



NATÁLIA DE OLIVEIRA SOUZA

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE CASTANHAS DO
BRASIL PRODUZIDAS EX SITU**

LAVRAS - MG

2025

NATÁLIA DE OLIVEIRA SOUZA

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE CASTANHAS DO BRASIL
PRODUZIDAS EX SITU**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Cleiton Antônio Nunes
Orientador

**LAVRAS – MG
2025**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo(a) autor(a) através do Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA.

de Oliveira Souza, Natália.
Caracterização química de castanhas do Brasil produzidas ex situ / Natália de Oliveira Souza. 2025.
59 p. : il.

Orientador: Cleiton Antônio Nunes

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2025.
Bibliografia.

1. Composição nutricional. 2. Variabilidade Genética. 3. Espécie. I. Antônio Nunes, Cleiton. II. Universidade Federal de Lavras. III. Título.


NATÁLIA DE OLIVEIRA SOUZA

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE CASTANHAS DO BRASIL
PRODUZIDAS EX SITU**

**CHEMICAL CHARACTERIZATION OF BRAZIL
NUTS PRODUCED EX SITU**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 17 de fevereiro de 2025.
Prof. Dr. Cleiton Antônio Nunes - UFLA
Prof^a. Dra. Luciana Pereira Lopes - UFLA
Dra. Marluci Palazzolli da Silva Padilha - UNICAMP

Documento assinado digitalmente
 **CLEITON ANTONIO NUNES**
Data: 16/04/2025 10:39:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Cleiton Antônio Nunes
Orientador

**LAVRAS – MG
2025**

Aos meus pais, Sérgio e Edvânia e ao meu irmão Nicolás, por serem minha base e minha maior inspiração. Por todo apoio, dedicação, amor e carinho, estando sempre presentes em todos os momentos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente à Deus, por guiar e iluminar as minhas escolhas, me concedendo força, paciência e sabedoria para enfrentar os desafios desta caminhada, permitindo grandes conquistas em minha vida.

Aos meus pais, Sérgio e Edvânia, e ao meu irmão Nicolás, que sempre estiveram ao meu lado, me incentivando, dando suporte, amor, carinho e acreditando em meu potencial.

Ao meu namorado, Guilherme, por sempre estar ao meu lado, me apoiando e tornando meus dias mais leves e divertidos.

Agradeço à Universidade Federal de Lavras pelo aprendizado proporcionado e às agências de fomento, FAPEMIG, CNPq e CAPES, pelo suporte financeiro para a realização deste projeto. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Meu agradecimento também à Central de Análise e Prospecção Química (CAPQ) pelo suporte técnico nas análises realizadas, bem como ao professor Marcelo Braga e ao Laboratório Central de Química Ambiental pelo apoio prestado durante as análises.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos, pela oportunidade de aprendizado e crescimento acadêmico.

Agradeço, a todos os professores, pelo ensinamento e dedicação, em especial, ao meu orientador, professor Cleiton, pela paciência, disponibilidade, compreensão e por compartilhar seus conhecimentos.

Agradeço aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade e por compartilharem seus conhecimentos, contribuindo com o meu crescimento acadêmico.

Aos colegas do laboratório, Amanda Souza, Júlia Marinho, Mikaela, Yhan, Letícia, Júlia Borges e Christian, pela amizade, companheirismo e pelo suporte na realização das análises.

Aos amigos e companheiros de pós-graduação, em especial Amanda, Matheus, Gilson e Louise, pela amizade, apoio e pelas trocas de conhecimento ao longo dessa jornada.

À todos os familiares e amigos que de alguma forma colaboraram para que eu chegasse até aqui, obrigada!

RESUMO

A castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) é típica de climas quentes e úmidos da região Norte do Brasil, sendo suas amêndoas valorizadas por sua riqueza em ácidos graxos insaturados e minerais. Apesar de poucos estudos sobre o cultivo fora de sua região natural, a recente frutificação em plantio experimental em Lavras, MG, evidencia o potencial de expansão da cultura para outras regiões. Este estudo teve como objetivo avaliar as características químicas e nutricionais de castanhas de duas safras (2022 e 2023) produzidas em Minas Gerais, comparando-as com amostras provenientes de sete origens naturais do Norte. As avaliações incluíram composição centesimal, teor de compostos fenólicos, atividade antioxidante, perfis de ácidos graxos e orgânicos, além da composição mineral. Não foram observadas diferenças significativas entre as castanhas de MG e do Norte para a maioria dos parâmetros químicos e nutricionais. Diferenças pontuais foram identificadas, como menores teores de ácido palmítico ($11,54 \pm 0,08\%$ em MG contra $15,00 \pm 1,18\%$ no Norte) e maiores concentrações de ácido α -linolênico em MG. No perfil de ácidos orgânicos, observou-se predominância de ácido málico em MG ($42,05 \pm 2,88$ mg/L), enquanto no Norte predominavam os ácidos tartárico e glucônico ($49,82 \pm 17,78$ mg/L). Quanto à composição mineral, as castanhas de MG apresentaram maiores concentrações de potássio e magnésio, enquanto os teores de selênio, bário e cálcio foram estatisticamente semelhantes às amostras das regiões naturais. A análise de componentes principais (PCA) revelou uma grande dispersão entre as castanhas do Norte, indicando a diversidade de sua composição química e nutricional. No entanto, as castanhas de MG mostraram maior proximidade com as amostras do Pará, especialmente devido às variáveis relacionadas a potássio e magnésio. Conclui-se que as castanhas cultivadas em Minas Gerais integram a ampla diversidade observada entre as regiões de ocorrência natural, sendo influenciadas por fatores edafoclimáticos. Suas características químicas e nutricionais reforçam que, embora produzidas ex-situ, essas castanhas compartilham semelhanças com diferentes origens naturais, demonstrando que a produção em Minas Gerais está alinhada à variabilidade natural da espécie.

Palavras-chave: variedade genética; espécie; qualidade nutricional.

ABSTRACT

The Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) is typical of the warm and humid climates of the Northern region of Brazil, with its seeds highly valued for their richness in unsaturated fatty acids and minerals. Although there have been few studies on cultivation outside its natural region, the recent fruiting in an experimental plantation in Lavras, MG, highlights the potential for the expansion of this crop to other regions. This study aimed to evaluate the chemical and nutritional characteristics of Brazil nuts from two harvests (2022 and 2023) produced in Minas Gerais, comparing them with samples from seven natural origins in the North. The evaluations included proximate composition, phenolic content, antioxidant activity, fatty acid profiles, organic acids, and mineral composition. No significant differences were observed between the nuts from MG and the North for most chemical and nutritional parameters. However, some differences were noted, such as lower levels of palmitic acid ($11,54 \pm 0,08\%$ in MG compared to $15,00 \pm 1,18\%$ in the North) and higher concentrations of α -linolenic acid in MG. In the organic acid profile, malic acid predominated in MG ($42,05 \pm 2,88$ mg/L), while tartaric and glucuronic acids predominated in the North ($49,82 \pm 17,78$ mg/L). Regarding mineral composition, nuts from MG showed higher concentrations of potassium and magnesium, while selenium, barium, and calcium levels were statistically similar to those from natural regions. The principal component analysis (PCA) revealed significant dispersion among the nuts from the North, indicating the diversity in their chemical and nutritional composition. However, the nuts from MG showed greater proximity to samples from Pará, particularly due to variables related to potassium and magnesium. It can be concluded that the Brazil nuts cultivated in Minas Gerais integrate the extensive diversity observed among natural regions, being influenced by edaphoclimatic factors. Their chemical and nutritional characteristics highlight that, although grown ex-situ, these nuts share similarities with different natural origins, demonstrating that cultivation in Minas Gerais aligns with the natural variability of the species.

Keywords: genetic diversity; species; nutritional quality.

INDICADORES DE IMPACTO

Até então, acreditava-se ser pouco provável que a castanheira do Brasil apresentasse produção relevante de frutos fora da sua área de ocorrência natural. Em observações preliminares, constatou-se que a frutificação em Minas Gerais ocorre na entressafra da produção na região Norte, o que é comercialmente interessante. A produção de castanhas do Brasil em Minas Gerais tem o potencial de gerar impactos significativos em várias áreas. Tecnicamente, a caracterização química das castanhas produzidas ex-situ pode levar ao desenvolvimento de novas técnicas de cultivo e processamento. A análise detalhada da composição química dessas castanhas contribuirá para uma melhor compreensão de suas propriedades e benefícios à saúde. Caso se comprove que as castanhas são adequadas para exploração comercial, diversas novas oportunidades de pesquisa serão abertas em diferentes áreas. Na entomologia, por exemplo, será possível entender melhor a polinização da espécie em condições ex-situ. Nas ciências florestais, poderão ser propostas alternativas técnicas de produção silvicultural ex-situ. Além disso, a partir do conhecimento adquirido com a produção em Minas Gerais, o plantio da espécie poderá ser expandido para outras regiões do Brasil. A introdução desse cultivo pode também reduzir a dependência da produção restrita à região Norte. Os resultados deste projeto podem fornecer subsídios para avaliar o potencial de exploração comercial das castanhas, contribuindo para a inserção de mais um produto gerador de renda no agronegócio do estado.

IMPACT INDICATORS

Until now, it was believed to be unlikely that Brazil nut trees would produce a significant yield of fruits outside their natural range of occurrence. However, preliminary observations have shown that fruiting in Minas Gerais occurs during the off-season of production in the northern region, which is commercially advantageous. The production of Brazil nuts in Minas Gerais has the potential to create significant impacts across various areas. From a technological perspective, the chemical characterization of nuts produced ex-situ could lead to the development of new cultivation and processing techniques. A detailed analysis of the chemical composition of these nuts will contribute to a deeper understanding of their properties and health benefits. If the nuts prove suitable for commercial exploitation, numerous new research opportunities will emerge across different fields. In entomology, for instance, it will be possible to gain better insights into the pollination of the species under ex-situ conditions. In forestry sciences, technical alternatives for ex-situ silvicultural production could be proposed. Furthermore, the knowledge gained from production in Minas Gerais could pave the way for the species' cultivation in other regions of Brazil. The introduction of this crop could also reduce dependence on production confined to the northern region. The results of this project may provide valuable insights for evaluating the commercial exploitation potential of these nuts, contributing to the inclusion of another income-generating product in the state's agribusiness sector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Árvore da castanha-do-Brasil.....	16
Figura 2 - Ouriço de castanha-do-Brasil.....	17
Figura 3 - Castanheiras-do-Brasil plantadas em Lavras - MG	23
Figura 4 - Origem das castanhas-do-Brasil.....	25
Figura 5 - Castanhas-do-Brasil com casca (a) e sem casca (b).....	27
Figura 6 - Análise de Componentes Principais (PCA)	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ácidos graxos (%) presentes em óleos da castanha-do-Brasil, segundo diferentes autores.....	21
Tabela 2 - Origem das castanhas-do-Brasil	26
Tabela 3 - Composição centesimal de amêndoas de castanhas-do-Brasil	35
Tabela 4 - Valores médios \pm desvios padrões de fenólicos totais e atividade antioxidante de castanhas-do-Brasil	38
Tabela 5 – Teores médios \pm desvios padrões de ácidos graxos saturados em amêndoas de castanhas-do-Brasil	41
Tabela 6 - Teores médios \pm desvios padrões de ácidos graxos insaturados em amêndoas de castanhas-do-Brasil	43
Tabela 7 – Teores médios \pm desvios padrões de ácidos orgânicos em amêndoas de castanhas-do-Brasil	45
Tabela 8 – Teores médios \pm desvios padrões de minerais em amêndoas de castanhas-do-Brasil	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Castanha-do-Brasil	16
2.1.1 Produção	16
2.1.2 Consumo e mercado.....	18
2.1.3 Características químicas do fruto e óleo.....	19
2.2 Castanheira-do-Brasil: plantio em Lavras, MG	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Material.....	25
3.2 Métodos.....	27
3.2.1 Preparo das amostras	27
3.2.2 Composição centesimal.....	27
3.2.3 Compostos fenólicos totais, antioxidantes e determinação de ácido gálico	28
3.2.3.1 Obtenção dos extratos	28
3.2.3.2 Teor de Compostos Fenólicos Totais.....	28
3.2.3.3 Atividade antioxidante por ABTS	29
3.2.3.4 Atividade antioxidante baseada no complexo fosfomolibdênio	29
3.2.3.5 Determinação de ácido gálico	29
3.2.4 Perfil de ácidos graxos.....	30
3.2.5 Perfil de ácidos orgânicos.....	31
3.2.6 Perfil de minerais	31
3.2.7 Análises estatísticas	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 Composição centesimal.....	34

4.2 Compostos fenólicos totais, antioxidantes e determinação de ácido gálico	37
4.3 Perfil de ácido graxos	40
4.4 Perfil de ácidos orgânicos.....LISTA DE TABELAS.....	44
4.5 Perfil de minerais	46
4.6 Análise de Componentes Principais (PCA)	49
5 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	52
ANEXO A - Valores certificados de fração de massa para elementos em NIST SRM1547	59

1 INTRODUÇÃO

A castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*), pertencente à família das Lecythidaceae, é popularmente conhecida como "castanheira", "castanha-do-Brasil" ou "castanha-do-Pará". Esse produto desempenhou um papel significativo na configuração econômica, social e política da região Amazônica, e destaca-se entre os mais negociados, tanto no mercado interno quanto no de exportação (Silva et al., 2021).

Devido ao seu elevado valor nutritivo, a castanha-do-Brasil é amplamente requisitada em muitos países. Sua composição inclui proteínas e vitaminas, destacando-se a presença de tiamina e riboflavina, importantes na indústria farmacêutica; além de minerais como cálcio, fósforo, e selênio, sendo reconhecida como uma das fontes alimentares mais ricas nesse último (Silva Júnior et al., 2017).

De acordo com dados do IBGE (2021), o Brasil destaca-se como um dos principais produtores e exportadores de castanha-do-Brasil. A presença da castanheira-do-Brasil abrange toda a extensão da região Amazônica, não apenas todos os estados da região Norte do Brasil, mas também estendendo-se ao norte dos estados de Goiás e Mato Grosso. Além disso, essa espécie é encontrada em outros países, como Bolívia, Peru, Colômbia, Venezuela e Guiana, apresentando algumas variações físicas e químicas de acordo com a localidade de cultivo.

Entretanto, embora o Brasil possua a maior região de cultivo, a Bolívia é atualmente a principal nação exportadora da castanha (Baldoni et al., 2020). Além da castanha, a utilização dos resíduos resultantes do processamento das sementes contribui para a geração de receita na atividade extrativista, e diversos estudos indicam o potencial tanto do fruto quanto do tegumento da semente para a produção de carvão ativado (Souza et al., 2021).

A extração da castanha tem passado por transformações significativas em termos de sustentabilidade, influenciada pela expansão da fronteira agrícola, o surgimento de alternativas econômicas, o aumento da população, as variações nos níveis salariais da economia, as mudanças nos preços relativos, o progresso tecnológico, entre outros fatores (De Queiroz et al., 2022). Além disso, o acesso aos castanhais está enfrentando obstáculos devido ao desmatamento, à criação de pastagens e à localização de muitas castanheiras exploráveis no interior de uma floresta densa (Santos et al., 2022).

Dessa forma, o estímulo ao cultivo comercial de *B. excelsa* surge como uma alternativa

para sustentar a cadeia produtiva, proporcionando oportunidades de emprego e retorno econômico. Tais iniciativas têm o potencial de reduzir a pressão humana sobre os castanheiros nativos e, ao mesmo tempo, possibilitar a preservação da variabilidade genética da espécie (Baldoni et al., 2020), sendo a compreensão das características morfofisiológicas e nutricional fundamental para a propagação e preservação dessa espécie (Müller et al., 1980).

Até o momento da conclusão dessa pesquisa não havia relatos de frutificação da espécie com potencial para produção em maior escala fora de sua área de ocorrência natural, o que foi observado em plantio experimental realizado em Lavras-MG. Este plantio foi realizado em janeiro de 1996 pelo Departamento de Ciências Florestais (DCF) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), na forma de experimento com mudas produzidas a partir de sementes coletadas no estado do Mato Grosso. Logo, devido à novidade, não há estudos que explorem a produção e a qualidade de castanhas produzidas ex-situ.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar as características químicas e nutricionais das castanhas produzidas em Minas Gerais, buscando elucidar possíveis similaridades e diferenças em relação àquelas da região de ocorrência natural. Os resultados dessa pesquisa dão subsídios para entender a qualidade e potencial de exploração comercial das castanhas produzidas em Minas Gerais, contribuindo para a inserção de mais um produto gerador de renda no agronegócio do estado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Castanha-do-Brasil

2.1.1 Produção

A castanha-do-Brasil (Figura 1), proveniente de uma árvore nativa da região Amazônica, pertence à família das Lecythidaceae e espécie *Bertholletia excelsa*. Ela foi descrita em 1808 pelos pesquisadores Humboldt, Bompland e Kunth, recebendo a denominação botânica de árvore majestosa da Amazônia (*Bertholletia excelsa* H. B. K.), em homenagem aos pesquisadores (Enríquez; Silva; Cabral, 2003). No Brasil e em alguns países ela recebe diferentes denominações, geralmente mantendo sua origem primária, conhecida popularmente como castanha-do-Pará. Entretanto, a partir do decreto lei N° 51.209, de 18 de setembro de 1961, passou a ser denominada comercialmente, para efeito de comércio exterior, como castanha-do-Brasil (Brasil, 1961).

Em termos botânicos, as castanheiras vivem de 350 a 400 anos, e são colossais, sua altura varia de 30 a 50 metros, com diâmetros de caule que chegam até 5 metros (Carvalho et al., 2022). Elas geralmente são encontradas em bosques contendo entre 50 e 100 indivíduos, conhecidos como castanhais (português), manchales ou castañaes (espanhol) (Rockwell et al., 2015). Geralmente as castanheiras se encontram associadas a outras espécies de árvores de grande porte, se desenvolvendo bem em terras firmes, solos argilosos ou argilo-arenosos (Calderari, 2011).

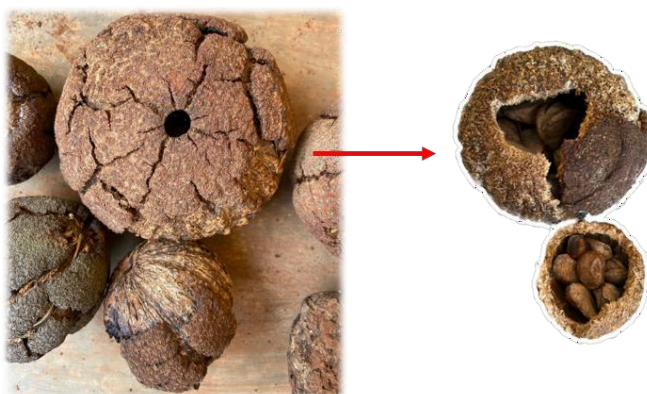
Figura 1 - Árvore da castanha-do-Brasil



Fonte: Embrapa Amazônia Ocidental (2018)

O fruto da castanheira, conhecido como ouriço, costuma ter o formato esférico ou levemente achatado, com uma casca lenhosa e extremamente dura (Figura 2). Em geral, a maioria apresenta formato alongado, o que significa que apresentam diâmetro e circunferência longitudinal maiores que a circunferência latitudinal (De Souza, 2023). Pesam de 0,5 a 5 quilos, contendo de 10 a 25 sementes agudas e triangulares, que são retiradas do fruto e descascadas, dando origem à amêndoa (Müller et al., 1995). As castanheiras novas produzem de 30 a 50 ouriços por ano, enquanto as mais maduras podem chegar a produzir até 1000 ouriços em um único ano (Apiz, 2009).

Figura 2 - Ouriço de castanha-do-Brasil



Fonte: Do autora (2025)

O florescimento tem início em setembro e perdura até fevereiro. A frutificação ocorre de novembro a agosto e os frutos demoram de 12 a 15 meses para amadurecer, e caem, principalmente em janeiro e fevereiro (Apiz, 2009). Tonini (2011) e Santana et al. (2017) explicaram que o florescimento da castanheira-do-Brasil é condicionado às condições climáticas, ocorrendo durante a época de menor precipitação, indicando que as variações nos níveis de chuva têm um impacto direto no comportamento fenológico da castanheira.

A castanha é composta pela semente, denominada de amêndoa, envolta de uma película. Apresenta formato trisserial triangular-angular, com base, margem e ápice angulares (Santos et al., 2006). O mesocarpo é composto de células lignificadas de parede espessa que formam fibras e criam uma estrutura emaranhada, conferindo resistência mecânica, podendo ser utilizada na composição de materiais resistentes (Sonego et al., 2021). A amêndoa, bem como o fruto, apresenta variabilidades morfológicas (tamanho, peso e número de sementes) em espécies

nativas da região, devido à diversidade genética da espécie e das condições edafoclimáticas (Camargo et al., 2010; Baldoni et al., 2020).

A castanheira-do-Brasil ocorre naturalmente em regiões de clima quente e úmido, predominando nos tipos climáticos Aw (clima tropical, com inverno seco) e Am (clima tropical úmido ou subúmido), segundo a classificação de Köppen. Ela se desenvolve em áreas com precipitação média anual de 1400 a 2800 mm e períodos de déficit hídrico de 2 a 5 meses. A temperatura média ideal para seu cultivo varia entre 24,3°C e 27,2°C, com umidade relativa do ar anual entre 79% e 86% (Diniz; Bastos, 1974).

Em relação à árvore da castanha-do-Brasil, Burtin et al. (1988) esclareceram que a coloração da madeira sofre influência da umidade e temperatura do ar, além da degradação causada por reações fotoquímicas de componentes químicos em sua estrutura. As variações nas tonalidades marrons dos frutos estão relacionadas à deterioração do exocarpo e à presença de fungos. Além disso, a variação de coloração é empregada para discernir os diferentes estágios de maturação e para avaliação da qualidade do produto.

2.1.2 Consumo e mercado

Os Produtos Florestais Não-Madeireiros (PFNMs) são todos os recursos de origem vegetal que são coletados por seres humanos em ecossistemas naturais, excluindo-se a madeira. Estes recursos abrangem uma diversidade de elementos, incluindo frutas, nozes, sementes, plantas medicinais e ornamentais, peixes e caça, resinas, essências, fibras, óleos, mel, cogumelos, além de itens como lenha, carvão e madeira para entalhar, como enfatizado por Mello et al. (2020).

Dentro desse grupo de produtos, a castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) destaca-se como um dos principais PFNMs do Brasil no cenário global. Ela desempenha um papel social significativo ao fornecer alimentos e contribuir para a renda de comunidades locais, incluindo povos indígenas (Baldoni et al., 2020). As comunidades locais desempenham um papel fundamental nessa cadeia produtiva pois participam ativamente na extração e comercialização das castanhas provenientes das castanheiras nativas, além de integrarem-se à sua cultura desde os tempos pré-coloniais (Andrade et al., 2019).

No comércio global, o Brasil desempenha um papel significativo, contribuindo com 18% das exportações e consolidando sua posição como o segundo maior exportador do mercado de castanhas. Entretanto, embora o país tenha a maior área plantada, a Bolívia lidera o mercado,

representando 71% das exportações (Freitas et al., 2021). Os estados do Amazonas, Pará e Acre se destacam como os principais produtores de castanha-do-Brasil no território brasileiro (De Queiroz et al., 2022).

De acordo com dados do IBGE (2023), o Brasil destaca-se como um dos principais produtores e exportadores de castanha-do-Brasil, seja in natura ou processada, sendo que a produção se concentra na região Norte do Brasil. O Amazonas é o maior produtor de castanha-do-Brasil, responsável por 80% da produção nacional, juntamente com Acre e Pará, totalizando uma produção de 30.154 toneladas no ano de 2023. Roraima e Mato Grosso também produziram quantidades significativas, em torno de 1.900 toneladas. Em relação às estimativas de consumo interno de castanhas sem casca, mais da metade da produção nacional e das importações destina-se ao mercado interno brasileiro. Com relação às exportações é observada a presença de três principais importadores para a castanha brasileira: EUA, Austrália e países da União Europeia (De Queiroz et al., 2022).

Entretanto, segundo Vieira (2022), desde a década de 2000 até os dias atuais, observa-se uma estagnação na produção de castanha, coincidindo com o surgimento da concorrência boliviana, que emergiu como a principal fornecedora do produto no mercado internacional. Os efeitos dessa dinâmica populacional têm gerado impactos na regeneração natural da espécie, resultando em erosão genética (Baldoni et al. 2020).

Conforme estabelece a Portaria MMA nº 148, de 7 de junho de 2022 (Ministério do Meio Ambiente, 2022) a castanha foi incluída na relação de espécies ameaçadas de extinção, e a comercialização desse produto desempenha um papel crucial na preservação dessas árvores, prevenindo sua derrubada (Salomão, 2014). Segundo De Souza (2023), fomentar e encorajar o cultivo comercial da castanha-do-Brasil se apresenta como uma alternativa para sustentar a cadeia produtiva, gerando oportunidades de emprego e retorno econômico. Essas ações têm o potencial de atenuar a pressão humana sobre as castanheiras nativas, simultaneamente possibilitando a preservação da variabilidade genética da espécie, das práticas de manejo das árvores existentes e da regeneração natural da floresta (Baldoni, 2020).

2.1.3 Características químicas do fruto e óleo

O alto valor nutritivo das amêndoas de castanha-do-Brasil é atribuído a sua composição química, que inclui aproximadamente 64,07% de lipídios, 14,58% de proteínas e 3,29% de cinzas (Silva et al. 2021). Com relação ao valor energético, as castanhas possuem em média 700 kcal por 100 g e contém menor quantidade de carboidratos em comparação com outras

nozes. O teor de proteínas é menor que do amendoim, amêndoa e castanha de caju, porém, os frutos têm uma relação proteína:gordura mais elevada (1:4), em comparação com essas nozes (Cardoso et al., 2017).

Os alimentos de origem vegetal desempenham um papel crucial como fonte de compostos biologicamente ativos e ácidos graxos poli-insaturados. Nesse contexto, as sementes oleaginosas, especialmente nozes e amêndoas, têm sido objeto de estudos voltados para a compreensão da composição de seus grãos e óleos. Logo, a investigação e caracterização de óleos extraídos de sementes oleaginosas pouco exploradas assumem grande importância, especialmente no que tange à identificação de compostos bioativos, promovendo assim a sua utilização em setores alimentícios e farmacêuticos (Costa et al., 2020).

Devido ao seu elevado teor lipídico, a amêndoa da castanha-do-Brasil emerge naturalmente como uma matéria-prima promissora para a extração de óleo vegetal, requerendo, portanto, uma análise detalhada das suas características e uma avaliação para uso industrial (Kluczkovski et al., 2021).

As nozes da castanha-do-Brasil representam fontes ricas em lipídios e são reconhecidas como benéficas para a saúde devido à elevada presença de ácidos graxos monoinsaturados (MUFAs) e poli-insaturados (PUFAs), bem como à baixa concentração de ácidos graxos saturados (SFAs) (Ros & Mataix, 2006; Yang, 2009). O óleo proveniente da castanha-do-Brasil é composto por ácidos graxos insaturados, representando 69,5% de sua composição e destacando-se pela elevada presença de ácidos linoleico (36,0%) e oleico (28,5%) (Carvalho et al., 2022). A elevada presença de ácidos graxos monoinsaturados (MUFA) e poli-insaturados (PUFA) nos alimentos é benéfica para a saúde cardiovascular, especialmente quando comparada a dietas ricas em ácidos graxos essenciais. Portanto, a composição de ácidos graxos no óleo da castanha-do-Brasil é considerada excelente para a utilização na alimentação (Kluczkovski et al., 2021).

Também está presente em concentrações significativas o tocoferol, com predominância de β -tocoferol e γ -tocoferol, enquanto o α -tocoferol é encontrado em proporções minoritárias. Além disso, o óleo contém esqualeno, um componente associado a efeitos benéficos na circulação sanguínea, ativação celular, melhoria na capacidade imunológica, além de propriedades anti-inflamatórias e antimicrobianas (Maestri et al., 2020; Yu et al., 2020).

Na Tabela 1 é descrito o perfil lipídico do óleo da castanha-do-Brasil, segundo diferentes autores.

Tabela 1 - Ácidos graxos (%) presentes em óleos da castanha-do-Brasil, segundo diferentes autores.

Ácido Graxo	Cícero et al. (2018)	Pereira et al. (2019)	Serra et al. (2019)	Costa e Silva (2000)
Ácido Palmítico (C:16)	12,11 ± 2,77	14,84 ± 0,01	14,77	14,89
Ácido Esteárico (C:18)	6,33 ± 0,62	10,48 ± 0,06	11,13	10,04
Ácido Oleico (C18:1)	47,78 ± 2,54	41,62 ± 0,01	32,03	37,58
Ácido Linoleico (C18:2)	24,65 ± 1,89	31,73 ± 0,01	41,23	34,71
ÁcidoLinolênico (C18:3)	3,58 ± 0,19	-	0,31	0,28

Fonte: Kluczkovski et al., 2021

Informações sobre a concentração de fenólicos na castanha-do-Brasil ainda são escassas e limitadas. Essa falta de dados impede comparações entre castanhas de diferentes regiões, limitando assim o entendimento sobre como as condições ambientais influenciam o teor de polifenóis na castanha. Em comparação com outras nozes, as castanhas-do-Brasil apresentam a maior concentração de polifenóis (Alasalvar; Bolling, 2015).

Em relação aos minerais, as castanhas-do-Brasil apresentam concentrações elevadas de magnésio, cobre e zinco em comparação com outras nozes, embora exibam uma baixa concentração de ferro (aproximadamente 2,5 mg por 100 g). A quantidade desses micronutrientes pode variar em função das particularidades do clima e do solo, sendo impactada por práticas de adubação que afetam a absorção de nutrientes (de Lima & de Souza, 2014; Silva, Ascheri e Souza, 2010).

A castanha-do-Brasil apresenta a maior concentração de selênio dentre todas as nozes comestíveis, sendo reconhecida como uma das fontes alimentares mais ricas nesse mineral (média 290,5 mg/kg), a maior concentração de selênio já registrada na literatura (Silva Júnior et al., 2017). A concentração de selênio nos alimentos está intrinsecamente ligada à disponibilidade desse mineral no solo, às variedades de plantas e aos tecidos acumuladores, como sementes, flores e folhas jovens (Cardoso et al., 2017).

Embora não haja dados específicos sobre o conteúdo de selênio no solo da região Amazônica, pesquisas sobre o teor desse mineral nas plantações desta área sustentam a ideia de que a região amazônica possui solo rico em selênio (Lemire et al., 2010; Rocha et al., 2014). Portanto, é esperado que as castanhas-do-Brasil nessa região apresentem elevadas

concentrações desse mineral (Cardoso et al., 2017).

A castanha-do-Brasil tem sido vinculada a benefícios para a saúde, como a regulação anti-inflamatória e antioxidante, além da redução do risco de doenças cardiovasculares. Os benefícios nutricionais deste produto têm despertado o interesse da indústria alimentícia no uso dessas nozes como ingrediente em diferentes produtos, como cereais matinais, pães e bolos, visando a incorporação de selênio e antioxidantes aos alimentos, o que se configura como uma opção para mitigar a deficiência de selênio e estimular a ingestão de antioxidantes e ácidos graxos insaturados (Cardoso et al., 2017).

Nesse contexto, as agroindústrias cooperativas assumem uma função estratégica na cadeia de valor da castanha-do-Brasil, uma vez que operam como organizações comunitárias responsáveis pelo recebimento da produção de mais de 60 mil famílias. Esse modelo de organização viabiliza o fornecimento da matéria-prima para empresas nacionais de beneficiamento e comercialização, promovendo uma significativa expansão do setor. Nos últimos 15 anos, esse crescimento tem sido expressivo, com um aumento de aproximadamente 700%, evidenciando a relevância dessas agroindústrias para a dinamização da economia e a valorização da produção extrativista (Wadt et al., 2023).

2.2 Castanheira-do-Brasil: plantio em Lavras, MG

A exploração de árvores nativas da espécie é regulamentada pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA, especificamente pelo Decreto nº 5.975, de 30 de novembro de 2006, que contempla aspectos relacionados à exploração e comercialização da castanha-do-Brasil, além de outras árvores nativas da Amazônia. Esse decreto estabelece diretrizes importantes para o manejo sustentável dessas espécies, buscando proteger o bioma Amazônico e assegurar o uso racional dos recursos naturais.

A castanheira é reconhecida como uma espécie de elevada importância para a preservação da biodiversidade genética. Com a evidente escassez de madeira originária da exploração de espécies florestais nativas, e devido à promulgação da Portaria 001/96 do IBAMA, que impõe a obrigatoriedade da reposição florestal, há um aumento constante no interesse e na demanda por orientações sobre espécies florestais, preferencialmente nativas, adequadas para plantios em áreas degradadas. Reflorestamentos e consórcios de espécies florestais emergem como alternativas viáveis, do ponto de vista ecológico, desempenhando um papel essencial na preservação dos recursos hídricos e na recuperação de áreas degradadas (Caetano, 2012).

As castanheiras, atualmente, encontram-se na categoria de vulneráveis à extinção, principalmente devido à coleta extensiva de sementes e à prática ilegal de desmatamento, conforme evidenciado por Paiva et al. (2011) e pela União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN, 2019). Logo, a introdução da castanha-do-Brasil em ambientes fora de seu habitat nativo representa uma estratégia para reduzir a pressão extrativista na região Amazônica.

Até o momento da elaboração deste texto, não há registros de introdução da castanheira-do-Brasil fora de sua região de ocorrência natural. Entretanto, em 1996, foi realizado o plantio experimental da espécie na Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, região sul do estado de Minas Gerais, cujo objetivo foi avaliar o desenvolvimento da castanheira, tanto em termos horizontais quanto verticais, em diversas condições. Isso se justifica devido às diferentes condições edafoclimáticas presentes na região de implantação do experimento, em comparação com a região natural de ocorrência da espécie. As castanheiras-do-Brasil cultivadas em Lavras são mostradas na Figura 3.

Figura 3 - Castanheiras-do-Brasil plantadas em Lavras - MG



Fonte: Portal da Ciência – UFLA (2019)

As sementes da castanheira-do-Brasil foram coletadas de matrizes selecionadas, do Departamento de Agricultura da UFTM, no norte do estado de Mato Grosso, no entorno das cidades de Alta Floresta Paranaíta, locais de ocorrência natural da espécie. As mudas das

castanheiras foram produzidas em viveiro no Departamento de Ciências Florestais da UFLA.

A castanheira-do-Brasil, na sua região de ocorrência, vegeta em clima tropical com expressiva variabilidade, principalmente no que se refere à distribuição espacial e temporal de chuvas. Esse regime pluviométrico é diferente do observado em Lavras, onde ocorrem períodos de restrições hídricas anuais compreendidos, normalmente, entre os meses de junho, julho, agosto e setembro.

O clima de Lavras é classificado como Cwa, subtropical com inverno seco e verão chuvoso, segundo Köppen (Dantas et al., 2007). A temperatura média anual varia entre 18°C e 20°C, e a precipitação anual fica entre 1300 mm e 1700 mm, concentrando-se nos meses mais quentes (outubro a março). O solo predominante é o Latossolo Vermelho Distroférico, com textura argilosa a muito argilosa, favorável para a agricultura (Macedo et al., 2004).

Pesquisas sobre o desenvolvimento ex-situ da castanheira-do-Brasil, especificamente nas dependências do Campus da UFLA, em Lavras – MG, já vêm sendo realizadas. Em observações preliminares, parte da equipe constatou que a frutificação em Minas Gerais ocorre na entressafra da produção na região Norte, o que é interessante sob o ponto de vista comercial (Caetano, 2012).

Recentemente a frutificação deste plantio foi observada, demonstrando que existe a possibilidade de expansão da cultura para outras regiões de Minas Gerais e do Brasil. Neste sentido, o escopo dessa pesquisa baseou-se na avaliação das características das amêndoas produzidas ex-situ, principalmente no que tange ao seu potencial como um recurso alimentar no mercado.

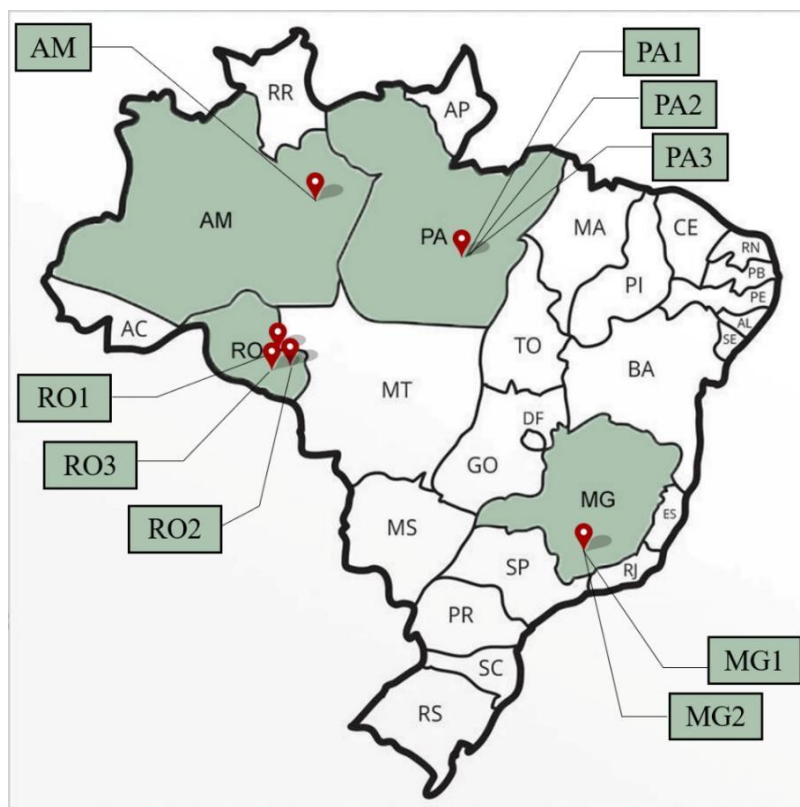
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Para determinar as características químicas de amêndoas de castanhas-do-Brasil, foram utilizadas as castanhas-do-Brasil produzidas na Universidade Federal de Lavras (UFLA), na cidade de Lavras, região sul do estado de Minas Gerais. Foram analisadas as safras dos anos de 2022 e 2023. Como referência comparativa, foram utilizadas castanhas-do-Brasil de sete regiões diferentes de ocorrência natural. O projeto foi registrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional (SisGen) sob o número AAE6E0F.

A seguir, na Figura 4 e Tabela 2, são apresentadas a origem das castanhas, seguida de informações sobre município, estado, coordenadas geográficas aproximadas e ano de safra das amostras analisadas.

Figura 4 - Origem das castanhas-do-Brasil



Fonte: Da autora (2025)

Tabela 2 - Origem das castanhas-do-Brasil

Origem	Município	UF	Latitude	Longitude	Safra (mês/ano)
PA1	São Félix do Xingu	PA	6°25'32" S	52°19'44" W	Fev/2023
PA2	São Félix do Xingu	PA	7°19'44" S	52°38'55" W	Fev/2023
PA3	São Félix do Xingu	PA	5°25'58" S	51°12'19" W	Fev/2023
RO1	Ji-Paraná	RO	10°43'51.5" S	61°31'10.8" W	Fev/2023
AM	Itacoatiara	AM	58°49'55.4" S	03°00'45,4" W	Mar/2024
RO2	Cacoal	RO	11°4'35" S	60°59'28" W	Mar/2024
RO3	Rolim de Moura	RO	11°43'33.474"S	61°46'40.555"W	Mar/2024
MG1	Lavras	MG	21°13'30" S	44°58'16" W	Julh/2022
MG2	Lavras	MG	21°13'30" S	44°58'16" W	Julh/2023

Fonte: Da autora (2025)

A Figura 5 apresenta as castanhas-do-Brasil de diferentes regiões de ocorrência natural, bem como as castanhas de Minas Gerais, tanto com casca quanto sem casca.

Figura 5 - Castanhas-do-Brasil com casca (a) e sem casca (b)



(a)



(b)

Fonte: Da autora (2025)

3.2 Métodos

3.2.1 Preparo das amostras

As castanhas encontravam-se in natura e, portanto, foram higienizadas com solução aquosa de hipoclorito de sódio a 100 ppm de cloro ativo (v/v) por 15 minutos. Logo, foram enxaguadas, secas ao ar e descascadas manualmente utilizando uma morsa de bancada. Em seguida, foram trituradas utilizando um processador de alimentos para posterior caracterização química.

3.2.2 Composição centesimal

As análises foram feitas em triplicata para os teores de umidade, lipídeos, cinzas, proteínas, fibras e fração glicídica, de acordo com AOAC (2019), com adaptações. O teor de umidade foi medido utilizando-se determinador de umidade (Bel Engineering, Piracicaba, Brasil). A determinação de lipídeos foi realizada através da extração contínua por meio da técnica de Soxhlet, utilizando como solvente o hexano. As cinzas foram determinadas por meio da carbonização total da matéria orgânica, utilizando uma mufla. As proteínas foram

determinadas pelo método Kjeldahl, usando o fator de conversão do nitrogênio total em proteína de 5,46 para castanha-do-Brasil, segundo Hart e Fisher (1971). Uma combinação de métodos enzimáticos e gravimétricos foi utilizada na determinação da fibra bruta. A fração glicídica foi determinada por diferença dos dados com base na matéria integral, de acordo com a fórmula: Fração glicídica = 100 - (umidade + extrato etéreo + proteínas + fibras + cinzas). O valor energético foi calculado considerando-se os seguintes fatores de conversão: 4 kcal/g para carboidratos e proteínas e 9 kcal/g para lipídeos (extrato etéreo), conforme disposto na Resolução RDC nº 360 de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003b).

3.2.3 Compostos fenólicos totais, antioxidantes e determinação de ácido gálico

3.2.3.1 Obtenção dos extratos

Esse procedimento foi realizado conforme descrito por Whaterhouse (2002), com algumas adaptações. Foram pesados 2 g da amostra em um tubo de centrífuga, adicionando-se 10 mL de metanol 50%. O composto foi homogeneizado e deixado em agitação (em mesa agitadora) por 30 minutos. Centrifugou-se a 15.000 rpm durante 15 minutos e, posteriormente, o sobrenadante foi filtrado em um balão volumétrico de 25 mL utilizando papel de filtro (papel filtro qualitativo, 15 cm de diâmetro, Unifil®) e reservado. O resíduo proveniente da primeira extração foi então adicionado de 10 mL de acetona 70% e levado ao banho de ultrassom por 30 minutos, seguido de filtragem em papel de filtro, transferindo-se o sobrenadante para o balão volumétrico anterior e completado o volume para 25 mL com água destilada. Os extratos obtidos foram então empregados na realização da análise de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante e teor de ácido gálico.

3.2.3.2 Teor de Compostos Fenólicos Totais

O teor de fenólicos totais foi determinado utilizando o ensaio de Folin-Ciocalteu (Whaterhouse, 2002), com algumas alterações. Em cada tubo de ensaio, 0,3 mL do extrato obtido foram misturados com 1,5 mL do reagente Folin-Ciocalteu a 10% (v/v) e agitados em vórtex por um minuto. Após quatro minutos, foram adicionados mais 1,2 mL de uma solução de carbonato de sódio a 4% (p/v). Essa mistura reacional foi incubada durante 2 horas ao abrigo da luz e o teor de fenólicos totais foi determinado em espectrofotômetro a 720 nm. Todas as medições foram realizadas em triplicata. O cálculo do teor de fenólicos foi realizado a partir da equação da reta obtida da curva padrão de ácido gálico. Os resultados foram expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (EAG) por cem gramas de amostra fresca.

3.2.3.3 Atividade antioxidante por ABTS

A atividade antioxidante foi fundamentada na captura do ABTS⁺ por um antioxidante. A solução (ABTS⁺) foi preparada fazendo reagir o sal de diamônio 2,2'-azinobis (ácido 3-etilbenzotiazolino-6-sulfônico) a uma concentração de 7 mmol/L com persulfato de potássio 2,45 mmol/L à temperatura ambiente durante 16 horas. A solução obtida foi então diluída com etanol até uma absorbância de 0,70±0,05 a 734 nm. Alíquotas de 30 µL de extratos foram pipetados em cada tubo. Em seguida, 270 µL da solução radical foram adicionados. Após 6 minutos do tempo de reação ao abrigo da luz, a absorbância foi medida a 734 nm em espectrofotômetro. Os resultados da atividade antioxidante foram expressos em % de redução do ABTS, conforme a Equação 3.1 (Auzanneau et al., 2018):

$$\% \text{ Redução ABTS} = \frac{|\text{radical}| - |\text{amostra+radical}|}{|\text{radical}|} \times 100 \quad (1)$$

onde, radical é a absorbância do radical ABTS e amostra+radical é a absorbância da amostra de castanha juntamente com o radical ABTS.

3.2.3.4 Atividade antioxidante baseada no complexo fosfomolibdênio

A determinação do complexo fosfomolibdênio se baseia na redução do Mo⁶⁺ para Mo⁵⁺, distinto por sua coloração verde em pH ácido, com absorção máxima em 695 nm. Este método se processa a temperaturas elevadas e por tempo prolongado, possuindo a vantagem de avaliar a capacidade antioxidante tanto de componentes lipofílicos quanto de compostos hidrofílicos em meio ácido. A análise foi realizada como descrito por Prieto, Pineda e Aguilar (1999) com algumas adaptações. Foram pipetados 100 µL do extrato da amostra + 400 µL de água destilada + 1,5 mL do complexo fosfomolibdênio em tubos com tampas rosqueáveis, os quais foram fechados e agitados, levados a banho-maria a 95°C por 90 minutos, resfriado em banho de gelo e lidos em espectrofotômetro a 695 nm. Os resultados obtidos foram expressos em miligramas de ácido ascórbico por cem gramas de amostra.

3.2.3.5 Determinação de ácido gálico

Para a determinação de compostos fenólicos nas castanhas, focou-se exclusivamente na determinação do ácido gálico. Esta escolha foi baseada em um estudo publicado por John

(2010), que demonstrou que o ácido gálico é o composto fenólico predominante nas castanhas-do-Brasil. Além disso, o equipamento utilizado na análise detectou apenas esse composto de forma significativa, justificando a verificação exclusiva do ácido gálico.

Foi realizada uma análise cromatográfica, utilizando-se cromatógrafo líquido de alta eficiência UFLC Shimadzu, equipado com duas bombas de alta pressão modelo LC-20AT, um detector UV-visível modelo SPD-M20A, forno modelo CTO-20AC, interface modelo CBM-20A e injetor automático com autoamostrador modelo SIL-20A. As separações foram realizadas, utilizando-se uma coluna Shim-pack VP-ODS-C18 (250 mm x 4,6 mm) conectada a uma pré-coluna Shim-pack Column Holder (10 mm x 4,6 mm). A fase móvel consistiu de 2% (v/v) de ácido acético em água deionizada (Fase móvel A) e 70:28:2 (v/v) de metanol/água/ácido acético (Fase móvel B), a uma taxa de fluxo de 1,0 mL.min⁻¹ com um programa de eluição de gradiente e tempo de execução de 65 minutos (0,01min-0%B, 5min-20%B; 25min-40%B; 43min-45%B; 50min-80%B; 55min-0%B; 65min-STOP). O volume de injeção foi de 20 µL. As análises foram realizadas a 35°C. A detecção foi feita a 280 nm. Os extratos (item 3.2.2.1), foram diluídos em água (1:100), e filtrados em uma membrana de nylon de 0,45 µm (Millipore®). Em seguida, foram injetados no sistema cromatográfico. O ácido gálico nos extratos foi identificado por comparação com o tempo de retenção do padrão. A quantificação foi realizada por meio da construção de curvas analíticas, obtidas por regressão linear, considerando um coeficiente de determinação (R^2) de 0,99.

3.2.4 Perfil de ácidos graxos

A análise da composição de ácidos graxos foi realizada de acordo com o método AOCS Ce 2-66 (AOCS, 1993). As amostras foram transesterificadas em ésteres metílicos com hidróxido de potássio em metanol e n-hexano. Os ésteres metílicos foram analisados por cromatografia gasosa (GC - 2010 Shimadzu) equipada com detector de ionização de chama e coluna capilar SP 2560 (100 m x 0,25 mm x 0,20 µm). As condições cromatográficas foram realizadas na proporção de 1:50, temperatura inicial da coluna de 140°C e aquecimento de 140°C a 240°C a uma taxa de 4°C/min por 30 min. O hélio foi utilizado como gás de arraste na vazão de 2 mL/min e detector/injetor a uma temperatura de 260°C. Para identificação dos picos, os tempos de retenção dos padrões de éster metílico de ácido graxo (Supelco 37 Component FAME Mix) foram comparados com os tempos de retenção de pico observados usando o software Openchrom. A quantificação foi feita normalizando a área do pico e expressa em porcentagem.

3.2.5 Perfil de ácidos orgânicos

As amostras de castanhas foram inicialmente extraídas de acordo com Barros et al., 2013, com algumas adaptações. Foram pesados 2 g da amostra em um tubo de centrifuga, adicionando-se 12,5 mL de solução de ácido fosfórico (0,1%). Centrifugou-se a 300 rpm durante 45 minutos e, posteriormente, foi filtrado utilizando papel de filtro (papel filtro qualitativo, 15 cm de diâmetro, Unifil®). Antes da análise cromatográfica, as amostras foram filtradas através de filtros de náilon de 0,25 µm. As análises foram realizadas em um cromatógrafo líquido de alta eficiência da marca Shimadzu, equipado com bomba quaternária modelo LC-20AT, detector de arranjo de diodos (DAD) modelo SPDM-20A, degaseificador modelo DGU-20A5, interface modelo CBM-20A e injetor automático com auto amostrador modelo SIL-20A. As separações foram realizadas empregando-se uma Coluna Supelcogel 8H300 mm x 7,8 mm (cat. 59246-U) e pré-coluna Supelcogel 8H 10 mm x 7,8 mm. A eluição foi realizada em sistema do tipo isocrático, empregando como fase móvel solução de H₃PO₄ 0,01%. O fluxo utilizado foi de 0,5 mL min⁻¹, com a temperatura mantida a 30°C. O volume injetado das amostras e do padrão foi de 20 µL e os ácidos foram analisados a 210 nm. A identificação dos compostos foi realizada por comparação do tempo de retenção das amostras em relação aos padrões. A quantificação foi feita utilizando a padronização externa. Todas as amostras e padrões foram analisados em triplicata.

3.2.6 Perfil de minerais

As amostras de castanhas foram inicialmente trituradas em um processador de alimentos e, em seguida, peneiradas em peneiras previamente esterilizadas. Posteriormente, as amostras foram liofilizadas em um liofilizador de bancada vertical SL-404 da marca Solab por 48 horas. Após o processamento, foi realizada, em triplicata, a digestão ácida assistida por micro-ondas. Para isso, 0,1 g de cada amostra foi transferida para recipientes de digestão TFM® com 1 mL de HNO₃ e deixadas em um estágio de pré-digestão à temperatura ambiente por 16 h. Em seguida, foram adicionados 2 ml de H₂O₂ 30% mm⁻¹ em cada recipiente, que foram então selados e colocados em forno micro-ondas (Mars 5, CEM, EUA) e submetidos a um esquema de digestão em três etapas, da seguinte forma: (i) rampa de aquecimento durante 10 min até atingir 175 °C; (ii) 10 min a 175 °C; (iii) resfriamento até atingir a temperatura ambiente. As soluções obtidas foram transferidas quantitativamente para tubos de polipropileno de 15 mL e completadas para 10 mL com água Classe 1.

O ICP OES (Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente)

foi selecionado como método de referência para quantificação de Cálcio (Ca), Potássio (K), Magnésio (Mg) e Bário (Ba). As linhas de emissão monitoradas foram: Ca 315,887 nm, K 766,491 nm, Mg 202,647 nm e Ba 230,424 nm. O equipamento SPECTRO Blue (Analytical Instruments GmbH & Co. KG, Alemanha) foi usado para esse propósito. As condições operacionais foram definidas em potência de radiofrequência de 1400 W, vazão de gás de plasma de 12 L min⁻¹, vazão de gás auxiliar de 0,8 L min⁻¹ e vazão de gás de nebulização de 0,85 L min⁻¹. Para a análise de Selênio (Se), os extratos foram preparados para espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP MS, Perkin Elmer, NexION 2000). Célula de reação adinâmica (DRC) foi usada para formar o íon SeO⁺ (95,911 m/z) e evitar interferência isobárica causada por espécies poliatômicas naturalmente presentes no plasma de argônio. Todas as análises foram realizadas em triplicata, com os resultados expressos como média ± desvio padrão em miligramas por quilograma de amostra (mg kg⁻¹). Dez brancos analíticos também foram produzidos em cada método de digestão. Brancos e soluções de um material de referência certificado (CRM) também foram analisados pelo ICP OES e ICP MS.

Para verificar a veracidade do método, um CRM à base de plantas, NIST SRM 1547 (folhas de pêssigo), também foi digerido em triplicata usando ambos os procedimentos de digestão detalhados anteriormente. Os valores de referência serviram como base para a comparação com os resultados obtidos nas análises das castanhas.

A partir dessa comparação, foi calculada a porcentagem de recuperação de cada elemento pela fórmula:

$$\% \text{ Recuperação} = \frac{\text{valor obtido na análise}}{\text{valor de referência (certificado)}} \times 100 \quad (2)$$

3.2.7 Análises estatísticas

Os dados obtidos nas análises foram inicialmente organizados e processados no software Microsoft Excel®. A análise de variância unidirecional (One-way ANOVA) foi aplicada aos dados de cada região individualmente, considerando as sete regiões de origem natural no Norte do Brasil e as duas safras localizadas em Minas Gerais. Em seguida, foi realizado o teste de comparação de médias Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro, para identificar diferenças significativas entre as regiões. Essa análise foi conduzida no software Sisvar® versão 5.6.

Após a comparação inicial, as médias das sete regiões de origem natural (Média N)

foram agrupadas e comparadas com as médias das duas safras da região de Minas Gerais (Média MG). Para essa análise, foi utilizado o teste de comparação de médias t de Student, também a 5% de probabilidade de erro, no software Jamovi versão 2.2.28.

Os dados foram auto escalonados e submetidos à análise de componentes principais (PCA) no software Chemoface versão 1.71, com o objetivo de reduzir a dimensionalidade e identificar padrões ou agrupamentos. Os resultados foram apresentados em biplots (escores e pesos), evidenciando as variáveis mais relevantes para os componentes principais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Composição centesimal

Os resultados obtidos para a composição centesimal das amostras de amêndoas de castanhas-do-Brasil encontram-se dispostos na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição centesimal de amêndoas de castanhas-do-Brasil

ORIGEM	Valores em 100g						
	Umidade (g)	Lipídios* (g)	Cinzas* (g)	Proteínas* (g)	Fibras* (g)	Carboidratos* (g)	V. En. (kcal)
PA1	3,82 ± 0,24 ^b	52,71 ± 0,69 ^a	3,47 ± 0,18 ^b	12,77 ± 0,53 ^a	9,94 ± 1,29 ^a	17,28 ± 1,03 ^a	594,59 ± 8,85 ^a
PA2	2,79 ± 0,06 ^a	52,69 ± 2,51 ^a	3,80 ± 0,42 ^b	15,25 ± 1,08 ^a	10,43 ± 0,97 ^a	15,05 ± 1,38 ^a	595,41 ± 15,03 ^a
PA3	3,21 ± 0,19 ^a	55,82 ± 4,76 ^b	3,50 ± 0,34 ^b	14,16 ± 0,71 ^a	9,07 ± 2,27 ^a	14,25 ± 2,10 ^a	616,02 ± 33,46 ^b
RO1	2,96 ± 0,14 ^a	57,47 ± 1,03 ^b	3,05 ± 0,13 ^b	13,93 ± 0,98 ^a	8,07 ± 0,54 ^a	14,52 ± 1,17 ^a	631,03 ± 4,12 ^b
AM	3,36 ± 0,20 ^b	57,37 ± 2,31 ^b	3,35 ± 0,21 ^b	13,17 ± 0,90 ^a	8,12 ± 0,94 ^a	14,63 ± 0,91 ^a	627,53 ± 14,26 ^b
RO2	4,48 ± 0,06 ^c	59,16 ± 0,52 ^b	2,92 ± 0,20 ^a	12,95 ± 1,00 ^a	8,01 ± 0,58 ^a	12,48 ± 1,12 ^a	634,16 ± 4,90 ^b
RO3	5,88 ± 0,80 ^d	54,02 ± 1,15 ^a	3,02 ± 0,10 ^a	13,54 ± 0,52 ^a	9,12 ± 0,67 ^a	14,42 ± 1,96 ^a	598,02 ± 4,44 ^a
Média N	3,78 ± 1,08	55,61 ± 2,54	3,30 ± 0,32	13,68 ± 0,86	8,96 ± 0,96	14,66 ± 1,41	613,82 ± 17,61
MG1	3,59 ± 0,18 ^b	55,53 ± 2,29 ^b	3,36 ± 0,22 ^b	14,49 ± 1,70 ^a	8,63 ± 0,59 ^a	14,40 ± 0,98 ^a	615,33 ± 11,16 ^b
MG2	2,86 ± 0,16 ^a	56,78 ± 1,89 ^b	3,77 ± 0,16 ^b	13,89 ± 0,67 ^a	8,46 ± 0,98 ^a	14,24 ± 1,44 ^a	623,54 ± 13,00 ^b
Média MG	3,23 ± 0,52	56,16 ± 0,88	3,57 ± 0,29	14,19 ± 0,42	8,55 ± 0,12	14,32 ± 0,11	619,44 ± 5,81

Legenda: V.En. (Valor energético) *Resultados expressos em g por 100g em base seca. Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de * diferenciam-se entre si pelo Teste t de Student a 5% de significância.

As castanhas da região Norte apresentaram maior teor de umidade, especialmente RO3 (5,88%), em comparação com as amostras de Minas Gerais (MG1 e MG2). Apesar disso, as médias das duas regiões não diferiram estatisticamente. Esse padrão pode ser atribuído ao clima quente e úmido da região Norte, que favorece a retenção de umidade das castanhas.

Em relação aos lipídios, principal componente das castanhas-do-Brasil, não houve diferença significativa entre as médias das duas regiões. Nota-se, entretanto, que as concentrações foram mais altas na maioria das amostras da região Norte, destacando-se RO2 (59,16%) e RO1 (57,47%), em comparação com Minas Gerais (MG1 e MG2), que apresentaram média de 56,16%. Os teores de cinzas foram semelhantes entre as castanhas de Minas Gerais (3,57%) e as do Norte (3,30%), sendo que as amostras PA2 (3,80%) e MG2 (3,77%) apresentaram os valores mais elevados.

As proteínas, fibras e carboidratos mostraram valores bastante próximos entre as amostras do Norte e de Minas Gerais, sem diferenças estatísticas significativas. O valor energético foi ligeiramente maior nas castanhas do Norte, com destaque para RO2 (634,16 kcal) e RO1 (631,03 kcal), o que pode ser atribuído à maior concentração de lipídios nessas amostras. Ainda assim, as médias entre as regiões não diferiram estatisticamente.

Os resultados mostraram semelhanças entre as castanhas do Norte e de Minas Gerais, com algumas variações observadas. Fatores como clima, solo e práticas agrícolas influenciam a composição centesimal das castanhas. Estudos mostram que a sazonalidade, temperatura e umidade são determinantes cruciais no desenvolvimento da planta e na composição de seus frutos. O clima temperado de Minas Gerais pode impactar a acumulação de nutrientes de forma distinta do clima quente e úmido da região Norte, gerando diferenças nas características nutricionais (Novais et al., 2007).

Além disso, variações genéticas entre as castanhas de diferentes regiões podem explicar diferenças nos perfis nutricionais, como observado em outros estudos com nozes e sementes (Freitas & Naves, 2010). Santos et al. (2023) ressaltam que o teor de umidade é influenciado pela umidade do solo, afetada diretamente pelas condições climáticas, sazonalidade e disponibilidade de água. A maior umidade nas castanhas do Norte pode também refletir o período de colheita e as condições de armazenamento, que afetam a qualidade nutricional dos frutos.

O maior teor de lipídios nas castanhas do Norte pode ser uma adaptação ao clima quente e úmido, funcionando como reserva energética essencial para as sementes. Por outro lado, as diferenças nos níveis de cinzas entre as regiões podem também refletir a interação entre o solo e a água disponível para as plantas, já que a escassez de água pode prejudicar o transporte de minerais, como foi observado por Ahanger et al. (2016).

4.2 Compostos fenólicos totais, antioxidantes e determinação de ácido gálico

Na Tabela 4 são apresentados os valores de fenólicos totais, atividade antioxidante e ácido gálico das castanhas-do-Brasil.

Tabela 4 - Valores médios \pm desvios padrões de fenólicos totais e atividade antioxidante de castanhas-do-Brasil

ORIGEM	Fenólicos Totais (mg de EAG 100 g ⁻¹)	Atividade Antioxidante ABTS (% de redução)	Complexo fosfomolibdênio (mg de ácido ascórbico 100 g ⁻¹)	Ácido gálico (mg/L)
PA1	105,79 \pm 17,68 ^a	44,84 \pm 1,64 ^a	140,20 \pm 19,34 ^a	136,75 \pm 5,95 ^b
PA2	137,54 \pm 14,69 ^a	49,98 \pm 1,92 ^a	137,19 \pm 16,11 ^a	92,52 \pm 4,10 ^a
PA3	128,04 \pm 8,52 ^a	53,48 \pm 4,94 ^a	126,55 \pm 24,76 ^a	165,78 \pm 9,75 ^c
RO1	132,69 \pm 27,82 ^a	68,06 \pm 2,79 ^b	145,40 \pm 11,12 ^a	79,74 \pm 3,62 ^a
AM	383,53 \pm 8,76 ^d	65,37 \pm 1,50 ^b	169,27 \pm 13,01 ^b	190,31 \pm 16,34 ^c
RO2	229,25 \pm 21,10 ^b	56,18 \pm 2,86 ^a	153,40 \pm 10,89 ^b	148,96 \pm 0,34 ^b
RO3	321,06 \pm 21,34 ^c	88,10 \pm 2,80 ^c	183,55 \pm 35,52 ^b	59,03 \pm 2,97 ^a
Média N	205,41 \pm 109,1	60,86 \pm 14,52	150,79 \pm 19,73	124,73 \pm 48,47
MG1	168,33 \pm 29,55 ^a	64,51 \pm 7,69 ^b	117,72 \pm 30,31 ^a	71,72 \pm 2,74 ^a
MG2	118,46 \pm 32,91 ^a	56,98 \pm 4,89 ^a	104,98 \pm 26,77 ^a	70,18 \pm 9,69 ^a
Média MG	143,40 \pm 35,26	60,75 \pm 5,32	111,35 \pm 9,01	70,95 \pm 1,09

Legenda: Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de * diferenciam-se entre si pelo Teste t de Student a 5% de significância.

Os compostos fenólicos são compostos bioativos que se destacam principalmente por sua ação antioxidante (Silva et al., 2022). De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4, verifica-se que embora a média dos fenólicos totais das castanhas do Norte (205,41 mg de EAG 100 g⁻¹) seja maior que a média de Minas Gerais (143,40 mg de EAG 100 g⁻¹), essa diferença não é estatisticamente significativa. Nota-se que as castanhas da região AM apresentam um valor significativamente maior de fenólicos totais (383,53 mg de EAG 100 g⁻¹) em comparação com todas as outras regiões, destacando-se como a região com maior teor. Além disso, percebe-se que as castanhas das regiões do Pará (PA1, PA2, PA3), RO1 e MG (MG1 e

MG2) não apresentaram diferenças significativas entre si, com valores variando entre 105,79 a 168,33 mg de EAG 100 g⁻¹.

Os valores encontrados neste estudo para os teores de fenólicos totais em castanhas-do-Brasil são comparáveis aos relatados por Yang et al. (2009), que observaram concentrações como: castanha-do-Brasil (169,2 mg de EAG 100 g⁻¹), avelã (314,8 mg de EAG 100 g⁻¹), castanha de caju (dados não fornecidos), macadâmia (497,8 mg de EAG 100 g⁻¹) e pistache (571,8 mg de EAG 100 g⁻¹) (Yang et al., 2019).

Para avaliar o desempenho da atividade antioxidante, pelo método ABTS, as médias das castanhas do Norte (60,86%) e de Minas Gerais (60,75%) foram praticamente idênticas, indicando ausência de diferença significativa. A região RO3 destacou-se com a maior atividade antioxidante (88,10%), enquanto as castanhas das regiões do Pará (PA1, PA2, PA3), RO2 e MG2 obtiveram resultados similares.

Em relação ao método baseado no complexo fosfomolibdênio, as médias das duas regiões analisadas também não se diferiram estatisticamente, sendo a região RO3 apresentando o maior valor (183,55 mg de ácido ascórbico 100g⁻¹) e as castanhas do Pará (PA1, PA2, PA3), RO1 e MG (MG1 e MG2), novamente, semelhantes entre si, com valores variando entre 104,98 e 145,40 mg de ácido ascórbico 100 g⁻¹.

Quanto ao teor de ácido gálico, as castanhas do Norte (124,73 mg/L) apresentaram média superior às de Minas Gerais (70,95 mg/L), mas sem significância estatística. A região AM exibiu o maior valor de ácido gálico (190,31 mg/L), enquanto RO3 apresentou o menor (59,03 mg/L).

As castanhas do Norte apresentaram, em média, maiores concentrações de compostos fenólicos, complexos fosfomolibdênio e ácidos gálicos em comparação com as castanhas de Minas Gerais. No entanto, essas diferenças não alcançaram significância estatística.

As plantas possuem compostos químicos que sofrem alterações constantes em resposta a fatores abióticos e bióticos do ambiente (Chezem e Clay, 2016). Entre esses compostos, destacam-se os metabólitos secundários, que são produzidos em função de diversas condições ambientais. Esses metabólitos apresentam uma distribuição limitada, sendo alguns específicos de uma espécie ou de grupos relacionados (Metlen et al., 2008; Taiz e Zeiger, 2013).

Dentre os metabólitos secundários, os compostos fenólicos e os ácidos gálicos têm sua síntese fortemente influenciada por fatores ambientais, como a disponibilidade de nutrientes no

solo e a intensidade de luz (Rechner et al., 2016). No entanto, a ausência de diferenças significativas entre as médias sugere que essas condições, embora variáveis, não apresentam uma variação suficiente para causar diferenças consistentes entre as regiões.

Além disso, a concentração de macro e micronutrientes no solo exerce impacto direto no tipo e na concentração de metabólitos secundários (Gobbo-Neto e Lopes, 2007). Em um estudo realizado por Sampaio et al. (2016), verificou-se que a distribuição de metabólitos nas raízes de margaridão (*Tithonia diversifolia*) foi influenciada principalmente pela variação de nutrientes do solo, como cálcio, magnésio, fósforo, potássio e cobre, o que pode explicar as diferenças observadas entre as regiões analisadas (Sampaio et al., 2016).

4.3 Perfil de ácido graxos

Na Tabela 5 encontra-se descrito o perfil de ácidos graxos saturados (AGS) das castanhas analisadas.

Tabela 5 – Teores médios \pm desvios padrões de ácidos graxos saturados em amêndoas de castanhas-do-Brasil

ORIGEM	Ácidos graxos saturados (% de área relativa)						
	12:0	14:0	16:0	18:0	20:0	22:0	24:0
PA1	0,05 \pm 0,00 ^d	0,05 \pm 0,00 ^a	13,93 \pm 0,13 ^b	11,33 \pm 0,62 ^a	0,31 \pm 0,01 ^b	0,07 \pm 0,04 ^a	0,04 \pm 0,02 ^b
PA2	0,06 \pm 0,01 ^d	0,05 \pm 0,01 ^a	14,13 \pm 0,42 ^b	10,41 \pm 1,08 ^a	0,27 \pm 0,03 ^a	0,05 \pm 0,01 ^a	0,04 \pm 0,01 ^b
PA3	0,06 \pm 0,00 ^d	0,05 \pm 0,00 ^a	15,54 \pm 0,40 ^c	10,05 \pm 0,16 ^a	0,28 \pm 0,04 ^a	0,04 \pm 0,01 ^a	0,03 \pm 0,00 ^b
RO1	0,04 \pm 0,00 ^c	0,05 \pm 0,01 ^a	16,47 \pm 0,69 ^c	10,74 \pm 0,16 ^a	0,23 \pm 0,00 ^a	0,04 \pm 0,00 ^a	0,00 \pm 0,00 ^a
AM	0,03 \pm 0,00 ^b	0,08 \pm 0,01 ^a	16,60 \pm 0,82 ^c	11,23 \pm 0,79 ^a	0,27 \pm 0,00 ^a	0,03 \pm 0,00 ^a	0,03 \pm 0,00 ^b
RO2	0,00 \pm 0,00 ^a	0,04 \pm 0,00 ^a	13,99 \pm 0,69 ^b	15,23 \pm 0,01 ^b	0,25 \pm 0,00 ^a	0,04 \pm 0,00 ^a	0,00 \pm 0,00 ^a
RO3	0,00 \pm 0,00 ^a	0,03 \pm 0,00 ^a	14,36 \pm 0,00 ^b	14,70 \pm 0,00 ^b	0,29 \pm 0,00 ^a	0,04 \pm 0,00 ^a	0,00 \pm 0,00 ^a
Média N	0,03 \pm 0,03	0,05 \pm 0,02	15,00 \pm 1,18*	11,96 \pm 2,11	0,27 \pm 0,03	0,04 \pm 0,01	0,02 \pm 0,02
MG1	0,05 \pm 0,01 ^d	0,06 \pm 0,00 ^a	11,48 \pm 0,18 ^a	11,72 \pm 0,02 ^a	0,35 \pm 0,00 ^b	0,05 \pm 0,00 ^a	0,03 \pm 0,00 ^b
MG2	0,04 \pm 0,01 ^c	0,06 \pm 0,00 ^a	11,59 \pm 0,07 ^a	8,98 \pm 0,61 ^a	0,27 \pm 0,01 ^a	0,04 \pm 0,01 ^a	0,03 \pm 0,00 ^b
Média MG	0,05 \pm 0,01	0,06 \pm 0,00	11,54 \pm 0,08*	10,35 \pm 1,94	0,31 \pm 0,06	0,05 \pm 0,01	0,03 \pm 0,00

Legenda: 12:0 - Ácido láurico; 14:0 - Ácido mirístico; 16:0 - Ácido palmítico; 18:0 - Ácido esteárico; 20:0 - Ácido araquidônico; 22:0 - Ácido behênico; 24:0 - Ácido lignocérico. Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de *diferenciam-se entre si pelo Teste t de Student a 5% de significância.

Estudos anteriores revelaram que castanhas-do-Brasil apresentam em sua composição uma fração de AGS que pode variar de 13% (Ferreira et al., 2006) a 27%, sendo considerado um dos maiores teores de AGS encontrado em amêndoas (Ryan et al., 2006). De acordo com os dados da Tabela 5, este percentual foi de 27,37% e 22,39% para as médias das amostras N e MG, respectivamente.

Os dados apresentados na Tabela 5 evidenciam que a distribuição entre os AGS para as castanhas cultivadas em Minas Gerais (Média MG) seguiu a mesma tendência observada nas castanhas das demais regiões de cultivo avaliadas (Média N). Os AGS majoritários foram os ácidos palmítico (16:0) e esteárico (18:0), cujos teores médios determinados para as amostras N foram 15,00% e 11,96% e para as amostras MG 11,54% e 10,35%, respectivamente. Para os AGS minoritários, ácidos láurico (12:0), mirístico (14:0), araquidônico (20:0), lignocérico (24:0) e behênico (22:0), os teores variaram entre 0,02% e 0,27 para a média N e 0,03% e 0,31% para a média MG.

Não foram observadas diferenças significativas entre as médias N e MG para a maioria dos AGS, com exceção apenas do ácido palmítico, para o qual a média MG (11,54%) foi menor que a média observada para as demais regiões de cultivo (15,00%). Concentrações de ácido palmítico inferiores a 10% também foram relatadas para castanhas-do-Brasil cultivadas nas localidades de Xapuri e Pharmakos, ambas na região Amazônica (Santos et al., 2012), mostrando que tais variações ocorrem em função da região de cultivo, o que pode estar associado a fatores edafoclimáticos.

Na Tabela 6 é apresentado o perfil de ácidos graxos insaturados (AGI) das castanhas analisadas.

Tabela 6 - Teores médios \pm desvios padrões de ácidos graxos insaturados em amêndoas de castanhas-do-Brasil

ORIGEM	Ácidos graxos insaturados (% de área relativa)				
	16:1	18:1n9c	18:2n6c	20:1n9	18:3n3
PA1	0,23 \pm 0,02 ^b	35,29 \pm 0,49 ^c	38,60 \pm 0,93 ^b	0,05 \pm 0,00 ^a	0,06 \pm ,0,00 ^a
PA2	0,25 \pm 0,01 ^b	25,33 \pm 3,45 ^b	49,33 \pm 3,61 ^c	0,04 \pm 0,01 ^a	0,06 \pm 0,01 ^a
PA3	0,34 \pm 0,00 ^c	33,03 \pm 1,11 ^c	40,50 \pm 2,84 ^b	0,04 \pm 0,00 ^a	0,06 \pm 0,00 ^a
RO1	0,42 \pm 0,05 ^d	29,90 \pm 0,54 ^b	42,04 \pm 1,44 ^b	0,04 \pm 0,00 ^a	0,05 \pm 0,00 ^a
AM	0,36 \pm 0,03 ^c	34,54 \pm 2,50 ^c	36,75 \pm 2,43 ^a	0,03 \pm 0,01 ^a	0,06 \pm 0,01 ^a
RO2	0,21 \pm 0,05 ^a	29,80 \pm 0,21 ^b	40,74 \pm 0,53 ^b	0,04 \pm 0,00 ^a	0,07 \pm 0,00 ^a
RO3	0,26 \pm 0,00 ^b	37,51 \pm 0,00 ^c	32,72 \pm 0,00 ^a	0,04 \pm 0,00 ^a	0,06 \pm 0,00 ^a
Média N	0,30 \pm 0,08	32,20 \pm 4,13	40,09 \pm 5,12	0,04 \pm 0,00	0,06 \pm 0,01*
MG1	0,14 \pm 0,00 ^a	27,91 \pm 0,01 ^b	48,04 \pm 0,15 ^c	0,05 \pm 0,00 ^a	0,12 \pm 0,00 ^b
MG2	0,13 \pm 0,03 ^a	20,42 \pm 0,71 ^a	58,25 \pm 0,22 ^d	0,05 \pm 0,00 ^a	0,14 \pm 0,00 ^c
Média MG	0,14 \pm 0,01	24,17 \pm 5,30	53,15 \pm 7,22	0,05 \pm 0,00	0,13 \pm 0,01*

Legenda: 16:1 - Ácido palmitoleico; 18:1n9c - Ácido oleico; 18:2n6c - Ácido linoleico; 20:1n9 - Ácido cis 11- eicosadienoico; 18:3n3 - Ácido α -linolenico. Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo Teste Scott-knott a 5% de significância. Médias seguidas de * diferenciam-se entre si pelo Teste t de Student a 5% de significância.

As castanhas-do-Brasil apresentam uma composição lipídica predominante em AGI mono e poli-insaturados, sendo excelentes fontes dietéticas deste tipo de lipídio. Nas amostras avaliadas os percentuais médios de AGI foram 72,69% e 77,64% para os grupos N e MG, respectivamente.

Assim como observado na análise dos AGS (Tabela 5), os dados da Tabela 6 evidenciam que a distribuição entre os ácidos graxos majoritários e minoritários para as castanhas cultivadas em Minas Gerais (média MG) seguem a mesma tendência observada para as demais amostras (média N), sendo o ácido linoleico (18:2n6c) o AGI mais abundante. Para esse ácido, as concentrações foram de 40,09% e 53,15% para as médias N e MG, respectivamente. Embora os valores médios de ácido linoleico sejam

estatisticamente iguais nas amostras de referência e de MG, observou-se uma maior semelhança entre as castanhas cultivadas em Minas Gerais e as castanhas da região do Pará (PA1, PA2, PA3), que apresentam teores mais elevados deste ácido.

Elevados teores de ácido oleico (18:1n9c) também são relatados na literatura para amostras de castanhas-do-Brasil, e estudos mostram que este AG pode ser predominante em algumas amostras, a depender da região de cultivo, do clima e tipo de solo (Ferreira et al., 2006; Kluczkowski, et al., 2021). De acordo com a Tabela 6, os teores de ácido oleico corresponderam a 32,20% e 24,17% para as médias N e MG, respectivamente.

Os AGI minoritários, ácido palmitoleico (16:1), cis 11- eicosadienoico (20:1n9) e α -linolênico (18:3n3) apresentaram concentrações médias que variaram de 0,04% a 0,30% e 0,05 a 0,14% para as amostras N e MG, respectivamente.

Estatisticamente, não foram observadas diferenças significativas entre os teores de AGI determinados para as amostras de referência e as amostras MG, com exceção apenas para o ácido α -linolênico (18:3n3), cujas concentrações foram de 0,06% e 0,13%, respectivamente. O ácido α -linolênico, conhecido como ômega-3, desempenha um papel benéfico para a saúde humana, sendo associado à redução do risco de doenças cardiovasculares. Sua atuação envolve a modulação do metabolismo lipídico nos adipócitos e a regulação dos níveis de colesterol (Soares et al., 2023).

4.4 Perfil de ácidos orgânicos

Na Tabela 7 é apresentado o perfil de ácidos orgânicos das castanhas-do-Brasil.

Tabela 7 – Teores médios \pm desvios padrões de ácidos orgânicos em amêndoas de castanhas-do-Brasil

ORIGEM	Ácidos orgânicos (mg/L)						
	Oxálico	Cítrico + Maleico	Tartárico + Glucônico	Málico	Fórmico	Acético	Fumárico
PA1	40,48 \pm 11,36 ^b	24,76 \pm 1,13 ^c	54,62 \pm 6,14 ^b	30,22 \pm 2,72 ^b	56,23 \pm 10,72 ^c	14,10 \pm 2,50 ^a	2,67 \pm 0,49 ^c
PA2	23,75 \pm 6,08 ^a	23,58 \pm 2,05 ^c	51,24 \pm 1,56 ^b	15,79 \pm 1,55 ^a	16,60 \pm 4,63 ^a	10,15 \pm 0,09 ^a	2,08 \pm 0,06 ^c
PA3	21,64 \pm 1,81 ^a	22,67 \pm 2,15 ^c	60,16 \pm 12,04 ^b	52,34 \pm 3,13 ^c	26,58 \pm 5,04 ^b	10,67 \pm 0,79 ^a	3,45 \pm 0,40 ^d
RO1	22,96 \pm 1,18 ^a	29,11 \pm 4,55 ^c	43,95 \pm 5,64 ^b	13,93 \pm 2,04 ^a	11,15 \pm 0,81 ^a	11,60 \pm 2,09 ^a	3,59 \pm 0,20 ^d
AM	19,06 \pm 3,42 ^a	13,89 \pm 1,99 ^a	54,79 \pm 6,96 ^b	16,88 \pm 1,73 ^a	31,59 \pm 1,51 ^b	14,64 \pm 2,67 ^a	0,57 \pm 0,45 ^a
RO2	21,12 \pm 1,40 ^a	27,6 \pm 2,74 ^c	70,13 \pm 24,95 ^b	12,99 \pm 0,89 ^a	32,67 \pm 4,27 ^b	14,12 \pm 0,84 ^a	0,49 \pm 0,23 ^a
RO3	31,97 \pm 1,00 ^b	26,76 \pm 1,51 ^c	13,85 \pm 2,06 ^a	20,83 \pm 1,91 ^a	55,83 \pm 8,08 ^c	11,07 \pm 0,28 ^a	2,99 \pm 0,42 ^d
Média N	25,85 \pm 7,64	24,05 \pm 5,02	49,82 \pm 17,78	23,28 \pm 14,08	32,95 \pm 17,56	12,34 \pm 1,88	2,26 \pm 1,28
MG1	21,51 \pm 4,52 ^a	30,14 \pm 1,16 ^c	42,66 \pm 4,26 ^b	40,01 \pm 2,07 ^c	32,00 \pm 2,48 ^b	22,83 \pm 2,90 ^b	1,43 \pm 0,32 ^b
MG2	26,88 \pm 2,48 ^a	19,46 \pm 0,96 ^b	25,53 \pm 4,51 ^a	44,09 \pm 11,80 ^c	21,87 \pm 2,38 ^a	14,89 \pm 3,58 ^a	1,45 \pm 0,04 ^b
Média MG	24,20 \pm 3,80	24,80 \pm 7,55	34,09 \pm 12,11	42,05 \pm 2,88	26,94 \pm 7,16	18,86 \pm 5,61	1,44 \pm 0,01

Legenda: Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de * diferenciam-se entre si pelo Teste t de Student a 5% de significância.

A análise de ácidos orgânicos em castanhas-do-Brasil, assim como em castanhas no geral, ainda é um campo com poucos estudos disponíveis até o momento. Essa lacuna na literatura científica pode ser atribuída à menor atenção histórica dada a esses compostos para esses alimentos, especialmente em comparação com outros componentes como ácidos graxos e antioxidantes, que têm sido amplamente estudados.

Os ácidos orgânicos são compostos naturalmente presentes em plantas e tecidos animais, desempenhando um papel relevante como fonte energética. Caracterizam-se pela presença de um ou mais grupos carboxila (COOH) em sua estrutura. Devido à sua atividade antimicrobiana, especialmente os ácidos orgânicos de cadeia curta, têm sido amplamente utilizados na indústria como conservantes, contribuindo para o controle de microrganismos patogênicos (Dibner e Buttin, 2002).

Conforme mostra a Tabela 7, as amostras de Minas Gerais (MG1 e MG2) apresentaram concentrações intermediárias para a maioria dos ácidos orgânicos. Estatisticamente, não foram observadas diferenças significativas entre os teores de ácidos orgânicos determinados para as amostras de referência (Média N) e as amostras de MG (Média MG).

A Tabela 7 mostra que a distribuição entre os ácidos orgânicos majoritários e minoritários para as castanhas cultivadas em Minas Gerais (Média MG) seguem a mesma tendência observada para as demais amostras (Média N), exceto para o ácido tartárico e glucônico, que são os predominantes nas castanhas do Norte (49,82 mg/L), enquanto o ácido málico é o predominante nas castanhas de Minas Gerais (42,05 mg/L). O ácido fumárico apresentou a menor concentração entre os ácidos orgânicos analisados, cujas concentrações foram de 2,26 mg/L e 1,44 mg/L, para as amostras de referência e as amostras MG, respectivamente.

4.5 Perfil de minerais

Na Tabela 8 é apresentado o perfil de minerais determinados nas castanhas-do-Brasil.

Tabela 8 – Teores médios \pm desvios padrões de minerais em amêndoas de castanhas-do-Brasil

ORIGEM	Valores em mg kg ⁻¹				
	Selênio	Bário	Potássio	Cálcio	Magnésio
PA1	29,5 \pm 0,66 ^b	2448,2 \pm 102,83 ^e	5191,53 \pm 143,36 ^a	1407,42 \pm 60,12 ^a	2620,75 \pm 113,93 ^b
PA2	44,6 \pm 10,44 ^c	2655,02 \pm 120,36 ^f	5604,33 \pm 71,87 ^b	1836,07 \pm 53,53 ^a	2839,85 \pm 68,89 ^c
PA3	12,37 \pm 0,52 ^a	3460,2 \pm 34,02 ^g	5660,62 \pm 105,61 ^b	1574,51 \pm 85,40 ^a	2379,07 \pm 28,53 ^a
RO1	9,15 \pm 0,29 ^a	1311,17 \pm 43,65 ^c	6262,28 \pm 268,23 ^c	1143,8 \pm 48,00 ^a	2302,05 \pm 91,72 ^a
AM	6,97 \pm 0,81 ^a	1219,87 \pm 19,73 ^c	6341,12 \pm 236,17 ^c	1621,22 \pm 77,73 ^a	2573,48 \pm 92,86 ^b
RO2	12,15 \pm 0,68 ^a	1702,49 \pm 59,04 ^d	6731,1 \pm 265,26 ^d	1200,56 \pm 95,14 ^a	2739,88 \pm 118,13 ^b
RO3	136,96 \pm 20,87 ^d	84,48 \pm 3,07 ^a	6309,12 \pm 126,09 ^c	2158,69 \pm 198,98 ^a	2317,63 \pm 138,97 ^a
Média N	35,95 \pm 46,55	1840,20 \pm 1112,37	6014,3 \pm 538,38*	1563,18 \pm 356,89	2538,96 \pm 211,92*
MG1	9,87 \pm 0,65 ^a	293,23 \pm 9,77 ^b	9014,56 \pm 104,69 ^e	1918,28 \pm 50,75 ^a	3049,69 \pm 77,91 ^d
MG2	5,92 \pm 0,42 ^a	275,3 \pm 11,24 ^b	8904,64 \pm 286,60 ^e	1828,0 \pm 25,59 ^a	3315,16 \pm 44,42 ^e
Média MG	7,89 \pm 2,79	284,27 \pm 12,68	8959,60 \pm 77,73*	1873,14 \pm 63,84	3182,43 \pm 187,72*

Legenda: Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de significância. Médias seguidas de *diferenciam-se entre si pelo Teste t de Student a 5% de significância.

A castanha-do-Brasil é considerada o alimento que possui o maior teor de selênio natural, amplamente associado a um possível fator de proteção (Rayman, 2012). De acordo com os dados da Tabela 8, as castanhas de Minas Gerais apresentaram concentração de selênio estatisticamente semelhante às amostras de referência (7,89 mg/Kg e 35,95 mg/Kg respectivamente). Isso se deve ao fato da grande variação encontrada para o teor desse mineral nas castanhas da região Norte. Um estudo recente mostrou que as concentrações deste mineral nas amêndoas de castanha-do-Brasil sofrem grande variação em função da região produtora, e sugeriu que não só a concentração de selênio no solo influencia na quantidade presente nas castanhas, mas também a capacidade da planta em absorver este mineral (Junior et al., 2017).

De acordo com os dados da Tabela 8, as castanhas-do-Brasil apresentam uma composição rica em minerais, sobretudo potássio, magnésio, bário e cálcio, sendo o potássio o mais abundante. Dentre esses componentes, as castanhas de referência e as cultivadas em Minas Gerais apresentaram semelhanças nas médias das concentrações de bário (1840,20 mg/Kg e 284,27 mg/kg) e cálcio (1563,18 mg/kg e 1873,14 mg/kg) e se diferiram nas concentrações médias de potássio (6014,3 mg/kg e 8959,60 mg/kg) e magnésio (2538,96 mg/kg e 3182,43 mg/kg).

A castanheira-do-Brasil é conhecida por acumular elevadas quantidades de bário (Pena-Franca et al., 1968). Embora estatisticamente semelhantes às demais castanhas analisadas, devido ao elevado desvio padrão da média N, é notável a maior concentração de bário nas castanhas cultivadas na região amazônica (Tabela 8). Essa concentração elevada pode estar associada à presença de hollandita nos solos da região amazônica brasileira, um mineral rico em bário (Chang et al., 1995).

As castanhas cultivadas em Minas Gerais são mais ricas em potássio e magnésio, comparadas às demais amostras analisadas. Colic e colaboradores (2022) relacionaram menores concentrações de potássio e magnésio em amêndoas à elevadas temperaturas e estresse hídrico (Colic et al., 2022), condições predominantes do clima equatorial que caracteriza a região Amazônica e que contrasta com o clima mais seco e ameno do cerrado mineiro. Isso pode justificar as diferenças encontradas nos teores desses minerais.

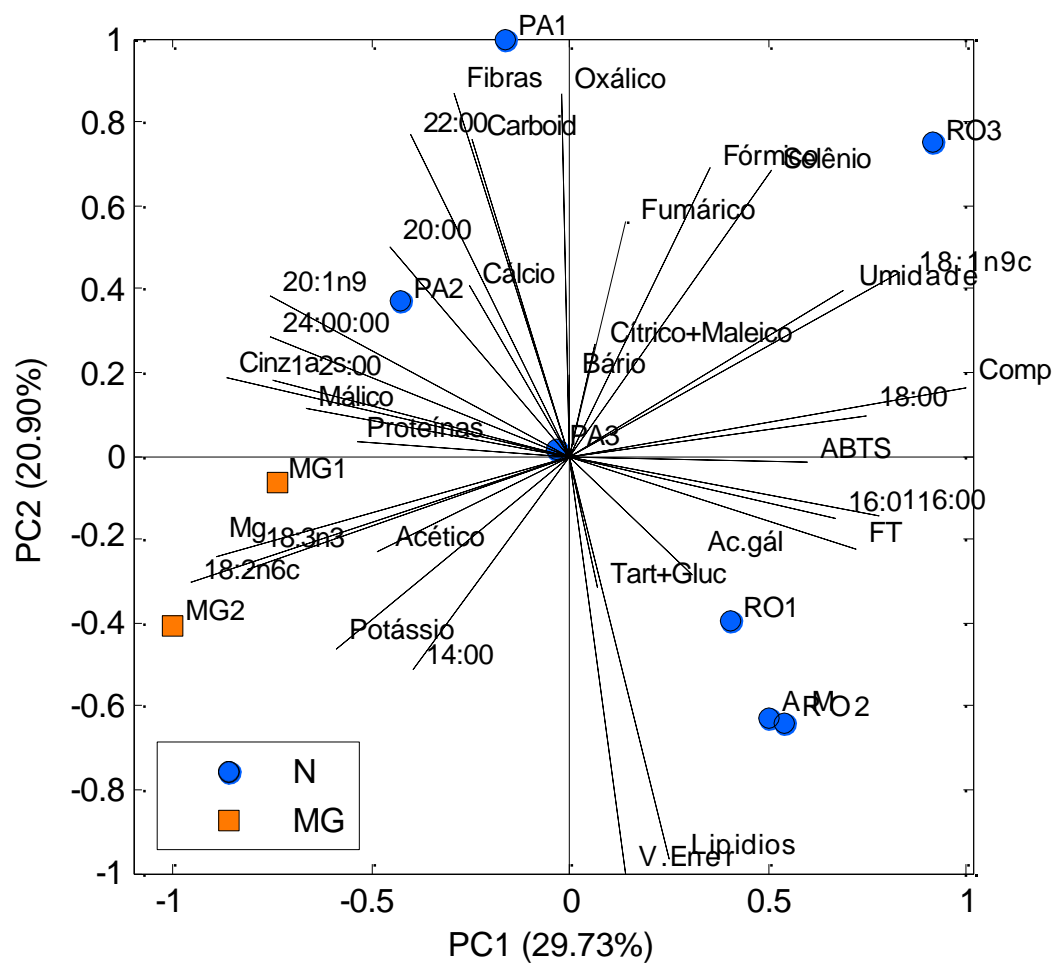
Os valores determinados neste estudo foram comparados ao padrão de referência NIST SRM1547, calculando a porcentagem de recuperação. Essa métrica é fundamental para verificar

a precisão e confiabilidade do método. A recuperação foi de 132,5% para o selênio, 91,1% para o bário, 109,3% para o potássio, 90% para o cálcio e 87,9% para o magnésio. Embora algumas flutuações tenham sido observadas, os resultados indicaram que o método apresentou boa exatidão global, com recuperações próximas de 100% para a maioria dos elementos, confirmando a confiabilidade das análises das amostras de castanha-do-Brasil.

4.6 Análise de Componentes Principais (PCA)

A fim de avaliar de forma global a composição das castanhas das diferentes origens, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA). Na Figura 6 é apresentado o gráfico Biplot (scores e loadings) obtido para a PCA.

Figura 6 - Análise de Componentes Principais (PCA)



Fonte: Da autora (2025)

Os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) explicaram 50,63% da variância total dos dados, com 29,73% atribuídos ao PC1 e 20,90% ao PC2. O primeiro componente explica a variação máxima no conjunto de dados e o segundo uma segunda maior variação.

As castanhas-do-Brasil provenientes das regiões de ocorrência natural (PA1, PA2, PA3, RO1, AM, RO2 e RO3) exibiram maior dispersão no gráfico, sugerindo uma ampla diversidade em sua composição química e nutricional. Essa variabilidade pode ser atribuída a diferenças significativas em alguns parâmetros avaliados. Por exemplo, as amostras de RO3 destacaram-se pelos maiores teores de umidade (Tabela 3) e selênio (Tabela 8), enquanto as amostras de RO2 e AM apresentaram elevados teores de lipídios e valor energético (Tabela 3). Além disso, PA1 foi a amostra que apresentou o maior teor de ácido oxálico, conforme destacado na Tabela 7, o que também contribui para a diferenciação dessa região em relação às demais.

Por outro lado, observou-se uma maior proximidade entre as amostras de castanhas produzidas em Minas Gerais (MG1 e MG2) e aquelas provenientes do estado do Pará (PA1, PA2 e PA3). Essa semelhança pode ser explicada pelos valores similares encontrados para fenólicos totais e antioxidantes apresentados na Tabela 4, bem como pelo perfil de ácidos graxos, em especial o ácido linoleico (18:2n6c), conforme mostrado na Tabela 6.

Além disso, as variáveis relacionadas aos minerais, potássio e magnésio, foram determinantes para a formação do grupo representando as castanhas de Minas Gerais. Isso pode ser justificado pelos resultados apresentados na Tabela 8, que evidenciam concentrações mais altas desses minerais nas castanhas de Minas Gerais em comparação às das regiões do Norte. Por outro lado, as castanhas de Minas Gerais se posicionaram no gráfico opostas às variáveis selênio e bário, o que também é justificado com os menores teores desses elementos registrados na Tabela 8.

Os resultados mostram que, mesmo entre as castanhas provenientes das regiões de ocorrência natural, há diferenças significativas nos parâmetros químicos e nutricionais. Essa variabilidade está diretamente relacionada a fatores edafoclimáticos, que influenciam de maneira expressiva os resultados obtidos. As castanhas cultivadas em Minas Gerais, por sua vez, integram essa ampla diversidade, pois apresentam semelhanças com diferentes origens naturais em vários aspectos. Dessa forma, a análise não permite distinguir dois grupos claramente separados (Norte e Minas Gerais), indicando que as castanhas produzidas em Minas Gerais não diferem de forma significativa das provenientes das regiões naturais do Norte.

5 CONCLUSÃO

A partir deste estudo, conclui-se que as castanhas-do-Brasil provenientes das regiões de ocorrência natural apresentam variabilidade nos parâmetros químicos analisados. Essas diferenças são atribuídas a fatores como variações no solo, clima, temperatura e vegetação, característicos de cada localidade. Os resultados obtidos para as castanhas cultivadas em Minas Gerais indicam que elas estão inseridas nessa variabilidade natural da espécie, apresentando semelhanças com as castanhas oriundas das diferentes regiões de ocorrência natural. Em relação aos parâmetros químicos analisados, as castanhas de Minas Gerais situaram-se dentro do intervalo de variação observado para as características das castanhas provenientes dessas regiões.

Os resultados da análise química confirmam que as amêndoas produzidas em Minas Gerais possuem qualidade química e nutricional adequadas para exploração comercial. Esse conhecimento destaca o potencial de ampliar o cultivo da espécie para outras regiões do Brasil, promovendo uma exploração sustentável e contribuindo para a diversificação da produção agrícola nacional.

REFERÊNCIAS

- AHANGER, MA; MORAD-TALAB, N.; ABD-ALLAH, EF.; AHMAD, P.; HAJIBOLAND, R. Plant Growth under Drought Stress: Significance of Mineral Nutrients. *Water Stress Crop Plants A Sustain. Approach*. v. 2, p. 649–668, 2016.
- ALASALVAR, C., & BOLLING, B. W Review of nut phytochemicals, fat-soluble bioactives, antioxidant components and health effects. *The British Journal of Nutrition*, p. 68–78, 2015.
- ANDRADE, V. L.; FLORES, B. M.; LEVIS, C.; CLEMENT, C. R.; ROBERTS, P.; SCHONGART, J. Growth rings of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) as a living record of historical human disturbance in Central Amazonia. *Plos One*, v. 14, 2019.
- AOCS, Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society. Champaign. 1993.
- ASSOCIAÇÃO DO POVO INDÍGENA ZORÓ - APIZ. **Boas práticas de coleta, armazenamento e comercialização da castanha-do-Brasil: Capacitação e intercâmbio de experiências entre os povos da Amazônia mato-grossense com manejo de produtos florestais não-madeireiros**. Defantil Editora, 2009. 2 ed. Cuiabá/MT. Disponível em: <http://www.observatoriodoagronegocio.com.br/page41/files/cartilha_castanha.pdf > Acesso em 14 de jan. 2024.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis**. 21. ed. Gaithersburg: AOAC, 2019.
- AUZANNEAU, N.; WEBER, P.; KOSIŃSKA-CAGNAZZO, A.; ANDLAUER, W. Bioactive compounds and antioxidant capacity of Lonicera caerulea berries: Comparison of seven cultivars over three harvesting years. *Journal of Food Composition and Analysis*. v. 66, p. 81-89, 2018
- BALDONI, A. B.; TEODORO, L. P. R.; TEODORO, P. E.; TONINI, H.; TARDIN, F. D.; BOTIN, A. A.; HOOGERHEIDE, E. S. S.; BOTELHO, S. DE C. C.; LULU, J.; FARIAS, A. L. N. & AZEVEDO, V. C. R. Genetic diversity of Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in southern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, v. 458 (5), p. 1-7, 2020.
- BARROS, L., PEREIRA, C., FERREIRA, I.C.F.R. Optimized analysis of organic acids in edible mushrooms from Portugal by ultrafast liquid chromatography and photodiode array detection. *Food Anal. Method*. v. 6, p. 309–316, 2013.
- BENEDITO, SHAYANI KIMBERLY et al. Zinc determination in common beans by pXRF: An easy and versatile calibration strategy applied to biofortification studies. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 137, p. 106851, 2025.
- 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. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1960-1969/decreto-51209-18-agosto-1961-390794-retificacao-46247-pe.html>. Acesso em: 12 nov. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Decreto nº 5.975 de 30 de novembro de 2006**. Estabelece as diretrizes e procedimentos necessários para a utilização sustentável dos recursos florestais, visando proteger o meio ambiente e promover a sustentabilidade. Diário Oficial da União. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5975.htm#art32. Acesso em: 02 nov. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Portaria MMA nº 148, de 7 de junho de 2022**. Altera os Anexos da Portaria nº 443, de 17 de dezembro de 2014, da Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014, e da Portaria nº 445, de 17 de dezembro de 2014, referentes à atualização da Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 jun. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mma-n-148-de-7-de-junho-de-2022-368387145>. Acesso em: 02 jan. 2025.

BRASIL. **Resolução RDC nº 360 de 23 de dezembro de 2003b** - Aprova o Regulamento Técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/rdc0360_23_12_2003.html. Acesso em: 18 de nov. 2024.

BURTIN, P.; JAY-ALLEMAND, C.; CHARPENTIER, J. P.; JANIN, G. Natural wood colouring process in *Juglans* sp. (*J. nigra*, *J. regia* and hybrid *J. nigra* 23 x *J. regia*) depends on native phenolic compounds accumulated in the transition zone between sapwood and heartwood. **Trees**, v. 12, n. 5, p. 258-264, 1998.

CAETANO, A. **Introdução e crescimento da castanheira-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em consórcio agroflorestal com clones de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) em Lavras-MG**. 2012. Tese. (Doutorado em Engenharia Florestal). - Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2012.

CALDERARI, T, O. **Biodiversidade de fungos aflatoxigênicos e aflatoxinas em castanha do Brasil**. 2011. Tese de Doutorado. [sn], 2011.

CAMARGO, F. F.; COSTA, R. B.; RESENDE, M. D. V.; ROA, R. A. R.; RODRIGUES, N. B.; SANTOS, L. V.; FREITAS, A. C. A. Genetic variability for morphometric characteristics in brazilian nut parent trees from northern Mato Grosso, Amazon rain forest. **Acta Amazonica**, v.40, p. 705-710, 2010.

CARDOSO, B, R. et al. Brazil nuts: Nutritional composition, health benefits and safety aspects. **Food Research International**, v. 100, p. 9-18, 2017.

CARVALHO, A, L, S. et al. Óleo de Castanha-do-Brasil: métodos de extração e aplicações na indústria. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, 2022.

CHANG, J.C.; GUTENMANN, W.H.; REID, C.M.; LISK, D.J. Selenium content of Brazil nuts from two geographic locations in Brazil. **Chemosphere**, v. 30, p. 801–802, 1995.

CHEZEM WR & CLAY NK. Regulation of plant secondary metabolism and associated specialized cell development by MYBs and bHLHs. **Phytochemistry**, 131:26-43, 2016.

ČOLIĆ S.; BASIĆ Z.; ZEC G.; BAKIĆ I.; RAHOVIĆ D.; AKŠIĆ MF.; MICKOVSKI STEFANOVIĆ V. The Effect of Changing Climatic Conditions on the Morphological Traits and Chemical Composition of Almond Kernels. **Horticulturae**, 8(6):487, 2022.

COSTA, T; VERONEZI, C, M; JORGE, N. Chemical and bioactive properties of the oils from Brazilian nuts. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 180-186, 2020.

DANTAS, Antonio Augusto Aguilar; CARVALHO, Luiz Gonsaga de; FERREIRA, Elizabeth. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1862-1866, 2007.

DE LIMA, R. M. B., & DE SOUZA, C. R. In E. A. Ocidental (Ed.), **Recomendação de espaçamento para produção de madeira de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. et Bonpl.) para plantios em áreas alteradas no Amazonas**. Manaus, Brazil: Embrapa Amazônia Ocidental: Embrapa Amazônia Ocidental Library, 2014.

DE QUEIROZ, J et al. Produção e mercado dos produtos florestais não-madeireiros: o caso da castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa* HBK). **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, 2022.

DE SOUZA, J, H, G. et al. *Bertholletia excelsa* seeds in the Cerrado-Amazon transition region: morphometry, colorimetry, viability and germination. **Nativa**, v. 11, n. 2, 2023.

Dibner, J. J. e Buttin, P. Use of organic acids as a model to study the impact of gut microflora on nutrition and metabolism. **Journal of Applied Poultry Research**, 11(4), pp. 453–463, 2002.

DINIZ, T.D. de A.S.; BASTOS, T.X. Contribuição ao clima típico da castanha-do-brasil. **Boletim Técnico do IPEAN**, Belém, n.64, p-59-71, 1974.

ENRÍQUEZ, G.; SILVA, M.A.; CABRAL, E. **Biodiversidade da Amazônia: usos e potencialidades dos mais importantes produtos naturais do Pará**. Belém: NUMA; UFPA, 2003.

FERREIRA, E. S.; SILVEIRA C. S.; LUCIEN VITÓRIA G.; AMARAL, A. S. Caracterização físico-química da amêndoa, torta e composição dos ácidos graxos majoritários do óleo bruto da castanha-do-brasil (*bertholletia excelsa* h.b.k). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.17, n.2, p.203-208, abr./jun. 2006.

FREITAS, C. E. P. DE, AMORIM, A. F. V. DE, SIQUEIRA, S. M. C., RIBEIRO, S. G. DE O., ALVES, A. Y. S., JUNIOR, A. M., LIMA, Y. V., & SILVA, D. C. (2021). Extração do óleo de castanha-do-Pará via Soxhlet utilizando solvente alternativo / Extraction of Brazil nut oil via Soxhlet using alternative solvent. **Brazilian Journal of Development**, 7(5), 52474–52482.

FREITAS, J. B & NAVES, M. V. Chemical composition of nuts and edible seeds and their relation to nutrition and health. **Revista de Nutrição**, v. 23, n. 2, p. 269-279, 2010.

GOBBO-NETO, L., & LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química nova**, 30, 374-381, 2007.

HART, F. L.; FISHER, H. L. **Modern food analysis**. New York: Springer Verlag, 1971.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Castanha-do-Pará**. (2021). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/castanha-do-para/br>. Acesso em: 02 jan. 2025.

IUCN - União Internacional para a Conservação da Natureza. A IUCN (União Internacional para a Conservação da Natureza) convoca o governo brasileiro e outros governos e cidadãos a se unirem para acabar com os incêndios na Amazônia. 2019. Disponível em: <https://iucn.org/pt/news/secretariat/201908/a-uicn-uniao-internacional-para-a-conservacao-da-natureza-convoca-o-governo-brasileiro-e-outros-governos-e-cidadaos-a-se-unirem-para-acabar-com-os-incendios-na-amazonia>. Acesso em: 02 jan. 2025.

JOHN, Jenny A.; SHAHIDI, Fereidoon. Phenolic compounds and antioxidant activity of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*). **Journal of functional foods**, v. 2, n. 3, p. 196-209, 2010.

JUNIOR, S. E.C.; WADT, L.H.O.; SILVA, K.E.; LIMA, R.M.B.; BATISTA, K.D.; GUEDES, M.C.; CARVALHO, G.S.; CARVALHO, T.S.; REIS, A.R.; LOPES, G.; GUILHERME, L.R.G. Natural variation of selenium in Brazil nuts and soils from the Amazon region, **Chemosphere**, v.188, p. 650-658, 2017.

KLUCZKOVSKI, A. M., OLIVEIRA, L. B., MACIEL, B. J. & KLUCZKOVSKI-JUNIOR, A. Caracterização e extração do óleo de castanha-do-Brasil: revisão. **Avanços em ciência e tecnologia de alimentos**, v. 3, p. 392-402, 2021.

LEMIRE, M., FILLION, M., BARBOSA, F., JR., GUIMARÃES, J. R., & MERGLER, D. Elevated levels of selenium in the typical diet of Amazonian riverside populations. **Science of the Total Environment**, v. 408(19), p. 4076–4084, 2010.

MAESTRI, D., CITTADINI, M. C., BODOIRA, R., & MARTÍNEZ, M. Tree Nut Oils: Chemical Profiles, Extraction, Stability and Quality Concerns. **European Journal of Lipid Science and Technology**, 122, 2020.

MACEDO, Renato Luiz Grisi et al. Estabelecimento de *Tectona grandis* Lf (Teca) em sistemas agroflorestais com *Coffea arabica* L. em Lavras-MG. 2004. **Agrossilvicultura**, Lavras, v.1, p. 71-80, 2004.

MELLO, N. G. R., GULINCK, H., BROECK, P. V. DEN & PARRA, C. Social ecological sustainability of non-timber forest products: A review and theoretical considerations for future research. **Forest Policy and Economics**. v. 112 (21), p. 1-11, 2020.

METLEN, K.L.; ASCHEHOUG, E.T.; CALLAWAY, R.M. Plant behavioural ecology: dynamic plasticity in secondary metabolites. **Plant, Cell & Environment**, v.32, n.6, p.641-653, 2008.

MULLER, C. H., FIGUEIREDO, F. J. C., KATO, A. K., CARVALHO, J. E. U., STEIN, R. L. B., & SILVA, A. DE B. A cultura da castanha-do-brasil. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa agroflorestal**. Brasília: Embrapa, 1995.

MÜLLER, C. H.; RODRIGUES, I. A.; MÜLLER, A. A.; MÜLLER, N. R. M. **Castanha-do-Brasil: resultados de pesquisa**. Belém: EMBRAPA – CPATU, 25p, 1980.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. VIII – Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 472-537, 2007.

PAIVA, P. M.; GUEDES, M. C.; FUNI, C. Brazil nut conservation through shifting cultivation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, p. 508 - 514, 2011.

PENNA-FRANCA, E.; FISZMAN, M.; LOBOA, N.; COSTA-RIBEIRO, C.; TRINDADE, H.; DOS SANTOS, P.L.; BATISTA, D. Radioactivity of Brazil nuts. **Health Physics** 14, 95–99, 1968.

PRIETO P, PINEDA M, AGUILAR M. Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum. complex: specific application to the determination of vitamin E. **Anal Biochem**, v. 269, p. 337-341, 1999.

RAYMAN, MARGARET P. Selenium and human health. **The lancet**, v. 379, p. 1256 – 1268, 2012

RYAN, E., GALVIN, K., O’CONNOR, T. P., MAGUIRE, A. R., & O’BRIEN, N. M. (2006). Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of brazil, pecan, pine, pistachio and cashew nuts. **International journal of food sciences and nutrition**, v. 57, p. 219–228, 2006.

ROCHA, A. V., CARDOSO, B. R., COMINETTI, C., BUENO, R. B., DE BORTOLI, M. C., FARIAS, L. A., ...COZZOLINO, S. M. Selenium status and hair mercury levels in riverine children from Rondonia, Amazonia. **Nutrition**, 30(11–12), p. 1318–1323, 2014.

ROCKWELL, C. A., GUARIGUATA, M. R., MENTON, M., QUISPE, E. A., QUAEDVLIEG, J., WARREN-THOMAS, W., ... SALAS, J. J. Y. Nut production in *Bertholletia excelsa* across a logged forest mosaic: Implications for multiple forest use. **PloS One**, 10(8), 2015.

ROS, E., & MATAIX, J. Fatty acid composition of nuts — Implications for cardiovascular health. **The British Journal of Nutrition**, 96(Suppl. 2), p. 29–35, 2006.

SALOMÃO, R. P. A castanheira: história natural e importância socioeconômica. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, v.9, n. 2, p. 259-266, 29 ago. 2014.

SANTANA, A. C. DE; SANTANA, Á. L.; SANTANA, Á. L.; MARTINS, C. M. Valoração e sustentabilidade da castanha-do-brasil na Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 60, p. 77-89, 2017.

SANTOS, F. P., SOUZA, M. P., SIENA, O., & FILHO, T. A. S. Os stakeholders da cadeia produtiva da Castanha-da-Amazônia no estado do Pará / The stakeholders of productive chain of castanha-da-Amazônia in the state of Pará. **Brazilian Journal of Development**, v. 8(7), p. 50495–50515, 2022.

SANTOS, J. U. M.; BASTOS, M. N. C.; GURGEL, E. S. C.; CARVALHO, A. N. M. *Bertholletia excelsa* Humboldt & Bonpland (Lecythidaceae): morphological aspects of fruit,

seed and seedling. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 1, p. 103-112, 2006.

SANTOS, R. H. S., LIMA, J. R. S., OLIVEIRA, C. L., SOUZA, R. M. S., ANTONINO, A. C. D., SOUZA, E. S. Variação Sazonal e Interanual da Umidade do Solo e da Evapotranspiração em Caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n.5, 2023.

SANTOS, R. O.; FUNASAKI, M.; BARROSO, S. H. Perfil de ácidos graxos do óleo de castanha-do-brasil de diferentes localidades da região amazônica. **I Congresso de Iniciação Científica PIBIC/CNPq - PAIC/FAPEAM** Manaus – 2012.
https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/4191/1/pibic_inpa.pdf

SAMPAIO, B. L. **Estudo da influência dos fatores ambientais e da variação sazonal dos metabólitos de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray e avaliação da atividade antioxidante, fotoprotetora e fotoquimiopreventiva dos extratos in vitro**. 2015. Tese (Doutorado em Produtos Naturais e Sintéticos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2015.

SILVA, B. P. P. C.; PINHEIRO, V. J. F.; COSTA BARBOSA, I. C.; CARDOSO, D. F. S. R.; SANTOS, L. P. SANTA ROSA, R. M. S. Avaliação das características físico-químicas da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*) e da castanha portuguesa (*Castanea sativa* mill.). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 15, n. 2, 2021.

SILVA, E. P. da; HERMINIO, V. L. de Q.; MOTTA, D. N.; SOARES, M. B. P.; RODRIGUES, L. de A. P.; VIANA, J. D.; FREITAS, F. A. de.; SILVA, A. P. G. da.; SOUZA, F. das C. do A.; VILAS BOAS, E. V. de B. The role of phenolic compounds in metabolism and their antioxidant potential. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, 2022.

SILVA JUNIOR, E. C., WADT, L. H. O., SILVA, K. E., LIMA, R. M. B., BATISTA, K. D., GUEDES, M. C., CARVALHO, G. S., DE CARVALHO, T. S., DOS REIS, A. R., LOPES, G.; GUILHERME, L. R. G. Natural variation of selenium in Brazil nuts and soils from the Amazon region. *Chemosphere*, v. 188, p 650–658, 2017.

SILVA, L. DE J. DE S. et al. **Castanha-do-Brasil: Aspectos Socioeconômicos nas Comunidades da RDS Piagaçu- -Purus, Município de Anori, AM**. 1. ed. Manaus: [s.n.], 2017.

SILVA, R. F., ASCHERI, J. L. R., & SOUZA, J. M. L. Influência do processo de beneficiamento na qualidade de amêndoas de castanha-do-brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 445–450, 2010.

SOARES et al. Papel do Ômega-3 e do Ômega-6 sobre Fatores de Risco Cardiovasculares: Importância da Fonte da Dieta e da Estrutura do Lipídio. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 120, p. e20230753, 2023.

SONEGO, M.; MADIA, M.; EDER, M.; FLECK, C.; PESSAN, L. A. Microstructural features influencing the mechanical performance of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) mesocarp. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 116, 2021.

SOUZA, C. D. R.; SILVA, K. C. Energy potential of waste from Brazil nut (*Bertholletia*

excelsa H.B.K.) for production of activated carbon. **Research, Society and Development**, v. 10, e53310212698, 2021.

TONINI, H. Fenologia da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl., Lecythidaceae) no sul do estado de Roraima. **Cerne**, v. 17, p. 123-131, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5.ed. Porto Alegre: artmed, 2013.

VIEIRA, Douglas Oliveira et al. A contaminação da castanha do Brasil por aflatoxinas e seu efeito carcinogênico: uma revisão narrativa. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, 2022.

Wadt, L. D. O., Marocco, J., Guedes, M., & Silva, K. E. **Castanha-da-Amazônia: estudos sobre a espécie e sua cadeia de valor**. Brasília: Embrapa. 2023.

WHATERHOUSE, A. L. Polyphenolics: Determination of Total phenolic. In: Wrolstad, r, e. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. New York: John Wiley & Sons, Cap.1.1, p.1.1.1-1.1.8, 2002.

YANG, J. Brazil nuts and associated health benefits: A review. **LWT - Food Science and Technology**, 42(10), p. 1573–1580, 2009.

YU, W., SUN, K., ZHANG, L., WAN X., CHEN, C., SU, R., LIU, Y., WANG, C. H.; YANG, H. Investigation of the effects of squalene and squalene epoxides on the homeostasis of coenzyme Q10 in rats by UPLC-Orbitrap MS. **Chemistry & Biodiversity**, 2020.

ANEXO A - Valores certificados de fração de massa para elementos em NIST SRM1547

Elemento	Valores em fração de massa (mg kg⁻¹)		% recuperação
	Referência	Identificado	
Selênio	0,120 ± 0,017	0,159 ± 0,01	132,5
Bário	123,7 ± 5,5	112,77 ± 1,28	91,1
Potássio	24330 ± 380	26603,26 ± 256,19	109,3
Cálcio	15590 ± 160	14043,58 ± 795,05	90,0
Magnésio	4320 ± 150	3797,27 ± 230,41	87,9

Fonte: Da Autora (2025)