTIR explicou 94% da variância dos dados, sendo $\text{PC-1} = 81\%$ e $\text{PC-2} = 13\%$. O gráfico de scores demonstrou uma clara separação entre a matriz de açaí pura e as amostras adulteradas em teores mais elevados (acima de 15%). A PC-1 foi a principal responsável por discriminar o nível de adulteração onde amostras com baixo percentual de adulterante (1% a 5%) mantiveram-se agrupadas no domínio positivo de PC-1 , próximas à amostra controle de açaí (AC), indicando um limiar de alteração espectral sutil nessas concentrações. Notou-se que a PC-2 mostrou-se determinante na diferenciação do tipo de adulterante adicionado. As amostras contendo polpa de beterraba (AC-BE) deslocaram-se para o quadrante superior esquerdo, enquanto as amostras contendo fécula de mandioca (AC-FE) migraram para o quadrante inferior esquerdo. Essa separação espacial



reflete as diferenças na composição química das matrizes, conforme pode-se observar no gráfico de loadings para PC-1. As bandas em 2920 cm^{-1} , 1740 cm^{-1} e 1165 cm^{-1} apresentam loadings altamente positivos, evidenciando a contribuição determinante do perfil lipídico e orgânico característico das matrizes de açaí e beterraba. Esse conjunto de bandas impulsiona as amostras puras e com contaminação por beterraba (AC-BE) para regiões de *scores* positivos na respectiva componente principal. Em contrapartida, a região entre 1000 cm^{-1} exibe loadings fortemente negativo. Esse comportamento pode estar associadas ao estiramento dos grupos funcionais dos polissacarídeos nas farinhas de mandioca., deslocando as amostras adulteradas com fécula de mandioca (AC-FE) para o quadrante oposto (*scores* negativos) ao quadrante em que se encontra a amostra AC.

Conclusões

A espectroscopia FTIR associada à PCA mostrou-se uma ferramenta rápida e eficaz na identificação e diferenciação de adulterantes na polpa de açaí. O modelo quimiométrico explicou 94% da variância total, permitindo distinguir o tipo de adulterante em concentrações a partir de 15% e evidenciando o elevado potencial da técnica para o controle de qualidade e integridade do açaí.

Agradecimentos

IFMA e FAPEMA

Referências

- BARBOSA, J. R.; CARVALHO JUNIOR, R. N. de. Food sustainability trends - How to value the açaí production chain for the development of food inputs from its main bioactive ingredients? **Trends in Food Science and Technology**. vol. 124, p. 86–95, 2022.
- CALLE, J. L. P.; FERREIRO-GONZÁLEZ, M.; RUIZ-RODRÍGUEZ, A.; FERNÁNDEZ, D.; PALMA, M. Detection of Adulterations in Fruit Juices Using Machine Learning Methods over FT-IR Spectroscopic Data. **Agronomy**. vol. 12, 2022.
- CARAMÊS, E. T. dos S.; BAQUETA, M. R.; CONCEIÇÃO, D. A.; PALLONE, J. A. L. Near infrared spectroscopy and smartphone-based imaging as fast alternatives for the evaluation of the bioactive potential of freeze-dried açaí. **Food Research International**. vol. 140, 2021.
- MUNYENDO, L.; BABOR, M.; ZHANG, Y.; HITZMANN, B. Chemometrics using near-infrared spectra for the quantification of robusta coffee and chicory added as adulterants in roasted arabica coffee. **Journal of Food Measurement and Characterization**. vol. 18, 2024.
- SANDRA, K. L.; LUÍS, T. C.; JOSÉ, P. D. C.; LUÍS, C. J. C.; DE ALMEIDA GUSTAVO, T. H. Quantification of soluble solids in reconstituted açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp using near-infrared spectroscopy. **International Journal of Food Science and Technology**. vol. 48, p. 2514–2520, 2013.



ONÇA, L. O.; JOHN, D. K.; SCHNEIDER, M. P.; ARÚJO, A. S.; DINIZ, P. H. G. D.; SOUZA, K. S.FERRÃO, M. F.; SPANIL, I.; GOMES, A. A. Undeclared components detection in açaí pulp combining ATR-FTIR spectroscopy and one class classifiers. **Microchemical Journal**, v. 215, 1 ago. 2025.

VALAND, R.; TIWARI, S.; PATHAK, C. et al. A review of Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy used in food adulteration and authenticity investigations. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v. 37, n. 1, p. 19–38, 2020.

KAČURÁKOVÁ, M.; WILSON, RH. Developments in mid-infrared FT-IR spectroscopy of selected carbohydrates. **Carbohydrate Polymers**. vol. 44, p.291-303, 2001.