

APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS QUIMIOMÉTRICAS A ESPECTROS NIR DE FRUTOS DE UVAIA (*Eugenia pyriformis*): INSIGHTS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Mirela M. DIAS¹; Livia M. F. REIS²; Matheus de O. SANTOS³; Carlos A. M. M. OLIVEIRA⁴; Maiqui IZIDORO⁵; Tais C. F. de T. SARTORI⁶

RESUMO

A uvaia (*Eugenia pyriformis*), fruta nativa da Mata Atlântica, apresenta elevado potencial nutricional, mas sua perecibilidade limita a exploração comercial. Este estudo avaliou a aplicação da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) associada à Análise de Componentes Principais (PCA) para explorar padrões espectrais em frutos colhidos em duas safras consecutivas (2024 e 2025) no sul de Minas Gerais. Foram analisados 160 frutos, com aquisição espectral na faixa de 1000–2500 nm. Os dois primeiros componentes principais explicaram 99,6% da variância, sendo PC1 (95,0%) responsável pela principal separação entre safras. As regiões de 1450 e 1940 nm, relacionadas a vibrações O–H, destacaram a umidade como fator discriminante. A PCA revelou agrupamentos sazonais e variabilidade individual, associada à heterogeneidade genética dos frutos. Conclui-se que a espectroscopia NIR combinada à PCA constitui ferramenta rápida e não destrutiva, com potencial para monitoramento da qualidade pós-colheita de frutas nativas.

Palavras-chave: Pós-colheita; Quimiometria; Frutas nativas; Variação sazonal; Espectroscopia no infravermelho.

1. INTRODUÇÃO

A uvaia (*Eugenia pyriformis*), fruta nativa da Mata Atlântica brasileira, tem despertado crescente interesse científico e tecnológico devido ao seu elevado valor nutricional, sensorial e funcional. Rica em compostos bioativos, como carotenoïdes, fenólicos e ácidos orgânicos, essa espécie apresenta ampla variabilidade genética e potencial agroindustrial, embora ainda seja pouco explorada comercialmente (Spricigo et al., 2023).

Sua elevada perecibilidade, somada às variações entre safras, dificulta a padronização da qualidade e limita estratégias eficientes de conservação e agregação de valor. Nesse cenário, abordagens analíticas rápidas, não destrutivas e com alta capacidade de extração de informação tornam-se indispensáveis. A espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) destaca-se como uma dessas ferramentas, pois permite inferir propriedades físico-químicas com base na interação da radiação com grupos funcionais presentes na matriz da amostra, como O–H, C–H e N–H (Squeo et al., 2024).

Aliada à espectroscopia NIR, a Análise de Componentes Principais (PCA) tem sido

¹Bolsista PIBIC/CNPq, IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho. E-mail:mirelamendesdias@gamil.com

²Bolsista PIBIC/CNPq, IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho. E-mail: liiviiamariia.f@gmail.com.

³Colaborador, UNIFENAS– Campus Alfenas - E-mail: matheus_santos4@live.com

⁴Colaborador, UNESP-Campus Jaboticabal - E-mail: carlos.mendonca@unesp.br

⁵Coorientador, Universidade Professor Edson Antônio Velano – Campus Alfenas. E-mail: maiqui.izidoro@unifenas.br.

⁶Orientadora, IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho. E-mail: tais.toledo@ifkuldeinas.edu.br.

amplamente empregada como técnica quimiométrica exploratória em diferentes frutos nativos e tropicais. Sua capacidade de reduzir a dimensionalidade dos dados e revelar padrões de agrupamento mostrou-se útil, por exemplo, na avaliação da composição química de frutas do Cerrado (Aline et al., 2023) e na discriminação de cultivares de uva por espectros de reflectância (Van Wyngaard et al., 2021). No caso da uvaia, entretanto, os estudos ainda são incipientes, e não há relatos consistentes do uso de PCA aplicada a espectros NIR para investigar variações sazonais e atributos internos de qualidade, como a umidade.

Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo aplicar a PCA aos espectros obtidos por espectroscopia NIR de frutos de uvaia, a fim de explorar a variabilidade espectral entre safras consecutivas e identificar padrões de agrupamento relacionados ao teor de umidade. Ao abordar uma fruta nativa ainda pouco estudada, este estudo pretende contribuir para a consolidação de estratégias de monitoramento da qualidade pós-colheita baseadas em técnicas rápidas, não destrutivas e quimiometricamente robustas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados 160 frutos de uvaia (*Eugenia pyriformis*), sendo 80 provenientes da safra de 2024 e 80 da safra de 2025. Os frutos foram doados por um produtor local e colhidos manualmente em pomar experimental situado em Campestre, sul de Minas Gerais, Brasil ($21^{\circ}42' S$, $46^{\circ}14' W$; 1.052 m de altitude). Foram selecionados apenas frutos íntegros, sem danos aparentes e com tamanho uniforme. Após a coleta, as amostras foram higienizadas com água corrente, secas com papel absorvente e armazenadas sob refrigeração ($4 \pm 1^{\circ}C$) até o momento das análises espetrais.

As medições espetrais foram realizadas por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), utilizando espetrômetro do tipo FT-IR Spectrum 100 N (Perkin Elmer, Shelton, CT), equipado com célula de reflectância difusa. Os espectros foram adquiridos no intervalo espectral de 4000 a 10.000 cm^{-1} , correspondente a 1000–2500 nm, com resolução de 8 cm^{-1} e 64 varreduras por leitura. Cada fruto foi escaneado em três diferentes regiões da superfície, sendo utilizado o espetro médio como representativo da amostra.

Os dados espetrais foram organizados em matriz multivariada com observações nas linhas (amostras) e variáveis nas colunas (comprimentos de onda). A Análise de Componentes Principais (PCA) foi aplicada com o intuito de reduzir a dimensionalidade dos dados espetrais e identificar padrões de agrupamento relacionados às safras avaliadas. A modelagem foi realizada utilizando os dois primeiros componentes principais (PC-1 e PC-2), responsáveis pela maior parcela da variância explicada. Os gráficos de escores foram gerados no software The Unscrambler® versão 10.3 (Camo Software, Oslo, Noruega).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise exploratória dos dados espectrais por meio da Análise de Componentes Principais (PCA) possibilitou visualizar a variabilidade entre os frutos de uvaia provenientes das safras de 2024 e 2025. Os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) explicaram, respectivamente, 95,0% e 4,6% da variância total, totalizando 99,6% da informação contida na matriz espectral. A elevada variância retida em apenas dois componentes confirma a eficiência da técnica em capturar padrões latentes nos espectros, reduzindo sua dimensionalidade sem perda significativa de informação.

No gráfico de escores (Figura 1), observa-se tendência de separação entre as amostras conforme o ano de colheita, especialmente ao longo de PC1. Embora a sobreposição entre os grupos seja parcialmente evidente, há aglomerados predominantes de frutos de 2024 no quadrante inferior esquerdo e de 2025 no quadrante superior direito, sugerindo que a safra exerceu influência direta nas respostas espectrais. Resultados comparáveis foram reportados por Shawky e Selim (2019), que utilizaram espectroscopia NIR combinada com PCA para diferenciar amostras de cascas de diferentes espécies cítricas, destacando a sensibilidade da técnica a variações químicas intrínsecas entre genótipos

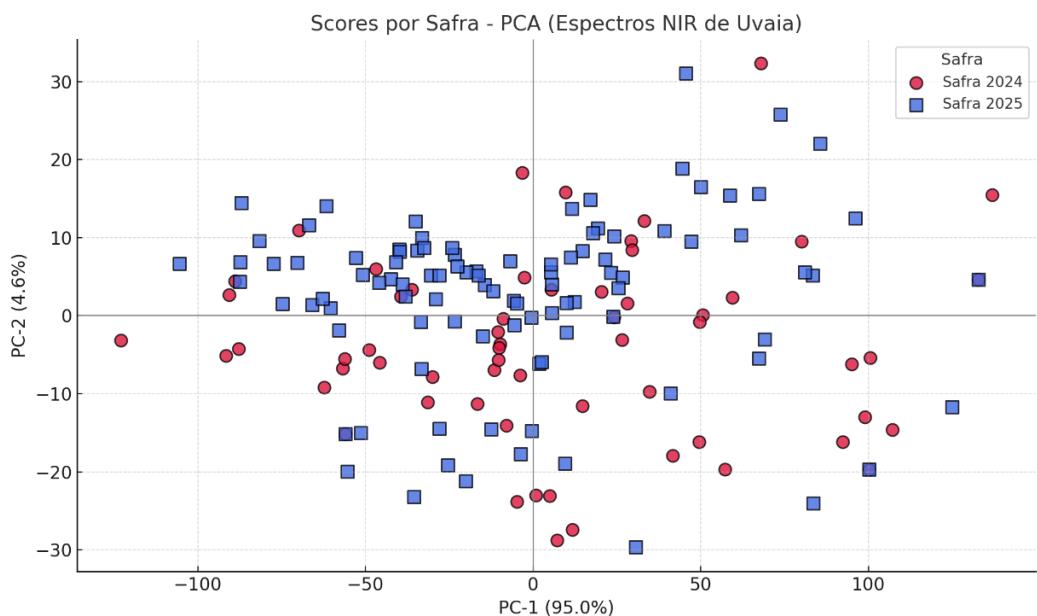


Figura 1. Distribuição dos escores da PCA com base nos espectros NIR de uvaias de diferentes safras

A Além disso, a análise das cargas (*loadings*) indicou que as regiões espectrais próximas a 1450 e 1940 nm associadas às vibrações de estiramento O–H de primeira e segunda sobretons, foram as que mais contribuíram para a separação entre as safras. Essas bandas estão diretamente relacionadas ao teor de umidade dos frutos, corroborando a hipótese de que diferenças sazonais na disponibilidade hídrica influenciaram a composição físico-química da uvaia.

A dispersão observada ao longo de PC2, embora com menor variância explicada, pode refletir variabilidade individual entre os frutos, comportamento esperado em espécies nativas devido à heterogeneidade genética e à ausência de padronização varietal. Tendência semelhante foi relatada em estudos com araçá e cambuci utilizando técnicas multivariadas para fins de rastreabilidade e autenticação (Gomes et al., 2022). Os achados reforçam o potencial da PCA como ferramenta de triagem não destrutiva na avaliação pós-colheita e fundamentam a perspectiva de utilização de modelos supervisionados, como PLS-DA ou SIMCA, com maior poder discriminativo.

5. CONCLUSÃO

A PCA aplicada aos espectros NIR de uvaia permitiu identificar padrões de agrupamento entre safras, atribuídos principalmente à variação no teor de umidade. A abordagem mostrou-se eficaz para reduzir a dimensionalidade e visualizar tendências ocultas, destacando o potencial da espectroscopia NIR como ferramenta de monitoramento pós-colheita e de suporte a modelos preditivos voltados à padronização da qualidade de frutas nativas.

REFERÊNCIAS

- ALINE, U.; BHATTACHARYA, T.; FAQEERZADA, M. A.; KIM, M. S.; BAEK, I.; CHO, B. K. Advancement of non-destructive spectral measurements for the quality of major tropical fruits and vegetables: a review. *Frontiers in Plant Science*, Lausanne, v. 14, p. 1240361, 2023.
- ALAMAR, P. D.; CARAMÊS, E. T.; POPPI, R. J.; PALLONE, J. A. Detection of fruit pulp adulteration using multivariate analysis: comparison of NIR, MIR and data fusion performance. *Food Analytical Methods*, Cham, v. 13, n. 6, p. 1357-1365, 2020.
- MASSEI, A.; CAVALLINI, N.; SAVORANI, F.; FALCO, N.; FISSORE, D. Exploring NIR spectroscopy data: a practical chemometric tutorial for analyzing freeze-dried pharmaceutical formulations. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, v. 257, p. 105291, 2025.
- MUNCK, L. A new holistic exploratory approach to Systems Biology by Near Infrared Spectroscopy evaluated by chemometrics and data inspection. *Journal of Chemometrics*, [s.l.], v. 21, p. 406–426, 2007.
- SHAWKY, E.; SELIM, D. A. NIR spectroscopy-multivariate analysis for discrimination and bioactive compounds prediction of different Citrus species peels. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, Amsterdam, v. 219, p. 1-7, 2019.
- SPRICIGO, P. C.; ALMEIDA, L. S.; RIBEIRO, G. H.; CORREIA, B. S. B.; TAVER, I. B.; JACOMINO, A. P.; COLNAGO, L. A. Quality attributes and metabolic profiles of uvaia (*Eugenia pyriformis*), a native Brazilian Atlantic Forest fruit. *Foods*, Basel, v. 12, p. 1881, 2023.
- SQUEO, G.; CRUZ, J.; DE ANGELIS, D.; CAPONIO, F.; AMIGO, J. M. Considerations About the Gap Between Research in Near Infrared Spectroscopy and Official Methods and Recommendations of Analysis in Foods. *Current Opinion in Food Science*, v. 59, p. 101203, 2024.
- VAN WYNGAARD, E.; BLANCQUAERT, E.; NIEUWOUT, H.; ALEXANDRE-TUDO, J. L. Infrared Spectroscopy and Chemometric Applications for the Qualitative and Quantitative Investigation of Grapevine Organs. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, p. 723247, 2021