



APLICAÇÃO DA TÉCNICA DO VISÍVEL E INFRAVERMELHO PRÓXIMO (VIS-NIR) PARA DETERMINAÇÃO DA PROCEDÊNCIA DE AMÊNDOS DE CASTANHA-DA-AMAZÔNIA (*Bertholletia excelsa*)

Vanessa Aparecida **Porto**¹; Estella Yara de Araujo **Nunes**², Avelardo Urano de Carvalho **Ferreira** ³; Reinivaldo Sergio **Ferraz Junior**⁴, Carolina Volkmer de **Castilho**⁵, Patricia da **Costa** ⁶; Aline Telles Biasoto **Marques**⁷

Nº 25410

RESUMO – A castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*) é uma oleaginosa nativa do bioma Amazônia, de expressiva relevância econômica, social e ambiental para o Brasil. Quase a totalidade da produção das castanhas é obtida de forma extrativista e a sua comercialização beneficia povos e comunidades tradicionais. Estas castanhas são reconhecidas pelo alto valor nutricional e nutracêutico, destacando-se como fontes de lipídios de alta qualidade, vitaminas, selênio e outros minerais, sendo muito apreciadas e consumidas no mercado nacional e internacional. A determinação da procedência geográfica das castanhas é fundamental para garantir a rastreabilidade, assegurar a autenticidade do produto, agregar valor por meio de certificações de origem, proteção do consumidor contra fraudes e como ferramenta no controle de qualidade do produto. O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicabilidade da técnica de espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para a criação de modelo capaz de identificar de forma rápida e não destrutiva a procedência geográfica de amêndos de castanha-da-amazônia brasileiras. Foram adquiridos espectros de 260 amêndos inteiros e sem película de castanha-da-amazônia de cinco dos sete estados produtores do Brasil (AC, AP, PA, RO e RR). O pré-processamento dos dados incluíram técnicas como alisamento Savitzky-Golay, correção SNV e derivadas para melhorar os sinais espectrais, para reduzir efeitos de espalhamento e realçar diferenças químicas. Os melhores modelos de classificação obtidos se basearam em análises discriminantes linear (LDA) e quadrática (QDA), apresentando acurácias entre 0,51 e 0,70, com F1-score médio entre 0,46 e 0,70, demonstrando o potencial da espectroscopia NIR para autenticar a origem geográfica da castanha-da-amazônia e auxiliar na sua rastreabilidade.

Palavras-chaves: modelos de classificação, rastreabilidade, Indicação de Procedência (IP).

1 Autora, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Química, UFSCar, São Carlos-SP; vanessaporto@estudante.ufscar.br

2 Colaboradora: Mestranda do PPG em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista - RR; estellayara@hotmail.com

3 Colaborador: Analista da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos - SP; avelardo.ferreira@embrapa.br

4 Colaborador: Analista da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos - SP; reinivaldo.ferraz@embrapa.br

5 Colaboradora: Pesquisadora da Embrapa Roraima, Boa Vista-RR; carolina.castilho@embrapa.br

6 Colaboradora: Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; patricia.da-costa@embrapa.br

7 Orientadora: Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; aline.biasoto@embrapa.br

ABSTRACT – *The Brazil nut (Bertholletia excelsa) is an oilseed native to the Amazon biome, with significant economic, social, and environmental relevance for Brazil. Nearly all Brazil nut production is carried out through extractivism, and its commercialization benefits traditional peoples and communities. These nuts are recognized for their high nutritional and nutraceutical value, standing out as rich sources of high-quality lipids, vitamins, selenium, and other minerals, being highly valued and consumed both in domestic and international markets. Determining the geographical origin of Brazil nuts is essential to ensure traceability, guarantee product authenticity, add value through origin certification, protect consumers against fraud, and serve as a quality control tool. This study aimed to evaluate the applicability of near-infrared (NIR) spectroscopy for developing a model capable of rapidly and non-destructively identifying the geographical origin of Brazil nut kernels. Spectra were acquired from 260 whole, skinless Brazil nut kernels originating from five of the seven producing states in Brazil (AC, AP, PA, RO, and RR). Data preprocessing included techniques such as Savitzky-Golay smoothing, standard normal variate (SNV) correction, and derivatives to enhance spectral signals, reduce scattering effects, and highlight chemical differences. Best performance classification models were developed based on linear discriminant analysis (LDA) and quadratic discriminant analysis (QDA), showing accuracies ranging from 0.51 to 0.70 and average F1-scores between 0.46 and 0.70. These results demonstrate the potential of NIR spectroscopy for authenticating the geographical origin of Brazil nuts and supporting their traceability.*

Keywords: classification models, traceability, Geographical Indication (GI).

1. INTRODUÇÃO

A castanha-da-amazônia, semente da árvore de nome científico *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Lecythidaceae) é reconhecida por ser uma das principais riquezas da sociobiodiversidade do bioma Amazônia (BRASIL, 1961; Observatório Castanha-da-Amazônia, 2023). Coletada em sete estados da região Norte e Centro Oeste do Brasil - Amazonas, Acre, Pará, Roraima, Mato Grosso, Rondônia, e Amapá (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024) - além de países como Bolívia e Peru, a castanha-da-amazônia é valorizada não apenas por seu valor nutricional, mas também por estar associada à subsistência de diversas gerações de agricultores familiares, desempenhando um papel essencial nas esferas sociais, econômicas e ecológicas de populações extrativistas (Silva et al., 2013; Guedes et al., 2023).

A amêndoa da castanha-da-amazônia é rica em lipídios, proteínas, fibras, compostos bioativos e micronutrientes, como selênio, fósforo, cálcio e tocoferóis, que lhe conferem propriedades funcionais e antioxidantes (Vilhena, 2004; Souza et al., 2023). Assim como ocorre com outras



oleaginosas, a composição nutracêutica da castanha-da-amazônia pode variar significativamente devido a fatores ambientais e genéticos. Essa variação é especialmente notável na concentração de selênio, sendo já observada ampla variação deste micronutriente em castanhas provenientes de diferentes estados do Brasil (Silva-Júnior et al., 2017).

A determinação da origem de alimentos, com base em sua composição química, tem sido foco de diversos estudos recentes. Métodos espectroscópicos, como a espectroscopia do infravermelho próximo (NIR), especialmente quando combinada com a transformada de Fourier (FT-NIR), têm mostrado resultados promissores tanto na quantificação de analitos, como também na discriminação da procedência de diferentes produtos agrícolas. Um exemplo, é a determinação da origem de folhas e amêndoas indígenas, conforme demonstrado nos estudos de Nisgoski et al. (2023).

A técnica NIR baseia-se na interação da radiação eletromagnética do infravermelho próximo (770 nm a 2.500 nm) com as vibrações moleculares de ligações C-H, O-H e N-H. O resultado são espectros que refletem a composição química das amostras (International Standard Organization, 2017). A interpretação desses espectros e o desenvolvimento de modelos preditivos são realizados a partir de métodos quimiométricos, permitindo extrair informações relevantes para a classificação e quantificação de alimentos.

As vantagens do NIR incluem sua natureza não destrutiva e não invasiva, que dispensa o preparo de amostras e a utilização de solventes. Além disso, oferece rapidez, facilidade de uso e baixo custo. Essas características colocam o NIR em destaque frente a outras técnicas analíticas, que geralmente não atendem a esses requisitos, e o alinham com os princípios da química verde (ANASTAS, 1998).

A determinação da origem de procedência por NIR tem sido explorada com sucesso em uma vasta gama de produtos alimentares naturais e processados, incluindo queijo de Minas (Cardoso et al., 2025), café instantâneo (Candeias et al., 2025), jujuba vermelha chinesa (Wu et al., 2025), avelã (Torres-Cobos et al., 2025), kimchi (Kim; Ha, 2024), entre outros estudos. Nesse contexto, um exemplo claro é o estudo recente de Nisgoski et al. (2023) demonstrado a aplicabilidade da espectroscopia VIS/NIR para a detecção da origem de folhas e amêndoas de *B. excelsa* em duas comunidades indígenas localizadas na Terra Indígena Xipaya no estado do Pará. Entretanto, é importante ressaltar que esse estudo utilizou uma amostra espacialmente limitada em relação à vasta área de ocorrência da castanha-da-amazônia no Brasil.

Visando criar ferramentas que possam contribuir para a rastreabilidade, certificação de origem e valorização da castanha-da-amazônia, este estudo avaliou a aplicabilidade do uso da técnica NIR para a criação de modelo que permitirá a rápida determinação de sua procedência. Para

isso, foram selecionadas amostras de amêndoas procedentes de diferentes estados produtores de castanha-da-amazônia no Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Duzentos e sessenta amostras de amêndoas de castanha-da-amazônia foram obtidas do Programa de Melhoramento Genético da Embrapa e de comunidades indígenas parceiras, como a Comunidade do Branco (Belterra-PA). Essas amostras foram escolhidas por sua origem precisamente definida e rastreada, para garantir a máxima confiabilidade da análise. Assim, para a construção do modelo de classificação foram selecionadas entre 49 e 53 amêndoas de cada um dos seguintes estados: Acre (n= 53), Amapá (n= 53), Pará (n= 49), Rondônia (n= 52) e Roraima (n= 53). Destaca-se que todas as amostras analisadas referem-se a amêndoas produzidas na safra de 2024.

Os espectros NIR foram obtidos em duplicata utilizando um espectrômetro BÜCHI NIRFlex-500 com FT-NIR. A coleta dos espectros foi realizada posicionando as amostras de amêndoas inteiras, sem cascas e sem películas sobre placa de vidro. Os espectros foram obtidos na região de 1000 a 2500 nm (10000 a 4000 cm^{-1}), no modo de reflectância, com 32 varreduras por espectro e leitura em duplicata (obtenção dos espectros médios). O detector empregado foi de arsenieto de gálio e índio (InGaAs).

Foram comparados três modelos de classificação: análise discriminante linear (LDA), análise discriminante quadrática (QDA) e análise discriminante por distância de Mahalanobis (MDDA) com 2 combinações diferentes de pré-processamentos, totalizando 6 modelos para avaliação. Todos os modelos utilizaram inicialmente o alisamento de Savitzky-Golay (polinômio de 2ª ordem, janela de 9 pontos) e a correção por Variável Normal Padrão (SNV). Adicionalmente, comparou-se o desempenho dos modelos com aplicação da primeira e da segunda derivadas, também obtidas via Savitzky-Golay, visando maximizar a remoção de ruídos e os efeitos de espalhamento óptico.

Após os pré-processamentos, aplicou-se a análise de componentes principais (PCA) para redução da dimensionalidade dos dados espectrais (1500 variáveis), requisito necessário para a aplicação dos métodos discriminantes, uma vez que o número de amostras empregados deve ser superior a dimensionalidade do modelo. Os escores das componentes principais foram utilizados como variáveis de entrada nos modelos de classificação, aumentando a simplicidade e a interpretabilidade dos modelos gerados. O desempenho dos modelos foi avaliado por meio das métricas: sensibilidade, precisão, escore F1 e acurácia.

- **Sensibilidade:** Capacidade de identificar corretamente os casos positivos, dada pela equação 1.

$$\text{Sensibilidade (\%)} = \frac{VP}{(VP + FN)} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

VP = verdadeiro positivo

FN = falso negativo

- **Precisão:** proporção de verdadeiros positivos entre os casos classificados como positivos, conforme a equação 2.

$$\text{Precisão (\%)} = \frac{VP}{(VP + FP)} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

FP = falso positivo

- **Acurácia:** mensura a proporção total de classificações corretas, como pode ser observado pela equação 3.

$$\text{Acurácia (\%)} = \frac{(VP + VN)}{(VP + VN + FP + FN)} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

VN = verdadeiro negativo

- **F1-score:** média harmônica entre precisão e sensibilidade, resume a precisão e sensibilidade em um único valor que varia entre 0 a 1. Métrica que resume o desempenho geral do modelo e melhora o desempenho conforme o F1-score se aproxima de 1, pode ser calculado pela equação 4.

$$F1 = 2 \times \frac{(PRECISÃO \times SENSIBILIDADE)}{(PRECISÃO + SENSIBILIDADE)} \quad (4)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram obtidos 520 espectros de 260 amostras de castanhas-da-amazônia. Os espectros médios sem pré-processamentos apresentaram absorbância inferior a 1,5, garantindo boa sensibilidade do detector, sem efeitos negativos de reabsorção ou perda de linearidade. Verificou-se uma grande superposição entre os espectros das amostras provenientes dos diferentes estados (Figura 1). As bandas de absorção na região de 1100 a 1350 nm são características de sobretons de estiramento CH, e as bandas na região de 2300 nm também estão ligadas a sobretons e combinações vibracionais de estiramento CH, associados a lipídios e ácidos graxos. Tal comportamento é esperado, uma vez que as amêndoas de castanha-da-amazônia podem apresentar teor de gordura superior a 50%. As regiões entre 1400 a 1500 nm podem estar associadas a combinações de vibrações da ligação OH, ou combinações dos sobretons da ligação CH com carbonos alifáticos e aromáticos (Workman; Meyer, 2007). As ligações OH estão presentes nos carboidratos e são características também da presença de umidade. Os sobretons das

combinações de deformação angular com estiramento das ligações CH podem estar correlacionadas com o perfil lipídico presente em grande quantidade nas castanhas-da-amazônia.

Os pré-processamentos matemáticos (Figuras 2A e 2B) foram bem sucedidos na remoção de ruídos, efeitos de espalhamento e inclinação da linha de base, tendo sido eficientes em destacar algumas diferenças nos espectros das amêndoas procedentes dos diferentes estados brasileiros. Entretanto, ainda há uma elevada sobreposição entre os conjuntos de espectros, comportamento esperado, por se tratar de uma mesma espécie vegetal.

A análise de componentes principais (PCA) revelou a partir dos gráficos de *escores* PC1 *versus* PC2 que há pouca distinção entre os estados (Figura 3), sem a formação de agrupamentos claros e bem separados, refletindo a semelhança entre os espectros das amostras. O gráfico de *loadings* da análise PCA (Figura 4) evidenciou as regiões espectrais com maior variabilidade entre as amêndoas, com destaque especial para as faixas de 1200–1350 nm, bandas associadas ao estiramento e deformação angular de grupos alquilas (CH), e 2200–2300 nm, também atribuídas a bandas de deformação angular de CH de grupos alquila, ambas associadas aos lipídios, e entre 1700–1800 nm, associada a grupos OH relativos à umidade e também sobretons de estiramento CH em hidrocarbonetos aromáticos (Workman; Meyer, 2007). Tais regiões contribuem mais para a formação das duas primeiras componentes principais que respondem por 88% da variância explicada dos dados. Indicando a predominância da composição lipídica nos espectros NIRS das amêndoas. A variância explicada da PC1 de 79% está muito concentrada, reforçando como a composição lipídica parece influenciar bastante nas diferenças regionais da composição da castanha-da-amazônia.

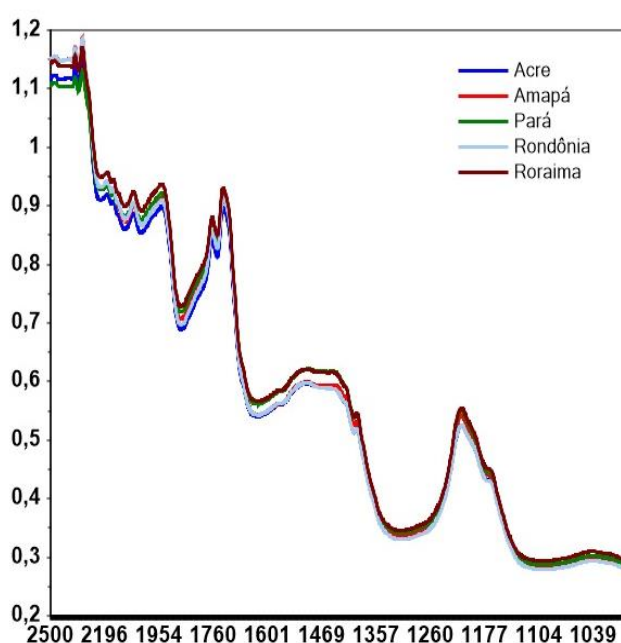


Figura 1. Espectros médios (λ = 1000 - 2500 nm) sem pré-processamento das amostras de castanha-

da-amazônia procedentes dos cinco estados avaliados.

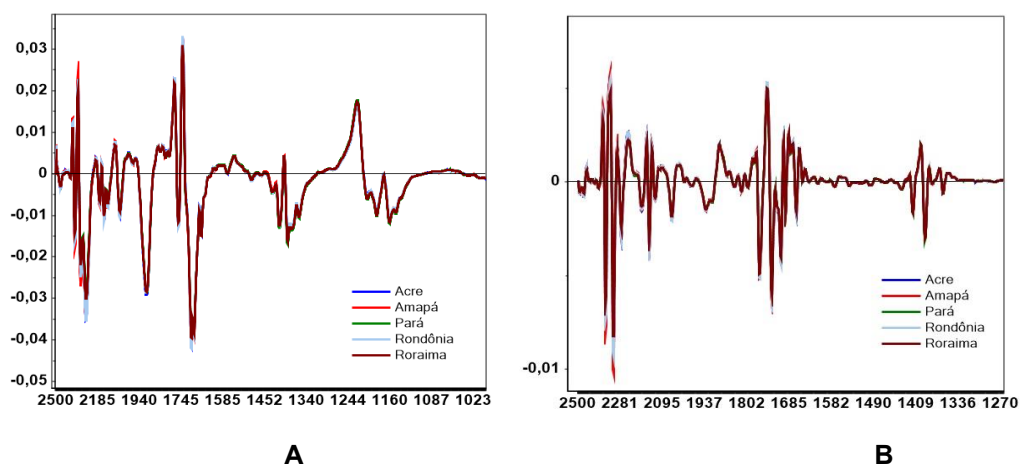


Figura 2. Espectros médios ($\lambda = 1000 - 2500 \text{ nm}$) em unidades arbitrárias das amostras de castanha-da-amazônia dos cinco estados avaliados, após a combinação dos seguintes pré-processamentos: (A)- Alisamento Savitzky-Golay + SNV + Primeira derivada; e (B) - Alisamento Savitzky-Golay + SNV + Segunda derivada.

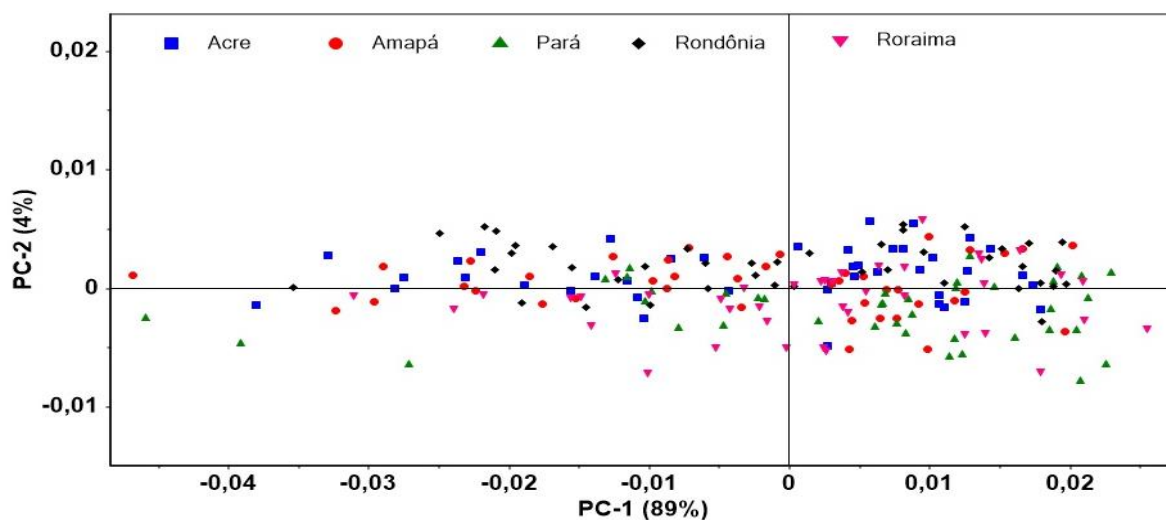
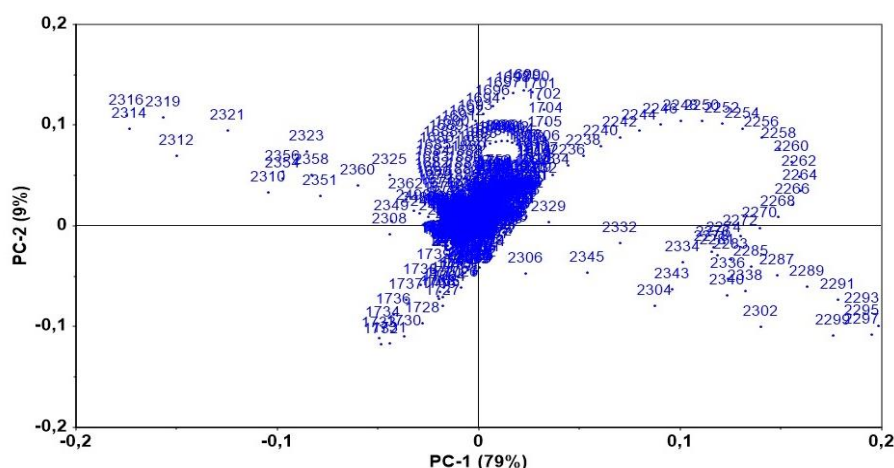


Figura 3. Análise de Componentes Principais mostrando a distribuição das castanhas-da-amazônia provenientes dos diferentes estados brasileiros (AC, AP, PA, RO, RR).



de um modelo mais simples e com desempenho geral melhor do que os dois demais modelos avaliados.

Dentre as cinco classes avaliadas, as amostras que apresentaram espectros mais distinguíveis foram as amêndoas provenientes do estado do Pará, tendo sido também melhor classificadas em todos os modelos criados (Tabela 3). Dentre as classes que apresentaram pior desempenho de classificação, estão as amostras provenientes dos estados do Acre e Amapá.

Tabela 1. Matriz de confusão por classe para o modelo de classificação de análise discriminante linear (LDA).

	Pred_Acre	Pred_Amapá	Pred_Pará	Pred_Rondônia	Pred_Roraima
Real_Acre	7	1	0	1	2
Real_Amapá	2	8	1	0	0
Real_Pará	0	1	8	0	0
Real_Rondônia	2	1	0	7	0
Real_Roraima	2	2	1	0	6

*Real = Refere-se à **classe verdadeira** da amostra; Pred = Refere-se à **classe prevista pelo modelo**

Tabela 2. Métricas de desempenho do modelo de classificação da análise discriminante linear (LDA) com os pré-processamentos de Alisamento+SNV+primeira derivada.

Classe	Precisão	Sensibilidade (Recall)	F1-Score	Suporte (n)
Acre	0,54	0,64	0,58	11
Amapá	0,62	0,73	0,67	11
Pará	0,80	0,89	0,84	9
Rondônia	0,88	0,70	0,78	10
Roraima	0,75	0,55	0,63	11

Tabela 3. Desempenho geral dos três modelos de classificação construídos para avaliar a procedência de origem das amêndoas de castanhas-da-amazônia, junto aos dois tipos de pré-processamento espectral previamente testados.

Modelo	Acurácia Geral	F1-Score Médio	Melhor Classe (F1)	Pior Classe (F1)
1ª Derivada + LDA	0,70	0,70	Pará (0,84)	Acre (0,58)
2ª Derivada + LDA	0,65	0,65	Pará (0,94)	Acre (0,48)
1ª Derivada + QDA	0,51	0,52	Pará (0,87)	Acre (0,29)
2ª Derivada + QDA	0,65	0,66	Pará (0,82)	Acre (0,35)
1ª Derivada + MDA	0,55	0,46	Pará (0,80)	Amapá (0,27)
2ª Derivada + MDA	0,65	0,55	Pará (0,94)	Acre (0,33)

A comparação entre os resultados desse estudo e a pesquisa previamente desenvolvida por Nisgoski et al. (2023), evidenciam avanços significativos no uso da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para a determinação da origem geográfica da castanha-da-amazônia. Enquanto o estudo de Nisgoski et al. (2023) se concentrou em uma área geograficamente restrita — duas comunidades indígenas do estado do Pará — com amostragem localizada e homogênea, o presente estudo ampliou o escopo de análise de classificação, abrangendo cinco estados produtores de castanha-da-amazônia no bioma Amazônia (AC, AP, PA, RO e RR), o que representa um desafio, devido à maior variabilidade ambiental, genética e de composição química entre as amêndoas analisadas. Assim, os resultados de Nisgoski alcançaram uma acurácia superior (igual a 90%), beneficiando-se do número restrito de classes avaliadas ($n = 2$). Já no presente trabalho, ao lidar com dados mais complexos e de maior amplitude geográfica, obteve-se acurácia de até 0,70. Acurácia indica o quão frequentemente o modelo acerta as suas previsões, ou seja, qual seria a porcentagem de classificações corretas (tanto positivas quanto negativas) em relação ao total de casos avaliados.

Contudo, este estudo demonstrou que, mesmo com sobreposição espectral, é possível distinguir amêndoas de diferentes regiões de procedência utilizando a quimiometria. Reforçando assim o potencial da espectroscopia NIR como ferramenta rápida, não destrutiva, sustentável e eficaz para a rastreabilidade e certificação de origem da castanha-da-amazônia. Outras técnicas analíticas podem ser aplicadas para essa mesma finalidade, como Ressonância Magnética Nuclear (RMN) de médio campo, espectroscopia no infravermelho médio (MIR), certificação documental com Blockchain, entre outras, no entanto NIR se destaca pelo seu baixo custo, simplicidade e rapidez na análise.



4. CONCLUSÃO

Os modelos de classificação obtidos pela espectroscopia no infravermelho próximo com transformada de Fourier (FT-NIR), associada a pré-processamentos espectrais (alisamento, SNV, primeira e segunda derivadas) e métodos discriminantes (LDA, QDA e MDA), apresentaram acurácias variando entre 0,51 e 0,70, com F1-scores médios de até 0,70. As faixas espectrais relacionadas a vibrações CH de lipídios contribuíram significativamente para a variância entre as amostras, evidenciando o impacto do teor lipídico na diferenciação das castanhas-da-amazônia.

A junção do modelo de Classificação da análise discriminante linear (LDA) com o pré-processamento espectral de alisamento + SNV + primeira derivada, obteve o melhor desempenho na diferenciação da procedência geográfica de castanhas-da-amazônia, com potencial para uso em programas de rastreabilidade, controle de qualidade e certificação de origem. Ainda assim, o acréscimo de novas amostras de amêndoas, e a exploração de algoritmos mais complexos com novas abordagens de classificação multivariada, como: Análise Discriminante por Mínimos Quadrados Parciais (PLS-DA), Máquinas de Vetores de Suporte (SVM), Modelagem Suave e Independente por Analogia de Classe (SIMCA), dentre outros, podem ser avaliados para tentar explorar ainda mais as potencialidades da espectroscopia NIR para detecção da procedência da origem de castanhas-da-amazônia, gerando modelos com melhor acurácia (sugestão de retirada).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica concedida a Vanessa Aparecida Porto durante a realização da pesquisa. O presente estudo foi viabilizado pelo Projeto "Novas soluções tecnológicas e ferramentas para agregação de valor à cadeia produtiva da castanha-da-amazônia" (Convênio nº 01.23.0574.00) financiamento da Finep, vinculada ao MCTI. O projeto é executado pela Embrapa, a quem se agradece pelo apoio técnico e científico proporcionado. Adicionalmente, os autores expressam seu sincero agradecimento a Lúcia Helena de Oliveira Wadt, Marcelino Carneiro Guedes, Raimundo Cosme de Oliveira Filho e Silvia de Carvalho de Campos Botelho pela essencial contribuição na coleta e aquisição das castanhas que subsidiaram este estudo

6. REFERÊNCIAS

ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Green chemistry**: theory and practice. New York: Oxford University Press, 1998. 148 p.

BRASIL. Decreto nº 51.209, de 18 de agosto de 1961. Aprova as novas especificações para a classificação e fiscalização da exportação da "Castanha do Brasil". **Diário Oficial da União**, seção 1, 18 ago, p. 7523.



INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **PEVS**: Produção da extração vegetal e da silvicultura. Rio de Janeiro, IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=publicacoes>. Acesso em: 5 jun. 2025.

CANDEIAS, D. N. C. et al. Geographical origin authentication of instant coffee from southern Bahia using MIR and NIR spectroscopy coupled with DD-SIMCA. **Food Chemistry**, v. 479, 143698, Mar. 2025. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.143698.

CARDOSO, K. L. R. et al. Discrimination of artisanal Minas cheeses according to geographical origin using spectroscopic and chromatographic techniques associated with chemometrics. **Food Chemistry**, v. 484, 144466, Aug. 2025. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.144466.

GUEDES, M. C. et al. Serviços ecossistêmicos da floresta com castanheiras e serviços ambientais prestados pelos agroextrativistas: manejadores e guardiões da floresta em pé. In: WADT, L. H. de O. et al. (ed.). **Castanha-da-amazônia**: estudos sobre a espécie e sua cadeia de valor. Brasília, DF: Embrapa, v. 1, cap. 11, p. 285-313, 2023.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO/FDIS 12099:2017**. Animal feeding stuffs, cereals and milled cereal products: guidelines for the application of near infrared spectrometry. Genebra: Organização Internacional de Normalização, 2017.

KIM, S. Y.; HA, J. H. Rapid determination of the geographical origin of kimchi by Fourier transform near-infrared spectroscopy coupled with chemometric techniques. **Scientific Reports**, v. 14, 24581, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-74662-4.

NISGOSKI, S. et al. Provenance identification of leaves and nuts of *Bertholletia excelsa* Bonpl. by near-infrared spectroscopy and color parameters for sustainable extraction. **Sustainability**, v. 15, n. 21, 15606, 2023. DOI: 10.3390/su152115606.

SILVA, A. A. et al. Potencial do extrativismo da castanha-do-pará na geração de renda em comunidades da mesorregião baixo Amazonas, Pará. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 500-509, dez. 2013. DOI: /10.4322/loram.2013.046.

SILVA JUNIOR, E. C. et al. Natural variation of selenium in Brazil nuts and soils from the Amazon region. **Chemosphere**, v. 188, p. 650-658, Dec. 2017. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.08.158.

SOUZA, J. M. L. de. et al. Composição nutricional de amêndoas e do óleo. In: WADT, L. H. de O. et al. (ed.). **Castanha-da-amazônia**: estudos sobre a espécie e sua cadeia de valor. Brasília, DF: Embrapa, 2023. Cap. 3, p. 67-79. v. 2: Pós-coleta e tecnologia de alimentos.

TORRES-COBOS, B. et al. Comparative analysis of spectroscopic methods for rapid authentication of hazelnut cultivar and origin. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 326, 125367, Feb. 2025.

VILHENA, M. R. **Ciência, tecnologia e desenvolvimento na economia da castanha-do-brasil - A transformação industrial da castanha-do-brasil na COMARU-Região Sul do Amapá**. 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado em) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

WORKMAN, J.; WEYER, L. **Practical guide to interpretive near-infrared spectroscopy**. Boca Raton: CRC Press, 2007. 344 p. DOI: 10.1201/9781420018318.

WU, X. et al. Geographical origin identification of chinese red jujube using near-infrared spectroscopy and Adaboost-CLDA. **Foods**, v. 14, n. 5, 803, 2025. DOI: 10.3390/foods14050803.