

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA PROTEÍNA CONCENTRADA DE
CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa*, H.B.K)**

Jéssica da Silva Matos
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

JÉSSICA DA SILVA MATOS

**PROPRIEDADES TECNOFUNCIONAIS DA PROTEÍNA CONCENTRADA DE
CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa*, H.B.K)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Pedro H. Campelo Felix

Coorientadores: Marcia C. T. R. Vidigal
Evandro Martins
Paulo Cesar Stringheta

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

M433p
2024

Matos, Jéssica da Silva, 1997-

Propriedades tecnofuncionais da proteína concentrada da castanha-do-brasil (*Bertholletia Excelsa*, H.B.K) / Jéssica da Silva Matos. – Viçosa, MG, 2024.

1 dissertação eletrônica (98 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Pedro Henrique Campelo Félix.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2024.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.822>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Castanha-do-brasil - Teor proteico. 2. Proteínas de plantas. I. Félix, Pedro Henrique Campelo, 1986-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

CDD 22. ed. 634.575

JÉSSICA DA SILVA MATOS

**PROPRIEDADES TECNOFUNCIONAIS DA PROTEÍNA CONCENTRADA DE
CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa*, H.B.K)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 4 de outubro de 2024.

Assentimento:

Jéssica da Silva Matos
Autora

Pedro Henrique Campelo Felix
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 20/12/2024 às 17:07:08 e pelo orientador em 20/12/2024 às 17:14:14. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **9WYX.MIRZ.IGO9** e clique no botão 'Validar documento'.

Aos meus pais, irmãos e Lunna Maria.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradeço a Deus pela força e sabedoria concedidas ao longo desta jornada. Sua presença constante foi meu sustento nas adversidades. Que Sua luz continue a iluminar meu caminho.

Agradeço imensamente à minha família, meus pais Carmem e Feliciano e irmãos Luciana e Marcos, por todo amor, apoio e incentivo. Vocês foram meu alicerce em todos os momentos. Nada disso seria possível sem o carinho e compreensão de vocês.

Aos meus amigos que compartilharam risos, desafios e vitórias ao longo dos anos, minha eterna gratidão. Cada conversa, cada ombro amigo foi essencial. Vocês tornaram essa caminhada mais leve e significativa.

Agradeço à Universidade Federal de Viçosa, não só pelo ambiente acadêmico de excelência, mas por todo o suporte durante essa trajetória. Este espaço foi fundamental para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Expresso minha gratidão ao CNPq pelo suporte financeiro ao longo dessa jornada acadêmica. Sem essa ajuda, muitos dos meus avanços não seriam possíveis. Agradeço pela confiança.

Aos laboratórios parceiros, minha sincera gratidão por contribuírem com equipamentos, tempo e conhecimento para a realização deste trabalho. A colaboração de vocês foi fundamental para o sucesso desta pesquisa.

Sou profundamente grata ao meu orientador Pedro Campelo e coorientadores Evandro Martins, pela paciência, sabedoria e incentivo. Seu compromisso em guiá-me nesta jornada fez toda a diferença. Obrigada por acreditarem no meu trabalho.

Minha gratidão eterna à família LACBio, a qual fiz parte. Em nome do professor Paulo Stringheta pelo singelo acolhimento. Obrigada pelo apoio e pelos momentos de aprendizado compartilhado. O laboratório foi meu segundo lar e cada um de vocês contribuiu para o meu crescimento.

Juliana Granato e Paula Zambe, não há palavras suficientes para expressar o quanto sou grata por ter vocês ao meu lado durante essa jornada. Vocês foram mais que amigas, foram irmãs, com quem compartilhei cada momento, seja nas dificuldades ou nas conquistas. Obrigada por acreditarem em mim, por ouvirem meus desabafos e por celebrarem comigo cada pequeno passo. Eu levo vocês no coração para sempre.

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta às mudanças.”
(Charles Darwin)

RESUMO

MATOS, Jéssica da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2024. **PROPRIEDADES TECNOFUNCIONAIS DA PROTEÍNA CONCENTRADA DE CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa*, H.B.K).** Orientador: Pedro Henrique Campelo Felix. Coorientadores: Marcia Cristina Teixeira Ribeiro Vidigal, Evandro Martins e Paulo Cesar Stringheta.

Nos últimos anos, as proteínas vegetais têm ganhado destaque na indústria alimentícia como uma alternativa promissora às proteínas animais. Esse crescimento é impulsionado pela demanda crescente por opções sustentáveis e saudáveis, que estimulam a inovação e o desenvolvimento de novas fontes proteicas. Nesse contexto, a castanha-do-Brasil se destaca devido ao seu significativo potencial proteico. A análise da composição da castanha-do-Brasil revela um alto teor de proteínas: enquanto a matéria-prima contém 20,74 g.100⁻¹ de proteínas, o concentrado proteico da castanha-do-Brasil (PCCB) alcança 85,42 g.100⁻¹. Comparado a outras fontes vegetais, o PCCB possui um teor proteico inferior ao da soja (90%), mas superior ao da ervilha (76%). A estrutura secundária das proteínas da castanha-do-Brasil é predominantemente β -folha, e o PCCB mostra uma organização estrutural alinhada com as oleaginosas, em contraste com a flexibilidade das proteínas de soja. A eletroforese revela várias frações proteicas na castanha-do-Brasil, com pesos moleculares entre 14,0 e 66,2 kDa, incluindo possivelmente, globulinas e albuminas. O PCCB tem solubilidade variável com o pH, máxima em pH 9 e mínima em pH 4,5. Sua capacidade de retenção de água é menor que a da soja e da ervilha, mas sua retenção de óleo é superior, tornando-o adequado para emulsões e produtos gordurosos. Embora a formação de espuma e a estabilidade na emulsão sejam menores que nas proteínas de soja e ervilha, o PCCB apresenta boa estabilidade em pH ácido. Esses resultados destacam a castanha-do-Brasil como uma opção valiosa no mercado de proteínas vegetais.

Palavras-chave: concentrado proteico; propriedades tecnofuncionais; castanha-do-brasil; proteínas vegetais.

ABSTRACT

MATOS, Jéssica da Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2024.
TECHNOFUNCTIONAL PROPERTIES OF BRAZIL NUT PROTEIN CONCENTRATE (*Bertholletia excelsa*, H.B.K). Adviser: Pedro Henrique Campelo Felix. Co-advisers: Marcia Cristina Teixeira Ribeiro Vidigal, Evandro Martins and Paulo Cesar Stringheta.

In recent years, plant-based proteins have gained prominence in the food industry as a promising alternative to animal proteins. This growth is driven by the growing demand for sustainable and healthy options, which stimulate innovation and the development of new protein sources. In this context, Brazil nuts stand out due to their significant protein potential. Analysis of the composition of Brazil nuts reveals a high protein content: while the raw material contains 20.74 g.100⁻¹ of proteins, Brazil nut protein concentrate (BPC) reaches 85.42 g.100⁻¹. Compared to other plant-based sources, BPC has a lower protein content than soybeans (90%), but higher than peas (76%). The secondary structure of Brazil nut proteins is predominantly β -leaf, and PCCB shows a structural organization aligned with oilseeds, in contrast to the flexibility of soybean proteins. Electrophoresis reveals several protein fractions in Brazil nuts, with molecular weights between 14.0 and 66.2 kDa, possibly including globulins and albumins. PCCB has a variable solubility with pH, ??maximum at pH 9 and minimum at pH 4.5. Its water-binding capacity is lower than that of soybean and pea, but its oil retention is higher, making it suitable for emulsions and fat products. Although foaming and emulsion stability are lower than those of soybean and pea proteins, PCCB shows good stability at acidic pH. These results highlight Brazil nuts as a valuable option in the vegetable protein market.

Keywords: protein concentrate; technofunctional properties; brazil nuts; vegetable proteins.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	9
CAPÍTULO 1: Artigo de revisão	10
1. Introdução	12
2. Composição proteica das nozes	13
3. Propriedades tecnológicas das proteínas de nozes	16
4. Solubilidade e capacidade de absorção de água	16
5. Capacidade de emulsificação e absorção de óleo	19
6. Estabilizador	21
7. Viscosidade	26
8. Formação de gel	28
9. Textura	30
10. Alergenicidade	31
11. Toxicidade	33
12. Aplicação de proteínas de nozes em alimentos	33
13. Extrudado	34
14. Bebidas vegetais	34
15. Emulsões de íons	36
16. Outras aplicações	37
17. Digestibilidade de proteínas	37
18. Conclusões	40
CAPITULO 2: Experimental	52
1. INTRODUÇÃO	54
2. OBJETIVO GERAL	55
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	55
3. MATERIAIS E MÉTODOS	56
4. MATERIAIS	56
5. MÉTODOS	56
6. Composição centesimal	56
7. Determinação de proteína (método de kjedahl modificado)	56
8. Determinação de lipídios	57
9. Umidade (perda por dessecação) – secagem direta em estufa a 105° C	57
10. RMF (Resíduo Mineral Fixo)	58
11. Carboidratos	58

12. Extração da proteína concentrada de castanha-do-Brasil	58
13. Eletroforese SDS-PAGE.....	59
14. FTIR (Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier)	59
15. Solubilidade	60
16. Hidrofobicidade superficial (H^0).....	61
17. Capacidade de retenção de água e óleo.....	62
18. Capacidade de formação de espuma (FC) e estabilidade de espuma (FS).....	62
19. Estabilidade de Emulsão	63
20. Menor concentração de gelificação.....	64
21. Potencial zeta	64
22. Análise estatística.....	64
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
6.1. Caracterização da matéria prima da castanha-do-Brasil	65
6.2. Extração da proteína concentrada da castanha-do-Brasil	66
6.2. Eletroforese-SDS PAGE.....	67
6.3. FTIR - Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier.....	68
6.7. Solubilidade	70
6.7.1. Solubilidade em função do pH.....	70
6.7.2. Solubilidade em função da glicose	71
6.7.3. Solubilidade em função do NaCl.....	72
6.4. Hidrofobicidade superficial (H^0).....	73
6.8. Capacidade de retenção de água e óleo.....	75
6.8.1 Capacidade de retenção de água	75
6.8.2. Capacidade de retenção de óleo	76
6.5. Potencial zeta	77
6.9. Capacidade de formação de espuma e estabilidade de espuma	79
6.10 Estabilidade de emulsão.....	82
6.11. Menor concentração de gelificação.....	86
7. CONCLUSÃO	88
REFERÊNCIAS.....	89
Conclusão Geral.....	97

INTRODUÇÃO GERAL

As proteínas têm um papel central na alimentação humana, desempenhando funções fundamentais para o crescimento, reparação e manutenção dos tecidos corporais. Nas últimas décadas, a busca por fontes de proteínas alternativas às de origem animal tem crescido significativamente, impulsionada tanto por questões éticas quanto por preocupações ambientais e de saúde. Nesse contexto, as proteínas vegetais, surgem como ingredientes promissores na formulação de produtos alimentícios inovadores e sustentáveis.

O primeiro capítulo desta dissertação apresenta uma revisão da literatura com foco nas características nutricionais e tecnológicas das proteínas de oleaginosas, explora o uso crescente de proteínas extraídas de nozes como ingredientes na indústria alimentícia, principalmente em dietas à base de plantas. Com o aumento da busca por alimentos sustentáveis e substitutos de proteínas animais, as proteínas de nozes oferecem um perfil nutricional de alta qualidade. O artigo discute: Sobre a composição nutricional, propriedades tecnológicas, a importância e complementação de aminoácidos e aplicações. Além disso, a revisão destaca o crescente interesse por proteínas vegetais devido ao aumento do consumo de dietas à base de plantas e à demanda por alternativas às proteínas animais. Nesse sentido, o uso de proteínas de nozes, é discutido como uma solução potencial para atender às demandas de sustentabilidade e inovação no setor alimentício.

No capítulo experimental, são descritos os processos de extração, caracterização e análise das propriedades tecnofuncionais da proteína concentrada de castanha-do-Brasil (PCCB). O estudo experimental incluiu a avaliação da solubilidade, capacidade de formação de espuma e sua estabilidade, retenção de água e óleo, bem como a estabilidade de emulsão e a formação de gel dessa proteína, dentre outras funcionalidades. Esses testes visam determinar o potencial de aplicação da PCCB como ingrediente funcional em produtos alimentícios, contribuindo para o desenvolvimento de alternativas à base de plantas que mantenham qualidade tecnológica e propriedades sensoriais desejáveis.

Assim, ao integrar uma análise teórica sólida com experimentos práticos, este trabalho busca não apenas aprofundar o conhecimento sobre as proteínas de oleaginosas, mas também apresentar evidências sobre as propriedades tecnológicas e funcionais da proteína concentrada da castanha-do-Brasil, fornecendo subsídios para sua aplicação na indústria alimentícia e assim se tornar uma possível fonte alternativa de proteínas vegetais evidentes como soja e ervilha para a indústria de alimentos.

CAPÍTULO 1: Artigo de revisão

Artigo de Revisão

Título: Proteínas de nozes como ingredientes vegetais: ingredientes emergentes para a indústria alimentícia.

Jessica da Silva Matos, Juliana Eloy Granato Costa, Debora Raquel Gomes Castro Krichanã, Paula Zambe Azevedo, Amanda Lais Alves Almeida Nascimento, Paulo Cesar Stringheta, Evandro Martins e Pedro Henrique Campelo.

Processes **2024**, 12(8), 1742; <https://doi.org/10.3390/pr12081742>

Resumo

Esta revisão explora o interesse crescente e as aplicações potenciais de proteínas extraídas de nozes na indústria alimentícia. Com uma mudança crescente em direção a dietas baseadas em plantas e fontes alimentares sustentáveis, o valor nutricional e as propriedades funcionais das proteínas de nozes ganharam atenção significativa. A composição, a digestibilidade e a biodisponibilidade dessas proteínas são discutidas, enfatizando seu papel como substitutos de alta qualidade para proteínas de origem animal. O texto se aprofunda ainda mais nas aplicações tecnológicas das proteínas de nozes, focando em sua capacidade de estabilizar emulsões, melhorar a textura e contribuir para o desenvolvimento de produtos alimentícios inovadores. A revisão destaca a gama diversificada de nozes e seus perfis proteicos exclusivos, ressaltando a importância de combinar diferentes fontes de proteína vegetal para atingir uma composição de aminoácidos bem equilibrada. À medida que a indústria alimentícia busca alternativas proteicas novas e sustentáveis, a utilização de proteínas de nozes surge como um caminho promissor com benefícios nutricionais consideráveis.

Palavras-chave: Proteínas de nozes; Base vegetal; Alimentos sustentáveis; Complementação de aminoácidos; Inovação na indústria alimentícia

1. Introdução

Nos últimos anos, a nutrição avançou com novas descobertas sobre o papel das proteínas na dieta. As proteínas são cruciais para o corpo, pois contribuem para a construção e reparação dos tecidos (Day, 2013; Friedman, 1996; Loveday, 2019). A demanda por uma dieta saudável levou a um interesse crescente em proteínas isoladas de nozes, como castanhas, avelãs e nozes, para atender às necessidades nutricionais. Neste artigo, exploraremos essas proteínas em detalhes, incluindo sua origem, benefícios, aplicações e evidências científicas.

As proteínas são essenciais para o crescimento, manutenção e reparação do corpo humano, pois são compostas de aminoácidos necessários para funções biológicas vitais (Kristo & Corredig, 2014). A necessidade de proteínas varia com base na idade, sexo, atividade física e objetivos pessoais. Proteínas isoladas de nozes, que passaram por purificação para remover gorduras e carboidratos, oferecem uma alta concentração de proteína (Kumar et al., 2021).

Essas proteínas oferecem benefícios significativos ao fornecer uma fonte de proteína de alta qualidade, geralmente com um perfil completo de aminoácidos (Brufau et al., 2006; Gonçalves et al., 2023; J. Yang, 2009). Isso as torna valiosas para o crescimento muscular, recuperação pós-exercício e saúde geral (Farouk Abdel-salam et al., 2022; Venderley & Campbell, 2006; Yi et al., 2014). Além disso, a ausência de gorduras e carboidratos indesejados torna essas proteínas adequadas para indivíduos com intolerâncias alimentares ou restrições alimentares. Sua versatilidade permite que sejam incluídas em vários alimentos e bebidas (Qamar et al., 2020; Roselló-Soto et al., 2018).

Proteínas vegetais isoladas também possuem propriedades tecnológicas e funcionais notáveis, como gelificação, emulsificação e espessamento, melhorando a textura e a estabilidade de produtos alimentícios (Langendörfer et al., 2023; S. Li et al., 2023). Por exemplo, elas podem ser usadas na produção de alternativas à carne, fornecendo textura e sabor semelhantes (Andreani et al., 2023; Hargreaves et al., 2023). Elas são comuns em produtos de panificação, sobremesas e bebidas para melhorar a textura e a retenção de umidade.

Essas propriedades têm um impacto significativo na indústria alimentícia, impulsionando o consumo de produtos de origem vegetal (Andreani et al., 2023). Proteínas isoladas de nozes atendem à demanda por alimentos sustentáveis e saudáveis.

Neste artigo, aprofundaremos o entendimento sobre proteínas isoladas de nozes, explorando sua origem, benefícios, propriedades funcionais e aplicações, com base em estudos clínicos e pesquisas recentes, fornecendo uma visão abrangente sobre este tópico. Após a lei-

tura, você terá um entendimento sólido sobre proteínas isoladas de nozes e como integrá-las efetivamente à sua dieta para atender às suas necessidades nutricionais.

2. Composição proteica das nozes

Nos últimos anos, houve um aumento notável no uso de nozes para fins alimentares. Sementes inteiras, óleos, farinhas e subprodutos de bolos contêm uma riqueza de nutrientes e compostos bioativos e, portanto, estão sendo amplamente promovidos por profissionais de nutrição e empresas da indústria alimentícia. Esse interesse crescente em ingredientes saudáveis transcende fronteiras e leva à exploração de novas tendências. Tanto cientistas quanto a indústria alimentícia estão pesquisando a substituição parcial de proteínas animais por proteínas vegetais. Esse movimento não apenas aumenta os benefícios à saúde dos produtos cárneos, mas também aborda questões éticas e ambientais. Essas mudanças refletem a crescente preocupação de cientistas, ativistas e governos em relação à redução da produção de carne, incentivando escolhas alimentares mais sustentáveis (Salas-Salvadó & Pascual-Compte, 2023) . As proteínas vegetais surgiram como alternativas econômicas e versáteis na nutrição humana, desempenhando um papel significativo na composição dos alimentos. Esse crescente padrão de consumo interrompe o equilíbrio entre a oferta e a demanda por proteínas animais e destaca a crescente relevância das proteínas vegetais no cenário alimentar moderno (Otero et al., 2022) .

As nozes são um alimento rico em nutrientes que podem ser consumidas frescas, torradas ou conservadas, trazendo uma variedade de benefícios à saúde dos humanos. Devido ao seu conteúdo nutricional ser rico em ácidos graxos insaturados, como ácido oleico e ácido linoleico, e baixo em ácidos graxos saturados, são recomendadas para dietas saudáveis. Além disso, as nozes contêm lipídios bioativos, como fitoesteróis, tocoferóis e tocotrienóis, contribuindo para a saúde cardiovascular (Polmann et al., 2021) .

Além de suas propriedades lipídicas, as nozes também são uma excelente fonte de proteínas, fibras, vitaminas como ácido fólico, niacina e vitamina B6, e minerais essenciais como cálcio, magnésio e potássio. Elas também contêm uma variedade de compostos fenólicos, incluindo ácidos fenólicos, flavonoides, lignina, taninos hidrolisáveis e pro antocianidinas (taninos condensados), que têm propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, contribuindo para a saúde geral (M. Zhang et al., 2023) .

No cenário atual da indústria alimentícia, há uma demanda crescente por opções inovadoras a partir de castanhas e leguminosas. Essas alternativas têm se destacado não apenas

pela diversidade e apelo sensorial, mas também pela durabilidade, atendendo a uma variedade de consumidores, incluindo vegetarianos e onívoros. Esse movimento tem impulsionado pesquisas na área de proteínas de castanhas, sugerindo direções futuras promissoras. Nesse contexto, proteínas vegetais ganham destaque como substitutos viáveis para proteínas animais. Pesquisas intensivas nessas proteínas abrem portas para inovação na indústria alimentícia, possibilitando o desenvolvimento de produtos que atendam às demandas de consumidores preocupados com questões éticas, ambientais e de saúde (Kotecka-Majchrzak et al., 2020) .

Um aspecto crucial desse avanço é o uso de isolados e concentrados de proteínas. Eles desempenham um papel essencial, especialmente quando as proteínas precisam ser isoladas e aplicadas em formulações específicas (Tabela 1). Uma compreensão detalhada desses componentes é vital para a criação de produtos alimentícios de alta qualidade, garantindo não apenas sua viabilidade comercial, mas também a satisfação do consumidor (Balakrishna et al., 2022)

Tabela 1. Rendimento da extração de proteínas de nozes

Nozes	Nomenclatura científica	Rendimento proteico (%)	Referências
Castanha do Brasil	<i>Bertholletia excelsa</i>	15-20	(Carvalho et al., 2022)
Amendoim	<i>Arachis hypogaea</i>	8,88–12,7	(Muñoz-Arrieta et al., 2021)
Noz Pecan	<i>Carya illinoensis</i>	8	(Reis Ribeiro et al., 2020)
Macadâmia	<i>Macadâmia integrifolia</i>	9.23	(Fedalto et al., 2019)
Noz de macaúba	<i>Acronomia aculeata</i>	28,61	(Coimbra & Jorge, 2011)
Castanha de caju	<i>Anacardium occidentale L.</i>	42	(Ogunwolu e outros, 2009)
Avelã	<i>Corylus avellana</i>	35-41	(Gul et al., 2023)
Pistache	<i>Pistacia vera</i>	34,6-46,1	(Rabadán et al., 2018)
Amêndoa Baru	<i>Dipterix alata</i>	26–30	(Freitas & Naves, 2010)

Além desse aspecto, a composição de aminoácidos varia entre diferentes oleaginosas, ou seja, seus perfis de aminoácidos. As proteínas vegetais são deficientes em aminoácidos exógenos essenciais e têm um conteúdo menor ou são principalmente carentes de lisina, isoleucina, triptofano, metionina e valina. Para substituir grandes quantidades de proteínas da carne em um produto por proteínas vegetais, seria aconselhável usar dois ou três tipos de composições complementares de aminoácidos de diferentes matérias-primas vegetais. Isso forneceria ao corpo todos os aminoácidos exógenos essenciais usando o princípio da complementação. É necessário fornecer o conteúdo correto de aminoácidos exógenos essenciais porque eles são responsáveis pelo "turnover proteico" adequado, ou seja, a troca constante de proteínas corporais (Sá et al., 2021)

Atualmente, as proteínas vegetais tornaram-se essenciais na indústria alimentícia, sendo amplamente incorporadas como ingredientes funcionais. Especialmente, proteínas derivadas de oleaginosas ganharam destaque, sendo meticulosamente estudadas para aplicação em alimentos. A Tabela 2 exemplifica algumas dessas proteínas e a distribuição de aminoácidos essenciais, destacando seu potencial nutricional (M. Zhang et al., 2023) .

As proteínas nos sistemas biológicos desempenham um papel crucial na construção dos alimentos, facilitando a restauração dos tecidos cutâneos e ósseos, bem como reparando células danificadas. Os aminoácidos essenciais têm uma composição química fundamental, contribuindo para a produção de proteínas humanas. Essas proteínas desempenham várias funções fisiológicas, incluindo o transporte de nutrientes e hormônios, a replicação celular e a manutenção de funções orgânicas (Wu, 2021).

Tabela 2. Composição aproximada de aminoácidos essenciais em nozes.

Comida	Leucina (%)	Valina (%)	Lisina (%)	Fenilalanina (%)	Cisteína (%)	Treonina (%)	Tirosina (%)	Referências
Castanha do Brasil	82,4	49,2	37,4	71,8	95,9	26,4	71,8	(Kluczkowski & Martins, 2016)
Amen-doim	70,3	39,5	38,8	87,8	16,4	22,1	87,8	(Oyeyinka et al., 2019)
Avelã	74,0	46,6	29,3	73,6	24,2	29,5	73,6	(Zhao e outros, 2023)
Noz de baru	77,8	51,8	48,4	77,2	22,0	44,9	77,2	(Alves-Santos et al., 2021)

Castanha de caju	45,9	56,5	45,9	72,6	28.1	32.2	72,6	(Leal et al., 2023)
Pistache	75,6	56,9	46,4	73,2	24.1	29,7	73,2	(Freitas & Naves, 2010)

3. Propriedades tecnológicas das proteínas de nozes

4. Solubilidade e capacidade de absorção de água

A solubilidade desempenha um papel fundamental nas características das proteínas encontradas nas nozes, intimamente relacionada à interação dessas proteínas com moléculas de água, ligações peptídicas, ligações de hidrogênio e cadeias laterais de resíduos de aminoácidos. Essa solubilidade é de grande importância para produtos alimentícios que contêm proteínas, pois afeta propriedades funcionais como emulsificação, formação de espuma, comportamento reológico e atividade de superfície (Gul et al., 2023; Saricaoglu et al., 2018) . Vários fatores, incluindo temperatura, método de extração, pH, concentração de íons e as características intrínsecas das proteínas nas nozes, desempenham um papel crítico na solubilidade e, portanto, nas propriedades dessas proteínas (Gul et al., 2023) .

Proteínas encontradas em nozes têm menor solubilidade em torno de seu ponto isoelétrico (pI), que normalmente varia de pH 3,0 a 5,0. No entanto, a solubilidade aumenta em valores de pH distantes do pI. Isso sugere que essas proteínas têm uma natureza ácida (Gul et al., 2023; Yan & Zhou, 2021; Yuliana et al., 2014; Zhong et al., 2020) . A menor solubilidade no ponto isoelétrico é resultado da carga líquida dos peptídeos, reduzindo a repulsão eletrostática entre proteínas devido a interações hidrofóbicas, bem como aumentando a hidrofobicidade da superfície (Alting et al., 2002) . Por outro lado, a solubilidade aumenta em pH neutro a alcalino, pois as proteínas vegetais têm uma estrutura globular que aumenta a solubilidade nessas condições (Gul et al., 2023).

O pH desempenha um papel crucial na solubilidade da proteína porque as cargas elétricas das proteínas podem resultar em forças eletrostáticas repulsivas que mantêm as proteínas dispersas na solução. No entanto, perto do ponto isoelétrico, as proteínas tendem a se agregar devido a fortes interações, resultando em solubilidade reduzida. A adição de sais em pequenas quantidades pode aumentar a solubilidade da proteína, mas concentrações mais altas podem levar a interações iônicas que diminuem a solubilidade (Yuliana et al., 2014)

A solubilidade das proteínas de nozes pode ser melhorada por meio de tratamentos térmicos suaves, mas também pode resultar em agregação e solubilidade reduzida em casos

específicos. Métodos não convencionais, como a aplicação de alta pressão, também podem afetar a solubilidade, com parâmetros específicos desempenhando um papel significativo. Além disso, a fosforilação de proteínas pode aumentar significativamente a solubilidade, introduzindo cargas negativas e aumentando a repulsão eletrostática entre moléculas de proteína. A solubilidade das proteínas de nozes pode variar amplamente entre diferentes tipos de nozes, com algumas, como amêndoas, demonstrando boa solubilidade em uma ampla faixa de pH, enquanto outras têm solubilidade mais restrita (Devnani et al., 2021) .

Capacidade de Absorção de Água (WAC) é outra propriedade importante das proteínas de nozes, influenciada por fatores como força iônica, pH, temperatura e pressão. A WAC pode ser melhorada pela otimização desses fatores. O aumento da concentração de sal pode afetar a WAC, aumentando-a inicialmente, mas diminuindo-a à medida que a concentração de sal aumenta, devido à interação entre íons de sal e proteínas (Yuliana et al., 2014) . Em pH ácido, valores mais baixos dessa propriedade são obtidos em proteínas de nozes. Ela é melhorada quando em pH alcalino (Gul et al., 2023; Yuliana et al., 2014) . Isso ocorre nessas matrizes devido à formação de agregados que ocorre no ponto isoelétrico, resultante de fortes interações moleculares e afetando a baixa WAC (Yuliana et al., 2014) . Ao ajustar o pH como estratégia para melhorar as propriedades das proteínas encontradas nas nozes, observa-se um aumento na quantidade de água ligada devido ao aumento da carga elétrica e da polaridade das proteínas, resultante da ionização de grupos de aminoácidos (Benelhadj et al., 2016) .

Em relação à concentração de íons salinos, Yuliana et al. (2014) notaram que o WAC aumentou de 1,23 para 2,04 $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ conforme a concentração de NaCl foi aumentada de 0 para 0,5 $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Posteriormente, houve uma diminuição moderada no WAC com novos aumentos na concentração de NaCl. Os autores explicam que, à medida que a concentração de sal aumenta, a maior parte da água disponível se liga aos íons salinos, intensificando as interações intermoleculares entre as proteínas. Isso resulta na desidratação da proteína e, consequentemente, na redução do WAC.

A Tabela 3 apresenta diferentes proteínas de nozes juntamente com seu WAC e solubilidade sob diferentes condições de pH, concentrações de íons de sal e temperatura, ilustrando claramente o impacto direto desses fatores nas características dessas proteínas. É evidente que todos esses fatores influenciam significativamente o WAC e as propriedades de solubilidade. Por exemplo, um aumento na concentração de sal de 0 para 0,4 M pode melhorar o WAC em até 12,6% (Gul et al., 2023) . No entanto, o WAC tende a diminuir à medida que a concentração de sal aumenta devido ao fenômeno conhecido como "salting in". Da mesma

forma, a solubilidade responde diretamente à força iônica, aumentando com a adição de sal, mas diminuindo à medida que a concentração de sal se torna maior (Gul et al., 2023) .

Embora o tratamento térmico possa levar à desnaturação da proteína, é importante ressaltar que, quando otimizado com outros processos, pode resultar em uma clara melhoria na solubilidade da proteína da noz. Além disso, a adoção de tecnologias avançadas, como alta pressão, também tem um impacto positivo nessa propriedade. O tratamento com essas novas tecnologias reduz o tamanho das partículas, contribuindo assim para o aumento da solubilidade da proteína (Gul et al., 2017, 2021; Saricaoglu et al., 2018) . No entanto, é importante observar que níveis excessivamente altos de alta pressão (150 MPa), em alguns casos, podem levar à redução da solubilidade devido ao super processamento, aumentando as interações entre proteínas e água, resultando na desnaturação da proteína após o tratamento (Saricaoglu et al., 2018) .

Tabela 3. Capacidade de absorção de água e solubilidade de diferentes proteínas de nozes.

Material	Doença	Capacidade de absorção de água	Solubilidade	Referências
Isolado proteico da casca da castanha de caju	pH 3 e 8 /pH 3 e 11 NaCl 0,5M e 2M	1,2 e 2,97 cm ³ de água/g de proteína 2,04 e 1,73 cm ³ de água/g de proteína	48,44% e 84,75% 75,37% e 66,72	(Yuliana et al., 2014)
Proteína isolada de avelã	pH 3 e 4/ pH 8 NaCl 0,2 M e 1 M	1,24 g e 2,88 g de água/g de proteína 2,67 g e 2,49 g de água/g de proteína	67,19% -	(Gul et al., 2023)
Isolado de proteína de pistache	Controlar Ebulição Autoclave	2,25 ml g ⁻¹ 2,80 ml g ⁻¹ 2,70 ml g ⁻¹	- - -	
Isolado de proteína de castanha de caju	Controlar Ebulição Autoclave	1,00 ml g ⁻¹ 3,05 ml g ⁻¹ 4,20 ml g ⁻¹	- - -	(Sanchiz et al., 2019)
Isolado proteico de castanha	Controlar Ebulição Autoclave	1,05 ml g ⁻¹ 2,60 ml g ⁻¹ 3,10 ml g ⁻¹	- - -	
Isolado proteico de amêndoa	pH 3-4/ pH 7-9	-	80%-90%/ 70%-80%	(Devnani et al., 2021)
Chão de avelã	Alta pressão (0-100MPa/ 150MPa)	-	Melhoria da solubilidade (~87%) em emulsões e espumas / Diminuição da solubili-	(Saricaoglu et al., 2018)

Isolado proteico de macadâmia	Controle/ Quitosana	-	dade 86,49%/ 97,32%	(Zhong e outros, 2021)
-------------------------------	---------------------	---	---------------------------	------------------------

5. Capacidade de emulsificação e absorção de óleo

As proteínas vegetais têm importantes propriedades emulsificantes, mas sua eficácia como surfactantes é mais lenta devido ao seu grande tamanho molecular. Para atuar como emulsificantes, as proteínas precisam de desnaturação parcial na interface, expondo aminoácidos hidrofóbicos. Essa reestruturação permite que as proteínas posicionem aminoácidos hidrofóbicos na fase oleosa e os hidrofílicos na fase aquosa. No entanto, a capacidade emulsificante das proteínas, em termos de retenção de óleo por grama de proteína antes da inversão de fase, é geralmente menor em comparação com emulsificantes de baixo peso molecular. Uma vez que uma emulsão é formada, as proteínas estabilizam as gotículas de óleo emulsionadas, criando uma camada protetora que evita a coalescência e a separação da emulsão (Drusch et al., 2021) .

Proteínas de nozes, como avelã, macadâmia, amendoim, pistache, caju e castanha, são emulsificantes naturais promissores devido às suas propriedades anfifílicas, adequadas para produtos vegetais e veganos. No entanto, a hidrofobicidade superficial excessiva pode, às vezes, reduzir a solubilidade, impactando a capacidade emulsificante. O equilíbrio entre a hidrofobicidade superficial e as interações eletrostáticas desempenha um papel crucial na determinação de suas propriedades de aplicação em alimentos (Yan & Zhou, 2021) .

A capacidade de estabilizar interfaces óleo-água e criar emulsões resultantes é uma característica fundamental das proteínas vegetais devido à sua natureza anfifílica. As propriedades emulsificantes das proteínas vegetais derivadas de nozes ganharam maior atenção na pesquisa devido à sua sustentabilidade ecológica e impacto positivo na saúde (X. Zhang et al., 2023) . No entanto, as emulsões estabilizadas por proteínas de nozes são tipicamente instáveis devido à baixa solubilidade em água e à tendência de agregação (Sathe et al., 2009; Yan & Zhou, 2021) . Para melhorar sua eficácia como emulsificantes, tratamentos sinérgicos ou combinações com outros compostos são usados junto com proteínas, bem como mudanças no pH e adição de íons de sal. Várias tecnologias podem auxiliar neste processo, como ultrassom e micro-ondas, que aumentam a emulsificação aumentando o conteúdo de peptídeos e compostos fenólicos, ao mesmo tempo que melhoram a eficiência geral do processo (Aamir et al., 2023) .

Outra técnica para melhorar as propriedades emulsificantes das proteínas de nozes são as emulsões Pickering, que usam partículas sólidas para estabilizar as interfaces óleo-água. Quando as proteínas de nozes servem como os principais emulsificantes, os polissacarídeos, como o cloridrato de quitosana, nanocristais de celulose, inulina e goma xantana, melhoram a estabilidade da emulsão. Esses polissacarídeos criam forte repulsão eletrostática e deposição eletrostática, resultando em emulsões altamente estáveis (Huang et al., 2021; Nie et al., 2022; Zhong et al., 2020) . Proteínas derivadas de nozes, como macadâmia e noz-pecã, mostraram excelente desempenho na estabilidade da emulsão devido à sua adsorção sinérgica de partículas sólidas na interface óleo-água, resultando em gotículas menores, o que é crucial para as emulsões Pickering (Ding et al., 2020) .

Os compostos de cloridrato de quitosana melhoram significativamente a estabilidade da emulsão em comparação com a proteína isolada sozinha. Essa melhoria está ligada à concentração do composto de quitosana. Emulsões estáveis com sabor de noz e textura cremosa podem ser criadas, que são estáveis em condições ácidas (Zhong et al., 2020) . Pesquisas sobre a melhoria das propriedades funcionais da proteína da farinha de amêndoa por meio da hidrólise enzimática descobriram que o tratamento enzimático aumentou a solubilidade da proteína e reduziu a capacidade emulsificante. A emulsão foi ainda melhorada pela alteração do pH, força iônica, temperatura e pressão (Gul et al., 2023; Sanchiz et al., 2019; Sen & Kahveci, 2020; Yuliana et al., 2014) .

As proteínas de nozes ganharam atenção por seu potencial como substituto da soja em vários produtos alimentícios, como assados, alternativas à carne e assados, graças às suas impressionantes propriedades funcionais (Acosta-Domínguez et al., 2021) . Pesquisas recentes se concentraram em fatores que influenciam a capacidade de retenção de óleo em proteínas de nozes, como variações de pH, força iônica, temperatura e pressão (Gul et al., 2023; Sanchiz et al., 2019; Sen & Kahveci, 2020; Yuliana et al., 2014) .

A Tabela 4 apresenta várias proteínas de nozes sob diferentes condições e como essas condições afetam a capacidade de retenção de óleo e a capacidade emulsificante. Observa-se que a capacidade de retenção de óleo do isolado de proteína de avelã é melhorada sob pH alcalino, mas a concentração iônica não afeta essa propriedade (Gul et al., 2023) . Os tratamentos térmicos resultam em melhor capacidade de retenção de óleo, tornando essas farinhas mais adequadas para aplicações alimentícias. No entanto, reduz a capacidade emulsificante, o que é inadequado para produtos como molhos, sorvetes e sopas (Ding et al., 2020; Huang et al., 2021; Ning et al., 2019; Zhong et al., 2020) .

Em resumo, as proteínas de nozes têm potencial significativo em várias aplicações alimentícias, especialmente quando combinadas com aditivos apropriados, técnicas de processamento aprimoradas e condições de pH modificadas. Essas proteínas oferecem propriedades funcionais únicas e podem servir como emulsificantes e absorvedores de óleo eficazes, aumentando a estabilidade e a qualidade de uma ampla gama de produtos alimentícios.

Tabela 4. Capacidade de absorção de óleo e capacidade de emulsificação de diferentes proteínas de nozes.

Material	Doença	Capacidade de absorção de óleo	Capacidade de emulsificação	Referência
Isolado proteico da casca da castanha de caju	pH 7/ pH 3 e 10 NaCl (0,5M e 2M)	4,28 cm ³ óleo/g proteína -	40% e 70% 72,0% e 56,0%	(Yuliana et al., 2014)
Proteína isolada de avelã	pH 4 e pH 8/ pH 3 e pH 8 NaCl (0-1M)/ NaCl (0,2M e 0,8M)	0,65g (óleo/g) -	1,91g 26,15 e 85,21 m ² g ⁻¹ 54,28 e 41,27 m ² g ⁻¹	(Gul et al., 2023)
Isolado de proteína de pistache	Controlar Ebulição Autoclave	3,10 ml g ⁻¹ 3,65 ml g ⁻¹ 4,40 ml g ⁻¹	25,2% 21,6% 4,1%	
Isolado de proteína de castanha de caju	Controlar Ebulição Autoclave	4,30 ml g ⁻¹ 5,10 ml g ⁻¹ 5,40 ml g ⁻¹	28,8% 12,1% 10,5%	(Sanchiz et al., 2019)
Isolado proteico de castanha	Controlar Ebulição Autoclave	3,15 ml g ⁻¹ 3,20 ml g ⁻¹ 3,30 ml g ⁻¹	27,8% 3,1% 4,1%	
Isolado proteico de amêndoa	-	4,85 mL de óleo/g de proteína	-	(Sen & Kahveci, 2020)

6. Estabilizador

Em geral, as proteínas podem atuar como estabilizadores de emulsão e espuma. Em emulsões, elas reduzem a tensão interfacial entre água e óleo ao envolver gotículas de gordura, retardando a coalescência por meio de repulsão eletrostática e estérica e aumentando a viscosidade da fase contínua (McClements, 2015). A estabilidade da emulsão está relacionada ao contato entre glóbulos de óleo. A textura, formação e estabilidade das emulsões proteína-óleo-água são influenciadas por fatores químicos e físicos (McClements, 2015), incluindo condições de processamento, condições do solvente (pH, temperatura, sais), características da

proteína (reatividade da superfície, solubilidade, concentração, tamanho e conformação), distribuição, viscosidade da fase contínua, tamanho do glóbulo de gordura e razão de volume da fase aquosa/lipídica (McClements, 2015) .

As proteínas são anfipáticas, expondo segmentos hidrofóbicos à interface lipídica e grupos iônicos polares à fase aquosa. Elas podem migrar, absorver, desdobrar, reorganizar e interagir na interface. O rearranjo de proteínas depende da flexibilidade, estabilidade conformacional e condições ambientais, como pH, temperatura e concentração de íons (Macritchie, 1978) . Filmes de proteínas melhor estruturados fornecem resistência ao cisalhamento, deformação e compressão, levando à estabilidade aprimorada da emulsão.

Em espumas, as proteínas também podem atuar como estabilizadores ligando-se a moléculas de água e envolvendo bolhas de ar. A fase aquosa é estabilizada por forças repulsivas em filmes surfactantes. Bolhas de ar tendem a se aproximar devido a forças capilares, mas são neutralizadas por repulsão eletrostática ou estérica da interação proteína-água, retardando sua aproximação. No entanto, quando estão próximas, as forças atrativas de van der Waals podem levar à coalescência de bolhas, possivelmente por dessorção e coalescência ou ruptura. A estabilidade da espuma, como emulsões, depende das propriedades do filme de membrana, como resistência mecânica, viscoelasticidade e difusividade (Kinsella et al., 1985) .

As nozes são tradicionalmente conhecidas por seu alto teor de gordura, mas também contêm vários macronutrientes, incluindo proteínas, carboidratos e gorduras. As nozes têm um teor de proteína relativamente alto, o que as torna potenciais fontes alternativas de proteína (Brufau et al., 2006) . As sementes de nozes comestíveis contêm aproximadamente 7-25% de proteína, com a quantidade e o tipo variando dependendo do tipo de semente, que geralmente tem proteínas ricas em aminoácidos como glutamina, asparagina e arginina. Apesar do notável teor de proteína nas nozes, os estudos sobre suas propriedades funcionais são limitados. Geralmente, usar sementes inteiras, mesmo que de boa qualidade, não é economicamente viável para produzir isolados e concentrados de proteína, ao contrário do uso de farinha de semente desengordurada (Venkateswara Rao et al., 2023) .

O Brasil possui uma grande variedade de castanhas comestíveis utilizadas na indústria alimentícia como temperos, condimentos, para extração de óleo, produção de bebidas e como matéria-prima. A maioria delas é rica em macronutrientes, compostos bioativos (Teixeira et al., 2018) , ácidos graxos monoinsaturados, polifenóis e outros fitoquímicos (Chang et al., 2016) . As mais vendidas no mundo incluem amêndoas, pistaches, pinhões, nozes de macadâmia, avelãs, nozes europeias, castanhas-do-pará, nozes-pecã e castanhas de caju (Alasalvar & Shahidi, 2008) .

Estudos sobre a estabilidade de emulsões e espumas usando proteínas de nozes como compostos surfactantes foram conduzidos. A estabilidade de emulsões e espumas formadas por amêndoa de baru isolada (*Dipteryx alata* A proteína Vog) (BPI) foi analisada (Nunes et al., 2017) . A BPI apresentou estabilidade da emulsão de 53,9%, indicando que as proteínas solúveis foram capazes de se desdobrar e reduzir a tensão interfacial na interface óleo-água. Na forma, a BPI manteve 96% do volume inicial formado após 60 minutos de batimento em pH 7,0.

As mesmas propriedades foram analisadas por Mao e Hua (2012) para proteína isolada (WPI), proteína concentrada (WPC) e farinha de noz desengordurada (DFWF) de nozes inglesas (*Juglans regia* L.). A estabilidade da emulsão foi maior para WPI (83,33%), seguida por WPC (76,92%) e DFWF (66,78%) em pH 11. A diferença na estabilidade da emulsão foi atribuída a diferenças na concentração de proteína e hidrofobicidade da superfície. A maior estabilidade ocorre quando há mais interação proteína-proteína na interface óleo-água. A mesma ordem foi observada para a estabilidade da espuma, com WPI em $30,56 \pm 2,35\%$ em pH 11. Este resultado sugere que WPI tem uma estrutura mais flexível em soluções aquosas e interage mais fortemente na interface ar-água em comparação com WPC. Em soluções básicas, o aumento da carga de proteína enfraquece a interação hidrofóbica, tornando a molécula mais solúvel e flexível, permitindo mais espalhamento na interface ar-água. Assim como nas emulsões, a estabilidade da espuma também é influenciada pela concentração de proteína, aumentando a viscosidade e facilitando a formação de um filme proteico coeso e multicamadas na interface (Damodaran & Paraf, 2017) .

Ogunwolu et al. (2009) também analisaram essas propriedades para proteína isolada (CNPI) e proteína concentrada (CNPC) de castanhas de caju (*Anacardium occidentale* L.). A CNPC apresentou 13,7% e 153% de capacidade de emulsificação e estabilidade, respectivamente. Em contraste, a CNPI apresentou menor capacidade de formação de emulsão (12,5%), mas maior estabilidade (447%). Este resultado é consistente com Kinsella, Damodaran e German (1985) , afirmando que a capacidade de formação de emulsão é inversamente proporcional à concentração de proteína. Em baixas concentrações, as proteínas se espalham na superfície antes de serem adsorvidas, controladas pela difusão. No entanto, em altas concentrações, a barreira de ativação de energia não permite que as proteínas se difundam. De acordo com Tsai, Cassens e Briskey (1972), proteínas menos concentradas permitem melhor desdobramento da cadeia durante o cisalhamento no processo de emulsificação. Além disso, essas cadeias aderem por meio de interação hidrofóbica às gotículas de óleo, fornecendo uma área livre maior na superfície, o que pode facilitar a formação de emulsões. Em relação às proprie-

dades de formação de espuma, o CNPC apresentou 40% de capacidade de formação de espuma e 40% de estabilidade, enquanto o CNPI apresentou 45% de capacidade de formação de espuma e 55% de estabilidade.

Eltayeb et al. (2011) encontraram maior estabilidade de espuma (40 min) para isolado de proteína de amendoim bambara (IPAB) em pH 9,0, com cerca de 84% do volume de espuma permanecendo estável. A espuma feita de farinha de amendoim bambara desengordurada (FDAB) teve a maior estabilidade (5 min) em pH 4,5. Em linha com este resultado, a maior estabilidade de emulsão também foi em pH 4,5 para FDAB, que reteve 50% do volume da fase aquosa após 48 horas. A menor estabilidade de emulsão foi em pH 3,0, com 70% desse volume separado. A maior e menor estabilidade de emulsão para IPAB foi obtida em pH 4,5 e 6,0, respectivamente, com 55% e 95% do volume da fase aquosa separado após 48 horas, respectivamente.

Sharma et al. (2010) estudaram as propriedades funcionais de proteínas derivadas de amêndoas, castanhas-do-pará, castanhas-de-caju, avelãs, nozes de macadâmia, pinhões, pistaches, amendoim espanhol, amendoim da Virgínia e soja para comparação subsequente. A estabilidade da espuma (<1h) formada por todos os isolados de proteína preparados a partir dessas matérias-primas variou de "pobre" a "razoável". O teor de proteína dos isolados variou de 69,23% (pinhões) a 92,72% (amêndoas), exceto para soja (94,80%). O isolado de proteína de avelã apresentou a menor formação e estabilidade de espuma em comparação aos outros. Os mesmos autores também relataram que a capacidade de formar e estabilizar espumas dos isolados proteicos estudados não está relacionada à concentração de proteína, uma vez que amêndoas, castanhas de caju e soja apresentaram níveis proteicos semelhantes (92,72%, 92,29% e 94,80%, respectivamente), mas os isolados proteicos de amêndoa e caju apresentaram capacidades significativamente menores de formação de espuma e estabilização em comparação ao isolado proteico de soja.

Vioque e colegas (2000) obtiveram um isolado proteico (97,82% de conteúdo proteico) extraído de colza (*Brassica campestris* L.) e analisaram várias propriedades tecnofuncionais, incluindo estabilidade de emulsão e espuma. A maior estabilidade de emulsão (60 – 70%) foi alcançada com um grau de hidrólise de 3,1%, enquanto o isolado proteico de colza não hidrolisado mostrou estabilidade muito baixa (<10%). Os autores relatam que a hidrólise expõe grupos hidrofóbicos em resíduos de aminoácidos, que podem interagir com óleo, enquanto a fração hidrofílica interage com água. Da mesma forma, a maior estabilidade de espuma (69%) também foi alcançada quando o isolado proteico de colza passou por hidrólise de 3,1%. De acordo com os autores, isolados proteicos altamente hidrolisados podem criar es-

puma, mas não têm força para mantê-la por um período prolongado devido ao tamanho reduzido do peptídeo.

Teixeira et al. (2018) encontraram maior estabilidade da emulsão (50-60%) a partir da farinha de castanha de sapucaia desengordurada (*Lecythis pisonis* Cambess .) quando o óleo foi extraído com éter de petróleo usando o método Soxhlet, resultando em menor cristalinidade relativa (32,80 %). Segundo alguns autores, o teor de proteína, sua interação com polissacarídeos, o teor de óleo restante na farinha e certos lipídios como monoacilgliceróis e diacilgliceróis, que podem atuar como surfactantes (Chen et al., 2016) , pode afetar as propriedades emulsificantes da farinha desengordurada de castanha de sapucaia . Da mesma forma, maior estabilidade da espuma (80-90%) também foi alcançada usando este método de extração de óleo.

Maciel e colegas (2020) encontraram valores baixos para propriedades emulsificantes e espumantes em um bolo de noz-pecã (PNC) [*Carya illinoensis* (Wangenh .) K. Koch] com 21,87% de teor de proteína. De acordo com os autores, o PNC exibe baixa interação proteína-proteína, levando à formação de espuma muito fina e de baixa viscosidade com moléculas dispersas e instáveis. Na emulsão, os autores acreditam que o alto teor de fibras (13,01%) pode ter influenciado os baixos valores para essas propriedades. A Tabela 5 fornece uma compilação dos valores encontrados para estabilidades de emulsão e espuma usando proteínas de nozes.

Tabela 5. Estabilidade da emulsão e da espuma de proteínas de nozes.

Material	Teor de proteína (%)	Estabilidade da emulsão (%)	Estabilidade da espuma (%)	Referências
Proteína isolada de castanha de baru	88,4	53,9 ± 4,2	96	(Nunes et al., 2017)
Isolado de proteína de noz	90,50	30,30 ± 0,25	30,56 ± 2,35	
Concentrado de proteína de nozes	75,56	27,45 ± 0,34	28,18 ± 1,04	(Mao e Hua, 2012)
Farinha de nozes desengordurada	52,51	25,26 ± 0,27	10,23 ± 2,15	
Farinha de castanha de caju desengordurada	-	128 ± 0,03	8,00 ± 2,00	(Ogunwolu e outros, 2009)
Isolado de proteína de castanha de caju	-	447 ± 2,00	55,0 ± 2,00	
Concentrado proteico de castanha de caju	-	153 ± 0,03	40,0 ± 2,00	
Farinha desengordurada de bambara	17,70 ± 0,44	50	50	(Eltayeb et al., 2011)

Isolado de proteína bambara	85,97 ±1,41	45	84	
Noz de Sapucaia farinha desengordurada	49,28 ± 0,54	50-60	80-90	(Teixeira et al., 2018)
Macadâmia farinha desengordurada	33.12-36.45	53,52-54-26	56,27-75,07	(Jitngarmkusol et al., 2008)
Farinha de chufa (<i>Cyperus esculentus</i>)	7h15-9h70	-	50,60-58,99	(Oladele e Aina, 2007)

7. Viscosidade

A viscosidade mede a resistência de um fluido ao fluxo quando a força é aplicada. Em soluções ideais, a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à taxa de cisalhamento aplicada, conhecida como fluidos newtonianos. No entanto, as soluções de proteína geralmente exibem comportamento pseudoplástico ou de afinamento por cisalhamento, onde a viscosidade diminui à medida que a taxa de cisalhamento aumenta. Esse comportamento surge do alinhamento de proteínas com o fluxo (Damodaran & Paraf, 2017; Damodaran & Parkin, 2017). Interações complexas de proteínas, incluindo forma, tamanho, interações proteína-solvente, volume hidrodinâmico e flexibilidade molecular no estado hidratado, determinam a viscosidade. Quando dissolvidas em água, as proteínas absorvem água e se expandem, aumentando seu volume em comparação com proteínas desidratadas (Damodaran & Paraf, 2017; Damodaran & Parkin, 2017).

Gocer e Koptagel (Comak Gocer & Koptagel, 2023) analisaram as propriedades reológicas do kefir feito com proteínas de amêndoa (KA), amendoim (KAM), avelã (KAV), noz (KN) e caju (KC). KAM apresentou a maior viscosidade aparente no primeiro dia de armazenamento (103,03 mPa·s), enquanto KN apresentou a menor (4,50 mPa·s). KA apresentou maior coeficiente de consistência (1036,06 mPa·s·n), parâmetro essencial para medir a viscosidade média de fluidos não newtonianos. KN também apresentou o menor valor nesse quesito (741,52 mPa·s·n). KAM e KN apresentaram a maior e a menor tixotropia, com valores de 814,06 Pa·s⁻¹ e 35,47 Pa·s⁻¹, respectivamente. O comportamento da viscosidade pseudoplástica do kefir feito com nozes é devido ao enfraquecimento das interações proteicas causadas por ligações eletrostáticas e hidrofóbicas fracas (Kök-Taş et al., 2013). A viscosidade do kefir à base de nozes pode diminuir com o aumento do tempo de armazenamento devido à degradação da estrutura proteica pela proteólise bacteriana (Magra et al., 2012).

Gul e colegas (Gul et al., 2023) examinaram as propriedades reológicas da proteína de avelã isolada em diferentes valores de pH e força iônica. O comportamento do fluxo de suspensões de proteína de avelã a 4% foi de afinamento por cisalhamento devido às interações proteína-proteína durante altas forças de cisalhamento. Para mudanças de pH, a maior tensão de cisalhamento em taxas de cisalhamento mais altas foi encontrada em pH 3,0, 4,0 e 7,0. A força iônica não afetou o comportamento de afinamento por cisalhamento, com a maior tensão de cisalhamento em suspensões contendo 0,6 M de NaCl. O coeficiente de consistência foi influenciado por variações de pH, com o maior em pH 3,0 (0,142 Pa·s·n) e o menor em pH 6,0 (0,003 Pa·s·n). Em pH 6,0, o comportamento do fluxo foi como fluidos newtonianos, mas as mudanças de pH o tornaram pseudoplástico. O índice de comportamento do fluxo mudou com o aumento da força iônica, com o menor índice de comportamento do fluxo na concentração de 0,6 M, atribuído à maior hidrofobicidade da superfície da proteína.

Da mesma forma, Saricaoglu et al. (2018) observaram comportamento de afinamento por cisalhamento em proteína de avelã isolada. A homogeneização de alta pressão (HAP) degradou moléculas de proteína e a estrutura da rede por meio de hidrólise covalente e de ligação de hidrogênio, interações hidrofóbicas e eletrostáticas, aumentando as propriedades de fluxo. A viscosidade aparente na taxa de cisalhamento de 50 s^{-1} foi afetada pela HAP, com a mais alta ($1,301 \text{ Pa}^{-1}$) na amostra de controle e a mais baixa ($0,049 \text{ Pa}^{-1}$) em 150 MPa. Tatar, Tunç e Kahyaoglu (2015) analisaram as propriedades reológicas da proteína de avelã Tumbul extraída da farinha de nozes desengordurada na Turquia. A tensão de cisalhamento foi maior em baixas taxas de cisalhamento, diminuindo gradualmente com taxas crescentes, tendendo ao comportamento newtoniano. A 5°C , a tensão de cisalhamento variou de 0,14 a 0,79 Pa, e a 20°C , variou de 0,65 a 1,57 Pa para a proteína de avelã Tumbul. A viscosidade aparente foi diretamente proporcional à concentração de proteína, mas diminuiu com o aumento da temperatura. Ao contrário da temperatura de 80°C , que levou a um rápido aumento na viscosidade devido à desnaturação da proteína. Shi e colegas (2018) estudaram os efeitos da hidrólise parcial da tripsina, reticulação da transglutaminase (TGase) e sua combinação nas propriedades reológicas dos isolados de proteína de noz *Juglans regia* L. A viscosidade diminuiu gradualmente com o aumento da taxa de cisalhamento em todas as amostras. O tratamento com TGase sozinho aumentou a viscosidade, mas não houve diferença quando combinado com hidrólise de tripsina. No entanto, a viscosidade diminuiu quando o tratamento com TGase seguiu a hidrólise de tripsina devido à degradação da reticulação de TGase. A sequência e as condições de processamento podem, portanto, alterar a viscosidade do produto final.

Lei e colegas (2022) investigaram o efeito da adição de NaCl nas propriedades reológicas da proteína de noz (PIN) ligada à goma κ -carragenina (KC). A maior viscosidade aparente foi observada quando 15 mM de Na^+ foi adicionado, aumentando as interações hidrofóbicas e eletrostáticas entre PIN e KC, formando agregados de maior peso molecular responsáveis pelo aumento da viscosidade aparente. Sharma et al. (2010) também estudaram as propriedades reológicas de proteínas derivadas de amêndoas, castanhas-do-pará, castanhas-de-caju, avelãs, macadâmias, pinhões, pistaches, amendoim espanhol, amendoim da Virgínia e soja para comparação posterior em seu estudo. A viscosidade aparente das soluções de proteína foi diretamente proporcional à concentração de proteína, com diferenças significativas observadas apenas em soluções de proteína de concentração de 7% e 10%. A proteína de caju exibiu a maior viscosidade aparente entre as amostras.

8. Formação de gel

Géis de emulsão abrangem materiais sólidos, viscosos e coloidais que apresentam comportamento relacionado à emulsão ou gel. Definidos de várias maneiras, os métodos podem ser descritos com géis preenchidos com emulsão, onde gotículas de óleo são adicionadas a um sistema de biopolímero reticulado, ou quando as gotículas formam seu próprio sistema de gel, chamados géis de emulsão particulados (Lingiardi et al., 2022). Na indústria alimentícia, a produção de géis de emulsão e o desenvolvimento de vários biopolímeros são vantajosos para melhorar as propriedades sensoriais, a textura e reduzir o teor de gordura em diferentes alimentos (Gravelle & Marangoni, 2021). Gotículas de emulsão também são usadas para fortificar alimentos, pois podem ser enriquecidas com microcápsulas contendo compostos bioativos (Ferreira et al., 2022).

Classificados como matrizes tridimensionais em produtos alimentícios e farmacêuticos, os géis de proteína ganham esse título devido às suas características texturais e valor nutricional (Langton et al., 2020). Os tratamentos térmicos são os principais métodos usados em géis de proteína por meio de ligações covalentes, eliminando a necessidade de reticuladores químicos. Eles são normalmente divididos em dois estágios: desnaturação parcial de moléculas de proteína, levando à quebra da estrutura nativa expondo resíduos enterrados, seguido por proteínas desnaturadas ligadas entre si por meio de hidrofobicidade, ligações de hidrogênio ou estruturas de sulfeto para formar uma rede tridimensional (Andlinger et al., 2022; Q. Yang et al., 2021).

A seleção do método está diretamente ligada à matriz e à preparação dos géis de emulsão. Polissacarídeos ou proteínas atuam como agentes emulsificantes. Para a preparação do gel de emulsão, utiliza-se um polissacarídeo, seguido de homogeneização mecânica ou ultrassônica com magnésio e cálcio para induzir o processo de gelificação, além de géis neutros, ágar e insulina aplicados como polissacarídeos (Koç et al., 2019; Lin et al., 2020). A busca por alimentos mais sustentáveis é uma tendência atual. Emulsões alimentares com proteínas de origem vegetal são uma alternativa interessante para a produção de gel. Leguminosas como feijão, grão-de-bico, soja, lentilha e ervilha são utilizadas para a formação do gel. Duas fases são necessárias para formular o gel: a fase inicial envolve a mistura do óleo e da mistura formadora de gel de emulsão, e a fase final envolve a adição da emulsão por meio de diferentes métodos de gelificação (Ben-Harb et al., 2018; Burger & Zhang, 2019; McClements, 2020).

Considerada um dos métodos mais sensíveis para garantir textura em diversos produtos alimentícios, a técnica de gelificação também é utilizada no encapsulamento de compostos bioativos e na formulação de novos produtos dentro da indústria alimentícia. Propriedades como absorção de água, óleo e ar tornam o gel alimentar uma rede polimérica tridimensional (Cao et al., 2021; Cortez-Trejo et al., 2021). Em reologia, a gelificação é um método que envolve o armazenamento do produto por meio de um sistema viscoelástico onde a capacidade de armazenamento é maior que a capacidade de perda (J.-M. Li & Nie, 2016). Assim, algumas propriedades funcionais também sofrem alterações dependendo do processamento dos ingredientes proteicos presentes na formulação, bem como sua formação de gel e retenção de água (Cortez-Trejo et al., 2021).

Considerando que o perfil atual do consumidor passa por transformações, a indústria alimentícia busca alternativas viáveis, principalmente com proteínas vegetais, para fornecer produtos para todos os públicos (Surya Ulhas et al., 2023). Grupos como veganos e vegetarianos, que consomem pouca ou nenhuma proteína de origem animal em sua dieta, buscam incluir alternativas como feijão, grão-de-bico, lentilha, ervilha, grãos como quinoa, trigo e cevada, além de castanhas e sementes como amêndoas, sementes de abóbora e chia. Com alto valor nutricional e funcional, as proteínas vegetais são polímeros de aminoácidos absorvidos na interface (Kaur et al., 2021; Qin et al., 2022; Zeng et al., 2022). Vistas como uma boa alternativa devido ao seu valor biológico e nutricional, as proteínas vegetais são opções para consumidores com intolerância à lactose e à caseína. Eles são amplamente utilizados para garantir qualidade e textura em produtos de panificação devido à sua capacidade de formar redes de proteínas em massas (Mileti et al., 2022).

O mercado "plant-based" oferece opções mais saudáveis por ter menor alergenicidade e ser mais sustentável em comparação às proteínas de origem animal (Surya Ulhas et al., 2023; Zeng et al., 2022) . O valor nutricional das proteínas vegetais varia significativamente com base na disponibilidade de aminoácidos essenciais, na digestibilidade da proteína e nas propriedades físico-químicas. Sua funcionalidade está diretamente ligada à sua finalidade, aos métodos utilizados no processamento e ao método de extração escolhido. Além de proporcionar benefícios à saúde dos consumidores, como menor consumo de gordura saturada e colesterol presentes nas proteínas de origem animal (Gastaldello et al., 2022; Surya Ulhas et al., 2023) .

Ricas em ácidos graxos essenciais, as castanhas apresentam um atributo nutricional relevante para a saúde humana, com altos teores de vitaminas, minerais, antioxidantes e aminoácidos. O consumo adequado de castanhas em uma dieta balanceada está associado a inúmeros benefícios à saúde, como doenças crônicas não transmissíveis (diabetes, câncer, doenças respiratórias, doenças cardiovasculares) e infecções (Lima et al., 2021) . Segundo Qiang, ao avaliar os efeitos ultrassônicos de proteínas de sementes de *Cyperus Esculents* (nut tiger) com o objetivo de explorar a potência ultrassônica com Microscopia Eletrônica de Varredura. Os resultados obtidos mostraram alguns grupos polares e hidrofóbicos nas proteínas quando expostas após o tratamento, aumentando assim a área de ligação entre as moléculas da proteína e a água, melhorando a solubilidade e a hidrofobicidade na superfície da proteína, potencializando sua capacidade de formar géis (Cui et al., 2021) .

9. Textura

Textura, compreendendo propriedades reológicas e estruturais, bem como características geométricas e de superfície dos alimentos reconhecidas por receptores mecânicos, visuais e auditivos, é a característica mais crucial do paladar. A textura surge quando o alimento sofre mudanças mecânicas, como cortes, mordidas ou compressão. É sob essas condições que atributos como crocância, resistência, fibrosidade, aspereza, coesão e granularidade podem ser avaliadas. Propriedades de textura são divididas em três classes: geométrica, mecânica e consistência (Duan et al., 2014) .

Definida como a sensação primária para alimentos, a textura pode ser mascarada pelo gosto e pelo sabor. Naturalmente, os indivíduos exibem seletividade alimentar textural única e preferências por gostos e sabores, influenciando não apenas o consumo, mas também a aversão a certos alimentos (Cappellotto & Olsen, 2021; Prescott et al., 2022) . Instrumentos de

teste textural são considerados ferramentas que detectam e quantificam parâmetros de percepção física e sensorial, incluindo mastigabilidade, derivação da estrutura alimentar e a detecção de sentidos como tato e pressão (Gokul Nath et al., 2023) .

Como uma propriedade sensorial ligada ao conteúdo nutricional, cor e sabor, a textura afeta diretamente a aceitabilidade dos alimentos. Relacionada ao conteúdo do alimento e sua formação macro e microscópica, a textura é fundamental para a segurança e qualidade dos alimentos. Tratamentos térmicos e métodos de processamento impactam as propriedades da textura. Combinações com alta pressão e diferentes tratamentos de temperatura são usadas para alcançar efeitos positivos na textura, cor e sabor em um alimento específico. Além disso, alimentos expostos à pressão, quando comparados aos processados com calor, apresentam melhorias nas propriedades texturais e de cor (Gokul Nath et al., 2023) .

Com o crescimento populacional excessivo, a substituição de proteína animal por alternativas vegetais se torna cada vez mais necessária e ganha força no cenário atual de consumo. Impactos ambientais negativos, como a liberação de altos níveis de dióxido de carbono da produção de proteína animal e a associação do consumo excessivo de carne vermelha com o desenvolvimento de vários problemas de saúde humana, são fatores significativos que impulsionam essa substituição (Baune et al., 2021) .

Para avaliar o teste de corte diretamente ligado à textura de um alimento, Lima et al. (2021) compararam barras nutritivas feitas de castanha-do-pará e amêndoas de Baru. Eles descobriram que a barra de Baru foi considerada mais dura que a barra de castanha-do-pará. No entanto, ao avaliar a força, os resultados foram inversamente proporcionais, com as barras de Baru apresentando valores menores em comparação à barra de castanha-do-pará. Esse maior valor de firmeza está ligado ao teor de proteína, fator determinante para uma rede de gel mais forte que torna o produto mais firme. As amêndoas de Baru apresentam maior teor de proteína, com a amêndoa de Baru com 24,27g e a castanha-do-pará com 17,92g. Isso ocorre porque maior teor de proteína leva a mais interações entre moléculas e à formação de agregados (Cubides et al., 2019) .

10. Alergenicidade

A alergia alimentar descreve efeitos adversos à saúde envolvendo mecanismos imunológicos (reações alérgicas) que podem ser induzidos em indivíduos sensibilizados após exposição a alérgenos alimentares relevantes. A alergia alimentar é um problema de saúde signi-

ficativo, com estimativas de prevalência na Europa geralmente variando entre 0,1–3,2% em adultos e 0,1–5,7% em crianças (Dreskin et al., 2021) .

Nos últimos dez anos, houve uma crescente preferência do consumidor por alimentos de origem vegetal, motivada por preocupações com a sustentabilidade ambiental. No entanto, essa mudança para alimentos veganos não é isenta de desafios. Alguns produtos vegetais enfrentam a desvantagem de conter fatores antinutricionais e componentes alergênicos, destacando a necessidade contínua de pesquisa e desenvolvimento para criar opções veganas mais saudáveis e seguras. O aumento das alergias alimentares impulsionou a busca por soluções inovadoras, com métodos avançados de processamento mantendo a promessa de produtos alimentícios seguros para pessoas com alergias, representando um avanço crucial na indústria alimentícia (Borres et al., 2022) .

Borres e colegas (2022) relataram em seu estudo que a maioria das proteínas envolvidas em alergias a nozes pertencem a famílias de proteínas com diferentes funções biológicas. O diagnóstico resolvido por componentes (CRD) tem o potencial de melhorar a precisão do diagnóstico específico de alergia a nozes medindo s- IgE para proteínas como um complemento para s- IgE para alérgenos inteiros.

As nozes são alérgenos alimentares potentes, levando a reações alérgicas graves mediadas por IgE, com uma prevalência global de até 4,9%. Apesar de seu valor nutricional, as nozes são alérgenos comuns que provocam reações graves em indivíduos sensíveis. Sua prevalência global ressalta a necessidade de conscientização e gerenciamento adequado de alergias alimentares (Al Dhaheri et al., 2013) .

A alergia alimentar é uma preocupação crescente em todo o mundo, impactando a saúde de indivíduos com alergias. Estratégias de gerenciamento de risco são cruciais, e pesquisas recentes sobre alérgenos alimentares têm visto um progresso significativo, resultando em métodos de processamento inovadores. Essas inovações visam reduzir o potencial alergênico dos alimentos. Embora essas tecnologias ainda estejam em desenvolvimento, elas mostram grande promessa. A indústria alimentícia está utilizando ativamente essas descobertas para criar produtos hipoalergênicos ou não alergênicos para atender às necessidades de consumidores alérgicos (Monaci et al., 2023) .

Alves et al. (2019) relataram em seu estudo que a alergia à castanha de caju é considerada a segunda alergia a castanhas mais relatada nos Estados Unidos, frequentemente causando reações graves. Embora seja reconhecido como um forte alérgeno, atualmente não há um método amplamente aceito e eficaz para diminuir sua alergenicidade. Maloney e colegas estudaram indivíduos nos EUA com suspeita de alergia a amendoim, nozes e/ou sementes de

gergelim, observando taxas variáveis de alergia a nozes em indivíduos com alergia a amendoim. Andorf et al. descreveram crianças com alergia confirmada a amendoim, observando taxas variáveis de alergias confirmadas a diferentes tipos de nozes.

11. Toxicidade

A aflatoxina é um metabólito secundário produzido por fungos, com espécies como *Aspergillus flavus* e *A. parasiticus* descritas como as produtoras de toxinas mais agressivas. No entanto, sabe-se que outros representantes do gênero, como *A. nomius*, também produzem aflatoxina (fungos toxigênicos). As aflatoxinas, produzidas por *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus*, são toxinas cancerígenas encontradas em nozes, amendoins, pistaches e figos secos. Essas substâncias nocivas são notáveis por sua resiliência, permitindo que se desenvolvam em vários substratos, mesmo sob condições adversas de armazenamento. A aflatoxina B1, uma das aflatoxinas, é reconhecida como a mais tóxica e cancerígena. Devido a esse perigo, a concentração de aflatoxinas em nozes é estritamente regulamentada em vários países ao redor do mundo, desde sua separação, armazenamento e distribuição (Kluczkowski & Martins, 2016). Esses metabólitos secundários são produzidos por fungos no campo ou durante o armazenamento (dependendo das condições ambientais ou do substrato), representando riscos à saúde de humanos e animais. Como um país de clima predominantemente tropical, o Brasil tem todas as condições que levam à contaminação de alimentos por aflatoxina, que tem sido frequentemente observada em altos níveis, especialmente em amendoim e outras nozes e sementes (KLUCZKOVSKI, 2016).

12. Aplicação de proteínas de nozes em alimentos

A incorporação de ingredientes em produtos alimentícios desempenha um papel crucial na indústria, abrangendo vários setores, como laticínios, óleos vegetais, bolos e barras de proteína. Apesar da prevalência passada de proteínas derivadas de animais, as proteínas vegetais agora desempenham um papel significativo na dieta global. Elas não apenas fornecem nutrientes essenciais, mas também atendem às demandas da indústria alimentícia e de consumidores específicos, como veganos e vegetarianos.

13. Extrudado

Açkar e colegas (2023) enfatizam o papel fundamental da extrusão no processamento industrial de matérias-primas sólidas, combinando várias operações em um único dispositivo chamado extrusora. Na indústria alimentícia, esse método oferece vantagens significativas tanto operacional quanto tecnologicamente, levando à sua crescente adoção. A tecnologia de extrusão é intensamente pesquisada em termos de propriedades de texturização, características nutricionais e sustentabilidade de produtos extrudados. No entanto, a maioria das pesquisas se concentra nos parâmetros de produtos intermediários, assumindo seu consumo na forma pura. Embora alguns estudos abordem propriedades nutricionais e sustentabilidade, eles frequentemente negligenciam aspectos de textura e processamento.

Cheng e colegas (2020) A técnica de extrusão é amplamente empregada na fabricação de vários produtos, incluindo cereais matinais, lanches e guloseimas salgadas variadas, usando fubá, arroz, farinha de trigo ou batatas, resultando em diferentes formas e texturas. Embora seja uma prática comum, a aplicação da extrusão em farinha de leguminosas é uma área de pesquisa emergente, exceto no caso da soja. No entanto, muitos lanches à base de milho disponíveis no mercado atual contêm altos níveis de sódio e gordura saturada, o que pode ser preocupante para a saúde. No entanto, o amido é frequentemente usado em produtos extrudados devido à sua capacidade de expansão. No entanto, quando usado como ingrediente principal, resulta em produtos com valor nutricional reduzido.

A extrusão surgiu como uma estratégia promissora na busca pelo desenvolvimento de produtos à base de proteína de nozes que imitam com sucesso a textura da carne animal. Esse processo de fabricação permite a reestruturação das proteínas de nozes, resultando em produtos finais que não só oferecem benefícios nutricionais significativos, mas também se assemelham à carne convencional em termos de textura, mastigabilidade e suculência (Rehrah et al., 2009) .

14. Bebidas vegetais

Bebidas nutricionais derivadas de extratos vegetais de oleaginosas, cereais e leguminosas são uma alternativa viável devido aos baixos custos de produção e diversidade, incluindo opções como soja, arroz, coco, "leite" de amêndoa, entre outros. Nos últimos anos, indivíduos com restrições alimentares específicas tornaram-se mais prevalentes, contribuindo para a inovação na indústria alimentícia. Comumente responsáveis pela maioria das alergias alimentares são leite, peixe, marisco, soja, ovos, trigo, amendoim e nozes. Entre as várias reações ao

consumo desses alimentos, a intolerância requer a exclusão do produto da dieta, necessitando do uso de um "substituto" de uma fonte nutricionalmente sólida, fornecendo as quantidades necessárias para todos com possível suplementação (Drunkler et al., 2010) .

Como resultado, a indústria alimentícia abrange várias funções, levando ao desenvolvimento de substitutos para promover a aceitabilidade de fontes alimentares alternativas à proteína animal, como bebidas, bolos, óleos, entre outros. Bebidas à base de plantas, feitas de proteínas vegetais e similares, são amplamente discutidas. Uma bebida popular à base de plantas é o leite de amêndoa, que tem alto teor de proteína e a vantagem, associada ao leite de vaca, de permanecer fresco por mais tempo. Outra bebida relevante é o leite de coco, obtido pela filtragem da polpa de coco moída, considerada uma excelente fonte calórica devido ao seu alto teor de ácidos graxos que fortalecem o sistema imunológico para controlar vírus e bactérias (Fuentes Cuiñas, 2019) .

Como um produto de valor agregado, as bebidas vegetais e seus derivados fazem parte de um espaço de mercado limitado, com altos custos e, muitas vezes, baixa disponibilidade. A indústria está refinando técnicas para atrair mais consumidores e atender à demanda daqueles com alergias ou intolerância ao leite animal ou mesmo veganos. O mercado é promissor porque oferece uma alternativa de consumo saudável com propriedades funcionais (Fuentes Cuiñas, 2019) . A Tabela 4 exemplifica algumas bebidas proteicas vegetais.

Tabela 4. Exemplos de proteína de nozes em bebidas vegetais.

Produto	Ingrediente	Referência
Bebida simbiótica à base de amêndoa de baru	Água, amêndoas de baru, probióticos e açúcar	(Costa Fernandes et al., 2021)
Bebida de castanha do Brasil e amêndoa de Baru	Água, castanha do Brasil, amêndoa de baru, açúcar cristal, CMC, ácido cítrico, sorbato de potássio e benzoato de sódio	(Silva et al., 2020)
Bebida fermentada feita de castanha de caju	Água, castanha de caju, açúcar e probióticos	(Bruno et al., 2020)
Sapucaia à base de amêndoa bebida	Bolo de amêndoas com água e sapucaia	(Demoliner et al., 2020)
Bebida prebiótica à base de castanha de caju e suco de abacaxi	Água, castanha de caju, suco concentrado de abacaxi, açúcar e probiótico	(MC Rebouças et al., 2018)
Bebida prebiótica à base de castanha de caju e sumo de manga	Água, castanha de caju, suco de manga, açúcar e probióticos	(M. Rebouças et al., 2016)
Bebida de castanha de caju e alfarroba	Água, castanha de caju, açúcar, k- caragenase, cacau em pó e alfarroba em pó	(Morais & Rodrigues, 2016)

15. Emulsões de íons

Embora tenha havido um progresso considerável na pesquisa das propriedades tecnológicas e aplicações de proteínas vegetais, ainda há uma lacuna na literatura científica em relação à exploração de proteínas de sementes oleaginosas, como nozes, para uso em formulações de alimentos (Meganaharshini et al., 2023) . Neste contexto, destacamos algumas das aplicações, focando principalmente na capacidade dessas proteínas de atuar como estabilizadores eficientes em emulsões (Nie et al., 2022) .

Em emulsões Pickering criadas com nanopartículas de isolado de proteína de amendoim (PPI) por meio de agregação térmica e indução induzida por Na⁺, um aumento na concentração de nanopartículas resultou em gotículas de emulsão ligeiramente menores e maior estabilidade contra coalescência e cremosidade (Ning et al., 2020) . Além disso, as interações entre nanocristais de celulose e proteína de amendoim desempenham um papel crucial na regulação das propriedades interfaciais das emulsões Pickering, resultando em estabilidade de longo prazo e propriedades reológicas atraentes para várias aplicações em formulações de alimentos (Ni et al., 2023) .

A adição de 4 a 8% de proteína de amendoim em emulsão de óleo de peixe (FO) e incorporação em gel de surimi mostrou melhorias significativas na dureza, adesividade e mastigabilidade em comparação ao grupo controle que continha FO diretamente no gel. A análise microestrutural revelou que a emulsão com proteína de amendoim preencheu uniformemente os espaços vazios na matriz do gel, formando uma estrutura de rede mais firme, apresentando uma alternativa sustentável para substituir a gordura em produtos alimentícios (Yu et al., 2022) .

Outra aplicação interessante das proteínas de nozes é sua capacidade de formar emulsões para transportar compostos hidrofóbicos, incorporando efetivamente substâncias como antioxidantes, vitaminas lipossolúveis e outros nutrientes em sistemas alimentícios e farmacêuticos. Essa técnica pode levar ao aumento da biodisponibilidade e bioacessibilidade dessas substâncias, fornecendo proteção eficaz para compostos sensíveis à oxidação, melhorando sua solubilidade e, conseqüentemente, aumentando sua absorção no corpo (Ning et al., 2019) .

16. Outras aplicações

Uma aplicação pouco explorada envolve a reutilização de biorresíduos ricos em proteínas derivados de grandes indústrias de processamento de óleo de noz. Esses resíduos exibem alto teor de proteína, carboidrato e fibra, oferecendo potencial para produzir peptídeos bioativos, isolados de proteína, ingredientes para preparações ricas em proteína, entre outros usos (Houmy et al., 2020; Souza et al., 2019). Bebidas funcionais contendo 2% e 4% de farinha de avelã (FAM) apresentaram maior aceitação sensorial em comparação a uma bebida comercial de referência. Com um teor proteico de aproximadamente 80% e concentrações significativas de aminoácidos essenciais e de cadeia ramificada, os resultados sugerem que a farinha de avelã obtida de resíduos industriais pode emergir como uma fonte proteica promissora para alimentos funcionais, fornecendo uma alternativa sustentável e economicamente viável às fontes proteicas tradicionais (Sen & Kahveci, 2020).

Proteínas de nozes, como amendoim, amêndoas e outras variedades, surgiram como fontes alternativas de proteína vegetal, oferecendo uma gama de benefícios nutricionais e sensoriais. A aplicação do isolado de proteína de amendoim (PPI) foi testada na preparação de almôndegas de porco, que apresentaram maior aceitação em termos de cor, textura e aceitabilidade geral em comparação às almôndegas de controle. Isso indica que o PPI tem potencial na produção de almôndegas de porco (Wang et al., 2023).

17. Digestibilidade de proteínas

O valor nutricional das nozes está inerentemente ligado à sua composição rica em proteínas, abrangendo vários tipos, como albumina, globulina, prolamina, glutenina e escleroproteína. Essas proteínas se destacam por sua alta digestibilidade e solubilidade em diferentes solventes, conferindo às nozes qualidade nutricional superior em comparação a outras fontes de proteína vegetal (De Oliveira Sousa et al., 2011; Liu et al., 2018). Vale ressaltar que o teor e a composição proteica podem variar dependendo da espécie, variedade e método de processamento das nozes (**Tabela 2**).

A digestibilidade, biodisponibilidade e bioacessibilidade de proteínas de nozes têm atraído considerável atenção em pesquisas científicas devido ao seu potencial impacto na nutrição humana. Digestibilidade se refere à capacidade do corpo de quebrar e absorver proteínas dos alimentos, enquanto a biodisponibilidade se concentra na disponibilidade real de proteínas para uso pelo corpo. Bioacessibilidade, por sua vez, está relacionada à capacidade das

proteínas de se liberarem de suas matrizes alimentares e estarem prontamente disponíveis para absorção.

A digestão de proteínas é um processo complexo que se desenvolve em vários estágios, começando com a mastigação, envolvendo ação enzimática, variações de pH, geralmente culminando na quebra de proteínas em fragmentos menores chamados peptídeos. Ao longo do processo, especialmente no intestino, a microbiota intestinal desempenha um papel crucial, auxiliando na degradação posterior de peptídeos e na absorção final de aminoácidos. Os peptídeos formados durante a digestão têm sido objeto de estudos e pesquisas sobre seus potenciais benefícios terapêuticos e nutricionais. Eles são geralmente denominados peptídeos bioativos quando apresentam efeitos benéficos à saúde, como regulação de processos fisiológicos, promoção de funções antioxidantes, anti-hipertensivas, anti-inflamatórias, entre outros. A digestão da farinha de castanha de caju desengordurada resultou em uma fração solúvel rica em peptídeos que demonstrou uma capacidade antioxidante aumentada durante o processo digestivo. Além disso, essa fração proteica protegeu o DNA de danos oxidativos e exibiu potenciais efeitos prebióticos para *Bifidobacterium lactis* (Sisconeto Bisinotto et al., 2021) .

Embora as proteínas de nozes sejam frequentemente associadas a reações alérgicas, é relevante destacar que nozes cruas têm um conteúdo substancial de proteína bruta. Por exemplo, o conteúdo de proteína do amendoim pode chegar a cerca de 30%, e há até 18 tipos de aminoácidos, incluindo todos os oito essenciais (isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina), exceto asparagina e glutamina (Liu et al., 2018) . Treze aminoácidos livres foram identificados em uma mistura de nozes, incluindo castanhas de caju e pistaches, dos quais seis são considerados aminoácidos essenciais, seis são aminoácidos não essenciais e um é classificado como um aminoácido semiessencial. O conteúdo total de aminoácidos nas amostras de nozes variou na seguinte ordem: pistache ($1469,06 \pm 43,56 \mu\text{g.g}^{-1}$), mistura de nozes ($1002,46 \pm 11,34 \mu\text{g.g}^{-1}$), noz ($848,06 \pm 3,66 \mu\text{g.g}^{-1}$) e castanha de caju ($790,23 \pm 2,60 \mu\text{g.g}^{-1}$). Em comparação com nozes individuais, a bioacessibilidade dos aminoácidos no grupo da mistura aumentou significativamente após a digestão in vitro, particularmente para Gly (2,43-7,04 vezes), Lys (2,02-4,30 vezes), Arg (1,38-1,90 vezes) e Leu (1,45-1,75 vezes). No mesmo estudo, foi observado um aumento significativo nas concentrações de Ala, Thr, Lys e Leu no intestino delgado de ratos em resposta à dieta mista. Os autores destacaram que essas concentrações de aminoácidos em tecidos de camundongos estavam correlacionadas com um aumento na digestibilidade simulada de proteínas. Devido à maior digestibilidade de proteínas no grupo misto, também houve uma melhoria na absorção de moléculas menores, como aminoácidos e ácidos graxos, nos tecidos (Jian et al., 2023) . No geral,

estudos demonstraram que a digestão de proteínas encontradas em nozes resulta em uma capacidade antioxidante aumentada devido ao aumento no conteúdo de aminoácidos bioativos. Isso sugere que o consumo de nozes pode contribuir não apenas para proteínas de alta qualidade, mas também para potenciais benefícios antioxidantes (Hernández-Olivas et al., 2022; Sisconeto Bisinotto et al., 2021) .

18. Conclusões

Concluindo, a revisão ressalta o potencial das proteínas de nozes como contribuintes valiosos para o cenário em evolução de opções alimentares sustentáveis e baseadas em plantas. A riqueza nutricional, a versatilidade funcional e as aplicações tecnológicas discutidas nesta revisão posicionam as proteínas de nozes como participantes-chave no atendimento à demanda por fontes alternativas de proteína. A ênfase na complementação de aminoácidos e a exploração de várias nozes oferecem uma abordagem abrangente para aproveitar todo o potencial nutricional dessas proteínas. À medida que a indústria alimentícia continua a inovar, a incorporação de proteínas de nozes não apenas se alinha com as tendências alimentares atuais, mas também promove escolhas ambientalmente conscientes. Pesquisas e desenvolvimentos futuros neste campo apresentam perspectivas promissoras para a criação de produtos alimentícios mais saudáveis, sustentáveis e palatáveis, atendendo às diversas necessidades dos consumidores em todo o mundo.

REFERÊNCIAS

- Aamir, M., Afzaal, M., Saeed, F., Afzal, A., Shah, YA, Tariq, I., Usman, I., Nouman, M., & Nayik, GA (2023). Efeito do sinergismo da sonicação e micro-ondas nos processos de fermentação e emulsificação. Em *Ultrassom e micro-ondas para processamento de alimentos* (pp. 497–535). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95991-9.00004-7>
- Ačkar, Đ., Babić, J., Jozinović, A., Miličević, B., Lončarić, A., & Šubarić, D. (2023). Tecnologias de cozimento por extrusão e salgadinhos. No *Manual ICC de Ciência e Tecnologia de Cereais do Século 21* (pp. 319–325). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95295-8.00017-4>
- Acosta-Domínguez, L., Cocotle-Ronzón, Y., Alamilla-Beltrán, L., & Hernandez-Martinez, E. (2021). Efeito de um tratamento criogênico na microestrutura, propriedades funcionais e de fluxo do isolado proteico de soja. *Food Hydrocolloids* , 119 , 106871. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106871>

- Al Dhaheri, W., Diksic, D., & Ben-Shoshan, M. (2013). Alergia ao leite de vaca mediada por IgE e cólica infantil: Desafios de diagnóstico e tratamento. *Case Reports* , 2013 (fev06 1), bcr2012007182–bcr2012007182. <https://doi.org/10.1136/bcr-2012-007182>
- Alasalvar, C., & Shahidi, F. (Eds.). (2008). *Nozes de árvore* (0 ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420019391>
- Alting, AC, De Jongh, HHJ, Visschers, RW, & Simons, J.-WFA (2002). Interações físicas e químicas na gelificação a frio de proteínas alimentares. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* , 50 (16), 4682–4689. <https://doi.org/10.1021/jf011657m>
- Alves Filho, EG, Silva, LMA, Oiram Filho, F., Rodrigues, S., Fernandes, FAN, Gallão, MI, Mattison, CP, & De Brito, ES (2019). Efeito do processamento de plasma a frio na composição e alergenicidade da castanha de caju. *Food Research International* , 125 , 108621. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108621>
- Alves-Santos, AM, Fernandes, DC, & Naves, MMV (2021). Fruto de baru (*Dipteryx alata* Vog.) como opção de castanha e polpa com propriedades nutricionais e funcionais vantajosas: Uma revisão abrangente. *NFS Journal* , 24 , 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2021.07.001>
- Andlinger, DJ, Schrepel, U., Hengst, C., & Kulozik, U. (2022). Cinética de agregação induzida por calor de proteína de batata – Investigada por cromatografia, calorimetria e espalhamento de luz. *Food Chemistry* , 389 , 133114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133114>
- Andreani, G., Sogari, G., Marti, A., Frolidi, F., Dagevos, H., & Martini, D. (2023). Alternativas à carne à base de plantas: desafios e oportunidades tecnológicas, nutricionais, ambientais, de mercado e sociais. *Nutrientes* , 15 (2), 452. <https://doi.org/10.3390/nu15020452>
- Balakrishna, R., Bjørnerud, T., Bemanian, M., Aune, D., & Fadnes, LT (2022). Consumo de nozes e sementes e resultados de saúde, incluindo doenças cardiovasculares, diabetes e doen-

- ças metabólicas, câncer e mortalidade: uma revisão abrangente. *Advances in Nutrition* , 13 (6), 2136–2148. <https://doi.org/10.1093/advances/nmac077>
- Baune, M.-C., Jeske, A.-L., Profeta, A., Smetana, S., Broucke, K., Van Royen, G., Gibis, M., Weiss, J., & Terjung, N. (2021). Efeito de extrudados de proteína vegetal em almôndegas híbridas – Mudanças na composição nutricional e sustentabilidade. *Future Foods* , 4 , 100081. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100081>
- Benelhadj, S., Gharsallaoui, A., Degraeve, P., Attia, H., & Ghorbel, D. (2016). Efeito do pH nas propriedades funcionais do isolado proteico de *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis*. *Food Chemistry* , 194 , 1056–1063. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.133>
- Ben-Harb, S., Panouillé, M., Huc-Mathis, D., Moulin, G., Saint-Eve, A., Irlinger, F., Bonnarne, P., Michon, C., & Souchon, I. (2018). As propriedades reológicas e microestruturais de ervilha, leite, géis mistos de ervilha/leite e emulsões gelificadas projetadas por tratamentos térmicos, ácidos e enzimáticos. *Food Hydrocolloids* , 77 , 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.022>
- Borres, MP, Sato, S., & Ebisawa, M. (2022). Avanços recentes no diagnóstico e tratamento de alergias a nozes com foco em avelãs, nozes e castanhas de caju. *World Allergy Organization Journal* , 15 (4), 100641. <https://doi.org/10.1016/j.waojou.2022.100641>
- Brufau, G., Boatella, J., & Rafecas, M. (2006). Nozes: Fonte de energia e macronutrientes. *British Journal of Nutrition* , 96 (S2), S24–S28. <https://doi.org/10.1017/BJN20061860>
- Bruno, LM, Lima, JR, Wurlitzer, NJ, & Rodrigues, TC (2020). Leite de castanha de caju não lácteo como matriz para fornecimento de bactérias probióticas. *Food Science and Technology* , 40 (3), 604–607. <https://doi.org/10.1590/fst.14219>
- Burger, TG, & Zhang, Y. (2019). Progresso recente na utilização de proteína de ervilha como emulsificante para aplicações alimentícias. *Trends in Food Science & Technology* , 86 , 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.007>

- Cao, C., Feng, Y., Kong, B., Xia, X., Liu, M., Chen, J., Zhang, F., & Liu, Q. (2021). Propriedades texturais e de gel de salsichas influenciadas por vários métodos de incorporação de κ -carragenina. *Meat Science* , 176 , 108483. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108483>
- Cappellotto, M., & Olsen, A. (2021). Aceitação da textura dos alimentos, sensibilidade sensorial e neofobia alimentar em crianças e seus pais. *Foods* , 10 (10), 2327. <https://doi.org/10.3390/foods10102327>
- Carvalho, ALS, Martelli, MC, Nascimento, SCC, & Brasil, DDSB (2022). Óleo de Castanha-do-Brasil: Métodos de Decapagem e Aplicações na Indústria. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento* , 11 (4), e29511427256. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27256>
- Chang, SK, Alasalvar, C., Bolling, BW, & Shahidi, F. (2016). Nozes e seus coprodutos: O impacto do processamento (torrefação) em fenólicos, biodisponibilidade e benefícios à saúde – Uma revisão abrangente. *Revista de Alimentos Funcionais* , 26 , 88–122. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.06.029>
- Chen, H., Qiu, S., Gan, J., Liu, Y., Zhu, Q., & Yin, L. (2016). Novos insights sobre a funcionalidade da proteína para as propriedades emulsificantes da pectina da beterraba. *Food Hydrocolloids* , 57 , 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.02.005>
- Cheng, W., Gao, L., Wu, D., Gao, C., Meng, L., Feng, X., & Tang, X. (2020). Efeito da tecnologia de cozimento por extrusão melhorada na estrutura, características físico-químicas e nutricionais da farinha de trigo sarraceno fisicamente modificada: seu uso potencial como ingredientes alimentares. *LWT* , 133 , 109872. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109872>
- Coimbra, MC, & Jorge, N. (2011). Composição centesimal dos frutos das palmeiras guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) e macaúba (*Acrocomia aculeata*). *Pesquisa Alimentar Internacional* , 44 (7), 2139–2142. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.032>

- Comak Gocer, EM, & Koptagel, E. (2023). Produção e avaliação de características microbio-lógicas e reológicas de bebidas de kefir feitas de nozes. *Food Bioscience* , 52 , 102367. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102367>
- Cortez-Trejo, MC, Gaytán-Martínez, M., Reyes-Vega, ML, & Mendoza, S. (2021). Géis à base de goma proteica: Efeito da adição de goma na microestrutura, propriedades reológicas e capacidade de retenção de água. *Trends in Food Science & Technology* , 116 , 303–317. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.030>
- Costa Fernandes, AB, Marcolino, VA, Silva, C., Barão, CE, & Pimentel, TC (2021). Bebidas fermentadas potencialmente simbióticas processadas com extrato hidrossolúvel de amêndoa de Baru. *Food Bioscience* , 42 , 101200. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101200>
- Cubides, YTP, Eklund, PR, & Foegeding, EA (2019). Caseína como um modificador do gel de proteína isolada do soro de leite: textura sensorial e propriedades reológicas. *Journal of Food Science* , 84 (12), 3399–3410. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14933>
- Cui, Q., Wang, L., Wang, G., Zhang, A., Wang, X., & Jiang, L. (2021). Efeitos da ultrassoni-cação nas propriedades físico-químicas e emulsificantes das proteínas da semente de *Cyperus esculentus* (noz de tigre). *LWT* , 142 , 110979. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110979>
- Damodaran, S., & Paraf, A. (2017). *Proteínas alimentares e suas aplicações* (1ª ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203755617>
- Damodaran, S. e Parkin, KL (2017). *Química Alimentar de Fennema* (Quinto). Imprensa CRC. <https://doi.org/10.1201/9781315372914>
- Day, L. (2013). Proteínas de plantas terrestres – Recursos potenciais para nutrição humana e segurança alimentar. *Tendências em Ciência e Tecnologia de Alimentos* , 32 (1), 25–42. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.005>
- De Oliveira Sousa, AG, Fernandes, DC, Alves, AM, De Freitas, JB, & Naves, MMV (2011). Qualidade nutricional e valor proteico de amêndoas e castanhas exóticas do Cerrado brasileiro

em comparação ao amendoim. *Food Research International* , 44 (7), 2319–2325.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.013>

Demoliner, F., De Carvalho, LT, De Liz, GR, Prudêncio, ES, Ramos, JC, Bascuñan, VLAF, Vitali, L., & Block, JM (2020). Melhorando os compostos nutricionais e fitoquímicos de um leite vegetal de torta de nozes de sapucaia usando concentração de congelamento em bloco.

International Journal of Food Science & Technology , 55 (8), 3031–3042.

<https://doi.org/10.1111/ijfs.14568>

Devnani, B., Ong, L., Kentish, S., & Gras, SL (2021). Estrutura e funcionalidade de proteínas de amêndoa em função do pH. *Food Structure* , 30 , 100229.

<https://doi.org/10.1016/j.foostr.2021.100229>

Ding, M., Zhang, T., Zhang, H., Tao, N., Wang, X., & Zhong, J. (2020). Estruturas moleculares de gelatina afetam comportamentos de emulsões tradicionais e Pickering carregadas com óleo de peixe. *Food Chemistry* , 309 , 125642.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125642>

Dreskin, SC, Koppelman, SJ, Andorf, S., Nadeau, KC, Kalra, A., Braun, W., Negi, SS, Chen, X., & Schein, CH (2021). A importância das albuminas 2S para alergenicidade e reatividade cruzada de amendoim, nozes e sementes de gergelim. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* , 147 (4), 1154–1163. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2020.11.004>

Drunkler, DA, Fariña, LO de, & Kaskantzis Neto, G. (2010). ALERGIA AO LEITE DE VACA E POSSÍVEIS SUBSTITUTOS DIETÉTICOS. *Revista Do Insituto de Latício Cândido Tostes* , 65 (374), 3–16.

Drusch, S., Klost, M., & Kieserling, H. (2021). O conhecimento atual sobre o comportamento interfacial limita nossa compreensão da funcionalidade da proteína vegetal em emulsões. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* , 56 , 101503. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2021.101503>

- Duan, H., Gu, S., Zhao, L., & Lu, D. (2014). Estabelecimento da Escala de Referência Padrão de Fraturabilidade por Análise Instrumental e Sensorial de Alimentos Chineses. *JOURNAL of Texture Studies* , 45 (2), 148–154. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12059>
- Eltayeb, ARSM, Ali, ali O., Abou-Arab, AA, & Abu-Salem, Ferial. M. (2011). Composição química e propriedades funcionais da farinha e do isolado proteico extraído do amendoim Bambara (*Vigna subterrâneo*). *African Journal of Food Science* , 5 (2), 82–90.
- Farouk Abdel-salam, F., Mohamed Ibrahim, R., & Ik Ali, M. (2022). Formulação e avaliação de barras de proteína de alta energia como suplemento nutricional para atletismo esportivo. *American Journal of Food Science and Technology* , 10 (1), 53–65. <https://doi.org/10.12691/ajfst-10-1-8>
- Fedalto, MB, Stofella, NCF, Gomes, DL, Maas, NC, Munoz, MM, Silva, MS, Florentino, I., & Balbi, ME (2019). COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E NUTRICIONAL DA MACADÂMIA (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betch) E ANÁLISE DO SEU PERFIL LIPÍDICO RELACIONADO À TERAPÊUTICA. *Visão Acadêmica* , 19 (4). <https://doi.org/10.5380/acd.v19i4.65464>
- Ferreira, LS, Brito-Oliveira, TC, & Pinho, SC (2022). Géis preenchidos com emulsão de isolado proteico de soja para veiculação de vitamina D3: Efeito da solubilidade proteica em suas características mecânicas e reológicas. *Food Bioscience* , 45 , 101455. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101455>
- Freitas, JB e Naves, MMV (2010). Composição química de nozes e sementes comestíveis e sua relação com a nutrição e saúde. *Revista de Nutrição* , 23 (2), 269–279. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732010000200010>
- Friedman, M. (1996). Valor nutricional de proteínas de diferentes fontes alimentares. Uma revisão. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* , 44 (1), 6–29. <https://doi.org/10.1021/jf9400167>

- Fuentes Cuiñas, AA (2019). Mudanças no consumo e percepções em torno da alimentação saudável do leite tradicional e bebidas de origem vegetal. *Revista RIVAR* , 6 (17), 1–14. <https://doi.org/10.35588/rivar.v6i17.3910>
- Gastaldello, A., Giampieri, F., De Giuseppe, R., Grosso, G., Baroni, L., & Battino, M. (2022). A ascensão das alternativas à carne processada: Uma revisão narrativa da fabricação, composição, perfil nutricional e efeitos na saúde de novas fontes de proteína e seu lugar em dietas mais saudáveis. *Tendências em Ciência e Tecnologia de Alimentos* , 127 , 263–271. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.07.005>
- Gokul Nath, K., Pandiselvam, R., & Sunil, CK (2023). Processamento de alta pressão: efeito nas propriedades texturais dos alimentos - Uma revisão. *Journal of Food Engineering* , 351 , 111521. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111521>
- Gonçalves, B., Pinto, T., Aires, A., Moraes, MC, Bacelar, E., Anjos, R., Ferreira-Cardoso, J., Oliveira, I., Vilela, A., & Cosme, F. (2023). Composição das nozes e seus potenciais benefícios para a saúde – uma visão geral. *Alimentos* , 12 (5), 942. <https://doi.org/10.3390/foods12050942>
- Gravelle, AJ, & Marangoni, AG (2021). Efeito da arquitetura da matriz no comportamento elástico de um gel de polímero preenchido com emulsão. *Food Hydrocolloids* , 119 , 106875. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106875>
- Gul, O., Gul, LB, Baskıncı, T., Parlak, ME, & Saricaoglu, FT (2023). Influência do pH e da força iônica na reologia interfacial e em massa e nas propriedades tecnofuncionais do isolado proteico de farinha de avelã. *Food Research International* , 169 , 112906. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112906>
- Gul, O., Saricaoglu, FT, & Atalar, I. (2021). Efeito da homogeneização de alta pressão na microestrutura e propriedades reológicas de géis de bebida de avelã de cura a frio induzidos por glucono- δ -lactona. *LWT* , 143 , 111154. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111154>

- Gul, O., Saricaoglu, FT, Mortas, M., Atalar, I., & Yazici, F. (2017). Efeito da homogeneização de alta pressão (HPH) na microestrutura e propriedades reológicas do leite de avelã. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* , 41 , 411–420. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.05.002>
- Hargreaves, SM, Rosenfeld, DL, Moreira, AVB, & Zandonadi, RP (2023). Dietas vegetarianas e baseadas em vegetais: Uma visão geral e definição desses padrões alimentares. *European Journal of Nutrition* , 62 (3), 1109–1121. <https://doi.org/10.1007/s00394-023-03086-z>
- Hernández-Olivas, E., Asensio-Grau, A., Calvo-Lerma, J., García-Hernández, J., Heredia, A., & Andrés, A. (2022). Conteúdo e bioacessibilidade de compostos bioativos com benefícios potenciais para a saúde macular em produtos de chufa. *Food Bioscience* , 49 , 101879. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101879>
- Houmy, N., Melhaoui, R., Belhaj, K., Richel, A., Sindic, M., Hano, C., Kodad, S., Mihamou, A., Addi, M., Abid, M., & Elamrani, A. (2020). Caracterização química da farinha de amêndoa como coproduto da extração mecânica do óleo de amêndoa. *E3S Web of Conferences* , 183 , 04004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018304004>
- Huang, M., Wang, Y., Ahmad, M., Ying, R., Wang, Y., & Tan, C. (2021). Fabricação de emulsões de fase interna alta de pickering estabilizadas por proteína de noz-pecã/goma xantana para maior estabilidade e bioacessibilidade da quercetina. *Food Chemistry* , 357 , 129732. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129732>
- Jian, F., Zhang, Z., Li, D., Luo, F., Wu, Q., Lu, F., Dai, Z., Nie, M., Xu, Y., Feng, L., & Gu, Q. (2023). Avaliação da digestibilidade e atividade antioxidante de proteína e lipídio após mistura de nozes com base em modelos in vitro e in vivo. *Food Chemistry* , 414 , 135706. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135706>

- Jitngarmkusol, S., Hongsuwankul, J., & Tananuwong, K. (2008). Composições químicas, propriedades funcionais e microestrutura de farinhas de macadâmia desengorduradas. *Food Chemistry* , 110 (1), 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.050>
- Kaur, L., Lamsar, H., López, IF, Filippi, M., Ong Shu Min, D., Ah-Sing, K., & Singh, J. (2021). Características físico-químicas e digestão gastrointestinal e do intestino delgado in vitro de proteínas de azevém da Nova Zelândia. *Foods* , 10 (2), 331. <https://doi.org/10.3390/foods10020331>
- Kinsella, JE, Damodaran, S., & German, B. (1985). Propriedades físico-químicas e funcionais de proteínas de sementes oleaginosas com ênfase em proteínas de soja. Em *New Protein Foods* (pp. 107–179). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-054805-7.50012-9>
- Kluczkovski, AM, & Martins, M. (2016). Nozes: Castanhas-do-Pará. Em *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 108–110). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00773-X>
- Koç, H., Drake, M., Vinyard, CJ, Essick, G., Van De Velde, F., & Foegeding, EA (2019). Géis de polissacarídeos preenchidos com emulsão: efeitos de partículas de enchimento nas propriedades do material, processamento oral e textura sensorial. *Food Hydrocolloids* , 94 , 311–325. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.018>
- Kök-Taş, T., Seydim, AC, Özer, B., & Guzel-Seydim, ZB (2013). Efeitos de diferentes parâmetros de fermentação nas características de qualidade do kefir. *Journal of Dairy Science* , 96 (2), 780–789. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5753>
- Kotecka-Majchrzak, K., Sumara, A., Fornal, E., & Montowska, M. (2020). Proteínas de sementes oleaginosas – Propriedades e aplicação como ingrediente alimentar. *Tendências em Ciência e Tecnologia de Alimentos* , 106 , 160–170. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.004>

- Kristo, E., & Corredig, M. (2014). Propriedades funcionais de proteínas alimentares. Em Z. Ustunol (Ed.), *Química de proteínas alimentares aplicada* (1ª ed., pp. 47–73). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118860588.ch5>
- Kumar, M., Tomar, M., Potkule, J., Verma, R., Punia, S., Mahapatra, A., Belwal, T., Dahuja, A., Joshi, S., Berwal, MK, Satankar, V., Bhoite, AG, Amarowicz, R., Kaur, C., & Kennedy, JF (2021). Avanços na extração de proteína vegetal: mecanismo e recomendações. *Food Hydrocolloids* , 115 , 106595. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106595>
- Langendörfer, LJ, Avdylaj, B., Hensel, O., & Diakit , M. (2023). Design de alimentos   base de plantas: influências de macronutrientes e composição de aminoácidos nas propriedades tecnofuncionais de proteínas de leguminosas. *Foods* , 12 (20), 3787. <https://doi.org/10.3390/foods12203787>
- Langton, M., Ehsanzamir, S., Karkehabadi, S., Feng, X., Johansson, M., & Johansson, DP (2020). Gelificação de proteínas de fava — Efeito do método de extração, pH e NaCl. *Food Hydrocolloids* , 103 , 105622. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105622>
- Leal, AR, Dionísio, AP, Abreu, FAPD, Oliveira, GFD, Araújo, IMDS, Magalhães, HCR, Leite, AB, Silva, EKMD, Nascimento, RFD, Nascimento, HOD, & Sousa, PHMD (2023). Impacto de diferentes graus de amêndoa no perfil de compostos voláteis, ácidos graxos e qualidade oxidativa do óleo de castanha de caju. *Food Research International* , 165 , 112526. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112526>
- Lei, Y., Ouyang, H., Peng, W., Yu, X., Jin, L., & Li, S. (2022). Efeito do NaCl nas propriedades reológicas, estruturais e gelificantes de géis compostos de isolado de proteína de noz- -carragenina. *Gels* , 8 (5), 259. <https://doi.org/10.3390/gels8050259>
- Li, J.-M., & Nie, S.-P. (2016). Os aspectos funcionais e nutricionais dos hidrocolóides em alimentos. *Food Hydrocolloids* , 53 , 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.035>

- Li, S., Feng, X., Hao, X., Zhu, Y., Zou, L., Chen, X., & Yao, Y. (2023). Uma revisão abrangente de proteínas de feijão mungo: extração, caracterização, potencial biológico, propriedades tecnofuncionais, modificações e aplicações. *Revisões abrangentes em ciência e segurança alimentar* , 22 (4), 3292–3327. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13183>
- Lima, DS, Egea , MB, Cabassa , IDCC, Almeida, ABD, Sousa, TLD, Lima, TMD, Loss , RA, Volp, ACP, Vasconcelos, LGD, Dall'Oglio , EL, Hernandez, T., & Takeuchi , KP (2021). Qualidade tecnológica e aceitabilidade sensorial de barras nutritivas produzidas com coprodutos de castanha-do-brasil e amêndoa de baru. *LWT* , 137 , 110467. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110467>
- Lin, D., Kelly, AL, Maidannyk, V., & Miao, S. (2020). Efeito das concentrações de alginato, isolado de proteína de soja e óleo de girassol na perda de água, encolhimento, propriedades elásticas e estruturais de esferas de gel de emulsão à base de alginato durante a gelificação. *Food Hydrocolloids* , 108 , 105998. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105998>
- Lingiardi, N., Galante, M., De Sanctis, M., & Spelzini, D. (2022). As proteínas de quinoa são uma alternativa promissora para serem aplicadas em formulações de gel de emulsão à base de plantas? *Food Chemistry* , 394 , 133485. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133485>
- Liu, C., Peng, Q., Zhong, J., Liu, W., Zhong, Y., & Wang, F. (2018). Propriedades moleculares e funcionais de frações de proteína e isolado de castanha de caju (*Anacardium occidentale* L.). *Molecules* , 23 (2), 393. <https://doi.org/10.3390/molecules23020393>
- Loveday, SM (2019). Proteínas alimentares: atributos tecnológicos, nutricionais e de sustentabilidade de proteínas tradicionais e emergentes. *Annual Review of Food Science and Technology* , 10 (1), 311–339. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032818-121128>

CAPITULO 2: Experimental

RESUMO

MATOS, Jéssica da silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2024. **Propriedades Tecnofuncionais do concentrado Proteico de Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*)**. Orientador: Pedro Henrique Campelo Félix. Coorientadores: Evandro Martins e Paulo César Stringheta.

Nos últimos anos, as proteínas vegetais têm ganhado destaque na indústria alimentícia como uma alternativa promissora às proteínas animais. Esse crescimento é impulsionado pela demanda crescente por opções sustentáveis e saudáveis, que estimulam a inovação e o desenvolvimento de novas fontes proteicas. Nesse contexto, a castanha-do-Brasil se destaca devido ao seu significativo potencial proteico. A análise da composição da castanha-do-Brasil revela um alto teor de proteínas: enquanto a matéria-prima contém $20,74 \text{ g} \cdot 100^{-1}$ de proteínas, o concentrado proteico da castanha-do-Brasil (PCCB) alcança $85,42 \text{ g} \cdot 100^{-1}$. Comparado a outras fontes vegetais, o PCCB possui um teor proteico inferior ao da soja (90%), mas superior ao da ervilha (76%). A estrutura secundária das proteínas da castanha-do-Brasil é predominantemente β -folha, e o PCCB mostra uma organização estrutural alinhada com as oleaginosas, em contraste com a flexibilidade das proteínas de soja. A eletroforese revela várias frações proteicas na castanha-do-Brasil, com pesos moleculares entre 14,0 e 66,2 kDa, incluindo possivelmente, globulinas e albuminas. O PCCB tem solubilidade variável com o pH, máxima em pH 9 e mínima em pH 4,5. Sua capacidade de retenção de água é menor que a da soja e da ervilha, mas sua retenção de óleo é superior, tornando-o adequado para emulsões e produtos gordurosos. Embora a formação de espuma e a estabilidade na emulsão sejam menores que nas proteínas de soja e ervilha, o PCCB apresenta boa estabilidade em pH ácido. Esses resultados destacam a castanha-do-Brasil como uma opção valiosa no mercado de proteínas vegetais.

Keywords: Concentrado proteico; propriedades tecnofuncionais; castanha-do-Brasil; proteínas vegetais.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos saudáveis e sustentáveis tem destacado o papel das proteínas vegetais como alternativa às proteínas de origem animal. As proteínas vegetais são cada vez mais reconhecidas por seus benefícios nutricionais e ambientais, além de atenderem à crescente população vegetariana e vegana. Comparadas às proteínas animais, as proteínas vegetais apresentam uma menor pegada ecológica, demandando menos recursos naturais para sua produção. Além disso, possuem propriedades funcionais valiosas para a indústria alimentícia, sendo utilizadas em uma ampla gama de produtos, desde suplementos proteicos até alimentos processados. Entre as principais fontes de proteínas vegetais, destacam-se a soja, a ervilha e outras leguminosas, que são amplamente utilizadas em escala industrial.

Nesse cenário, a castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H, B, K) surge como uma fonte promissora de proteína vegetal. Nativa da região amazônica, a castanha é conhecida por seu elevado valor nutricional, especialmente pelo seu alto teor de selênio e proteínas de alto valor biológico, como metionina e cisteína. Além disso, a castanha-do-Brasil oferece benefícios únicos por ser um produto extrativo sustentável, o que agrega valor ecológico e socioeconômico ao seu cultivo e comercialização. Suas propriedades antioxidantes e seu potencial para prevenir doenças cardiovasculares e outras condições de saúde a tornam um ingrediente atrativo para o desenvolvimento de produtos alimentícios voltados ao bem-estar e à saúde.

O presente trabalho tem como objetivo investigar o potencial das proteínas extraídas da castanha-do-Brasil, comparando suas propriedades funcionais e tecnológicas com outras fontes vegetais, como a soja e a ervilha, amplamente utilizadas pela indústria alimentícia. Serão analisadas as características tecnofuncionais das proteínas concentradas da castanha-do-Brasil, como solubilidade, capacidade de emulsificação e formação de gel, visando explorar novas aplicações industriais. A pesquisa busca contribuir para o desenvolvimento de alternativas proteicas sustentáveis, ampliando as opções de ingredientes vegetais com alto valor nutricional para o mercado de alimentos processados, alinhando-se às tendências globais de saúde e sustentabilidade.

2. OBJETIVO GERAL

Caracterizar as propriedades tecnofuncionais das proteínas concentradas da castanha-do-Brasil, comparando-as com outras fontes vegetais amplamente utilizadas, como soja e ervilha, para avaliar seu potencial de aplicação na indústria alimentícia.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as propriedades tecnofuncionais das proteínas da castanha-do-Brasil, como solubilidade, capacidade de retenção de água e óleo, estabilidade de emulsão, formação e estabilidade de espuma, e capacidade de formação de gel.
- Comparar as propriedades tecnológicas das proteínas da castanha-do-Brasil com proteínas vegetais mais comuns na indústria alimentícia, como as provenientes da soja e da ervilha.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

4. MATERIAIS

A matéria-prima da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K) foram obtidas na cidade de Manaus, Brasil. A proteína isolada de soja (*Glycine max*) e concentrado de ervilha (*Pisum sativum*) foram compradas de uma marca comercial (Growth Supplements). Os experimentos foram realizados no Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos – DTA, do programa de pós-graduação em ciência e tecnologia de alimentos (PPGCTA) da Universidade Federal de Viçosa – UFV.

5. MÉTODOS

6. Composição centesimal

7. Determinação de proteína (método de kjedahl modificado)

Para determinação de proteína total da matéria-prima e da torta desengordurada, expressa em %, foi utilizado o método de Kjeldahl, usando o fator de conversão do nitrogênio total em proteína 5,46 para castanhas. As análises foram realizadas em quadruplicata com 2 brancos. Este método consiste em três etapas onde, inicialmente a amostra passa por um processo de digestão em bloco digestor de proteína à 400°C. Em seguida, procede-se com a destilação, em destilador de proteína. Por fim, foi realizada a titulação, na qual a solução aquosa de ácido clorídrico a 0,1 mol.L⁻¹ é utilizada como titulante. Para o cálculo do teor de nitrogênio total e o teor de proteína total, utilizou-se as equações 1 e 2, respectivamente.

$$\% \text{ Nitrogenio total} = \frac{V_{HCL} \times Fc \times 0,0014 \times 100}{P_a} \quad Eq. 1$$

$$\% \text{ Proteínas} = \% \text{Nitrogenio total} \times F_n \quad Eq. 2$$

Em que:

V_{HCl} é volume, em mL, de ácido clorídrico 0,1 mol.L⁻¹ gastos na titulação; P_a é massa da amostra em gramas, F_n é o fator de conversão de nitrogênio em proteínas e fc é fator de correção da solução do ácido clorídrico.

8. Determinação de lipídios

Para a hidrólise ácida, pesou-se cerca de 0.5 g de castanha triturada e padronizada diretamente em um béquer de 250mL já com alguns cacos de porcelana, adicionou-se 50 mL de solução de ácido clorídrico 4M. O béquer foi coberto com um vidro de relógio e colocado em uma chapa elétrica e aquecido até a ebulição durante 30 minutos. Após a hidrólise, adicionou-se 50 mL de éter de petróleo e após agitação do funil separador a fração superior (extrato etéreo) foi retirada e transferida para frascos *Erlenmeyer*. Repetiu-se o procedimento por mais três vezes e transferiu-se o extrato etéreo para cartuchos de *soxhlet* no extrator do tipo *soxhlet*. Acoplou-se o extrator ao balão de fundo chato, previamente tarado a 105°C e ao sistema de resfriamento. O sistema foi mantido sob aquecimento em chapa elétrica e a extração ocorreu durante 6 horas. Retirou-se o cartucho e destilou-se o éter. Transferiu-se o balão com o resíduo extraído para uma estufa a 105°C, mantendo por cerca de uma hora. Resfriou-se em dessecador até a temperatura ambiente. Pesou-se e repetiu-se as operações de aquecimento por 30 minutos na estufa e resfriamento até peso constante (Adolfo Lutz, 2008). Calculou-se o teor de lipídeos através da equação 3.

$$\% \text{ lipídios} = \frac{100 \times N}{P} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

N = n° de g de lipídeos

P = n° de g de amostra

9. Umidade (perda por dessecação) – secagem direta em estufa a 105° C

A análise do teor de umidade foi realizada de acordo com o método gravimétrico (Adolfo Lutz, 2008). Para essa análise, pesou-se cerca de 3 g da amostra em cápsula de porcelana previamente tarada. O material foi aquecido durante 6 horas em estufa a 105 °C. Após a secagem, as amostras foram resfriadas em dessecador até a temperatura ambiente. Pesou-se e repetiu-se a operação de aquecimento e resfriamento até peso constante (diferença entre a última pesagem e a anterior menor do que 0,001g). O teor de umidade foi calculado pela equação 4.

$$\%umidade = \frac{100 \times N}{P} \quad Eq. 4$$

Em que:

N = n° de g de umidade (perda de massa em g)

P = n° de g de amostra

10. RMF (Resíduo Mineral Fixo)

O resíduo mineral fixo (RMF) conhecido como cinzas foi descrito em %. Foi realizado em quintuplicata, determinado pesando 3g da amostra em cadinho calcinado, previamente seco em mufla a 550°C. Foi resfriado em seguida até temperatura ambiente e pesada a amostra. Posteriormente, foi submetido à incineração, em bico de Bunsen, transformando-o em uma massa de carvão. Em consequente, foi transferido para um forno mufla, a 550°C para destruição da matéria orgânica e obter desta forma, cinzas brancas, conforme metodologia proposta por Horwitz *et al* (2010). O teor de cinzas foi calculado conforme cálculo abaixo:

$$\%cinzas = \frac{\text{peso da cinza} \times 100}{\text{peso da amostra}} \quad Eq. 5$$

11. Carboidratos

A determinação de carboidratos foi feita por diferença de componentes, somando-se as porcentagens obtidas de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos (Moraes, 1987). Sendo assim, temos que a determinação de carboidratos foi determinada pela equação 6.

$$(\%) \text{ carboidratos} = 100 - [(\%) \text{ umidade} + (\%) \text{ cinzas} + (\%) \text{ proteína} + (\%) \text{ lipídeos}] \quad Eq.6$$

12. Extração da proteína concentrada de castanha-do-Brasil

A extração das proteínas foi realizada com base nos autores: Gloria, et al., 2000; Oliveira et al., 2010; Lestari et al., 2010 com algumas modificações. Foram preparadas suspensões de farinha de castanha-do-Brasil em água destilada na proporção de (1:10 m. v⁻¹), após isso, foi batido em liquidificador até obter um líquido hidrossolúvel da castanha e em seguida foi filtrada com auxílio de um pano fino, onde houve a separação das fibras e filtrado. O filtrado segue para ajuste de pH, assim foi adicionado hidróxido de sódio 0,1 mol. L⁻¹ até pH 9 ± 1 para promover maior solubilização das proteínas, sob agitação durante 1 hora. Após

esse feito, o filtrado é centrifugado a 10.000 g durante 20 minutos a 4° C para retirada de amido. O sobrenadante contendo as proteínas solubilizadas foram transferidas para um béquer e o pH ajustado para o ponto de menor solubilidade das proteínas presentes, ou seja, até ocorrerem a precipitação, utilizou-se HCl 0,1 mol. L⁻¹ até pH 4,5. A suspensão resultante foi centrifugada nas mesmas condições da centrifugação anterior. O material precipitado foi considerado o concentrado proteico de castanha-do-Brasil. Os valores de pH que foram utilizados para a extração alcalina e precipitação no ponto isoelétrico, foram escolhidos tendo como base a curva de solubilidade da castanha-do-Brasil. A secagem das suspensões foi realizada por meio de liofilização. A quantificação da concentração de proteínas foi feita pelo método de Kjeldahl.

13. Eletroforese SDS-PAGE

A amostra do PCCB foi inicialmente suspensa em água (1 g.20 mL⁻¹), seguido de ajuste do pH da solução para $9,0 \pm 0,1$ pela adição de NaOH 0,1 N. A amostra foi então centrifugada por 15 min a 14.000 g, e o sobrenadante foi analisado em SDS-PAGE. A análise eletroforética foi realizada misturando os sobrenadantes resultantes com tampão de amostra SDS (62,5 mM Tris-HCl pH 6,8, 2% SDS, 25% glicerol, 0,01% de azul de bromofenol) na proporção de 1:1 em volume. A solução foi finalmente aquecida por 10 min a 95 °C antes de ser carregada para um gel de poliacrilamida 4-15% (30 µg de proteína/poço). A escada de proteína também foi carregada no primeiro poço do gel. A eletroforese foi realizada em tampão de corrida SDS-PAGE 10X (base Tris 250 mM, 1,92 M glicina, 1% SDS, pH 8,3) a 80 mA por 2 h. Após a eletroforese, o gel foi tratado com uma solução de coloração (40% de metanol, 20% de ácido acético e 0,1% de azul de Coomassie R250) durante a noite e descorado por 4 h usando uma solução de 7% de ácido acético e 40% de metanol; conforme metodologia usada por Tabatabaei e colaboradores., 2019.

14. FTIR (Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier)

A análise por espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) das amostras de PCCB, PIS e PCE foram realizadas conforme segue: usando um espectrômetro Agilent Cary 630 de acordo com a metodologia dado por: Batista, et al., 2016, com modificações. Os espectros FTIR foram coletados na faixa de 400 a 4000 cm⁻¹ com uma resolução espectral de 10 cm para obter os valores da estrutura secundária das proteínas, com múltiplas coletas para garantir a precisão de dados. Assim, os espectros foram desembaraçados usando o

aplicativo “Peak Deconvolution” da OriginPRO 2022. Primeiramente, a amostra foi preparada adequadamente dependendo de seu estado físico: a amostra sólida foi moída e misturada com KBr (Brometo de potássio) para formar pastilhas. O equipamento FTIR foi calibrado e ajustado conforme as especificações do fabricante. A análise dos espectros envolveu a identificação de picos característicos e sua comparação com espectros de referência para determinar a presença de grupos funcionais e compostos específicos.

15. Solubilidade

A solubilidade percentual dos concentrados e isolado proteicos foram determinada em função do pH (2,0-10,0), da concentração de NaCl (0-1M) e da concentração de glicose (0-1M). Resumidamente, 3 g de concentrado proteico foram dissolvidos em 60 mL de água destilada. O pH foi ajustado com solução de HCl ou NaOH (1M). Foram retiradas 3 alíquotas de 2 mL e adicionado nos tubos eppendorf. A cada retirada de alíquotas, foi adicionado 6 mL de água destilada no ajuste de pH. Nos tubos referentes às concentrações de NaCl, foram adicionados 1,5 µL da solução de NaCl nas concentrações 0M, 0.1M, 0.3M, 0.5M e 1M; e 0,5 µL da solução de proteína. Nos tubos referentes às concentrações de glicose, foram adicionados 1,5 µL da solução de glicose nas concentrações 0M, 0.1M, 0.3M, 0.5M e 1M; e 0,5 µL da solução de proteína. Os tubos eppendorf foram agitados por 1h a temperatura ambiente. Os tubos foram centrifugados em centrífuga refrigerada a 8.000 g por 10 min. 2 µL do sobrenadante de cada tubo foi pipetado em microplacas e a quantificação das proteínas foi feita por Bradford. A solubilidade das proteínas foi calculada de acordo com a Equação 7.

$$\text{Solubilidade (g. } 100\text{g}^{-1} \text{ de água)} = 100 * \frac{[\text{proteína}] \text{ final}}{[\text{proteína}] \text{ inicial}} \quad \text{Eq: 7}$$

Determinação de proteínas pelo método de Bradford:

Preparo do reagente de Bradford e do BSA (Albumina Sérica Bovina): inicialmente, pesou-se 0,05g do corante azul de coomassie brilliant blue G-250 e dissolveu em 25 ml de etanol 95%, agitando até completar dissolução. Em seguida, adicionou 50 mL de ácido ortofosforico 85%, e completou o volume para 500 ml com água destilada. Filtrou-se a solução duas vezes em filtro de papel. Para a preparação da solução de estoque de BSA, pesou-se 10mg de BSA e dissolveu em 10 ml de água destilada.

Curva padrão:

Preparo da curva padrão: distribuiu-se seis tubos de ensaio numerando-os de 1 a 6.

Fazendo as seguintes diluições:

Tubo	Água destilada (µL)	BSA (µL)	Reagente de Bradford (ml)	Abs.
1	100	0	2,5	595nm
2	90	10	2,5	
3	80	20	2,5	
4	70	30	2,5	
5	60	40	2,5	
6	50	50	2,5	

Após mesclar todos os itens constantes na tabela, agitou-se os tubos em agitador de tubos do tipo vórtex, deixando, em seguida, os tubos de repouso por cerca de 5 minutos. A calibração do espectrofotômetro para o valor da absorbância zero deve ser realizada utilizando-se água destilada na cubeta e 595nm.

Dosagem de proteína:

Para a preparação da solução proteica, pesou-se 10mg e dissolveu em 10mL de água destilada.

Tubo	Água destilada (µL)	Proteína (µL)	Reagente de Bradford (ml)	Abs.
2	90	10	2,5	595nm
4	70	30	2,5	
6	50	50	2,5	

O cálculo deve ser feito conforme a equação 7.

16. Hidrofobicidade superficial (H^0)

A determinação da hidrofobicidade superficial das proteínas de castanha (PCCB), soja (PIS) e ervilha (PCE) foram realizadas pelo método azul de bromofenol/UV-Vis, seguindo a metodologia descrita por Chelh, Gatellier e Santé-lhoutellier., 2006. A 1 ml de suspensão de proteínas, 200µl de 1mg.ml⁻¹ de azul de bromofenol em água destilada foram adicionados e bem misturados. Foi feito um controle, sem proteínas, em que consistiu na adição de 200 µl de 1mg.1ml⁻¹ de BPB (azul de bromofenol) em água destilada a 1 ml de tampão

fosfato de sódio monobásico 20 mM a pH 7. As amostras (PCCB, PIS e PCE) e o controle (Branco) foram mantidas sob agitação em vórtex a temperatura ambiente durante 10 minutos e então centrifugados a 10000 rpm por 10 minutos em micro centrífuga Daiki DT- 10KD. Após esse processo foi adicionado 200 µl em poços de microplacas de ambas as amostras e lidas em leitor de microplacas (marca: Termo Fisher Scientific; modelo: Multiskan skyhigh). Foram feitas medidas de absorvância de 595 nm no leitor de microplacas.

A hidrofobicidade das proteínas foi calculada de acordo com a equação 8:

$$BPB\ Bound (\mu g) = 200 \mu g \times \frac{Abs\ branco - Abs\ amostra}{Abs\ branco} \quad Eq: 8$$

Em que *BPB Bound* é a hidrofobicidade superficial calculada em função das ligações do azul de bromofenol com a proteína.

17. Capacidade de retenção de água e óleo

Para determinação da capacidade de retenção de água e capacidade de retenção de óleo, aproximadamente 0,05 g do isolado/concentrado de proteína de castanha-do-Brasil, soja e ervilha foram dispersos em 1,5 ml de água destilada ou óleo de soja comercial da marca liza, em tubos eppendorf de microcentrífuga (Microcentrífuga DT 10 KD+ Daiki) e as dispersões foram misturadas por 20s por um misturador de vórtex. Em seguida, as dispersões mistas foram mantidas por 30 min em temperatura ambiente e os tubos foram assim centrifugados (15.000 × g, 20 min, 4°C). O sobrenadante das amostras foi descartado e os tubos de eppendorf contendo os sedimentos foram pesados. A capacidade de retenção de água e óleo foram relatados como g de água ou óleo absorvido por g de proteína isolada/concentrada, respectivamente. CRA e CRO foram calculados usando a Equação 9.

$$CRA\ or\ CRO\ (g.\ 100g^{-1}\ de\ água) = \frac{M_2 - M_1}{M_0} \quad Eq:9$$

Em que M_1 é o peso do tubo de centrífuga contendo a amostra seca. M_2 é o peso do tubo de centrífuga após a decantação do óleo ou da água e M_0 é o peso da amostra (Aydemir; Yemenicioğlu., 2013).

18. Capacidade de formação de espuma (FC) e estabilidade de espuma (FS)

Para determinação da formação de espuma (FC) e estabilidade de espuma (FS), dispersões de proteínas (30 g. L⁻¹) em água destilada foram preparadas em pH 4,0, 7,0 e 10,0 usando NaOH 0,1 mol.L⁻¹. Amostras de 50 ml de soluções de proteínas foram homogeneizadas a 11.000 rpm por 2 min usando um homogeneizador Ultra-Turrax IKA T25 digital. Em seguida, as soluções foram transferidas para uma proveta graduada de 100 mL. O volume da espuma foi medido nos tempos 10, 30 e 60 min após a batida. A capacidade de formação de espuma foi expresso como o aumento percentual no volume de espuma como resultado da batida e a estabilidade de espuma foi expresso como o volume de espuma restante após 10, 30 e 60 min. Capacidade de formação de espuma e estabilidade de formação de espuma foram calculados usando as Equações 10 e 11 (Ghribi et al., 2015).

$$FC (\%) 100 * \frac{V_1 - V_0}{V_0} \quad Eq:10$$

$$FS (\%) 100 * \frac{V_2}{V_1} \quad Eq:11$$

Sendo: V₀ o volume da solução de proteína antes da batida, V₁ o volume da espuma formado imediatamente após a batida, e V₂ o volume da espuma que permaneceu após 10, 30 e 60 min em temperatura ambiente, respectivamente.

19. Estabilidade de Emulsão

A estabilidade da emulsão foi investigada usando um Laboratorio Turbiscan lab[®] Formulation (Microtac, EUA). Para comparação, as amostras foram preparadas de acordo com o procedimento descrito: As emulsões do concentrado de proteína de castanha, isolado de soja e concentrado de ervilha foram preparadas com 3 proporções diferentes de solução proteica para óleo de soja comercial liza (1:2;1:3;1:4) para um volume total de 30 ml. As soluções de proteínas foram padronizadas para 8% de proteína, e o pH não foi alterado para ambas as amostras. Depois de adicionar o óleo de soja comercial liza, a solução foi homogeneizada usando um Ultra-Turrax IKA T25 Digital por 90 segundos e então transferidos para um recipiente cilíndrico de vidro de fundo plano para medição. A estabilidade da emulsão foi analisada usando perfis de transmissão (T) e retrodispersão (BS), com varreduras de amostra de emulsão a 880 nm a cada 1h para cada amostra, essa análise foi realizada com base nos autores Liu; Huang; Lu; Li; Xu; Deng, 2011, com modificações.

20. Menor concentração de gelificação

Para determinar a capacidade de gelificação do concentrado proteico de castanha-do-Brasil, diferentes concentrações (2, 6, 10, 16 e 20%) de dispersões de proteína foram preparadas. As soluções foram transferidas para tubos de ensaio de vidro, que foram mantidos em banho-maria a 95 °C por 1 hora. Em seguida, os tubos foram deixados em temperatura ambiente sob água corrente fria e mantidos em geladeira (4 °C) durante a noite para formação do gel. Após isso as características de fluxo das soluções nos tubos de ensaio foram examinadas. A menor concentração de gelificação foi definida como a menor concentração de proteína necessária para formar uma rede de gel de proteínas, foi identificada como a menor concentração (g.L^{-1}) que deu gel firme sem cair por gravidade quando os tubos de ensaio foram invertidos (Aydemir; yemenicioğlu., 2013).

21. Potencial zeta

A carga superficial líquida do potencial Zeta das proteínas isolada de soja (PIS), concentrada de ervilha (PCE) e concentrado proteico de castanha-do-Brasil (PCCB) foram determinadas na faixa de diferentes pH (2-10), utilizando um Zetasizer NanoZS (NanoZS, Malvern, Reino Unido), com base no movimento eletroforético das soluções de proteínas. Para essa finalidade, foram preparadas soluções de proteína a 1% (m.v^{-1}) com água destilada (Karaca, Low, e Nickerson., 2011).

22. Análise estatística

Os dados foram avaliados a partir da repetição em triplicata das análises do experimento. Os resultados foram avaliados segundo a análise da média, desvio padrão e ANOVA, para comparação utilizou-se o teste de *Tukey* considerando $p < 0,05$ com nível de confiança de 95%. Foi utilizado o software Jamovi versão 2.4.14.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Caracterização da matéria prima da castanha-do-Brasil

A Tabela 1 apresenta os resultados referente às análises da composição centesimal da castanha-do-Brasil triturada e a comparação do teor proteico da matéria prima, da torta desengordurada e do isolado proteico. Quando se compara os valores médios da matéria-prima, a torta desengordurada e o concentrado proteico apresentam concentração de proteínas igual a $20,7420 \pm 1,0975 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$, $52,1530 \pm 0,5125 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ e $85,42 \pm 0,0000 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$, respectivamente. (Lima et al., 2011; Cardoso et al., 2017; Santos et al., 2013) observaram concentrações de proteínas na matéria prima de castanha-do-Brasil, $14,74 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$, $15,52 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ e $14,40 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$. Da silva et al., 2021; Santos et al., 2013; Souza e Menezes, 2004; Gloria e regitano-d'arce, 2000, observaram concentrações de proteínas na torta de castanha-do-Brasil, $4,29\text{-}18,58 \text{ (g } 100\text{g}^{-1})$ e $40,23\text{-}47,6 \text{ (g } 100\text{g}^{-1})$ respectivamente. Estes resultados evidenciam que as proteínas da castanha-do-Brasil podem ser uma boa opção de ingredientes ricos em proteínas para indústria de alimentos principalmente devido à alta demanda da sociedade por alimentos ricos em proteínas Cardoso; Duarte; Reis; Cozzolino, 2017).

Tabela 1 - Composição centesimal da castanha-do-Brasil e composição proteica da torta desengordurada e concentrado proteico.

Conteúdo	Castanha-do-Brasil (g/100g ⁻¹)			Torta desengordurada (g/100g ⁻¹)	Concentrado proteico (g/100g ⁻¹)
Proteínas	20,74	±	1,0975	$52,1530 \pm 0,5125$	$85,4209 \pm 0$
Lipídeos totais	61.6722	±	2.3796	-----	-----
Carboidratos	9.7216	±	3.7737	-----	-----
Cinzas	3.9883	±	0.0187	-----	-----
Umidade	3.8754	±	0.2779	-----	-----

*valores descritos como média ± desvio padrão

O resultado obtido na análise do teor de cinzas apresenta valor médio de 3,9883 (g.100g⁻¹), indicando que esta castanha é rica em compostos inorgânicos quando comparada

com a castanha portuguesa, por exemplo (Da Silva et al., 2021). Resultados similares, também foram descritos por Da Silva et al. (2021), Santos et al. (2013), Venkatachalam e Sathe (2006) e Souza e Menezes (2004), em lotes distintos de castanha-do-Brasil: 3,34; 4,21; 3,65 e 4,24%, respectivamente.

O valor médio da umidade da castanha $3.87 \pm 0.28 \text{ g.100g}^{-1}$, apresentou-se bem abaixo dos valores máximos recomendados para grãos (12%) (Souza e Menezes, 2004), caracterizando-o como um produto estável. O baixo teor de umidade ajudar a manter a qualidade e o prazo de vida útil, diminuindo a probabilidade de crescimento microbiano, a exemplo dos produtores de aflatoxinas (Da Silva et al., 2016; Álvares et al., 2012. Da Silva et al. (2021), Santos et al. (2013) e Venkatachalam e Sathe (2006) relataram valor médio de umidade na castanha de 10,53-11,33-11,64%, $3,19 \pm 0,13 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$, 2-3,12% e $3.07 \pm 0.37 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$, respectivamente.

O teor de lipídeo apresenta-se como o maior constituinte da castanha-do-Brasil, sendo $61.6722 \pm 2.3796 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ o resultado do valor médio das análises, mostrando-se como boa fonte energética. A literatura científica aborda que a composição lipídica dessa oleaginosa é superior a 60% em 100g de produto (Cardoso et al., 2017; Stockler-pinto et al., 2014; Santos et al., 2013; Yang, 2009; Venkatachalam e Sathe, 2006), corroborando com o encontrado no estudo.

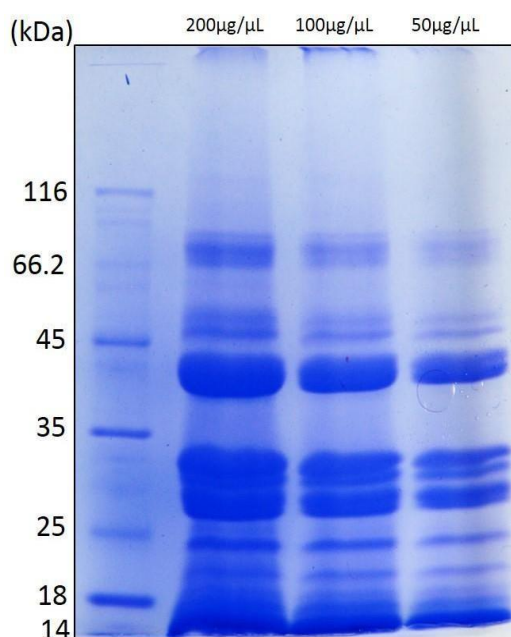
A castanha-do-Brasil apresenta menor teor de carboidratos quando comparada com outras castanhas (CARDOSO et al., 2017). Resultado próximo foi observado no estudo de Souza e Menezes (2004), que relataram um valor de $3,42 \pm 0,06 \text{ g } 100^{-1}$. Outros valores também foram relatados, diferindo dos resultados encontrados (CARDOSO et al., 2017; SANTOS et al., 2013). Vale ressaltar que, as variáveis teores de micro e macronutrientes da castanha podem ocorrer a depender do seu local de origem (CARDOSO et al., 2017).

6.2. Extração da proteína concentrada da castanha-do-Brasil

O teor de proteína obtida da PCCB (Proteína Concentrada de Castanha-do-Brasil) foi de 85 g.100 g^{-1} em base seca. A PIS (proteína isolada de soja) e PCE (proteína concentrada de ervilha) apresentam teor de proteína de $(90 \text{ g. } 100 \text{ g}^{-1})$ e (76 g.100 ^{-1}) , respectivamente. Para a PCCB, foram utilizados 400 g de matéria-prima seca. Após o processo de extração, foram obtidos 30 g de proteína isolada. Portanto, o rendimento da extração foi de 7,5% (m/m), calculado com base na massa inicial da matéria-prima seca.

6.2. Eletroforese-SDS PAGE

Figura 1 - Eletroforese em gel de poliacrilamida e seus respectivos picos.

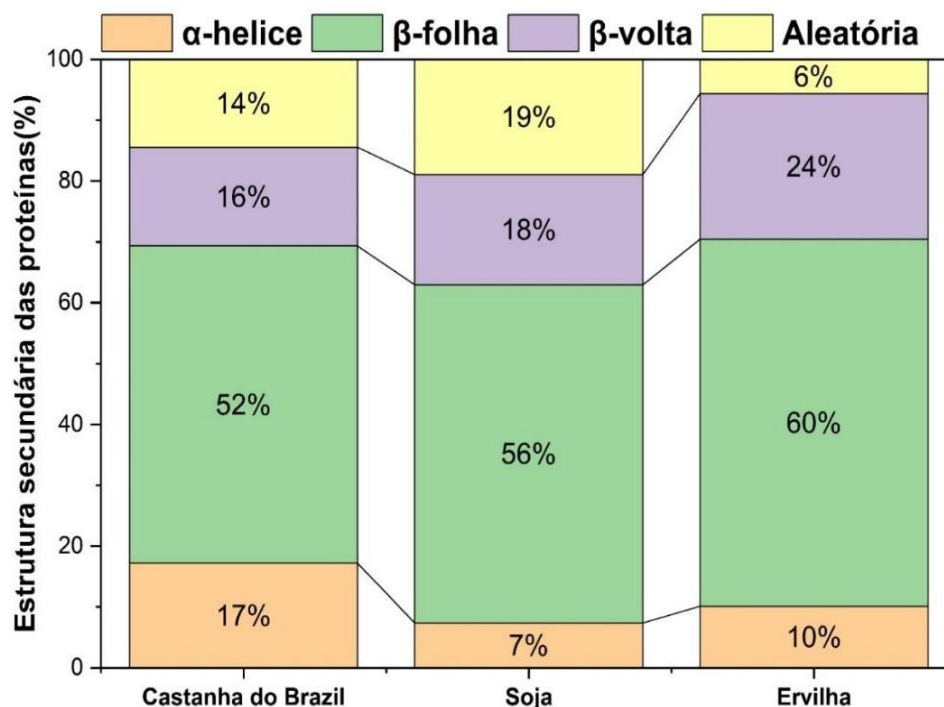


Fonte: Autor, 2024.

A Figura 1 apresenta o resultado da eletroforese em gel de poliacrilamida para as proteínas isoladas da Castanha-do-Brasil e revela a presença de amplas bandas (14,0 a 66,2 kDa). A análise de eletroforese SDS-PAGE mostrou as bandas principais de proteínas com pesos moleculares de 66.2 kDa, 45 kDa, 35-25 kDa e 18-14 kDa, representando diferentes tipos de frações proteicas. Possivelmente essas bandas podem representar diferentes grupos proteicos como albuminas e globulinas. Vasquez-Rojas et al. (2021) esses resultados são semelhantes em seu estudo que investigaram o concentrado proteico da castanha-do-Brasil. A análise por espectrometria de massa após a digestão das proteínas realizada pelos autores permitiu a identificação de três bandas distintas associadas à globulina 11S (qual pesas globulinas), sugerindo a presença de diferentes formas eletroforéticas dessa proteína.

6.3. FTIR - Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier.

Figura 2- Estrutura secundária das proteínas PCCB, PIS e PCE, respectivamente.



Fonte: Autor, 2024.

A Figura 2 ilustra a composição da estrutura secundária das proteínas isoladas de castanha-do-Brasil, soja e concentrado proteico de ervilha. Observa-se que as diferenças de estrutura secundária entre as proteínas podem ter impacto nas propriedades funcionais. A β -folha é o componente predominante da estrutura secundária em todas as proteínas, com maior proeminência na proteína de ervilha, seguida pela soja e castanha-do-Brasil, respectivamente. Aumentos no conteúdo da β -folha estão associados à exposição de regiões hidrofóbicas da proteína (Taha et al., 2020; Zhang et al., 2014). Essa exposição de grupos hidrofóbicos pode influenciar na capacidade de retenção de óleo das proteínas vegetais, desempenhando um papel importante na formação e estabilidade de emulsões óleo-água, já que essas proteínas podem ser frequentemente empregadas como emulsificantes na estabilização de produtos como maioneses e molhos, ou como agentes de ligação em produtos cárneos e vegetarianos. A abundância de estruturas β , especificamente β -folha e β -volta, está associada à maior estabilidade térmica e resistência à desnaturação (Shevkani et al., 2015).

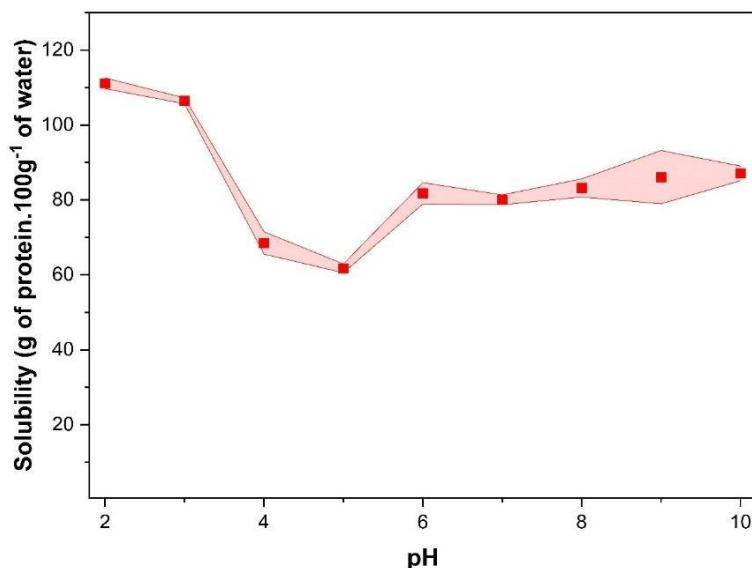
Outro fator importante é a composição da α -hélice das proteínas analisadas. Segundo Zhu et al. (2020), a baixa presença de α -hélice confere alta flexibilidade e boas propriedades funcionais. Esta condição está associada à hidrofobicidade, na qual uma menor quantidade de α -hélice resulta em uma maior hidrofobicidade superficial. Tal característica pode explicar por que a proteína isolada de soja demonstra algumas propriedades funcionais superiores a proteína de castanha-do-Brasil, uma vez que o teor de α -hélice da proteína isolada de soja é menor em comparação com a proteína isolada de castanha-do-Brasil. Maior teor de α -hélice também foram encontradas para outras oleaginosas. Chen et al., (2023) encontraram $20,53 \pm 0,13\%$ (m.m⁻¹) para proteína isolada de amendoim; e Mao e Hua (2014) encontraram $34,9\%$ (m.m⁻¹) para proteína isolada de nozes. Logo, pode-se deduzir que essa conformação está atribuída às oleaginosas e não especificamente a castanha-do-Brasil.

Deste modo, é possível inferir que a estrutura da α -hélice pode estar correlacionada com a flexibilidade estrutural intramolecular, enquanto a estrutura da β -folha pode influenciar a flexibilidade estrutural intermolecular (Zhu et al. 2020). Quanto à composição das estruturas proteicas em arranjos aleatórios, a análise indica que a proteína isolada de castanha-do-Brasil demonstra um teor superior em comparação com a proteína concentrada de ervilha, mas inferior ao da soja. A maior presença de arranjos aleatórios pode estar correlacionada a uma estrutura proteica desordenada, enquanto uma menor presença pode sugerir uma estrutura mais ordenada (Zhang et al., 2022b). Isso pode sugerir que a proteína de castanha-do-Brasil apresenta uma organização estrutural superior em comparação com proteínas convencionais, como a da soja, fator importante quando se trata da otimização de propriedades funcionais das proteínas vegetais.

6.7. Solubilidade

6.7.1. Solubilidade em função do pH

Figura 3 - Curva de Solubilidade da PCCB em função do pH (2-10).



Fonte: Autor, 2024.

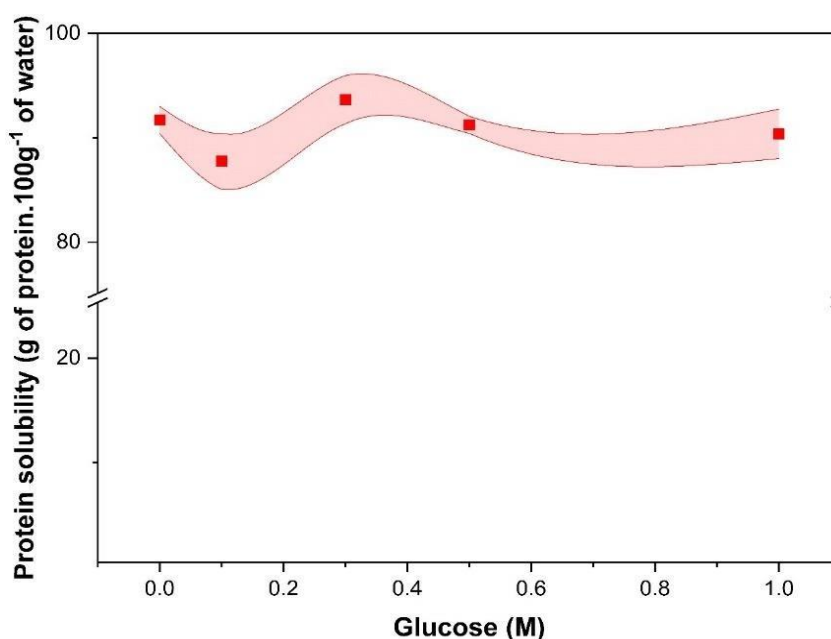
A curva de solubilidade em relação ao pH do isolado proteico da castanha-do-Brasil está representada na Figura 3. Observa-se que a menor solubilidade da proteína isolada ocorre entre os valores de pH 4 e 5. O ponto isoelétrico é identificado no pH 4,5. Utilizando este ponto na extração de proteínas, obteve-se o isolado proteico com uma concentração de proteína de 85%. Por outro lado, a maior solubilidade das proteínas, cerca de 80%, foi alcançada em meio alcalino (pH 9). A solubilidade das proteínas vegetais é crucial para o desenvolvimento de produtos alimentícios por diversas razões: facilidade de processamento, melhoria da textura e consistência, aumento de sua estabilidade, melhoria da qualidade nutricional e versatilidade na formulação. Assim, a solubilidade de proteínas vegetais é essencial para o desenvolvimento de produtos alimentícios de alta qualidade.

Esse resultado está de acordo com a explicação dada por Damodaran (2017). Este autor afirma que a menor solubilidade de proteínas alimentares geralmente está entre o pH 4 e 5. Em pH extremo, as proteínas apresentam cargas líquidas positivas ou negativas, o que leva a formação de uma força repulsiva eletrostática entre elas. A solubilidade de uma proteína é a manifestação termodinâmica do equilíbrio, com a interação proteína-proteína e proteína-solvente e está relacionada a seu balanço de hidrofobicidade/hidrofobicidade. Assim, sua composição de aminoácidos afeta sua solubilidade, porém as características de hidrofobicidade e hidrofobicidade de superfície da proteína são os fatores mais importantes que

afetam sua característica de solubilidade (Donadel e Ferreira, 1999). Essa força as mantém separadas e é capaz de alterar a estrutura da proteína ao expor grupos funcionais que estavam anteriormente aprisionados no interior da molécula. Ao expor estes grupos, aumenta a capacidade de interação com outras moléculas, como a água. Esta interação com a água resulta na maior solubilidade da proteína. Entretanto, quando as proteínas estão próximas do pI (ponto isoelétrico) há uma maior interação intermolecular entre as proteínas, fazendo-as se agregarem. Esta agregação dificulta a interação das proteínas com moléculas de água, reduzindo a solubilidade em água.

6.7.2. Solubilidade em função da glicose

Figura 4 - Curva de Solubilidade da PCCB em função da glicose (0,1 – 1,0M).

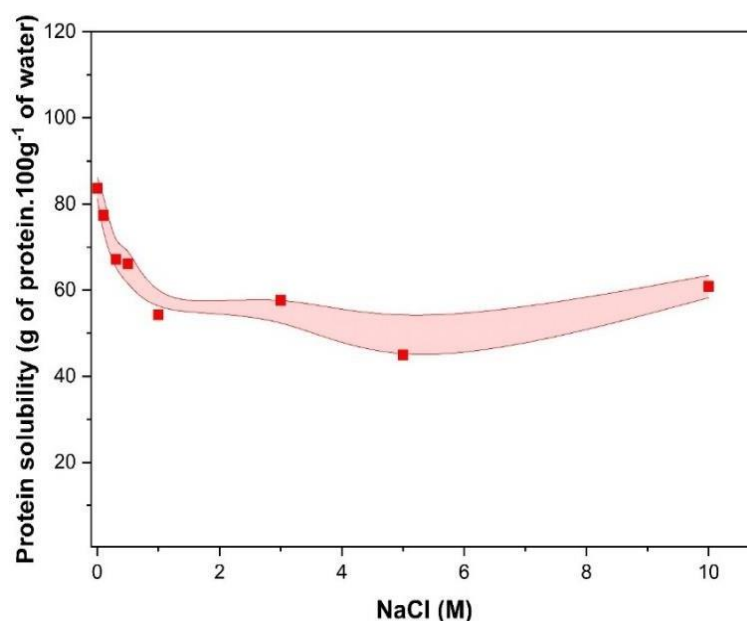


Fonte: Autor, 2024.

A curva de solubilidade em função da glicose do isolado proteico de castanha-do-Brasil está especificado na **Figura 4**. Percebe-se uma diminuição da solubilidade em relação a glicose na faixa de 0,1 M, seguido de um aumento (0, 3M) e, por conseguinte uma diminuição seguida de uma estabilização. O que pode explicar esse fator é que os açúcares podem diminuir a solubilidade das proteínas e as estabilizarem contra a desnaturação (desdobramento), aumentando a tensão superficial da água, e embora a interação com a proteína possa ocorrer através de ligações de hidrogênio, interações hidrofóbicas ou interações eletrostáticas, estas podem ser compensadas pelo impacto na tensão superficial. Onde as forças de ligação são mais fortes, a solubilidade da proteína pode aumentar ou a

estrutura desnaturar (Arakawa et al., 1991). O provável fator atribuído ao aumento da solubilidade em 0,3M, pode estar relacionado à hidrofobicidade da glicose (Tian et al., 2011).

6.7.3. Solubilidade em função do NaCl



Fonte: Autor, 2024.

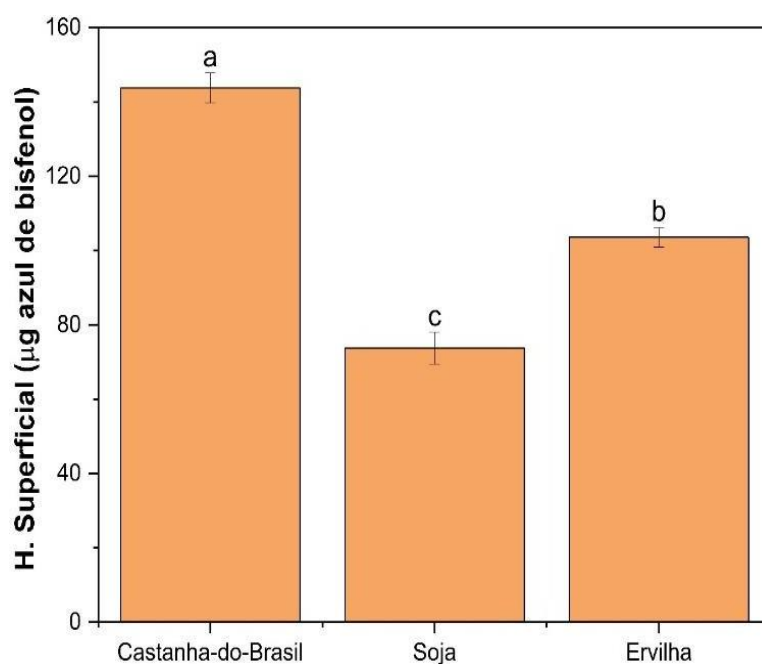
A curva de solubilidade do isolado proteico da castanha-do-Brasil em função do cloreto de sódio (NaCl) está representada na **Figura 8**. Observa-se que a adição de sal à solução proteica contendo em 1,0 mol de NaCl resulta em uma diminuição brusca da solubilidade. Isso indica que um aumento na concentração de sal no sistema leva à desnaturação da proteína, resultando em desidratação proteica e, conseqüentemente, menor solubilidade. Esse resultado difere em parte do estudo de Yuliana et al. (2014), que investigaram o efeito do NaCl na solubilidade da proteína isolada da casca de castanha de caju. Eles observaram que a solubilidade da proteína isolada aumentou quando a concentração de NaCl foi aumentada de 0 para 0,5 mol, fenômeno conhecido como “salting in”, onde baixas concentrações de sal aumentam a solubilidade. A adição de pequenas quantidades de NaCl promoveu a salga, afetando diretamente a solubilidade das proteínas. No entanto, concentrações mais elevadas de NaCl, resultam na interação entre íons de cloreto carregados negativamente e moléculas de proteína carregadas positivamente, diminuindo a repulsão eletrostática e aumentando as interações hidrofóbicas.

Fontanari et al. (2006) citam que esses efeitos diferem muito entre os sais e depende da força iônica, do tipo e carga de superfície proteica e da água. Em baixas concentrações de

sais a solubilidade em geral aumenta, por que os íons salinos em baixa concentração tendem a se associar às proteínas contribuindo para uma maior hidratação e/ou repulsão das moléculas de proteína, portanto, para uma maior solubilidade da proteína, provocando o efeito conhecido como “salting in”. Ao contrário, em elevadas concentrações de sais, os íons salinos, formam sua própria capa de hidratação e competem com a proteína pela água ocasionando perda de água de hidratação pelas moléculas proteicas, atração mútua entre as moléculas, fenômeno conhecido como “salting out”.

6.4. Hidrofobicidade superficial (H^0)

Figura 5 - Hidrofobicidade superficial (H^0) das proteínas PCCB, PIS e PCE, respectivamente. Letras diferentes representam médias significativamente ($p < 0.05$) diferentes. PIS: Proteína isolada de soja; PCE: Proteína concentrada de ervilha; PCCB: Proteína concentrada de castanha-do-Brasil.



Fonte: Autor, 2024.

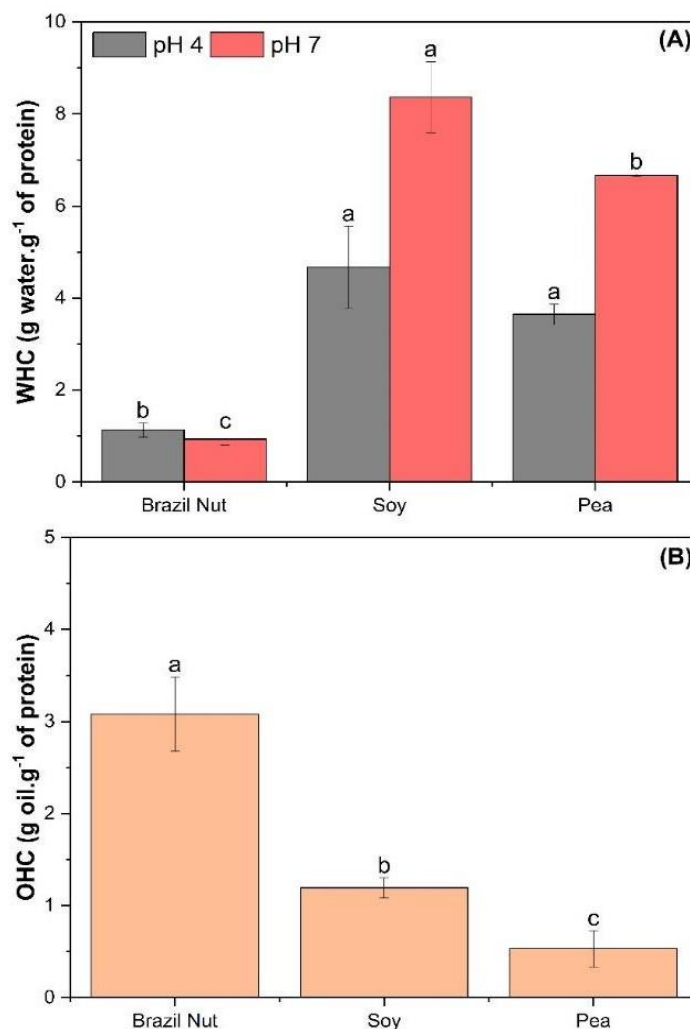
A Hidrofobicidade superficial de proteínas vegetais desempenha um papel crucial na sua aplicação tanto na indústria alimentícia quanto em alimentos (NAKAI; HO; HELBIG; KATO; TUNG.,1980). Este fenômeno refere-se à afinidade que certas partes das proteínas têm por substâncias lipídicas (como óleos e gorduras) em detrimento de água, o que pode influenciar suas propriedades funcionais e aplicações práticas (TANG; LI; HUANG; YAN., 2021). Pela **Figura 5**, pode-se notar que houve diferença significativa (p -valor $< 0,05$) entre a hidrofobicidade de PCCB, PIS e PCE. Observou-se que a proteína da castanha-do-Brasil

(PCCB) apresentou a maior hidrofobicidade superficial (H^0), seguida pela proteína concentrada de ervilha (PCE) e pela proteína isolada de soja (PIS), respectivamente. Essa diferença na hidrofobicidade está associada à maior capacidade da proteína da castanha-do-Brasil de se agregar e reter óleo. Resultado análogo a capacidade de retenção de óleo, em que a PCCB teve maior prevalência neste trabalho. ZENG H *et al.*, (2015), relata que proteínas com maior hidrofobicidade tendem a reter uma quantidade maior de óleo, em contraste com proteínas menos hidrofóbicas, que têm uma maior capacidade de retenção de água.

Essas propriedades são de particular relevância para a indústria alimentícia, pois a habilidade das proteínas em interagir com óleos pode ser explorada para melhorar a textura, a estabilidade e o perfil nutricional dos produtos alimentícios (SIM; SRV; CHIANG; HENRY., 2021). Além disso, uma compreensão detalhada da hidrofobicidade das proteínas vegetais é fundamental para a formulação de alimentos funcionais e para a otimização de processos industriais, contribuindo para o desenvolvimento de produtos com características desejáveis para o consumidor final (KALLAKAS *et al.*, 2024).

6.8. Capacidade de retenção de água e óleo

Figura 6- Capacidade de retenção de água e óleo. Diferentes letras minúsculas (^{a-b-c}) são significativamente diferentes ($p < 0,05$).



Fonte: Autor, 2024.

6.8.1 Capacidade de retenção de água

A **Figura 6A** mostra os resultados de WHO para as proteínas vegetais deste estudo em função do pH. A WHC da castanha-do-Brasil, independente do pH, apresentou menor média dessa propriedade quando comparada às proteínas isolada de soja e concentrada de ervilha. As maiores médias desta capacidade foram encontradas no pH neutro para proteína isolada de soja seguida da concentrada de ervilha. A WHC pode depender do tipo e teor de proteína, assim como o pH da solução. Em pH ácido, a menor capacidade é devido a agregação das proteínas por meio de interações hidrofóbicas e de hidrogênio (VAN DER LINDEN;

VENEMA, 2007). Em pH neutro, a estrutura proteica aparenta ser mais flexível, provavelmente devido à exposição de resíduos de aminoácidos. Com isto, forma-se mais poros, permitindo aprisionar água nos espaços formados entre as estruturas proteicas (JEONG; CHO, 2024).

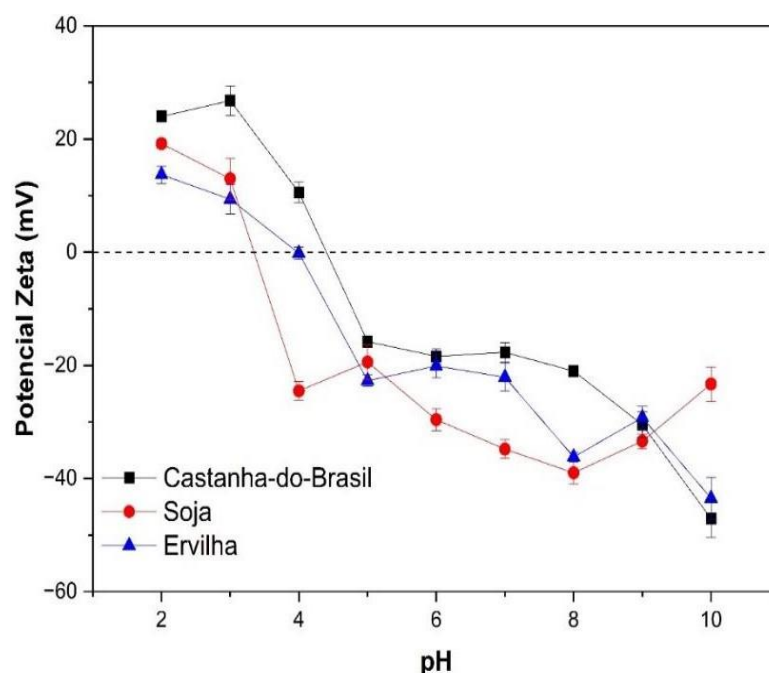
6.8.2. Capacidade de retenção de óleo

A capacidade de retenção de óleo CRO do concentrado proteico da castanha-do-Brasil foi comparada com proteínas comerciais de isolado de soja e de concentrado de ervilha (**Figura 6B**). Os valores da capacidade de retenção de óleo para o concentrado proteico de castanha-do-Brasil, da soja e da ervilha foram de $3,081 \pm 0,404$, $1,137 \pm 0,197$ e $0,531 \pm 0,197$ g 100g^{-1} respectivamente. Observou-se que o concentrado proteico da castanha apresentou a maior capacidade de retenção de óleo entre as proteínas analisadas, diferindo significativamente do concentrado proteico de ervilha e do isolado proteico de soja ($p\text{-valor} > 0,05$). Esses resultados sugerem um elevado potencial na absorção de óleo desta proteína em comparação com o concentrado proteico de ervilha e soja.

A maior CRO da castanha-do-Brasil pode ser atribuída à exposição de grupos hidrofóbicos aumentando a afinidade com lipídios (Ma et al., 2024). Assim como a CRA, a CRO de proteínas vegetais desempenha um papel importante na indústria de alimentos, uma vez que essas duas propriedades têm um impacto significativo na umidade, textura (crocância) e aspecto do produto, como cor, brilho e forma. (Joshi et al., 2015). Yuliana et al. (2014) e Gul et al. (2023) investigaram a CRO da proteína isolada da casca de castanha de caju (4,28 óleo/g) e do isolado proteico de avelã (0,67-1,91 óleo/g), respectivamente. Esses resultados evidenciam que a proteína concentrada da castanha-do-Brasil pode ser um excelente ingrediente para indústria, principalmente para aplicação em produtos com alto teor de lipídios.

6.5. Potencial zeta

Figura 7 - Potencial zeta da (PCCB), (PIS) e (PCE), respectivamente nos pH 2-10.



Fonte. Autor, 2023.

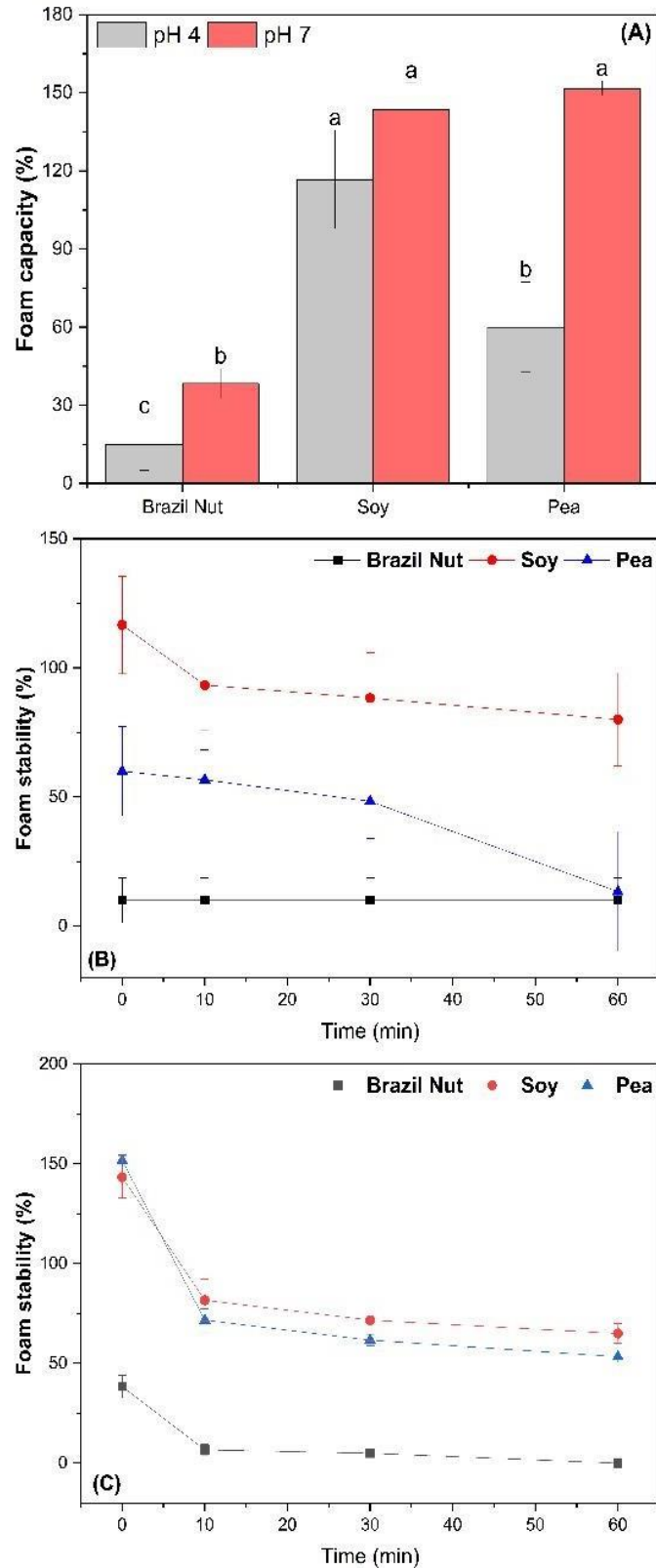
O potencial zeta está relacionado com a carga da superfície da molécula e é um indicador importante para avaliar o modo e a interação de um sistema de superfície e estabilidade do sistema (Cao *et al.*, 2022). A **Figura 7**, mostra o potencial zeta (mV) em função do pH para as três amostras: PCCB, PIS e PCE. O potencial zeta é um indicador da estabilidade de emulsões, pois reflete a carga superficial das partículas (Cano-Sarmiento et al, 2018). Valores altos positivos ou negativos indicam maior repulsão eletrostática entre as partículas, o que previne a agregação e aumenta a estabilidade da emulsão (Silva; Vidigal; Minim; Minim., 2023). O potencial zeta da PCCB tornou-se mais negativo com o aumento do pH. Em pH mais alto, a emulsão da PCCB pode ter sido mais estável devido ao aumento da repulsão eletrostática entre as partículas. A PIS teve tendência similar a PCCB, o potencial zeta também se tornou mais negativo com o aumento do pH. A soja mostra uma boa estabilidade em pH mais alto, o que é consistente com estudos que indicam que emulsões de soja são estáveis em uma ampla faixa de pH alcalinos (Yanqing *et al.*, 2022). O potencial zeta da ervilha também diminui e se tornou-se mais negativo com o aumento do pH. Em pH mais alto, a ervilha pode formar emulsões estáveis, similar à PIS e à PCCB.

Quando o pH era 3,0, as partículas exibiram uma carga positiva devido à protonação do grupo amino em pH abaixo do ponto isoelétrico (pI) da proteína (pH = 4,5). Em pH 5,0–10,0, o potencial das partículas mudou de carga positiva para negativa. À medida que o pH continuou a aumentar, o valor absoluto do potencial das partículas aumentou, o que foi atribuído ao aumento da ionização dos grupos carboxila da proteína. Em contraste com as partículas PCCB, todas as partículas analisadas demonstraram um potencial negativo.

Todas as amostras PCCB, PIS e PCE mostram maior estabilidade em pH mais alto devido ao aumento do potencial zeta negativo. Isso sugere que, em condições alcalinas, essas emulsões são menos propensas à coalescência e agregação (Schmid; Farahnaky; Adhikari; Savadkoohi; Torley, 2024). A soja e a ervilha apresentam tendências de estabilidade semelhantes à castanha-do-Brasil, mas podem oferecer vantagens adicionais dependendo da aplicação específica. Por exemplo, a soja é amplamente utilizada em alimentos devido à sua capacidade de formar emulsões estáveis em várias condições (Galani et al., 2023). Assim, a escolha entre essas proteínas dependerá das necessidades específicas da aplicação, como o pH do produto final e as propriedades desejadas da emulsão.

6.9. Capacidade de formação de espuma e estabilidade de espuma.

Figura 8 - Capacidade de formação de espuma (FC) (A), estabilidade de formação de espuma (FS) (B) e (C) em diferentes valores de pH. Diferentes letras minúsculas (c–b) são significativamente diferentes ($p < 0,05$).



Fonte: Autor, 2024.

A **Figura 8 (A)** mostra os resultados de capacidade de formação de espuma (FC) das proteínas vegetais em função do pH. A FC da PCCB, independente do pH, apresentou menores FC quando comparado com a PIS e o PCE. O maior valor de FC foi encontrado no pH neutro da proteína concentrada de ervilha, seguido pelo isolado de soja, em que não houve diferenças significativas entre si. Entretanto, no pH mais ácido, a proteína de soja foi significativamente (p-valor <0,05) superior em relação ao pH do concentrado proteico de ervilha e da proteína concentrada de castanha-do-Brasil. Isso corrobora com Baskıncı e Gul (2023) ao relatar que as proteínas isoladas de soja possuem uma estrutura proteica mais flexível e pode formar espuma de forma mais estável ao interagir na interface água-ar em comparação a outras formas analisadas.

Isso explica que o efeito do pH pode variar entre diferentes proteínas vegetais e certas condições de processamento (Fontanari, 2019). Tanto pH ácido quanto o neutro podem afetar a capacidade de formação de espuma das proteínas vegetais de diferentes maneiras. Embora o pH ácido possa levar à desnaturação das proteínas vegetais e prejudicar a sua capacidade de formação de espuma, o pH neutro é, frequentemente, mais favorável para manter a estrutura natural das proteínas e, portanto, melhorar a formação de espuma e estabilidade. Essas características resultam para a indústria de alimentos um fator importante quando se trata de novas tecnologias emergentes para a criação de novos alimentos, como: produtos de panificação, mousses, sorvetes e até mesmo em formulação de produtos veganos.

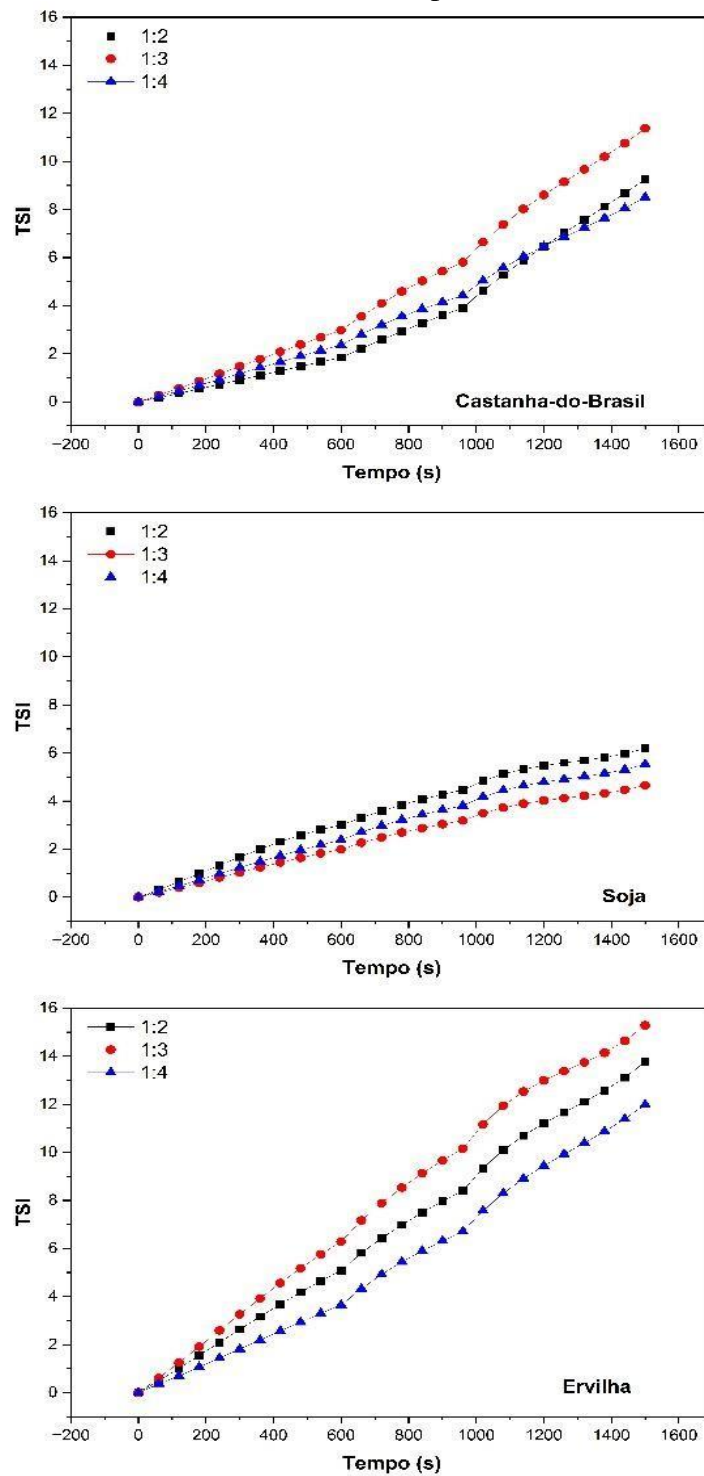
A **Figura 8 (B)** e **(C)**, exemplifica a estabilidade da espuma em pH 4 e 7, respectivamente, da PCCB, PIS e PCE. A estabilidade da espuma proteica da castanha-do-Brasil foi considerada a mais estável em pH ácido, seguida pela soja e ervilha. A **Figura 8 (B)** mostra que durante o período de 0-10 minutos a estabilidade da proteína de soja diminui ligeiramente, seguida de sua estabilidade, no entanto a este pH a proteína de ervilha diminui subitamente ao longo do período de tempo 30-60 minutos. No pH neutro **(C)**, as proteínas de soja e ervilha são desestabilizadas durante um período de 0-10 minutos e estabilizadas durante um período de 20-60 minutos. Neste pH neutro a proteína da soja e da ervilha não apresenta diferença entre si (p-valor < 0,05), ao contrário da proteína da castanha-do-Brasil neste pH, que parece instável no tempo de 0-10 minutos após a batida. Othmeni; Karoui; Blecker., (2024), encontrou valores próximos a pH neutro em proteína concentrada de ervilha, em que gerou espuma mais estáveis e estabilidades próximo de 86 a 90%. O que corrobora com os resultados obtidos neste trabalho. Em que a PCE, obteve resultados mais próximos em pH neutros comparados a PIS e PCCB. (CAO *et al.*, 2022), encontraram valores de 64 a 91% para

proteína isolada de soja na capacidade de formar espuma, obtendo uma estabilidade mais específica em pH mais neutros.

Liu, *et al* (2018) descreve as propriedades de capacidade e estabilidade de espuma em nozes, em que reafirma a partir do seu estudo que a melhor estabilidade da espuma foi formada em pH mais ácido. Isto ocorre porque em pH ácido as proteínas tendem a se desnaturar de uma forma que facilita a formação e estabilização da espuma, fazendo com que a desnaturação das proteínas em pH ácido possa levar a alterações na estrutura molecular que aumentam a capacidade da proteína de interagir com a água e o ar, criando uma rede estável em torno das bolhas de ar. Portanto, compreender e otimizar a estabilidade da espuma das proteínas vegetais por diferentes variações de pH é crucial para o desenvolvimento de uma ampla variedade de produtos alimentares.

6.10 Estabilidade de emulsão

Figura 9 - Estabilidade de emulsão das proteínas PCCB, PIS e PCE.



Fonte: Autor, 2024.

A estabilidade de emulsão das proteínas vegetais, particularmente das proteínas isoladas ou concentradas extraídas de fontes como soja e ervilha, é um parâmetro crítico que defi-

ne a capacidade dessas proteínas de manter uma dispersão homogênea de dois líquidos imiscíveis, como óleo e água (Aarøen; Riccardi; Sletmoen, 2021); (Sawant A, Kamath S, Kg H, Kulyadi GP, 2021). Esta propriedade é de suma importância em diversos setores industriais, incluindo a indústria alimentícia e o processamento de alimentos, onde a formação e a manutenção de emulsões estáveis são essenciais para garantir a textura, a aparência e a qualidade dos produtos finais (Zhu, Gao, Liu, Zou E Mcclements, 2019).

Na **Figura 9**, observa-se que a PCCB nesta proporção 1:3, a emulsão mostrou a maior instabilidade, possivelmente devido à quantidade insuficiente de proteína para formar uma cobertura eficaz na interface entre as fases ou para estabelecer uma rede estável. A estabilidade da emulsão piorou ainda mais nas proporções de 1:2 e 1:4, sugerindo que uma quantidade excessiva de proteína pode ter levado à formação de uma estrutura que favoreceu a coalescência das gotas de óleo ou que não conseguiu manter uma dispersão adequada das fases (Lv; Zhao; Wang; Ouyang; Wang, 2014).

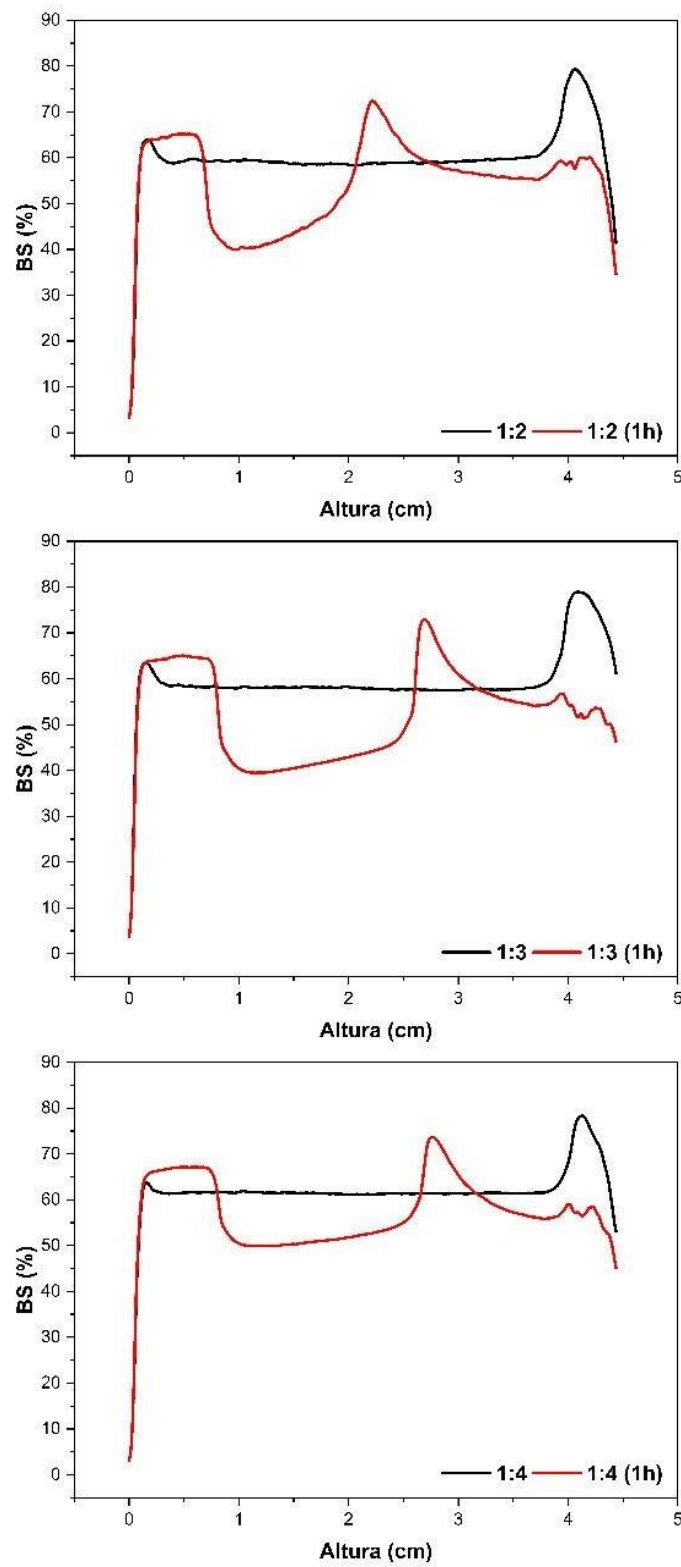
Em contraste, a PIS mostrou instabilidade na proporção de 1:2, mas apresentou uma melhora na estabilidade da emulsão nas proporções de 1:4 e 1:3. (Zhang; Zhang; Jin; Zhang; Jiang; Sui, 2023). Esta variação sugere que a quantidade de proteína na proporção de 1:2 foi insuficiente para garantir uma emulsão estável, possivelmente devido a uma cobertura inadequada da interface entre as fases ou a um desequilíbrio na relação proteína-óleo (Shi; Cao; Li; Yang, 2024). Nas proporções de 1:4 e 1:3, a PIS conseguiu formar emulsões mais estáveis, indicando uma cobertura mais eficiente da interface (Ding, 2021) e uma estrutura mais robusta que previne a coalescência das gotas de óleo (Krstonolić; Pavlović; Nikolić; Milutinov; Ćirin, 2024).

A PCE exibiu maior instabilidade na proporção de 1:3, com uma melhoria observada nas proporções de 1:2 e 1:4. A instabilidade na proporção de 1:3 pode sugerir que a concentração de proteína era inadequada para estabilizar a emulsão efetivamente nessa proporção específica (Hinderink; Schröder; Sagis; Schroën; Berton-carabin, 2021). Em proporções mais altas, como 1:2 e 1:4, a PCE demonstrou uma capacidade superior de formar e manter emulsões estáveis (Chen; LU; Liu; Nsor-ATindana; Xu; Goff; Ma; Zhong, 2019), possivelmente devido a uma quantidade mais adequada de proteína que promove uma cobertura eficiente das gotas de óleo e previne a coalescência (Ols mats; Rennie, 2024).

Assim, PIS e PCE ambas podem ser melhores que PCCB em termos de estabilidade em proporções específicas. Elas oferecem uma cobertura mais eficiente da interface e uma estrutura mais robusta que previne a coalescência das gotas de óleo (Galani; Ly; Laurichesse; Schmitt; Xenakis; Chatzidaki, 2023). Para aplicações que requerem emulsões mais estáveis, a

PIS e a PCE podem ser melhores opções em comparação com a PCCB (Qamar; Bhandari; Prakash, 2019). Piores que PCCB, PIS: na proporção de 1:2, a soja é menos estável que a PCCB, indicando que essa quantidade de proteína é insuficiente. PCE: na proporção de 1:3, a ervilha é menos estável que a castanha, sugerindo que essa concentração de proteína não é adequada. Em resumo, enquanto a PCCB pode ser eficaz em atingir uma viscosidade alta rapidamente, a PIS e a PCE podem oferecer melhor estabilidade em diferentes proporções, tornando-as alternativas viáveis dependendo da aplicação específica (Gumus; Decker; McClements, 2017).

Figura 10 - Retroespalhamento das emulsões preparadas com a PCCB nas diferentes proporções o/a no tempo inicial (0 s) e final (1h).



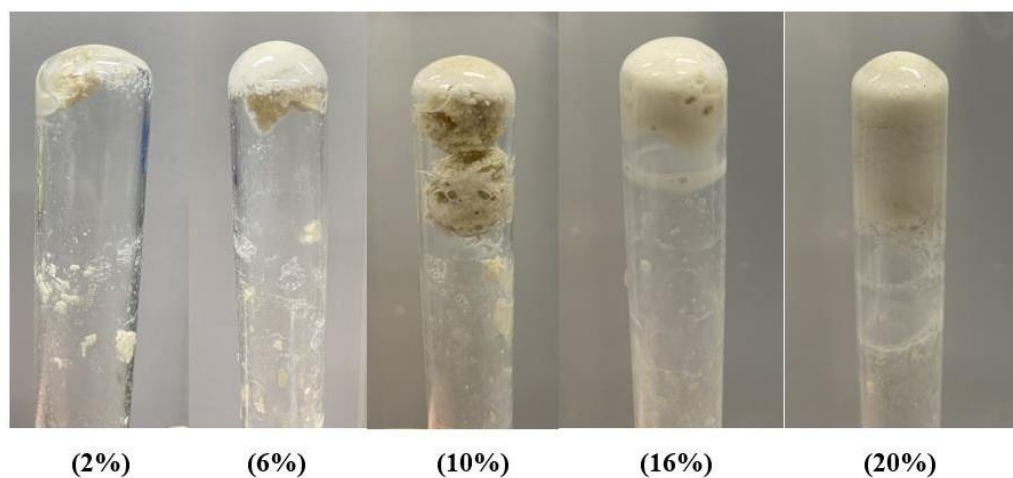
Fonte: Autor, 2024.

A **Figura 10**, mostra a estabilidade de emulsões feitas com a PCCB. A sua estabilidade é medida em termos de (%BS) ao longo da altura da amostra, tanto imediatamente após a preparação quanto após uma hora. Imediatamente após a preparação a estabilidade da emulsão é relativamente uniforme ao longo da altura, indicando uma distribuição homogênea das partículas na emulsão. Após uma hora, observa-se um aumento na estabilidade tanto no topo quando no fundo da amostra isso sugere que a emulsão está passando por processos de cremação e sedimentação (Anema et al., 2018). Ou seja, processos de desestabilização da amostra. Esses mecanismos de desestabilização como a cremação ocorre quando as partículas da fase dispersa, gotículas de óleo, sobem para o topo da emulsão devido a diferença de densidade entre a fase dispersa (água) e a fase contínua (óleo) (Qamar; Bhandari; Prakash., 2019). Na figura, isso é indicado pelo aumento na %BS no topo da amostra. O mecanismo de sedimentação ocorreu quando as partículas da fase dispersam devido a gravidade e a diferença de densidade. No gráfico, isso é indicado pelo aumento da estabilidade no fundo da amostra (Li; Zhang; Cui; Shi; Sun; Liu; Wang; Xu., 2022).

Assim, o gráfico mostra que a emulsão da PCCB tende a desestabilizar ao longo do tempo, com evidencias claras de cremação e sedimentação. Esses resultados são importantes para a formulação de produtos alimentícios, onde a estabilidade da emulsão é crucial para a qualidade e a vida útil do produto (Isnaini; Estiasih; Suseno; A Lestari., 2021).

6.11. Menor concentração de gelificação

Figura 11 - Menor concentração de formação de gel em diferentes concentrações da PCCB.



Fonte: Autor, 2024.

A capacidade de formar géis nas proteínas é uma característica tecnofuncional essencial para o desenvolvimento e formulação de novos produtos alimentícios (López et al., 2019). A formação de géis é um processo importante em muitos alimentos, pois afeta sua textura, comportamento durante o preparo e funcionalidade. Esse fenômeno ocorre quando as moléculas gelificantes se organizam para criar uma estrutura tridimensional, que retém água em seus espaços. Para que isso aconteça, é necessário atingir uma quantidade mínima de gelificante, conhecida como "concentração mínima de gelificação". Essa quantidade pode variar dependendo do tipo de gelificante e das condições de processamento, como temperatura e pH. A concentração mínima de gelificação é um fator importante nas formulações alimentares, pois determina a quantidade mínima de gelificante necessária para alcançar a textura ideal. Alimentos que precisam de menos gelificante costumam ser mais econômicos e podem ter vantagens, como texturas mais leves ou menor quantidade de calorias, o que os torna atrativos para quem busca produtos saudáveis e funcionais.

Os resultados dos testes de gelatinização com o concentrado proteico de castanha-do-Brasil (PCCB) estão na **figura 11**. Observa-se que as soluções com 2% e 6% de concentração proteica não formaram gel. Já na concentração de 10% (m/m), formou-se um gel fraco, que escorreu pelas paredes do tubo. No entanto, a gelificação ocorreu de forma mais clara quando a concentração do PCCB foi superior a 16% (m/m), sendo bem forte a 20% (m/m). Esses resultados sugerem que a gelificação pode ter sido influenciada pela alta presença de globulinas, albuminas e pelas interações entre as proteínas (Garbar et al., 2014). Na indústria alimentícia, géis com alta concentração são comuns, mas há uma preferência por géis que se formam com menores quantidades de gelificante, pois são mais econômicos e exigem menos recursos.

7. CONCLUSÃO

O concentrado de castanha-do-Brasil demonstrou ser uma proteína vegetal benéfica para a indústria alimentícia em algumas funcionalidades. Os resultados demonstraram que o concentrado proteico de castanha-do-Brasil tem uma excelente fonte proteica, com um teor de 85%, maior que o de ervilha e menor que o de soja. A estrutura secundária das proteínas indica uma predominância de β -folha, que, junto com a alta hidrofobicidade da proteína concentrada, contribui para sua capacidade superior de retenção de óleo e sua utilidade em aplicações que exigem alta absorção de gordura. No entanto, a capacidade de formação de espuma e a estabilidade da emulsão das castanhas-do-Brasil são menores em comparação com soja e ervilha, destacando a necessidade de otimização em pH específico para melhorar essas propriedades. O ponto isoelétrico do concentrado proteico de castanha-do-Brasil, entre pH 4 e 5, e sua resposta ao pH e à concentração de sal confirmam a importância das propriedades eletrostáticas na estabilidade coloidal. A gelificação de proteínas ocorre apenas em altas concentrações, sugerindo a necessidade de uma formulação adequada para aplicações alimentícias. Análises futuras podem incluir a exploração do impacto de diferentes métodos de processamento na funcionalidade da proteína, investigando o potencial para melhorar a formação de espuma e a estabilidade da emulsão por meio de modificações de ingredientes e avaliando os atributos sensoriais de produtos alimentícios incorporando concentrado de proteína de castanha-do-Brasil. Além disso, estudos podem avaliar os benefícios nutricionais e a viabilidade econômica de aumentar a produção. Esses resultados mostram que, apesar das limitações em algumas propriedades funcionais, a proteína de castanha-do-Brasil é um recurso promissor para o desenvolvimento de produtos alimentícios inovadores e sustentáveis, abrindo caminhos para mais pesquisa e otimização na indústria alimentícia.

REFERÊNCIAS

- AARØEN, Ola; RICCARDI, Enrico; SLETMOEN, Marit. Exploring the effects of approach velocity on depletion force and coalescence in oil-in-water emulsions. **Rsc Advances**, [S.L.], v. 11, n. 15, p. 8730-8740, 2021. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/d1ra00661d>.
- ANEMA, Skelte G.. Age Gelation, Sedimentation, and Creaming in UHT Milk: a review. **Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 140-166, 21 dez. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12407>.
- Arakawa, T., Kita, Y., & Carpenter, J. F. (1991). Protein–Solvent Interactions in Pharmaceutical Formulations. *Pharmaceutical Research*, 08(3), 285–291. <https://doi.org/10.1023/A:1015825027737>
- ARAÚJO, J. M., **Química de Alimentos: Teoria e prática**, Viçosa-MG, Ed. UFV, 601p, (2011)
- BOYE, J.I.; Aksay, S.; Roufik, S.; Ribéreau, S.; Mondor, M.; Farnworth, E.; Rajamohamed, S.H.. Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. **Food Research International**, [S.L.], v. 43, n. 2, p. 537-546, mar. 2010.
- BUČKO, S., Katona, J., Popović, L., Petrović, L., Milinković, J. (2016). Influence of enzymatic hydrolysis on solubility, interfacial and emulsifying properties of pumpkin (Cucurbita pepo) seed protein isolate. **Food Hydrocolloids**, 60, 271-278.
- CANO-SARMIENTO, C.; TÉLLEZ-MEDINA, D. I.; VIVEROS-CONTRERAS, R.; CORNEJO-MAZÓN, M.; FIGUEROA-HERNÁNDEZ, C. Y.; GARCÍA-ARMENTA, E.; ALAMILLA-BELTRÁN, L.; GARCÍA, H. S.; GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G. F.. Zeta Potential of Food Matrices. **Food Engineering Reviews**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 113-138, 5 abr. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12393-018-9176-z>.
- CARBONE, J.W.; Pasiakos, S.M. **Dietary Protein and Muscle Mass: Translating Science to Application and Health Benefit**. *Nutrients*. Vol. 11. Num. 5. 2019. p. 1-13.
- CARDOSO, Bárbara R.; DUARTE, Graziela B. Silva; REIS, Bruna Z.; COZZOLINO, Silvia M.F.. Brazil nuts: nutritional composition, health benefits and safety aspects. **Food Research International**, [S.L.], v. 100, p. 9-18, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.036>.
- CARVALHO, Arthur Lobato Silva et al. Óleo de Castanha-do-Brasil: métodos de administração e aplicações na indústria. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 4, pág. E29511427256-e29511427256, 2022.
- CESAR, Alta de S.; Cheinho, LMG; Rossignoli, PA; Rodrigues, LJ; Silva, FF da; Takeuchi, KP; Carvalho, D. de M.; Faria, AM de M.. Caracterização físico-química e reológica de amido de milho (zea mays l.) variedades crioulas de milho pipoca. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 10, n. 13, pág. e402101321394, 2021.
- CHEN, Maoshen; LU, Juhui; LIU, Fei; NSOR-ATINDANA, John; XU, Feifei; GOFF, H. Douglas; MA, Jianguo; ZHONG, Fang. Study on the emulsifying stability and interfacial ad-

sorption of pea proteins. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 88, p. 247-255, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.003>.

CHEN, Ying; YE, Sunxiang; LIU, Luqiang; REN, Yiping; LI, Qian; ZHANG, Chen; QIAN, Jian-Ya. Influence of ohmic heating on structure, texture and flavor of peanut protein isolate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, [S.L.], v. 90, p. 103512, dez. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103512>.

CRA, CRO, ESPUMA E EMULSÃO RETIRADOS DAQUI:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/107535/317833.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DA SILVA, Bruna Paula Pantoja Caxias et al. 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.

DALIRI, H., Ahmadi, R., Pezeshki, A., Hamishehkar, H., Mohammadi, M., Beyrami, H., Ghorbani, M. (2021). Quinoa bioactive protein hydrolysate produced by pancreatin enzyme-functional and antioxidant properties. **LWT**, 150, 111853

DE ANDRADE, Tiago Negrão et al. Vegetables Analogous to Meat and the Future of For: da Challenges of the For Indutor in the Face of Environmental Crises. **Brasiliana Jornal of Health Revide**, v. 5, n. 1, p. 3409-3448, 2022.

DING, Dang. Effects of Emulsifier on Emulsification, Physical and Chemical Properties of Soybean Protein. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.L.], v. 792, n. 1, p. 012017, 1 jun. 2021. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/792/1/012017>.

DO EVANGELHO, J. A., Vanier, N. L., Pinto, V. Z., De Berrios, J. J., Dias, A. R. G., da Rosa Zavareze, E. (2017). Black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein hydrolysates: Physicochemical and functional properties. **Food Chemistry**, 214, 460-467.

DONADEL, M. E.; Prudencio-Ferreira, S. H., **Propriedades funcionais de concentrado protéico de feijão envelhecido**, Ciência e Tecnologia de Alimentos, vol.19, n.3 Campinas, 1999.

ELETROFORESE daqui: <https://sci-hub.hkvisa.net/10.1016/j.foodchem.2019.01.031>

FELIX, M., Cermeño, M., Romero, A., FitzGerald, R. J. (2019). Characterisation of the bioactive properties and microstructure of chickpea protein-based oil in water emulsions. **Food Research International**, 121, 577-585.

FENNEMA, O. R.; Damodaran, S.; Parkin, K. L., **Química de Alimentos de Fennema**, Ed. Artmed, 900p, 2010.

FERREIRA E.S, Silveira CS, Lucien VG, Amaral AS (2006) **Caracterização físico-química da amêndoa, torta e composição dos ácidos graxos majoritários do óleo bruto da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.)**. *Alim. Nutr.* 17: 203-208.

FEYZI, S., E. Milani, Q.A. Golimovahhed. Grass pea (*Lathyrus sativus* L.) protein isolante: The effect of extraction optimization and drying methods on the estruture and functional Properties. **For Hydrocolloids**, 74 (2018), pp. 187-196

Fontanari, G., Batistuti, J., Bannach, G., Pastre, I., Ionashiro, E., & Fertonani, F. (2006). Thermal study and physico-chemical characterization of some functional properties of guava seeds protein isolate (*Psidium guajava*). *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 83(3), 709-713. <https://doi.org/10.1007/s10973-005-6802-9>

FREIRIA, Caroline A. et al. (2017): Campanha de Comunicação Ahimsa-Vegan Life. **Revista Eletrônica de Comunicação**, v. 12, n. 1.

FTIR, SOLUBILIDADE, GELIFICAÇÃO RETIRADOS DAQUI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643820305983#bib34>

G. VU, H.L. Zhou, D.J. McClements Impact of cooking method on properties of beef and plant-based burgers: Appearance, texture, thermal properties, and shrinkage. **Journal of Agriculture and Food Research**, 9 (2022).

G. LIU, J. Li, K. Si, S. Wang, J. Chen, Y. Liu, *et al.* Compositivo, secundar estruture, and self-assembla of out protein isolante. **Jornal of Agricultura and For Chemistry**, 57 (2009), pp. 4552-4558

GALANI, Eleni et al. Emulsões estabilizadas de proteína de ervilha e soja: estudos de formulação, estrutura e estabilidade. **Colloids and Interfaces**, v. 7, n. 2, p. 30, 2023.

GHRIBI, A.M., I.M. Gafsi., C. Blecker, S. Danthine, H. Attia, S. Besbes. Effect of drying methods on physico-chemical and functional properties of chickpea protein concentrates. **Jornal of For Engineering**, 165 (2015), pp. 179-188.

GLÓRIA, Mariana M. da; REGITANO-D'ARCE, Marisa AB. Concentrado e isolado proteico de torta de castanha do Pará: obtenção e caracterização química e funcional. **For Science and Technology**, v. 20, p. 240-245, 2000.

GUCKEISEN, Tobias; HOSSEINPOUR, Saman; PEUKERT, Wolfgang. Isoelectric Points of Proteins at the Air/Liquid Interface and in Solution. **Langmuir**, [S.L.], v. 35, n. 14, p. 5004-5012, 20 mar. 2019. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.langmuir.9b00311>.

Gul, O., Gul, L. B., Baskinci, T., Parlak, M. E., & Saricaoglu, F. T. (2023). Influence of pH and ionic strength on the bulk and interfacial rheology and technofunctional properties of hazelnut meal protein isolate. *Food Research International*, 169, 112906. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112906>

GUMUS, Cansu Ekin; DECKER, Eric Andrew; MCCLEMENTS, David Julian. Formation and Stability of ω -3 Oil Emulsion-Based Delivery Systems Using Plant Proteins as Emulsifiers: lentil, pea, and faba bean proteins. **Food Biophysics**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 186-197, 21 mar. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11483-017-9475-6>.

HIDROFOBICIDADE superficial daqui: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/5/919>. **Jornal of the Science of For and Agricultura**, 93 (2013), pp. 2429-2436.

HINDERINK, Emma B.A.; SCHRÖDER, Anja; SAGIS, Leonard; SCHROËN, Karin; BERTON-CARABIN, Claire C.. Physical and oxidative stability of food emulsions prepared with pea protein fractions. **Lwt**, [S.L.], v. 146, p. 111424, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111424>.

ISNAINI, L; ESTIASIH, T; SUSENO, S H; A LESTARI, L. The role vegetable proteins to stabilize emulsion: a mini review. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.L.], v. 924, n. 1, p. 012036, 1 nov. 2021. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/924/1/012036>.

JEONG, Min-Soo; CHO, Seong-Jun. Effect of pH-shifting on the water holding capacity and gelation properties of mung bean protein isolate. **Food Research International**, [S.L.], v. 177, p. 113912, fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113912>.

Joshi, A. U., Liu, C., & Sathe, S. K. (2015). Functional properties of select seed flours. **LWT - Food Science and Technology**, 60(1), 325–331. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.038>

KARACA, A.C., N. Low, M. Nickerson. Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extrato. **For Research Internacional**, 44 (2011), pp. 2742-2750

KAUR, M.; SINGH, N. Studi és on functional, termal and pastinha properties of flúor from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. **For Chemistry**, v. 91, p. 403-411, 2005.

KLUCZKOVSKI, A. M.; Gerenciamento de risco da castanha-do-brasil/Blumenau, SC: **nova letra**, 2015. 248 p.: il. Color.; 21 cm.

KRSTONOĹIĆ, Veljko; PAVLOVIĆ, Nebojša; NIKOLIĆ, Ivana; MILUTINOV, Jovana; ĆIRIN, Dejan. Physicochemical properties and stability of oil-in-water emulsions stabilized by soy protein isolate and xanthan gum. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 260, p. 129610, mar. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129610>.

KUDRE. T. G., S. Benjakul, H. Kishimura. **Comparative study on chemical compositions and properties of protein isolates from mung bean, black bean and bambara groundnut.**

L.Y. Aydemir, A. Yemenicioglu. Potential of Turkish Kabuli type chickpea and green and red lentil cultivars as source of soy and animal origin functional protein alternatives **Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie- For Science and Technology**, 50 (2013), pp. 686-694

Lautenbach V, Hosseinpour S, Peukert W. Isoelectric Point of Proteins at Hydrophobic Interfaces. **Front Chem**. 2021 Jul 30;9:712978. doi: 10.3389/fchem.2021.712978. PMID: 34395381; PMCID: PMC8360839.

LESSA, Vinícius Lopes; OMURA, Michele Harumi; PACHECO, Sidney; OLIVEIRA, Eduardo Basílio de; BARROS, Frederico Augusto Ribeiro de. Obtention and evaluation of physico-chemical and techno-functional properties of macauba (*Acrocomia aculeata*) kernel protein isolate. **Food Research International**, [S.L.], v. 161, p. 111848, nov. 2022.

LI, Ning; ZHANG, Zhihui; CUI, Yifan; SHI, Jiahui; SUN, Xiaotong; LIU, Yi-An; WANG, Xibo; XU, Ning. Optimization of enzymatic soy protein isolate-glucosamine conjugates to

improve the freeze–thaw stability of emulsion. **Journal Of The Science Of Food And Agriculture**, [S.L.], v. 103, n. 2, p. 811-819, 12 set. 2022. Wiley.
<http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.12192>.

LIMA, Emerson; DA SILVA, Marcia de Jesus Amazonas; KLUCZKOVSKI, Ariane Mendonça. Características botânicas, importância socioeconômica e usos em saúde da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*): uma revisão. **Conjecturas**, v. 22, n. 2, p. 574-590, 2022.

LIMA, J. R.; PINTO, G. A. S.; VASCONCELOS, N. M.; CORDEIRO, S. A. **Extração aquosa de óleo de amêndoa de castanha-de-caju. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical**, 2016. 2 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado Técnico, 223).

LIN, M. J. Y.; HUMBERT, E. S.; SOSULSKI, F. W. Certain functional properties of sunflower meal products. **Jornal of For Science**, v. 39, p. 368-370, 1974.

LIN, M. J. Y.; HUMBERT, E. S.; SOSULSKI, F. W. Certain functional properties of sunflower meal products. **Jornal of For Science**, v. 39, p. 368-370, 1974.

LINDEN, Erik van Der; VENEMA, Paul. Self-assembly and aggregation of proteins. *Current Opinion In Colloid & Interface Science*, [S.L.], v. 12, n. 4-5, p. 158-165, out. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cocis.2007.07.010>.

LIU, Jia; HUANG, Xiang-Feng; LU, Li-Jun; LI, Ming-Xia; XU, Jing-Cheng; DENG, Hui-Ping. Turbiscan Lab® Expert analysis of the biological demulsification of a water-in-oil emulsion by two biodemulsifiers. **Journal Of Hazardous Materials**, [S.L.], v. 190, n. 1-3, p. 214-221, jun. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.03.028>.

LÓPEZ, Débora N.; GALANTE, Micaela; RAIMUNDO, Geraldine; SPELZINI, Darío; BOERIS, Valeria. Functional properties of amaranth, quinoa and chia proteins and the biological activities of their hydrolyzates. *Food Research International*, [S.L.], v. 116, p. 419-429, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.056>.

LUTZ, Instituto Adolfo Lutz, **Métodos Físico-químicos para Análise de Alimentos** – São Paulo, 4ª edição, 2004.

LV, Jiao; ZHAO, Yuan; WANG, Jianzhong; OUYANG, Jie; WANG, Fengjun. Effects of environmental factors on functional properties of Chinese chestnut (*Castanea mollissima*) protein isolates. **European Food Research And Technology**, [S.L.], v. 240, n. 3, p. 463-469, 26 out. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-014-2366-x>.

Ma, X., Huang, C., Zheng, C., Wang, W., Ying, H., & Liu, C. (2024). Effect of oil extraction methods on walnut oil quality characteristics and the functional properties of walnut protein isolate. *Food Chemistry*, 438, 138052. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138052>

MAO, Xiao-Ying; HUA, Yu-Fei. Chemical composition, molecular weight distribution, secondary structure and effect of NaCl on functional properties of walnut (*Juglans regia* L) protein isolates and concentrates. *Journal Of Food Science And Technology*, [S.L.], v. 51, n. 8, p. 1473-1482, 9 mar. 2012. Springer Science and Business Media LLC.
<http://dx.doi.org/10.1007/s13197-012-0674-3>.

MESSINA, Mark; DUNCAN, Alison M.; GLENN, Andrea J.; MARIOTTI, Francois. Perspective: plant-based meat alternatives can help facilitate and maintain a lower animal to plant protein intake ratio. **Advances In Nutrition**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 392-405, maio 2023.

MONTEIRO, I.; Trigueiro, H.; Gonçalves, M. **Particularidades da abordagem nutricional no atleta vegetariano**. Acta Port Nutr. Num. 20. 2020. p. 32-37.

MUNHOZ, C. L., FERREIRA, T. H. B., FLORENCIO, E. M.C., SOUZA, L. H. **Desenvolvimento de barra de cereais de castanha de baru (*Dipteryx alata* vog.) Enriquecidas com prebióticos**. Cadernos de Agroecologia, V. 13 N. 2, p. 1-7. 2018

NAKAI, S.; HO, L.; HELBIG, N.; KATO, A.; TUNG, M.A.. Relationship Between Hydrophobicity and Emulsifying Properties of Some Plant Proteins. **Canadian Institute Of Food Science And Technology Journal**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 23-27, jan. 1980. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0315-5463\(80\)73297-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0315-5463(80)73297-2).

NUÑEZ, S. M., Cárdenas, C., Valencia, P., Masip, Y., Pinto, M., Almonacid, S. (2021). Water-holding capacity of enzymatic protein hydrolysates: A study on the synergistic effects of peptide fractions. **LWT**, 152, 112357.

OLSMATS, Eleonora; RENNIE, Adrian R.. Pea protein [*Pisum sativum*] as stabilizer for oil/water emulsions. **Advances In Colloid And Interface Science**, [S.L.], v. 326, p. 103123, abr. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2024.103123>.

PHONGTHAI, S., Lim, S. T., Rawdkuen, S. (2016). Optimization of microwave-assisted extraction of rice bran protein and its hydrolysates properties. **Journal of cereal science**, 70, 146-154.

QAMAR, Sadia; BHANDARI, Bhesh; PRAKASH, Sangeeta. Effect of different homogenisation methods and UHT processing on the stability of pea protein emulsion. **Food Research International**, [S.L.], v. 116, p. 1374-1385, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.028>.

RIBEIRO, Úrsula leite. A ascensão do consumo ético de produtos vegetarianos e veganos no mercado brasileiro. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, n. julio, 2019.

SAETA, D.; SUNTORNSUK, W., Toxic compound, anti-nutritional factors and functional properties of protein isolated from detoxified *Jatropha curcas* L. seed cake. **International Journal of Molecular Sciences**, v.12, p 66-77, 2011.

Sawant A, Kamath S, Kg H, Kulyadi GP. Solid-in-Oil-in-Water Emulsion: An Innovative Paradigm to Improve Drug Stability and Biological Activity. *AAPS PharmSciTech*. 2021 Jul 1;22(5):199. doi: 10.1208/s12249-021-02074-y. PMID: 34212274; PMCID: PMC8249250.

SBV. **Sociedade Vegetariana Brasileira**. (2019): “Mercado vegano”

SCHMID, Eva-Maria; FARAHNAKY, Asgar; ADHIKARI, Benu; SAVADKOOHI, Sobhan; TORLEY, Peter J.. Investigation into the physiochemical properties of soy protein isolate and concentrate powders from different manufacturers. **International Journal Of Food Science & Technology**, [S.L.], v. 59, n. 3, p. 1679-1693, 21 jan. 2024. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.16923>.

SHI, Yanan; CAO, Jin; LI, Liang; YANG, Xiaoyu. Enhancing stability and performance of emulsion stabilized by soy protein isolate nanofiber - polysaccharide complexes. **Lwt**, [S.L.], v. 205, p. 116495, ago. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116495>.

SHRESTHA, Smriti; HAG, Leonie van 'T; HARITOS, Victoria S.; DHITAL, Sushil. Lentil and Mungbean protein isolates: processing, functional properties, and potential food applications. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 135, p. 108142, fev. 2023.

SIDDIQ, M.; RAVI, R.; HARTE, J. B.; DOLAN, K. D. Physical and functional characteristics of selected dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. **For Science and Technology**, v. 43, p. 232-237, 2010.

SILVA, Mariana Vargas Braga et al. (2017): “**Promovendo o consumo sustentável: Um estudo de caso**” Revista Pretexto, v. 18, n. 3, p. 50-66.

SILVEIRA JC, Busato NV, Costa AOS, Junior EFC (2012) Levantamento e análise de métodos de extração de óleos essenciais. **Enciclopédia Biosfera** 8(15); 2038-2052.

SIM, Shaun Yong Jie; SRV, Akila; CHIANG, Jie Hong; HENRY, Christiani Jeyakumar. Plant Proteins for Future Foods: a roadmap. **Foods**, [S.L.], v. 10, n. 8, p. 1967, 23 ago. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods10081967>.

SIM, Shaun Yong Jie; SRV, Akila; CHIANG, Jie Hong; HENRY, Christiani Jeyakumar. Plant Proteins for Future Foods: a roadmap. **Foods**, [S.L.], v. 10, n. 8, p. 1967, 23 ago. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods10081967>.

SOUZA, M.L.; MENEZES, H.C.; Processing of brazil nut and meal and cassava flour: quality parameters. **Braz. J. of Science and food technology**, 24 (1): 120 – 128, 2004.

TABTABAEI, Solmaz; KONAKBAYEVA, Dinara; RAJABZADEH, Amin Reza; LEGGE, Raymond L.. Functional properties of navy bean (*Phaseolus vulgaris*) protein concentrates obtained by pneumatic tribo-electrostatic separation. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 283, p. 101-110, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.031>.

Taha, A., Ahmed, E., Ismaiel, A., Ashokkumar, M., Xu, X., Pan, S., & Hu, H. (2020). Ultrasonic emulsification: An overview on the preparation of different emulsifiers-stabilized emulsions. **Trends in Food Science & Technology**, 105, 363–377. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.024>

TANG, Sen; LI, Junsheng; HUANG, Guoxia; YAN, Liujuan. Predicting Protein Surface Property with its Surface Hydrophobicity. **Protein & Peptide Letters**, [S.L.], v. 28, n. 8, p. 938-944, 10 set. 2021. Bentham Science Publishers Ltd.. <http://dx.doi.org/10.2174/0929866528666210222160603>.

THARREY, Marion; MARIOTTI, Francois; MASHCHAK, Andrew; BARBILLON, Pierre; DELATTRE, Maud; HUNEAU, Jean-François; FRASER, Gary e. Patterns of amino acid intake are strongly associated with cardiovascular mortality, independently of the sources of protein. **International Journal Of Epidemiology**, [S.L.], v. 49, n. 1, p. 312-321, 27 set. 2019. Oxford University Press (OUP).

Tian, S., Chen, J., & Small, D. M. (2011). Enhancement of solubility and emulsifying properties of soy protein isolates by glucose conjugation: enhancement of soy protein by

glucose conjugation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(1), 80–95.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00456.x>

VAN VLIET, S.; Burd, N.A.; Van Loon, L.J. **The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant versus Animal-Based Protein Consumption.** *J Nutr.* Vol. 145. Num. 9. 2015. p.1981-1991.

Vasquez-Rojas, W. V., Martín, D., Miralles, B., Recio, I., Fornari, T., & Cano, M. P. (2021). Composition of Brazil Nut (*Bertholletia excels* HBK), Its Beverage and By-Products: A Healthy Food and Potential Source of Ingredients. *Foods*, 10(12), 3007.
<https://doi.org/10.3390/foods10123007>.

WANG, D., Yan, L., Ma, X., Wang, W., Zou, M., Zhong, J., Liu, D. (2018). Ultrasound promotes enzymatic reactions by acting on different targets: Enzymes, substrates and enzymatic reaction systems. **International journal of biological macromolecules**, 119, 453-461.

WANG, D., Yan, L., Ma, X., Wang, W., Zou, M., Zhong, J., Liu, D. (2018). Ultrasound promotes enzymatic reactions by acting on different targets: Enzymes, substrates and enzymatic reaction systems. **International journal of biological macromolecules**, 119, 453-461.

WANG, Rui; WANG, Lang-Hong; WEN, Qing-Hui; HE, Fei; XU, Fei-Yue; CHEN, Bo-Ru; ZENG, Xin-An. Combination of pulsed electric field and pH shifting improves the solubility, emulsifying, foaming of commercial soy protein isolate. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 134, p. 108049, jan. 2023.

WIRNITZER, Katharina C. Nutrição vegana: o último boom em saúde e exercícios. In: **Alimentos terapêuticos, probióticos e não convencionais**. Imprensa Acadêmica, 2018. p. 387-453.

YANQING, Liu; YUYANG, Huang; XIAOQI, Deng; ZHIMIN, Li; WENTAO, Lian; GUANG, Zhang; YING, Zhu; XIUQING, Zhu. Effect of enzymatic hydrolysis followed after extrusion pretreatment on the structure and emulsibility of soybean protein. **Process Biochemistry**, [S.L.], v. 116, p. 173-184, maio 2022. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2022.03.012>.

Yuliana, M., Truong, C. T., Huynh, L. H., Ho, Q. P., & Ju, Y. H. (2014). Isolation and characterization of protein isolated from defatted cashew nut shell: Influence of pH and NaCl on solubility and functional properties. *LWT-Food Science and Technology*, 55(2), 621-626.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.10.022>

Zeng H, Shi C, Huang J, Li L, Liu G, Zhong H. Recent experimental advances on hydrophobic interactions at solid/water and fluid/water interfaces. *Biointerphases*. 2015 Mar 15;11(1):018903. doi: 10.1116/1.4937465. PMID: 26671479.

Zhang, A., Wang, L., Song, T., Yu, H., Wang, X., & Zhao, X. (2022b). Effects of high pressure homogenization on the structural and emulsifying properties of a vegetable protein: *Cyperus esculentus* L. *LWT*, 153, 112542. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112542>

Zhang, P., Bao, Z., Wang, H., Tu, Z., Sha, X., & Hu, Y. (2022). Ultrasonic pretreatment improved the physicochemical properties and riboflavin delivery ability of transglutaminase-

catalyzed soy protein isolate gel. *Food Hydrocolloids*, 131, 107782.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107782>

Zhang, Q.-T., Tu, Z.-C., Xiao, H., Wang, H., Huang, X.-Q., Liu, G.-X., Liu, C.-M., Shi, Y., Fan, L.-L., & Lin, D.-R. (2014). Influence of ultrasonic treatment on the structure and emulsifying properties of peanut protein isolate. *Food and Bioprocess Processing*, 92(1), 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.07.006>

ZHOU, H. et al. Modification of textural attributes of potato protein gels using salts, polysaccharides, and transglutaminase: Development of plant-based foods. **Food Hydrocolloids**, v. 144, p. 108909, nov. 2023.

Zhu, Y., Fu, S., Wu, C., Qi, B., Teng, F., Wang, Z., Li, Y., & Jiang, L. (2020). The investigation of protein flexibility of various soybean cultivars in relation to physicochemical and conformational properties. *Food Hydrocolloids*, 103, 105709. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105709>

ZHU, Yuqing; GAO, Hongxia; LIU, Wei; ZOU, Liqiang; MCCLEMENTS, David Julian. A review of the rheological properties of dilute and concentrated food emulsions. **Journal Of Texture Studies**, [S.L.], v. 51, n. 1, p. 45-55, 10 jun. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jtxs.12444>.

OTHMENI, Ines; KAROUI, Romdhane; BLECKER, Christophe. Impact of pH on the structure, interfacial and foaming properties of pea protein isolate: investigation of the structure ∴ function relationship. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 278, p. 134818, out. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134818>.

Conclusão Geral

Conclui-se que ambos os capítulos destacam o potencial das proteínas vegetais, especificamente de nozes e da castanha-do-Brasil, como alternativas sustentáveis e inovadoras para a indústria alimentícia. As proteínas de nozes se mostram como fontes promissoras devido à sua riqueza nutricional, versatilidade funcional e capacidade de atender à demanda crescente por alimentos baseados em plantas, enquanto o concentrado de castanha-do-Brasil, com um teor proteico elevado, apresenta propriedades tecnofuncionais interessantes, como a alta capacidade de retenção de óleo. No entanto, algumas limitações, como a menor formação de espuma e estabilidade de emulsão, indicam a necessidade de otimização para uso em diversas aplicações alimentares. A pesquisa futura deve focar na exploração de diferentes métodos de processamento e formulações que possam melhorar essas propriedades e maximizar o potencial desses recursos proteicos para o desenvolvimento de produtos alimentícios saudáveis, sustentáveis e atraentes. Dessa forma, as proteínas de nozes, incluindo a castanha-do-Brasil, têm o potencial de desempenhar um papel significativo na inovação e diversificação de fontes de proteínas vegetais, alinhando-se com as tendências alimentares globais e promovendo escolhas mais conscientes e sustentáveis.