



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE**  
**ALIMENTOS**

**JÉSSICA SILVA DO CARMO**

**OBTENÇÃO DE INSUMOS PROTEICOS DE AMÊNDOA DE CASTANHA DE CAJU**  
**POR DIFERENTES ROTAS E APLICAÇÃO EM PRODUTO *PLANT-BASED***

**FORTALEZA**

**2024**

JÉSSICA SILVA DO CARMO

OBTENÇÃO DE INSUMOS PROTEICOS DE AMÊNDOA DE CASTANHA DE CAJU  
POR DIFERENTES ROTAS E APLICAÇÃO EM PRODUTO *PLANT-BASED*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Ana Paula Dionísio.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- C285o Carmo, Jéssica Silva do.  
Obtenção de insumos proteicos de amêndoa de castanha de caju por diferentes rotas e aplicação em produto plant-based / Jéssica Silva do Carmo. – 2024.  
115 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2024.  
Orientação: Profa. Dra. Ana Paula Dionísio.
1. Proteína. 2. Aminoácido. 3. Inovação. 4. Alimento. I. Título.

CDD 664

---

JÉSSICA SILVA DO CARMO

OBTENÇÃO DE INSUMOS PROTEICOS DE AMÊNDOA DE CASTANHA DE CAJU  
POR DIFERENTES ROTAS E APLICAÇÃO EM PRODUTO *PLANT-BASED*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovada em: 22/04/2024.

BANCA EXAMINADORA

---

Dra. Ana Paula Dionísio (Orientadora)

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) - Agroindústria Tropical

---

Dra. Daniele Maria Alves Teixeira Sá

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

---

Dra. Sueli Rodrigues

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra. Larissa Moraes Ribeiro da Silva

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Francisco Fábio Cavalcante Barros

Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI)

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por me guiar até aqui, por me dar saúde, sabedoria e força para não desanimar diante das dificuldades.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), em especial ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA), pela formação e oportunidade de aprimorar meus conhecimentos no Mestrado.

À todos os professores do PPGCTA, pelos ensinamentos.

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

À minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dra. Ana Paula Dionísio, por me conduzir, acolher minhas ideias, me incentivar e por todo apoio, confiança, compreensão e dedicação neste trabalho.

À Prof.<sup>a</sup> Dra. Daniele Maria Alves Teixeira Sá, pelo apoio, pelos ensinamentos e confiança.

Aos amigos e companheiros de laboratório da Embrapa, Gilleno, Karine, Diogo, Beatriz, Levi, Danrley, Maico, Ananda, Fátima, Kelvi e Daniele, pela amizade construída, pela colaboração nas análises e por tornarem meus dias de trabalho mais leves.

Aos pesquisadores e analistas da Embrapa, Arthur, Adriano, Márcia, Ídila, Lorena, Lilian, Nédio, Calixto e Ingrid, pelo apoio e ensinamentos.

À Embrapa Agroindústria Tropical, pelo financiamento do projeto de pesquisa, tornando possível a realização da presente pesquisa.

Ao The Good Food Institute, organização sem fins lucrativos, por apoiar financeiramente esta pesquisa.

À USIBRAS, por ceder as amêndoas de castanha de caju utilizadas nesse estudo.

À Dra. Ana Carla Kawazoe Sato, professora da Unicamp, pela parceria nas análises e colaboração.

À Prof.<sup>a</sup> Dra. Sueli Rodrigues, pela colaboração e parceria.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE – *campus* Sobral) pelo incentivo a minha qualificação e permissão de afastamento para capacitação.

À Prof.<sup>a</sup> Dra. Leiliane Teles Cesar e Jessica Maria, companheiras de trabalho e amigas, pelo apoio, compreensão, incentivo e por “segurarem as pontas” do Laboratório de Microbiologia na minha ausência.

Aos meus pais, Maria das Graças e Plácido, pela educação proporcionada, fruto de muito esforço, pelo amor incondicional, carinho, motivação e pela torcida. Obrigada por tudo! Amo vocês!

Ao meu irmão, Fernando, pelo apoio, ensinamentos compartilhados e incentivo.

Ao meu companheiro, João Paulo Carvalho, por ser meu grande incentivador, amor e ombro amigo, por me apoiar em todos os momentos com a maior paciência e preocupação. Obrigada por fazer meus dias mais leves e felizes quando tudo dava errado.

E, por fim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho, a minha gratidão!

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”  
(Madre Teresa de Calcutá)

## RESUMO

O desenvolvimento de produtos *plant-based* com qualidade nutricional e bem aceitos pelos consumidores tem impulsionado a busca por fontes proteicas vegetais alternativas. A amêndoa da castanha de caju (ACC) se destaca por apresentar proteína considerada de qualidade e boa funcionalidade tecnológica, além de sabor suave. A extração de óleo é uma etapa importante quando se trata de obter concentrados proteicos de matérias-primas oleaginosas. Os principais métodos de extração de óleo são a prensagem e a extração por solventes. A prensagem a frio é rápida, acessível e econômica, não envolvendo aquecimento ou adição de produtos químicos, embora apresente um rendimento de extração inferior a outros métodos. O hexano é um solvente amplamente utilizado na extração de óleos vegetais devido à sua alta eficiência, porém é conhecido por ser altamente tóxico e inflamável e pode deixar resíduos tanto no óleo quanto na farinha desengordurada. A extração aquosa de óleo é uma alternativa viável que não requer o uso de solventes orgânicos, permitindo a recuperação simultânea de óleo e proteína. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a obtenção de insumos proteicos de ACC por métodos alternativos ao uso do hexano para extração do óleo e avaliar a aplicação no desenvolvimento de produto análogo à carne. A torta desengordurada e o concentrado proteico obtidos do processo com uso de hexano em aparelho Soxhlet apresentaram maiores teores de proteínas, 40,36% e 85,45%, respectivamente, confirmando ser este o método mais eficiente para a extração de óleo descrito na literatura. O processo de prensagem resultou em torta e concentrado proteico com 27,40% e 59,34% de proteínas, respectivamente. A extração aquosa de óleo apresentou rendimento mais vantajoso que a prensagem, obtendo-se torta com 35,51% e concentrado com 69,02% de proteínas. O concentrado proteico derivado da torta por extração aquosa exibiu características funcionais-tecnológicas interessantes, como melhor capacidade de absorção de óleo e emulsificante. Os concentrados proteicos de ACC apresentaram perfil de aminoácidos completo, sendo a lisina o único aminoácido essencial limitante, e digestibilidade *in vitro* maior que 90%. A aplicabilidade dos insumos proteicos de ACC foi avaliada no desenvolvimento de empanados vegetais. As três formulações apresentaram teor de proteínas variando de 9,54% a 17,97%. Os empanados elaborados com tortas desengorduradas por extração aquosa e por prensagem apresentaram mais de 10% do valor diário de referência (VDR) de proteínas por porção e um excelente perfil de aminoácidos, podendo ser rotulados como "fonte de proteínas". A formulação adicionada de concentrado proteico obtido a partir de torta desengordurada por extração aquosa apresentou mais de 20% do VDR de proteínas por porção, mas necessita de ajustes para aumentar o teor de lisina. As formulações de empanados

vegetais de ACC tiveram uma aceitabilidade superior a 79% e intenção de compra acima de 70% na zona positiva, demonstrando grande potencial de mercado. Os resultados indicaram que os insumos proteicos de ACC apresentaram boa aplicabilidade no desenvolvimento de produto análogo à carne. A escolha do método de processamento é determinante na composição e características dos produtos a serem desenvolvidos, sendo viável a utilização de métodos alternativos à extração de óleo com hexano.

**Palavras-chave:** proteína vegetal; aminoácido; *nuggets*; inovação; alimento.

## ABSTRACT

The development of plant-based products with nutritional quality and well-accepted by consumers has driven the search for alternative vegetable protein sources. Cashew nut stand out for presenting protein considered to be of quality and good technological functionality, besides mild flavor. Oil extraction is an important step when it comes to obtaining protein concentrates from oilseed raw materials. The main oil extraction methods are pressing and solvent extraction. Cold pressing is fast, accessible and economical, involving no heating or addition of chemicals, although it has a lower extraction yield than other methods. Hexane is a solvent widely used in the extraction of vegetable oils due to its high efficiency, but it is known to be highly toxic and flammable, and can leave residues in both the oil and the defatted flour. Aqueous oil extraction is a viable alternative that does not require the use of organic solvents, allowing the simultaneous recovery of oil and protein. The aim of this study was to evaluate the production of protein inputs from cashew nut by alternative methods to the use of hexane for oil extraction and to evaluate their application in the development of a meat analogue product. Defatted flour and protein concentrate obtained from the process using hexane in a Soxhlet apparatus presented higher protein contents, 40.36% and 85.45%, respectively, confirming that this is the most efficient method for oil extraction described in the literature. Pressing process resulted in defatted flour and protein concentrate with 27.40% and 59.34% of proteins, respectively. Aqueous oil extraction had a more advantageous yield than pressing, obtaining defatted flour with 35.51% and protein concentrate with 69.02% of proteins. Protein concentrate derived from the defatted flour by aqueous extraction exhibited interesting functional and technological characteristics, such as better oil absorption and emulsifying capacity. Protein concentrates presented a complete amino acid profile, with lysine being the only limiting essential amino acid, and *in vitro* digestibility greater than 90%. The applicability of cashew nut protein inputs was evaluated in the development of plant-based nuggets. Plant-based nuggets presented protein contents ranging from 9.54% to 17.97%. Plant-based nuggets prepared with defatted flour by aqueous extraction and pressing presented more than 10% of the daily reference value (DRV) of proteins per serving and an excellent amino acid profile, can be labeled as a "source of proteins". Plant-based nuggets with addition of protein concentrate obtained from defatted flour by aqueous extraction presented more than 20% of the DRV of proteins per serving, but requires adjustments to increase the lysine content. Cashew nut plant-based nuggets had an acceptability higher than 79% and a purchase intention above 70% in the positive zone, demonstrating great market potential. The results indicated that the cashew nut protein inputs

showed good applicability in the development of a meat analogue. The choice of processing method is decisive in the composition and characteristics of the products to be developed, making it viable to use alternative methods to oil extraction with hexane.

**Keywords:** vegetable protein; amino acid; nuggets; innovation; food.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Fruto do cajueiro ( <i>Anacardium occidentale</i> L.) .....	19
Figura 2	– Amêndoas de castanha de caju .....	20
Figura 3	– Amêndoas de castanha de caju tipo P1 .....	32
Figura 4	– Fluxograma de obtenção dos insumos proteicos de ACC .....	33
Figura 5	– Processamento da torta por extração aquosa .....	35
Figura 6	– Processamento da torta por prensagem .....	36
Figura 7	– Fluxograma de obtenção de concentrado proteico de ACC .....	40
Figura 8	– Tortas parcialmente desengorduradas de ACC .....	52
Figura 9	– Concentrados proteicos de ACC .....	61
Figura 10	– Gráfico dos espectros obtidos por espectroscopia de FTIR dos concentrados proteicos de ACC .....	63
Figura 11	– Gráfico do ângulo de atrito interno .....	68
Figura 12	– Solubilidade proteica dos concentrados proteicos de ACC .....	69
Figura 13	– Gráfico do ângulo de atrito interno .....	85
Figura 14	– Frequência de respostas de intenção de compra .....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição centesimal da ACC .....	47
Tabela 2 – Composição centesimal das tortas parcialmente desengorduradas .....	47
Tabela 3 – Rendimento dos processos de extração de óleo .....	48
Tabela 4 – Teor de minerais das tortas parcialmente desengorduradas .....	50
Tabela 5 – Parâmetros de cor instrumental das tortas parcialmente desengorduradas .....	51
Tabela 6 – Caracterização do óleo da ACC obtido por extração aquosa (OACC-A) e prensagem (OACC-P) .....	53
Tabela 7 – Composição centesimal dos concentrados proteicos de ACC .....	54
Tabela 8 – Perfil de aminoácidos (g/100g de proteína) dos concentrados proteicos de ACC .....	56
Tabela 9 – Comparação de aminoácidos (mg/g de proteína) dos concentrados proteicos de ACC com a composição de referência .....	57
Tabela 10 – Rendimento proteico dos concentrados proteicos de ACC .....	58
Tabela 11 – Digestibilidade <i>in vitro</i> dos concentrados proteicos de ACC .....	59
Tabela 12 – Parâmetros de cor instrumental dos concentrados proteicos de ACC .....	60
Tabela 13 – Potencial Zeta dos concentrados proteicos de ACC .....	62
Tabela 14 – Estrutura secundária das proteínas .....	64
Tabela 15 – Propriedades de fluidez dos concentrados proteicos de ACC .....	66
Tabela 16 – Tensão não confinada de deslizamento ( $\sigma_c$ ) dos concentrados proteicos de ACC obtida da tensão principal de consolidação ( $\sigma_1$ ) aplicada .....	67
Tabela 17 – Ângulo de atrito com a parede (máximo e mínimo) dos concentrados proteicos de ACC .....	68
Tabela 18 – Propriedades funcionais e tecnológicas dos concentrados proteicos de ACC .	71
Tabela 19 – Composição centesimal dos insumos proteicos de ACC .....	78
Tabela 20 – Composição das formulações de empanados vegetais .....	79

Tabela 21 – Propriedades de fluidez dos insumos proteicos de ACC .....	83
Tabela 22 – Tensão não confinada de deslizamento ( $\sigma_c$ ) dos insumos proteicos obtida da tensão principal de consolidação aplicada ( $\sigma_1$ ) .....	84
Tabela 23 – Ângulo de atrito com a parede (máximo e mínimo) dos insumos proteicos ..	86
Tabela 24 – Caracterização dos empanados vegetais de ACC .....	86
Tabela 25 – Perfil de aminoácidos (g/100g de proteína) dos empanados vegetais de ACC	89
Tabela 26 – Comparação de aminoácidos (mg/g de proteína) dos empanados vegetais de ACC com a composição de referência .....	90
Tabela 27 – Tabela nutricional da formulação EVTA .....	91
Tabela 28 – Tabela nutricional da formulação EVTP .....	92
Tabela 29 – Tabela nutricional da formulação EVCPA .....	92
Tabela 30 – Aceitação dos atributos sensoriais de empanados vegetais de ACC .....	94
Tabela 31 – Índice de aceitabilidade dos atributos sensoriais de empanados vegetais de ACC .....	95

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	18
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	18
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	18
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
<b>3.1</b>	<b>Castanha de caju</b> .....	19
<b>3.2</b>	<b>Alimentos plant-based</b> .....	21
<b>3.2.1</b>	<i>Mercado e consumidor</i> .....	21
<b>3.2.2</b>	<i>Produtos cárneos plant-based</i> .....	22
<b>3.3</b>	<b>Proteínas vegetais</b> .....	23
<b>3.4</b>	<b>Métodos de extração de óleos vegetais</b> .....	26
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 1</b> .....	29
<b>4.1</b>	<b>Introdução</b> .....	30
<b>4.2</b>	<b>Metodologia</b> .....	31
<b>4.2.1</b>	<b>Caracterização da matéria-prima</b> .....	33
<b>4.2.1.1</b>	<i>Umidade e cinzas</i> .....	34
<b>4.2.1.2</b>	<i>Lipídios</i> .....	34
<b>4.2.1.3</b>	<i>Proteína bruta</i> .....	34
<b>4.2.1.4</b>	<i>Carboidratos (fração glicídica)</i> .....	34
<b>4.2.2</b>	<b>Extração de óleo e caracterização das tortas parcialmente desengorduradas</b> .	35
<b>4.2.2.1</b>	<i>Extração aquosa de óleo</i> .....	35
<b>4.2.2.2</b>	<i>Extração de óleo por prensagem</i> .....	36
<b>4.2.2.3</b>	<i>Extração de óleo por prensagem e hexano em aparelho Soxhlet</i> .....	36
<b>4.2.2.4</b>	<i>Extração de óleo por prensagem e hexano por imersão</i> .....	37
<b>4.2.2.5</b>	<i>Caracterização das tortas parcialmente desengorduradas</i> .....	37
<b>4.2.2.5.1</b>	<i>Composição centesimal e rendimento de extração de óleo</i> .....	37
<b>4.2.2.5.2</b>	<i>Teor de minerais</i> .....	37
<b>4.2.2.5.3</b>	<i>Cor instrumental</i> .....	38
<b>4.2.3</b>	<b>Avaliação da qualidade do óleo</b> .....	38
<b>4.2.4</b>	<b>Obtenção e caracterização dos concentrados proteicos</b> .....	39
<b>4.2.4.1</b>	<i>Obtenção dos concentrados proteicos por precipitação isoelétrica</i> .....	39

4.2.4.2	<i>Composição dos concentrados proteicos</i> .....	39
4.2.4.2.1	Composição centesimal .....	39
4.2.4.2.2	Determinação do perfil de aminoácidos .....	41
4.2.4.3	<i>Rendimento proteico</i> .....	41
4.2.4.4	<i>Digestibilidade in vitro</i> .....	41
4.2.4.5	<i>Caracterização físico-química</i> .....	42
4.2.4.5.1	Cor instrumental .....	42
4.2.4.5.2	Potencial Zeta .....	42
4.2.4.5.3	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) .....	42
4.2.4.5.4	Comportamento de fluxo dos pós .....	43
4.2.4.6	<i>Avaliação tecnológica-funcional</i> .....	43
4.2.4.6.1	Solubilidade proteica .....	43
4.2.4.6.2	Capacidade de absorção de água e de óleo .....	44
4.2.4.6.3	Capacidade de formação de gel .....	44
4.2.4.6.4	Capacidade emulsificante e estabilidade de emulsão .....	45
4.2.5	<b><i>Análise estatística</i></b> .....	46
4.3	<b>Resultados e discussão</b> .....	46
4.3.1	<b><i>Caracterização da matéria-prima</i></b> .....	46
4.3.2	<b><i>Caracterização das tortas parcialmente desengorduradas</i></b> .....	47
4.3.2.1	<i>Composição centesimal e rendimento de extração de óleo</i> .....	47
4.3.2.2	<i>Teor de minerais</i> .....	49
4.3.2.3	<i>Cor instrumental</i> .....	51
4.3.3	<b><i>Avaliação do óleo de ACC</i></b> .....	52
4.3.4	<b><i>Caracterização dos concentrados proteicos</i></b> .....	53
4.3.4.1	<i>Composição dos concentrados proteicos</i> .....	53
4.3.4.1.1	Composição centesimal .....	53
4.3.4.1.2	Determinação do perfil de aminoácidos .....	55
4.3.4.2	<i>Rendimento proteico</i> .....	58
4.3.4.3	<i>Digestibilidade in vitro</i> .....	58
4.3.4.4	<i>Caracterização físico-química</i> .....	60
4.3.4.4.1	Cor instrumental .....	60
4.3.4.4.2	Potencial Zeta .....	61
4.3.4.4.3	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) .....	62

4.3.4.4.4	Comportamento de fluxo .....	65
4.3.4.5	<i>Avaliação tecnológica-funcional</i> .....	69
4.3.4.5.1	Solubilidade proteica .....	69
4.3.4.5.2	Capacidade de absorção de água e capacidade de absorção de óleo .....	70
4.3.4.5.3	Capacidade de formação de gel .....	72
4.3.4.5.4	Capacidade emulsificante e estabilidade da emulsão .....	72
<b>4.4</b>	<b>Conclusão</b> .....	<b>73</b>
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>75</b>
<b>5.1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>76</b>
<b>5.2</b>	<b>Metodologia</b> .....	<b>78</b>
<b>5.2.1</b>	<b><i>Obtenção e composição centesimal dos insumos proteicos de ACC</i></b> .....	<b>78</b>
<b>5.2.2</b>	<b><i>Comportamento de fluxo dos insumos proteicos</i></b> .....	<b>78</b>
<b>5.2.3</b>	<b><i>Formulação e caracterização dos empanados vegetais</i></b> .....	<b>79</b>
<b>5.2.3.1</b>	<b><i>Formulação e processamento dos empanados vegetais</i></b> .....	<b>79</b>
<b>5.2.3.2</b>	<b><i>Composição centesimal dos empanados vegetais</i></b> .....	<b>80</b>
<b>5.2.3.3</b>	<b><i>Determinação do perfil de aminoácidos</i></b> .....	<b>80</b>
<b>5.2.3.4</b>	<b><i>Determinação de valor energético total</i></b> .....	<b>80</b>
<b>5.2.4</b>	<b><i>Análises microbiológicas</i></b> .....	<b>81</b>
<b>5.2.5</b>	<b><i>Avaliação sensorial</i></b> .....	<b>81</b>
<b>5.2.6</b>	<b><i>Análise estatística</i></b> .....	<b>82</b>
<b>5.3</b>	<b>Resultados e discussão</b> .....	<b>82</b>
<b>5.3.1</b>	<b><i>Comportamento de fluxo dos insumos proteicos</i></b> .....	<b>82</b>
<b>5.3.2</b>	<b><i>Composição centesimal dos empanados vegetais</i></b> .....	<b>86</b>
<b>5.3.3</b>	<b><i>Determinação do perfil de aminoácidos</i></b> .....	<b>88</b>
<b>5.3.4</b>	<b><i>Valor energético total</i></b> .....	<b>91</b>
<b>5.3.5</b>	<b><i>Análises microbiológicas</i></b> .....	<b>93</b>
<b>5.3.6</b>	<b><i>Avaliação sensorial</i></b> .....	<b>93</b>
<b>5.4</b>	<b>Conclusão</b> .....	<b>96</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>98</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>99</b>
	<b>ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO</b>	<b>113</b>
	<b>APÊNDICE A – FICHA DE PERFIL DOS PROVADORES</b> .....	<b>114</b>
	<b>APÊNDICE B – FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL</b> .....	<b>115</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, fatores como custos, impactos ambientais e problemas fisiológicos têm refletido nas escolhas alimentares dos consumidores. A procura por alimentos nutritivos e de produção sustentável vem abrindo caminho para a exploração de fontes alternativas de proteínas (SÁ; MORENO; CARCIOFI, 2020). Segundo pesquisa realizada em 2022, os consumidores brasileiros têm buscado incorporar opções mais saudáveis no dia a dia e 67% da população já está reduzindo o consumo de proteína animal (LUPETTI; CASSELLI, 2022).

Diante da grande demanda dos consumidores por novos produtos, a indústria de alimentos tem desenvolvido pesquisas e tecnologias que auxiliam na elaboração de novos ingredientes e métodos de produção (ALVES et al., 2021). Cereais, leguminosas e sementes oleaginosas têm sido utilizadas como matéria-prima para elaboração de produtos *plant-based*. Além do alto teor proteico, as fontes vegetais precisam entregar qualidade nutricional quanto ao perfil de aminoácidos essenciais e digestibilidade, como também boa funcionalidade tecnológica (DAY; CAKEBREAD; LOVEDAY, 2022).

A amêndoa da castanha de caju (ACC) é uma matéria-prima nativa do Brasil que apresenta grande importância econômica para o Nordeste, sendo o Ceará o principal produtor (CONAB, 2024). É considerada rica em proteínas (21%), contendo quantidades substanciais de aminoácidos essenciais, fonte de ácidos graxos insaturados, além de vitaminas e minerais (ALOBO; AGBO; ILESANMI, 2009; LEAL et al., 2023).

O processamento industrial da castanha de caju envolve várias etapas e pode gerar cerca de 40% de amêndoas quebradas, com menor valor comercial quando comparada com a castanha inteira (CARVALHO et al., 2018). No entanto, a castanha quebrada tem alto valor nutricional e pode ser usada no preparo de uma grande variedade de produtos alimentícios, como óleo (LIMA; PINTO; MAGALHÃES, 2018), creme (OLIVEIRA, 2022) e bebidas vegetais (LIMA et al., 2021a). Da extração do óleo, obtém-se a torta desengordurada que pode ser utilizada para a obtenção de concentrado e isolado proteico, com alto teor de proteínas e boa funcionalidade tecnológica (EMELIKE; BARBER; EBERE, 2015; LIMA, 2018; LIU et al., 2018a; OGUNWOLU et al., 2009).

Atualmente, os óleos vegetais podem ser extraídos por uma variedade de métodos, sendo a extração com hexano o método mais comum na indústria. Embora ofereça alto rendimento de extração, o hexano possui algumas desvantagens significativas, como seu potencial de poluição ambiental, alta inflamabilidade e alto nível de toxicidade (ARACAVA et

al., 2022). Após o processamento, existe o risco de resíduos de solvente permanecerem no óleo e na farinha desengordurada obtida. Portanto, para alcançar o desenvolvimento sustentável, é necessário encontrar métodos de extração mais ecológicos para substituir a extração de óleo com hexano (MA et al., 2024).

O estabelecimento de cadeias agrícolas nacionais, voltadas para a exploração de fontes alternativas de proteínas e a produção de alimentos processados a partir dessas fontes, não apenas fortalece a agricultura nacional, mas também impulsiona a indústria de alimentos (SILVA et al., 2023a). Nesse contexto, justifica-se explorar a ACC como matéria-prima para o desenvolvimento de insumos proteicos (tortas e concentrados proteicos) por processos alternativos ao uso do hexano e que ofereçam boas características funcionais e qualidade nutricional.

O presente trabalho está estruturado em dois capítulos, onde o primeiro aborda a obtenção e caracterização de insumos proteicos de ACC obtidos por diferentes métodos e o segundo capítulo avalia a aplicabilidade desses insumos no desenvolvimento de um produto análogo à carne.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Obter insumos proteicos a base de amêndoa de castanha de caju, investigando o efeito de diferentes métodos de extração de óleo na funcionalidade e qualidade nutricional da proteína, e avaliar a aplicabilidade no desenvolvimento de produto *plant-based*.

### 2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a composição nutricional das tortas de ACC obtidas por prensagem, extração aquosa e por extração com solvente hexano;
- Analisar o rendimento de extração e a qualidade do óleo obtido;
- Obter concentrados proteicos em pó a partir das tortas de ACC e avaliar a qualidade nutricional, digestibilidade, características físico-químicas e funcionalidade tecnológica;
- Avaliar características de fluidez dos insumos proteicos de ACC;
- Desenvolver empanados vegetais com aplicação de insumos proteicos de ACC;
- Caracterizar os empanados vegetais de ACC;
- Avaliar a aceitação sensorial e intenção de compra dos empanados vegetais de ACC.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Castanha de caju

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma árvore nativa do Brasil, pertencente à família *Anacardiaceae* e dá origem ao caju (Figura 1). O caju é constituído pelo pedúnculo floral (pseudofruto), que é a parte carnosa e apresenta cores que variam do amarelo ao vermelho quando maduro, e pela castanha, o verdadeiro fruto (GAZZOLA et al., 2018).

Figura 1 – Fruto do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.)



Fonte: EMBRAPA (2021).

A castanha de caju tem grande importância social e econômica para a região Nordeste, sendo o Ceará o principal produtor (CONAB, 2024). O processo de beneficiamento da castanha de caju permite o seu aproveitamento integral. O líquido da casca, que se destaca por ser rico em cardol e ácido anacárdico, é usado na produção de resinas, adesivos e inseticidas. A película, rica em tanino, é utilizada no curtimento de couros, entre outros usos diversos. As amêndoas inteiras (Figura 2) constituem o produto principal e apresentam alto valor comercial (SHARMA et al., 2020). As amêndoas quebradas, que representam cerca de 40% após processo mecanizado, são consideradas de menor valor agregado. No entanto, devido às suas propriedades nutricionais comparáveis às das amêndoas inteiras, têm sido alvo de estudos visando sua valorização no desenvolvimento de novos produtos (WURLITZER et al., 2021).

Considerada uma matéria-prima de alto valor nutricional, a ACC apresenta em sua composição 40 a 57% de lipídios, sendo 61% de ácidos graxos monoinsaturados e 17% de ácidos graxos poli-insaturados. Apresenta de 23 a 25% de carboidratos e 20 a 25% de proteínas,

incluindo todos os aminoácidos essenciais e sendo a globulina a principal fração da proteína. É também considerada fonte de fibras, compostos fenólicos, vitaminas, entre elas tocoferóis, riboflavina, ácido pantotênico, tiamina e niacina; e minerais como selênio, potássio, magnésio, cálcio, fósforo e cobre, sendo uma fonte equilibrada de minerais (BISINOTTO et al., 2021; CARVALHO et al., 2018; LIU et al., 2018a).

Figura 2 – Amêndoas de castanha de caju



Fonte: EMBRAPA (2019).

Somado a sua excelente composição nutricional, o sabor e aroma suaves tornam a ACC muito apreciada para o desenvolvimento de diversos produtos, como bebidas (LIMA et al., 2021a), cremes (LIMA; GARRUTI; BRUNO, 2012); óleo (CARVALHO et al., 2018) e farinha, utilizada na elaboração de pães, bolos e sorvetes (GADANI et al., 2017). Nas prateleiras dos supermercados, a diversidade de produtos *plant-based* obtidos de ACC aumentou muito nos últimos anos, especialmente bebidas vegetais e análogos lácteos, mas ainda há muito o que explorar para o melhor aproveitamento do alto conteúdo proteico que a ACC apresenta.

A avaliação da funcionalidade tecnológica da proteína da ACC tem sido estudada ao longo dos anos (BORA; NETO, 2004; LIMA, 2018; OGUNWOLU et al., 2009). Ogunwolu et al. (2009) avaliaram as propriedades funcionais da torta desengordurada com solvente hexano, do concentrado e do isolado proteico obtidos a partir de ACC e observaram boas características de solubilidade, atividade emulsificante e propriedades de formação de espuma, principalmente em pH alcalino. A maioria das propriedades funcionais desses materiais foram consideradas comparáveis às dos isolados e concentrados de proteínas de amendoim e soja. Os resultados indicaram que os concentrados e isolados proteicos de ACC exibiram propriedades funcionais adequadas, sugerindo seu potencial como ingredientes promissores para aplicações

em alimentos. No entanto, não há relatos de pesquisas que avaliaram a influência do método de extração de óleo na qualidade da proteína de ACC.

### **3.2 Alimentos *plant-based***

#### **3.2.1 Mercado e consumidor**

A preocupação com riscos potenciais à saúde, com o meio ambiente e com o bem-estar animal, tem levado a um crescente interesse dos consumidores em reduzir o consumo de produtos de origem animal e escolher alimentos e proteínas à base de vegetais (ASCHEMANN-WITZEL et al., 2020). Os produtos *plant-based* são alimentos produzidos a partir de plantas e buscam imitar características de produtos de origem animal, como cor, sabor e textura (PACHECO; SADAHIRA, 2022).

Uma pesquisa realizada em 2020 avaliou o consumidor brasileiro e o mercado *plant-based* e concluiu que o consumidor alvo da indústria de proteínas alternativas vegetais não é o vegano, mas sim aquele que apenas reduz o consumo de produtos de origem animal, denominados como flexitarianos. Estes são a maioria entre os consumidores que optam por produtos *plant-based* e estão abertos a um leque maior de produtos. Na mesma pesquisa, os entrevistados apontaram características importantes na compra de alternativas vegetais e destacaram como prioridades: possuir sabor, aroma e textura igual ou melhor que a proteína de origem animal; ser o mais natural possível e ter valor nutricional equiparado ou superior ao produto tradicional (GFI, 2020).

Nos anos 70, existiam poucos produtos na categoria *plant-based*. Foi em meados de 2019, que as grandes empresas começaram a investir, principalmente em hambúrgueres vegetais. Hoje, o mercado e os consumidores estão mais maduros, com uma gama mais ampla de opções, como bebidas, sorvetes, empanados, almôndegas e outros diversos produtos. Esses produtos visam atender a demanda por opções mais saudáveis, saborosas e com rótulos limpos, que são fatores valorizados pelos consumidores (ABIA, 2021; GALDEANO et al, 2021). Segundo informações da Euromonitor, em 2022, o mercado brasileiro de produtos vegetais análogos a carne e frutos do mar atingiu R\$821 milhões em vendas no varejo, registrando um crescimento de 42% em comparação com 2021. Já as vendas de bebidas vegetais análogas ao leite alcançaram R\$612 milhões no varejo, refletindo um aumento de 15% (GFI, 2023a).

Diante de tanta inovação de produtos no mercado, o Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento (MAPA) realizou em 2021 uma Tomada Pública de Subsídios,

contando com a participação de órgãos, entidades e pessoas interessadas em contribuir com a discussão sobre a regulamentação dos produtos processados *plant-based*. O objetivo é a futura normatização dos produtos e clareza na informação ao consumidor (MAPA, 2021). A regulamentação é importante, pois além da qualidade sensorial esperada pelos consumidores, os alimentos precisam entregar também qualidade nutricional.

### 3.2.2 *Produtos cárneos plant-based*

Uma pesquisa realizada em 2020 mostrou que 50% dos brasileiros afirmaram estar reduzindo o consumo de carne, dado que aumentou para 67% em 2022 (LUPETTI; CASSELLI, 2022). A pesquisa de mercado é importante e mostra que há uma grande demanda por produtos cárneos *plant-based* e que o mercado precisa investir em pesquisa e tecnologia para atender as necessidades e expectativas desses consumidores.

A cor, textura e sabor são fatores importantes que influenciam a aceitação pelo consumidor. A textura dos produtos cárneos *plant-based* varia conforme o tipo de carne que se deseja imitar. Fontes proteicas vegetais como soja, glúten de trigo, ervilha, grão de bico e lentilha são frequentemente utilizadas na fabricação de análogos de carne. A escolha dos ingredientes e a formulação dependem das características específicas desejadas para o produto final (YOUNIS et al., 2023).

É relativamente mais simples desenvolver produtos cárneos *plant-based* triturados e moídos do que aqueles que imitam a estrutura muscular fibrosa da carne (MCCLEMENTS; GROSSMANN, 2021; YULIARTI; KIAT KOVIS; YI, 2021). Proteínas vegetais com boas características de capacidade de absorção de água e de óleo, capacidade de emulsificação e formação de gel se destacam no desenvolvimento desses produtos (ANDREANI et al., 2023). Os produtos cárneos *plant-based* triturados, como hambúrguer e empanados (também conhecidos como *nuggets*), visam recriar a mordida, mastigabilidade, suculência e firmeza e, geralmente, utilizam a proteína na sua forma texturizada (KYRIAKOPOULOU; KEPPLER; VAN DER GOOT, 2021).

Os alimentos empanados oferecem vantagens em termos de formato e tamanho convenientes, praticidade e rapidez de preparo, tornando-os mais atrativos para o consumo (FLORES, 2012). De acordo com a Instrução Normativa (IN) nº 6 de 15 de fevereiro de 2001 do MAPA, empanado é definido como produto cárneo industrializado, obtido a partir de carnes de diferentes espécies de animais de açougue, acrescido de ingredientes, moldado ou não, e revestido de cobertura apropriada que o caracterize. É estabelecido o limite máximo de

carboidratos totais de 30% e mínimo de 10% de proteínas (BRASIL, 2001). Ainda não há regulamento específico para essa classe de produtos à base de vegetais, no entanto, empresas produtoras de empanados vegetais têm adotado essa denominação por similaridade das características sensoriais.

Chen (2023) avaliou o rótulo de 266 produtos *plant-based* análogos de carnes disponíveis no mercado brasileiro quanto à qualidade nutricional e encontrou uma média de 12,13 ( $\pm 4,75$ ) g de proteína/100g de produto em 22 amostras de empanados. O desvio padrão evidencia que há uma variação considerável no teor de proteínas entre as marcas.

Segundo a IN nº 75 de 8 de outubro de 2020 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados, para um produto alimentar ser considerado “fonte de proteínas” deve conter no mínimo 10% do Valor Diário Recomendado (VDR) de proteínas (equivalente a no mínimo 5 g) por porção de referência e por embalagem individual. Para ser considerado como produto com “alto conteúdo de proteínas”, deve conter no mínimo 20% do VDR de proteínas (equivalente a no mínimo 10 g) por porção de referência e por embalagem individual. A IN nº 75 também define o perfil de aminoácidos para declaração de alegações nutricionais de proteínas que o alimento deve atender (BRASIL, 2020a). As informações nutricionais nos rótulos são importantes e contribuem para a seleção adequada dos alimentos, facilitando o conhecimento do consumidor sobre as propriedades nutricionais.

### 3.3 Proteínas vegetais

As proteínas e seus aminoácidos constituem elementos essenciais para a construção das fibras musculares, para o fortalecimento do sistema imunológico e dão suporte a diversas funções vitais do organismo (GÓRSKA-WARSEWICZ et al., 2018). Nos alimentos, as proteínas desempenham papéis fundamentais, oferecendo propriedades funcionais, tais como solubilidade, emulsificação, gelificação, formação de espuma e capacidade de retenção de água (AKHARUME; ALUKO; ADEDEJI, 2021). Essas características funcionais estão ligadas a uma variedade de fatores, incluindo a estrutura molecular, composição de aminoácidos, sequência das proteínas, bem como a distribuição de cargas elétricas, solubilidade, pH, temperatura e o método de processamento utilizado na extração (BÜYÜKCAN; KARAKAYA, 2021).

Atualmente, as proteínas vegetais vêm ganhando destaque crescente como uma opção econômica e versátil em substituição às fontes animais na dieta humana. Quando se trata

de uma matéria-prima vegetal, em geral, há três etapas iniciais de preparação prévias ao processo de extração proteica: secagem, desengorduramento e moagem. Essas etapas, por si só, já colaboram para a concentração da fração proteica (LESSA et al., 2022; MA et al., 2024; NAHIMANA et al., 2024). A exposição a solventes, calor, desidratação, secagem e outros processos podem provocar mudanças na estrutura das proteínas, influenciando diretamente em sua funcionalidade (MIRANDA et al., 2022).

A escolha do melhor método de isolamento de proteínas depende das propriedades da fonte de origem. As técnicas de isolamento mais comuns encontradas na literatura para preparar isolados de proteínas são por precipitação isoelétrica e extração salina (LEE, 2017). Na precipitação isoelétrica, as proteínas são inicialmente solubilizadas em meio alcalino e, em seguida, precipitadas ao ajustar o pH para o ponto isoelétrico, onde possuem carga líquida neutra, formando agregados insolúveis (ILLINGWORTH; LEE; SIOW, 2022). Outros métodos também vêm sendo empregados, como fracionamento a seco (separação por diferença de densidade e tamanho) e técnicas consideradas emergentes, tais como micro-ondas, ultrassom, campo elétrico pulsado, alta pressão, ultrafiltração e processos enzimáticos (PACHECO; SADAHIRA, 2022).

A necessidade humana de proteínas é suprida através da alimentação. Embora as proteínas de origem animal ofereçam um alto valor nutricional e maior biodisponibilidade, combinações de alimentos à base de plantas, como cereais e leguminosas, podem fornecer os aminoácidos essenciais necessários (ASCHEMANN-WITZEL et al., 2020).

A soja é reconhecida como a proteína vegetal mais popular e amplamente produzida industrialmente. Em comparação com outras fontes vegetais, é valorizada pela qualidade de suas proteínas, oferecendo uma composição de aminoácidos essenciais bem equilibrada, com exceção dos aminoácidos sulfurados, como a metionina (QIN; WANG; LUO, 2022). Contudo, nos últimos anos, a popularidade da soja tem diminuído nos países ocidentais, em parte devido a preocupações sobre o desmatamento associado à sua produção agrícola e também aos potenciais impactos negativos na saúde (KYRIAKOPOULOU; KEPPLER; VAN DER GOOT, 2021). Esses incluem questões como a má digestibilidade das proteínas e desconforto abdominal, atribuídos à presença de fatores antinutricionais (HAIDAR et al., 2018). Outra leguminosa muito nutritiva utilizada atualmente para a obtenção de proteínas é a ervilha, mas por ser cultivada em climas frios, no Brasil há uma dependência da importação dessa matéria-prima e todos os custos associados a ela são repassados ao consumidor (GFI, 2023b).

Além do valor nutricional, outro fator muito importante na avaliação de matérias-primas vegetais como fonte de proteínas é o aspecto sensorial. Uma desvantagem das

leguminosas como ingredientes alimentares funcionais são os sabores de “feijão” e “verde” descritos pelos consumidores (XU et al., 2019). Para os cereais, adstringência e amargor são frequentemente relatados (HOLTEKJØLEN et al., 2008).

O Brasil possui uma vasta diversidade de fontes vegetais que podem ser aproveitadas como matérias-primas para a obtenção de proteínas, tanto no vegetal em si quanto nos subprodutos e resíduos resultantes de seu processamento. Milho, mandioca, arroz e batata se destacam devido ao alto volume de produção. Essas fontes oferecem potencial proteico em seus subprodutos derivados dos processos de extração de óleos, produção de amidos e fabricação de etanol, permitindo a exploração de alternativas à soja e à ervilha (SILVA et al., 2023a). Além da soja, outras fontes proteicas vegetais, tais como proteína de arroz, trigo, ervilha, fava, girassol, grão-de-bico, lentilha e canola, já são regulamentadas para suplementação alimentar pela IN n° 28 de 26 de julho de 2018 (BRASIL, 2018).

A ACC apresenta um perfil de aminoácidos bem balanceado (LIU et al., 2018a) e tem se mostrado como uma matéria-prima promissora, visto que o processo de extração de óleo das amêndoas quebradas está sendo aproveitado para elevar seu valor econômico, resultando em um material com alto teor proteico. A torta resultante da extração do óleo das amêndoas pode ser empregada na fabricação de insumos proteicos, apresentando-se como potencial ingrediente para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios derivados do processamento da castanha de caju (LIMA et al., 2021b).

Além do conhecimento científico encontrado em artigos, faz-se necessário o entendimento tecnológico através da busca de patentes, uma importante ferramenta para orientar os esforços de desenvolvimento de novas tecnologias (FERREIRA; GUIMARÃES; CONTADOR, 2009; INPI, 2015). Em relação as proteínas vegetais, diversos aspectos técnicos e funcionais podem ser patenteados, como modificações nas propriedades, condições de processamento, métodos de isolamento e até o produto final, desde que cumpram critérios como aplicabilidade industrial, novidade, entre outros (ARBACH et al., 2021).

Recentemente, houve um aumento de patentes depositadas envolvendo proteínas alternativas. Em estudo de Otero et al. (2022), os autores destacaram a América do Norte, com contribuição de 70,1% das patentes, seguida pela Europa, com 13,8%. A América Latina contribuiu com menos de 2% das patentes. Dentro da América Latina, o Brasil representou 80%. Os dados são resultado do fato das maiores indústrias serem de origem norte-americana, detendo grandes porções das patentes concedidas e depositadas.

Em pesquisa na base de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), no depósito de pedido nacional de patente, foram encontrados poucos registros

relacionados a utilização de matérias-primas oleaginosas, além da soja, para obtenção de insumos proteicos e aplicação em produtos. O pedido de patente BR 10 2022 010286 4 A2 (BARROS et al., 2022), por exemplo, refere-se à composição de isolado proteico de amêndoa de Macaúba (*Acrocomia aculeata*) com teor superior a 90% de proteínas e reivindica também o processo de obtenção. Quanto a ACC e sua fração proteica, foram encontrados dois pedidos. O pedido BR 10 2015 007200 7 A2 refere-se à um composto contendo 70% de farinha de ACC, raízes e cereais, entre outros ingredientes, com pelo menos cerca de 12% em peso ou mais de proteína (ARAÚJO; SILVA, 2015). Outro registro encontrado foi o pedido BR 10 2016 013958 9 A2, referente ao desenvolvimento de hambúrguer à base de ACC e soja visando estabelecer uma alternativa de produto alimentício análogo à carne (VIANA et al., 2016).

Já no Espacenet, base de dados do Escritório Europeu de Patentes que permite o acesso a patentes de mais de 100 países, foram encontrados diversos registros de métodos de concentração de proteína de ACC, entre eles, extrusão e ultramicro pulverização (CN103976133A) (JIHONG et al., 2013); hidrólise enzimática (CN111138514A) (DI; XIANYING, 2020), extração alcóolica (CN116473156A) (JINYUE et al., 2023), ultra-alta pressão (CN103694310A) (YEJUN et al, 2013), entre outros.

Considerando os poucos registros brasileiros de pedidos de patente encontrados e que ainda não há produto análogo à carne que utilize a proteína de ACC no mercado, sendo a ACC uma matéria-prima nativa brasileira, justifica-se o investimento em pesquisas para o desenvolvimento de processos e produtos proteicos dessa fonte vegetal. Com isso, abre-se caminho para explorar o vasto mercado de proteínas alternativas, fomentar a inovação, valorizar recursos locais e satisfazer a crescente demanda dos consumidores por produtos de origem vegetal.

### **3.4 Métodos de extração de óleos vegetais**

A indústria de óleos, ao extrair lipídios de vegetais, gera um volume significativo de coproduto desengordurado, rico em proteínas e fibras. Por meio de processamento adequado, esse material proteico pode se tornar um ingrediente funcional viável para a nutrição humana, representando um coproduto com maior valor agregado (SÁ; MORENO; CARCIOFI, 2020). As características nutricionais e propriedades funcionais vão depender das diferentes condições utilizadas durante o processamento, influenciando diretamente nas características sensoriais e, conseqüentemente, na qualidade dos produtos finais (CAPELLINI et al., 2019).

Os métodos predominantes de extração de óleo de espécies oleaginosas são a prensagem e a extração por solventes, podendo ser empregados de forma combinada. A prensagem se destaca como uma abordagem rápida, acessível e de baixo custo para a obtenção de óleos (PIGHINELLI et al., 2008). Na prensagem a frio, as matérias-primas vegetais são processadas em uma prensa hidráulica ou de parafuso, sem a aplicação de calor ou produtos químicos. Isso resulta em óleos de alta qualidade, preservando cor, sabor e valor nutricional. Os óleos obtidos por prensagem a frio geralmente possuem melhor perfil nutricional em comparação com aqueles extraídos por solventes (LEAL et al., 2023). Uma desvantagem desse método é que parte do óleo fica retido no material sólido, sendo menor o rendimento de extração quando comparado com outros processos (KROSS, 2008).

O hexano, solvente derivado do petróleo, é comumente utilizado na extração de óleo vegetal. Embora seja eficiente na extração de óleo, o hexano também é conhecido por sua alta toxicidade, inflamabilidade e por ser poluente ao meio ambiente, havendo também risco de resíduos de solvente permanecerem no óleo e na farinha desengordurada obtida (CAPELLINI et al., 2019; MA et al., 2024). O óleo obtido por esse método necessita de refinamento, incluindo tratamentos químicos e térmicos como degomagem, neutralização, branqueamento, desparafinação e desodorização (LEAL et al., 2023). Alguns estudos têm explorado o uso de etanol como alternativa, destacando suas vantagens por ser obtido a partir de fontes renováveis e por não ser tóxico (FREITAS et al., 2007).

A extração aquosa de óleos é relatada como um método viável que oferece algumas vantagens, incluindo a eliminação da necessidade de solventes orgânicos e a recuperação simultânea de óleo e proteína. Basicamente, os grãos oleaginosos são triturados em água quente, facilitando a liberação do óleo dos tecidos. Devido à sua menor densidade, o óleo pode ser separado por flotação ou centrifugação (HUANG et al., 2024; LIMA; PINTO; MAGALHÃES, 2018).

O óleo extraído da ACC pode ser obtido a partir de amêndoas quebradas e é considerado um produto estável em termos de oxidação e benéfico para a saúde. Diversos estudos já avaliaram diferentes métodos para a extração do óleo da ACC, como prensagem, extração aquosa e utilização de solventes como clorofórmio-metanol, éter de petróleo, hexano, hexano-isopropanol e fluido supercrítico de dióxido de carbono (AREMU; OGUNLADE; OLONISAKIN, 2007; CARVALHO et al., 2018; KROSS, 2008; LAMEIRA; COELHO; MOTHÉ, 1997; LEAL 2023; LIMA, 2018; RYAN et al., 2006). No entanto, não foi encontrado estudo que investigasse os efeitos de diferentes métodos de extração de óleo nas propriedades funcionais e nutricionais dos insumos proteicos obtidos da ACC. Os estudos encontrados

consideravam apenas o impacto no rendimento e na qualidade do óleo de ACC, negligenciando a influência do método na qualidade da proteína obtida.

O efeito dos métodos de extração de lipídios nas propriedades funcionais de isolados proteicos já foram investigados em algumas matérias-primas vegetais. L'Hocine et al. (2006) avaliaram os efeitos do desengorduramento de soja por diferentes métodos no rendimento e funcionalidade de isolados proteicos. Os autores relataram que a extração de lipídios com solventes orgânicos teve um efeito desnaturante nos isolados proteicos em comparação com a extração aquosa. Os isolados de proteína de soja obtidos por métodos alternativos apresentaram teores de proteína mais elevados e propriedades funcionais comparáveis às do isolado preparado com hexano, indicando que tanto a extração etanólica quanto a extração aquosa são alternativas promissoras.

Em estudo desenvolvido por Ma et al. (2024), os efeitos da extração de óleo de nozes por extração supercrítica com dióxido de carbono, prensagem a frio, extração com hexano e extração subcrítica com butano foram avaliados na qualidade dos óleos obtidos e na funcionalidade de isolados de proteína de nozes. Os resultados indicaram que a extração supercrítica com dióxido de carbono teve o maior rendimento de óleo e resultou em um isolado proteico com maior capacidade de retenção de óleo e solubilidade.

Os processos que utilizam solvente são responsáveis por efeitos adversos à saúde devido à presença de resíduos na matriz alimentar, podendo causar efeitos negativos no corpo humano. Assim, há uma extrema necessidade de melhorar os métodos de produção e torná-los livres de solventes, atendendo a demanda dos consumidores por produtos considerados *clean label* (rótulo limpo) e *ecofriendly* (amigo do meio ambiente) (ALVI; ASIF; IQBAL KHAN, 2022).

Assim, torna-se imprescindível investigar o efeito de métodos alternativos ao uso de hexano para a extração de óleo, como prensagem e extração aquosa, nas propriedades funcionais e nutricionais do material proteico derivado da ACC.

## 4 CAPÍTULO 1

### AValiação DO EFEITO DE DIFERENTES MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, NUTRICIONAIS E FUNCIONAIS DE INSUMOS PROTEICOS DE AMENDÔA DE CASTANHA DE CAJU

#### RESUMO

Nos últimos anos, o interesse pela utilização de proteínas vegetais como alternativas nutricionais tem aumentado significativamente. A amêndoa de castanha de caju (ACC), rica em proteínas de alto valor biológico e lipídios insaturados, é uma matéria-prima com grande potencial para a obtenção de concentrados proteicos. Embora estudos anteriores tenham focado no rendimento e qualidade do óleo extraído da ACC, o impacto dos diferentes métodos de extração de óleo sobre as propriedades funcionais e nutricionais dos insumos proteicos gerados ainda não foi explorado. Neste capítulo, foram avaliadas quatro diferentes vias de extração de óleo e obtenção de torta, que é o coproduto gerado da extração do óleo. Foram obtidas a torta por extração aquosa (TA), por prensagem (TP), por extração com hexano em aparelho Soxhlet (TPHS) e por extração com hexano em imersão (TPHI). As quatro tortas obtidas foram caracterizadas, sendo que apenas TA, TP e TPHS seguiram para o processo de concentração do material proteico por precipitação isoelétrica, obtendo-se assim o concentrado proteico obtido a partir de TA (CPA), concentrado proteico obtido a partir de TP (CPP) e concentrado proteico obtido a partir de TPHS (CPHS). Cada método foi avaliado quanto à influência nas propriedades nutricionais e funcionais dos insumos obtidos (tortas e concentrados proteicos). Como resultado, TPHS apresentou maior teor de proteínas (40,36%) e menor teor de lipídios (5,33%), resultado esperado, já que o solvente tem grande afinidade por lipídios e alto rendimento de extração. No entanto, apresenta desvantagens, como alta toxicidade e inflamabilidade. Em comparação com TP, TA apresentou menor teor de lipídios (17,05%) e maior teor de proteínas (35,51%). CPA, CPP e CPHS apresentaram, respectivamente, 69,02%, 59,34% e 85,45% de proteínas e 14,13%, 21,71% e 1,98% de lipídios. Os concentrados proteicos apresentaram perfil completo de aminoácidos, tendo apenas a lisina como aminoácido essencial limitante. Para superar essa limitação, sugere-se a combinação com outras fontes proteicas ricas em lisina ou a adição exógena deste aminoácido. CPA destacou-se por exibir melhor capacidade de absorção de óleo e emulsificante, características importantes para o desenvolvimento de produtos análogos a cárneos. Apesar das variações observadas, os três concentrados proteicos de ACC obtidos exibiram uma digestibilidade *in vitro* acima de 90%,

comparável aos valores de digestibilidade apresentados por proteínas do soro do leite. Este capítulo conclui que, embora o hexano seja eficiente na extração de óleo, os métodos alternativos, como a prensagem e a extração aquosa, representam uma estratégia viável para o desenvolvimento de insumos proteicos de ACC de alta qualidade, impulsionando o mercado de alimentos *plant-based* e promovendo a valorização de matérias-primas brasileiras.

**Palavras-chave:** proteína; *plant-based*; aminoácido; digestibilidade.

#### 4.1 Introdução

As proteínas são macronutrientes essenciais para a nutrição humana. A qualidade nutricional de uma fonte proteica depende de sua biodisponibilidade, digestibilidade, perfil de aminoácidos, fatores antinutricionais e efeitos causados pelo processamento (SÁ; MORENO; CARCIOFI, 2020). Para além de sua importância nutricional, as proteínas apresentam propriedades tecnológicas fundamentais para o desenvolvimento de alimentos, como a capacidade de reter água e gordura, formar espumas e emulsões, além de contribuir para a formação de géis (LESSA et al., 2022).

Nos últimos anos, observou-se um aumento significativo no interesse pela utilização de novas proteínas vegetais como uma alternativa para promover a nutrição humana. Tornou-se um desafio conciliar a produção com o aumento da demanda por alimentos, as necessidades nutricionais e escolhas dos consumidores (BÜYÜKCAN; KARAKAYA, 2021). Diversos métodos de extração de proteínas vêm sendo investigados com o intuito de aprimorar as propriedades funcionais dos isolados e concentrados proteicos obtidos de vegetais. Esses métodos visam concentrar as proteínas, removendo lipídios, carboidratos ou fatores antinutricionais que possam impactar suas características funcionais (NAHIMANA et al., 2024). A adequação, o custo e o impacto ambiental são levados em consideração na definição do método (PACHECO; SADAHIRA, 2022).

Soja, ervilha e trigo são fontes vegetais comumente utilizadas para a obtenção de insumos proteicos (DAY; CAKEBREAD; LOVEDAY, 2022). O Brasil apresenta um enorme potencial de fontes vegetais e coprodutos agroindustriais que podem ser aproveitados como matérias-primas para a obtenção de proteínas. Coprodutos vegetais derivados dos processos de extração de óleos e produção de amido, por exemplo, possibilitam a exploração de alternativas à soja e à ervilha (SILVA et al., 2023a).

A ACC, uma matéria-prima nativa do Brasil, apresenta uma excelente composição nutricional, com 40 a 57% de lipídios, 23 a 25% de carboidratos e 20 a 25% de proteína de alta qualidade, com um perfil de aminoácidos balanceado (LIU et al., 2018a). O beneficiamento da ACC, envolve diversas fases e cerca de 40% das amêndoas são quebradas no processamento, as quais apresentam valor de mercado consideravelmente inferior ao das amêndoas inteiras. Contudo, as amêndoas quebradas apresentam elevado valor nutricional e podem ser empregadas como ingrediente na composição de outros alimentos (OLIVEIRA, 2022). O processo de obtenção do óleo, um dos produtos obtidos da ACC, gera a torta parcialmente desengordurada, um material com alto teor de proteínas e com potencial funcional para a aplicação em alimentos (LIMA et al., 2021b).

Existem diversos métodos de extração de óleo de oleaginosas, como prensagem e extração por solventes orgânicos (KROSS, 2008). O hexano é o solvente mais utilizado, mas é altamente tóxico e um potencial poluente ao ambiente. Os pesquisadores têm avaliado o impacto dos diferentes métodos de extração de óleo da ACC em relação ao rendimento de extração e qualidade do óleo (LIMA; PINTO; MAGALHÃES, 2018). No entanto, os estudos não avaliaram o impacto causado pelo processamento de extração de óleo nas propriedades funcionais e nutricionais dos insumos proteicos obtidos.

Com a crescente conscientização sobre a saúde, os consumidores estão mais atentos às informações e tendem a priorizar produtos alimentícios com rótulos limpos. Além dos ingredientes, processos e embalagens precisam ser explorados para o desenvolvimento de produtos considerados *clean label* (PACHIONE, 2019). Portanto, faz-se importante identificar um processo de extração de óleo alternativo ao uso do hexano que possa garantir um bom rendimento de extração, obtenção de óleo de qualidade, e, ao mesmo tempo, preservar as propriedades funcionais da proteína, valorizando assim uma matéria-prima brasileira.

## 4.2 Metodologia

O experimento foi conduzido nos laboratórios da Embrapa Agroindústria Tropical, localizada em Fortaleza – CE. As amêndoas de castanha de caju tipo P1 (pedaços grandes de primeira qualidade) (Figura 3), classificadas de acordo com a IN nº 2 de 6 de fevereiro de 2017 (BRASIL, 2017), foram fornecidas por uma empresa localizada na cidade de Aquiraz – CE.

As amêndoas quebradas foram aquecidas a 110 °C por 15 minutos em estufa com circulação de ar (MA 033, Marconi, Brasil) antes dos processos de extração de óleo, com objetivo de facilitar a liberação do óleo da ACC.

Foram avaliadas quatro diferentes vias de extração de óleo e obtenção de torta parcialmente desengordurada, sendo denominadas:

- a) torta obtida por extração aquosa (TA);
- b) torta obtida por prensagem (TP);
- c) torta obtida por prensagem, seguida de extração do óleo remanescente com solvente hexano em aparelho Soxhlet (TPHS);
- d) torta obtida por prensagem, seguida de extração do óleo remanescente com solvente hexano por imersão (sem refluxo de solvente) (TPHI).

O objetivo de se obter TPHI foi avaliar um processo mais simples de extração de óleo com solvente hexano do que a extração por aparelho Soxhlet.

Figura 3 – Amêndoas de castanha de caju tipo P1



Fonte: A autora (2024).

Os óleos de ACC obtidos a partir do processo por extração aquosa (OACC-A) e por prensagem (OACC-P) foram coletados e avaliados. Os óleos obtidos pelos dois métodos de extração com hexano não foram avaliados, pois seriam necessárias algumas etapas de refinamento, não sendo esse o foco do trabalho.

As quatro tortas obtidas foram caracterizadas, sendo que apenas TA, TP e TPHS seguiram para o processo de concentração do material proteico por precipitação isoelétrica. Nesta etapa, o objetivo foi avaliar dois concentrados proteicos obtidos de tortas desengorduradas por métodos alternativos e compará-los com o concentrado proteico obtido pelo método padrão de extração de óleo com hexano. Entre as tortas provenientes da extração de óleo com hexano, TPHS foi selecionada para a etapa de concentração de proteínas pelo

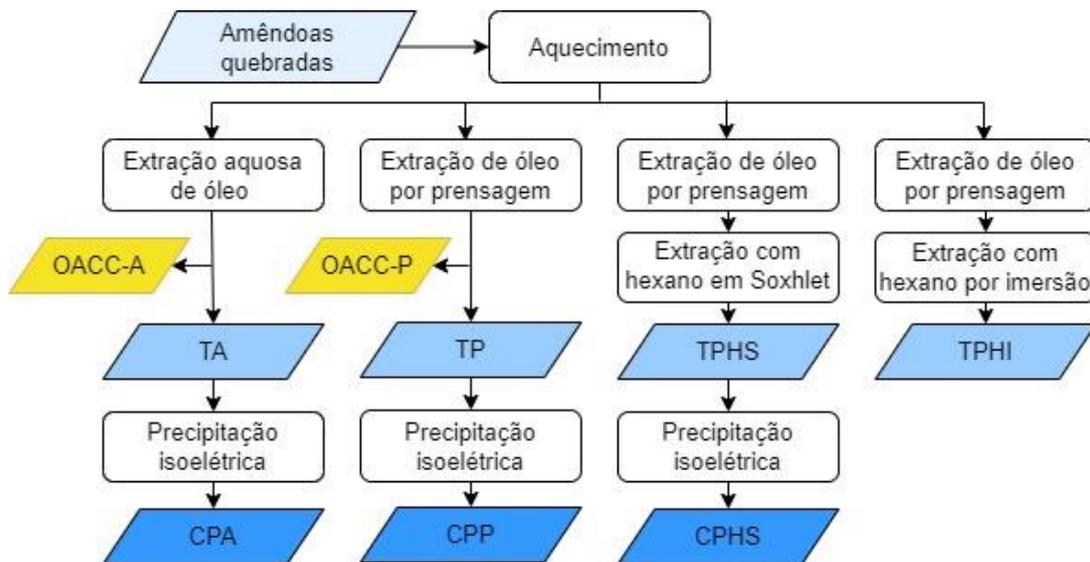
método de processamento ser mais comum na literatura e por TPHI ter apresentado composição centesimal muito semelhante à TA, o que será discutido nos resultados mais adiante.

Os concentrados proteicos foram denominados da seguinte forma:

- concentrado proteico obtido a partir de TA (CPA);
- concentrado proteico obtido a partir de TP (CPP);
- concentrado proteico obtido a partir de TPHS (CPHS).

O fluxo de obtenção dos insumos proteicos de ACC seguiu de acordo com o fluxograma da Figura 4 e todos os processos foram realizados em triplicata.

Figura 4 – Fluxograma de obtenção dos insumos proteicos de ACC



Fonte: A autora (2024). TA: torta obtida por extração aquosa; TP: torta obtida por prensagem; TPHS: torta obtida por prensagem, seguida de extração com hexano em Soxhlet; TPHI: torta obtida por prensagem, seguida de extração com hexano por imersão; CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa; CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem; CPHS: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com solvente hexano em Soxhlet; OACC-A: óleo de ACC obtido do processo por extração aquosa; OACC-P: óleo de ACC obtido do processo de prensagem.

As metodologias adotadas no experimento estão descritas a seguir.

#### 4.2.1 Caracterização da matéria-prima

A composição centesimal da ACC utilizada como matéria-prima foi realizada de acordo com as análises físico-químicas descritas abaixo e o resultado expresso em base seca.

#### 4.2.1.1 Umidade e cinzas

Para a determinação do teor de umidade, foram pesados 2 g da amostra em cápsula de porcelana que foi aquecida em estufa a 105 °C até ser observado peso constante. Já a determinação de cinzas foi feita pela incineração de 2 g de amostra em mufla a 550°C (AOAC, 2016). Os resultados foram expressos em g/100 g de amostra.

#### 4.2.1.2 Lipídios

Foram pesados 5 g de amostra em papel de filtro e transferiu-se para o aparelho extrator tipo Soxhlet, acoplado em um balão de fundo chato previamente tarado a 105°C. O sistema foi mantido sob aquecimento em chapa elétrica e as amostras foram refluxadas com hexano por 10 horas. O balão com o resíduo extraído foi seco em estufa a 105°C e pesado (IAL, 2008). Os resultados foram expressos em g/100 g de amostra.

#### 4.2.1.3 Proteína bruta

O teor de proteínas foi determinado por combustão, segundo o método Dumas. Foram pesados 50 mg de cada amostra e quantificou-se o teor de nitrogênio usando um analisador de nitrogênio (NDA 701 Dumas, Velp Scientifica, Itália), tendo EDTA como padrão, com base no método 992.23 da AOAC (2016). Os resultados foram expressos em g/100 g de amostra.

#### 4.2.1.4 Carboidratos (fração glicídica)

O teor de carboidratos foi determinado considerando-se a composição centesimal e calculado por diferença dos demais constituintes majoritários, conforme metodologia descrita por AOAC (2016), através da Equação 1:

$$FG (\%) = 100 - (U + L + P + C) \quad (1)$$

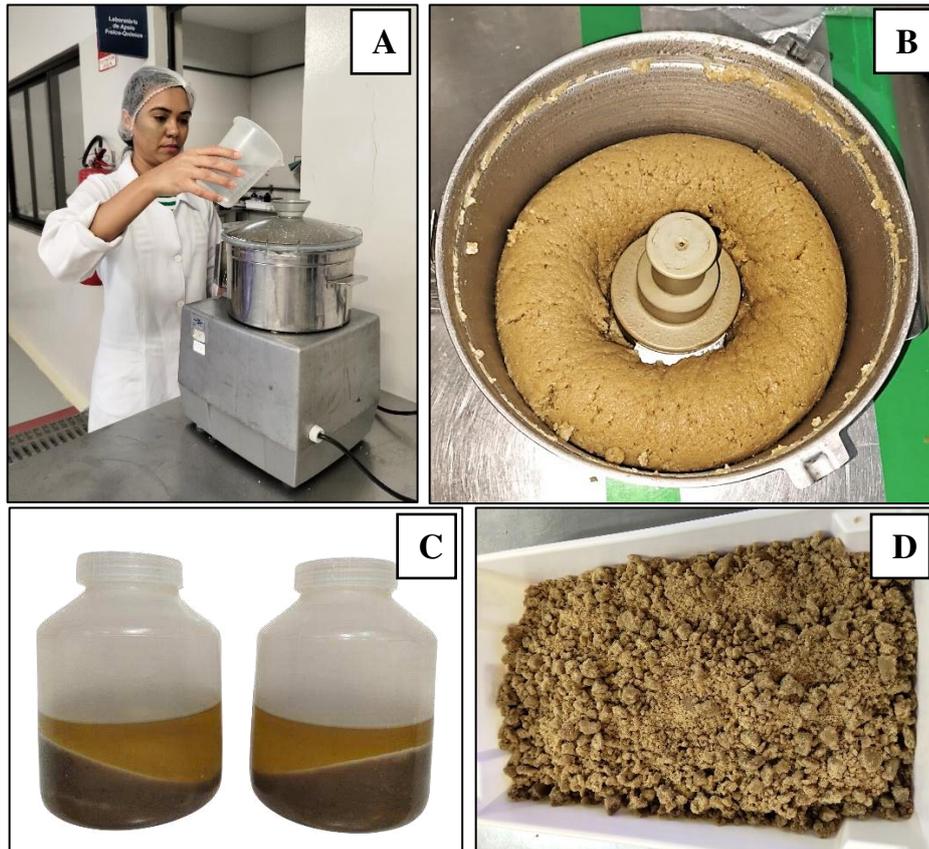
Onde: FG é a fração glicídica (%), U é a umidade, L é o teor de lipídeos (%), P é o teor de proteína (%), e C são as cinzas (%).

## 4.2.2 Extração de óleo e caracterização das tortas parcialmente desengorduradas

### 4.2.2.1 Extração aquosa de óleo

Para o processo de extração aquosa do óleo de ACC, seguiu-se metodologia descrita por Lima, Pinto e Magalhães (2018) com adaptações (Figura 5).

Figura 5 – Processamento da torta por extração aquosa



Fonte: A autora (2024). A: Adição de água às amêndoas. B: pasta após trituração. C: separação da fase oleosa após centrifugação. D: precipitado antes da secagem.

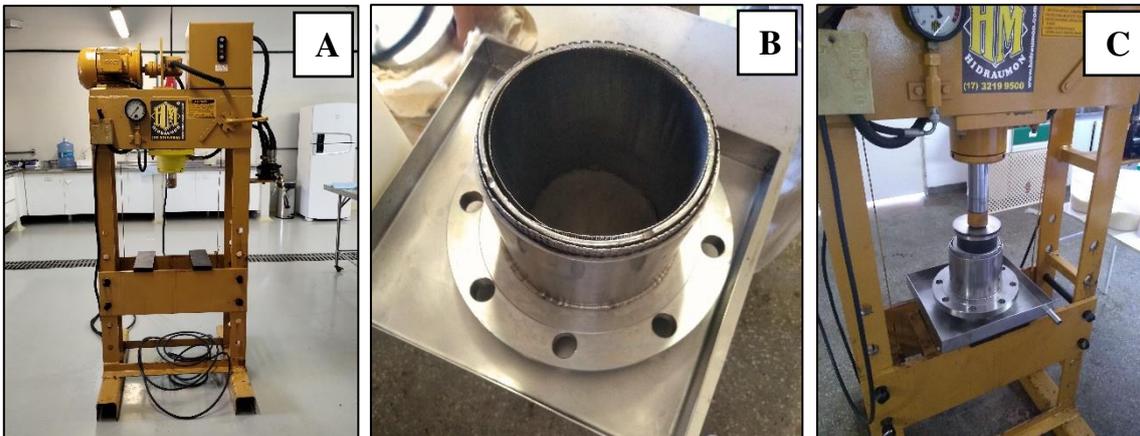
Adicionou-se 375 g de água à 1,5 Kg de amêndoas aquecidas (proporção de 1:4) (Figura 5A) e triturou-se no processador (R 502 V.V, Robot Coupe, França) por 10 minutos até a obtenção de uma pasta (Figura 5B). Nesta etapa, a pasta aqueceu entre 70 a 80 °C e, posteriormente foi centrifugada (Heraeus Megafuge 40, Thermo Scientific, Alemanha) a 4415 × g por 30 minutos. Após a centrifugação, houve a separação da fase oleosa e do precipitado (Figura 5C). O óleo foi coletado e aquecido a 105 °C por 1 hora em estufa com circulação de ar para evaporação da água remanescente. O material precipitado foi recuperado (Figura 5D), seco

em estufa com circulação de ar (MA 033, Marconi, Brasil) a 60 °C por 15 horas, triturado em moinho (Pulverisette 19, Fritsch, Alemanha) e armazenado a -18 °C, obtendo-se assim a TA.

#### 4.2.2.2 Extração de óleo por prensagem

Foi seguida metodologia descrita por Leal et al. (2022), com pequenas adaptações. As amêndoas aquecidas foram prensadas a frio em bateladas de 1 Kg em prensa hidráulica (PH30, Hidraumon, Brasil) (Figura 6) nas seguintes condições: pressão de 113 kgf/cm<sup>2</sup>, em temperatura ambiente por 3 minutos. O óleo foi separado e, no material sólido, foi realizada uma segunda prensagem nas mesmas condições, onde mais óleo foi extraído e coletado, gerando a torta de ACC obtida por prensagem (TP). TP foi triturada em moinho analítico (A11B S032, IKA, Alemanha) e armazenada a -18°C. O óleo obtido foi centrifugado a 4415 × g por 15 minutos para retirada de pedaços de amêndoas.

Figura 6 – Processamento da torta por prensagem



Fonte: A autora (2024). A: prensa hidráulica. B: molde de prensagem. C: prensagem das amêndoas.

#### 4.2.2.3 Extração de óleo por prensagem e hexano em aparelho Soxhlet

A torta previamente prensada como descrito no item 4.2.2.2, foi submetida a extração do óleo residual com solvente hexano (P.A.) em aparelho Soxhlet. Foram pesados 40 g de TP em papel de filtro, que foi amarrado e colocado em um extrator Soxhlet acoplado a um balão de fundo chato. O solvente (400 mL) foi adicionado ao sistema e aquecido, mantendo-se em refluxo por 10 horas (LIMA, 2018). Ao final do tempo, o óleo foi separado, sendo coletado no balão e dispensado. O solvente foi recuperado por rotaevaporação à vácuo à 40°C. O material desengordurado seguiu para evaporação de solvente residual, ficando em capela de exaustão

por 6 horas e em estufa com circulação de ar por 2 horas a 60°C. O material seco foi triturado em um moinho analítico e armazenado a -18 °C, obtendo-se assim a TPHS.

#### 4.2.2.4 Extração de óleo por prensagem e hexano por imersão

A torta previamente prensada como descrito no item 4.2.2.2, foi submetida a extração do óleo residual. Foram pesados 40 g em papel de filtro, que foi então amarrado e imerso em 400 mL de hexano (P.A.) dentro de um béquer vedado, permanecendo assim por 15 horas. Após esse descanso, o papel de filtro com amostra desengordurada foi retirado do béquer, separando-se da mistura de óleo com solvente. O solvente foi recuperado por rotaevaporação à vácuo à 40°C e o óleo foi dispensado. O material desengordurado seguiu para evaporação de solvente residual, ficando em capela de exaustão por 6 horas e em estufa com circulação de ar por 2 horas a 60°C. O material seco foi triturado em um moinho analítico e armazenado a -18 °C, obtendo-se assim a TPHI.

#### 4.2.2.5 Caracterização das tortas parcialmente desengorduradas

##### 4.2.2.5.1 Composição centesimal e rendimento de extração de óleo

Para análises de umidade, cinzas, lipídios, proteínas e carboidratos foram seguidas as mesmas metodologias descritas no item 4.2.1.

O rendimento de extração de óleo (%) foi calculado utilizando a massa (g) de lipídios na matéria-prima (ACC) e a massa (g) de lipídio residual nas tortas para avaliação da eficiência do processo, de acordo com a Equação 2:

$$R_{ext} (\%) = \frac{M_a - M_b}{M_a} \times 100 \quad (2)$$

Onde:  $R_{ext}$  é o rendimento do processo de extração de óleo expresso em porcentagem;  $M_a$  é a massa (g) inicial de lipídio na ACC;  $M_b$  é a massa (g) de lipídio nas tortas.

##### 4.2.2.5.2 Teor de minerais

Primeiramente, as amostras foram pesadas (0,5 g) e submetidas a uma digestão úmida com 8 mL de uma combinação de ácido nítrico e ácido perclórico à 250°C (CARMO et

al., 2000). Após digestão, as amostras foram aferidas em balão volumétrico de 50 mL com água destilada, filtradas e os minerais (fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, sódio, cobre, ferro, manganês e zinco) foram quantificados em espectrômetro de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP- OES 5100, Agilent, Malásia). Os resultados foram expressos em mg/100g.

#### 4.2.2.5.3 Cor instrumental

A cor instrumental das amostras foi realizada por leitura direta em espectrofotômetro (CM-5, Konica Minolta, Japão) conforme a metodologia definida no manual do fabricante. As amostras foram colocadas em placas limpas e a leitura foi realizada em triplicata.

A expressão dos resultados se deu pelo sistema CIElab que fornece as coordenadas cartesianas:  $L^*$  que mede a claridade da amostra, variando de preto à branco total;  $a^*$  que é a medida do croma no eixo vermelho-verde e  $b^*$  que é medida do croma no eixo amarelo-azul. Além disso, foi relacionado o sistema CIElab ao cálculo do ângulo Hue ( $h$ ) (referente à qualidade da cor) e ao cálculo do Chroma ( $C^*$ ) (referente à pureza da cor). Também foi expresso o diferencial de cor ( $\Delta E$ ), tendo como padrão TPHS, e calculado de acordo com a Equação 3 (MOKRZYCKI; TATOL, 2011):

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3)$$

Onde:  $\Delta L^*$  é a diferença de brilho entre duas superfícies e  $\Delta a^*$  e  $\Delta b^*$  são as diferenças nas coordenadas de cor  $a^*$  e  $b^*$ , respectivamente.

#### 4.2.3 Avaliação da qualidade do óleo

Os índices de acidez e de peróxido do óleo de ACC obtido do processo por extração aquosa (OACC-A) e por prensagem (OACC-P) foram determinados utilizando-se os métodos oficiais Ca 5a-40 e Cd 8-53 (AOCS, 2003), respectivamente.

#### ***4.2.4 Obtenção e caracterização dos concentrados proteicos***

##### *4.2.4.1 Obtenção dos concentrados proteicos por precipitação isoelétrica*

Foi seguido o método descrito por Ogunwolu et al. (2009) com adaptações para obtenção dos três concentrados proteicos (CPA, CPP e CPHS) (Figura 7). Primeiramente, as tortas (TA, TP e TPHS) foram adicionadas de água destilada à temperatura ambiente na proporção de 1:10 e o pH ajustado em 9,0 com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,5 M. A suspensão foi agitada usando-se um agitador magnético durante 15 minutos e depois centrifugada (Heraeus Megafuge 40, Thermo Scientific, Alemanha) a  $4415 \times g/15$  minutos. O sobrenadante foi reservado em um béquer e o precipitado foi ressuspensionado e centrifugado como descrito acima. Gerou-se um segundo sobrenadante e o precipitado foi descartado.

Os sobrenadantes foram misturados e ajustado o pH em 4,5 pela adição de solução de ácido clorídrico (HCl) 0,5 M sob agitação. A mistura foi mantida em repouso por 2 horas a 4 °C. O material foi centrifugado ( $4415 \times g/10$  minutos), sendo o sobrenadante descartado. O precipitado foi ressuspensionado e o pH ajustado novamente para 4,5, ficando em repouso por 1 hora e centrifugado como descrito acima.

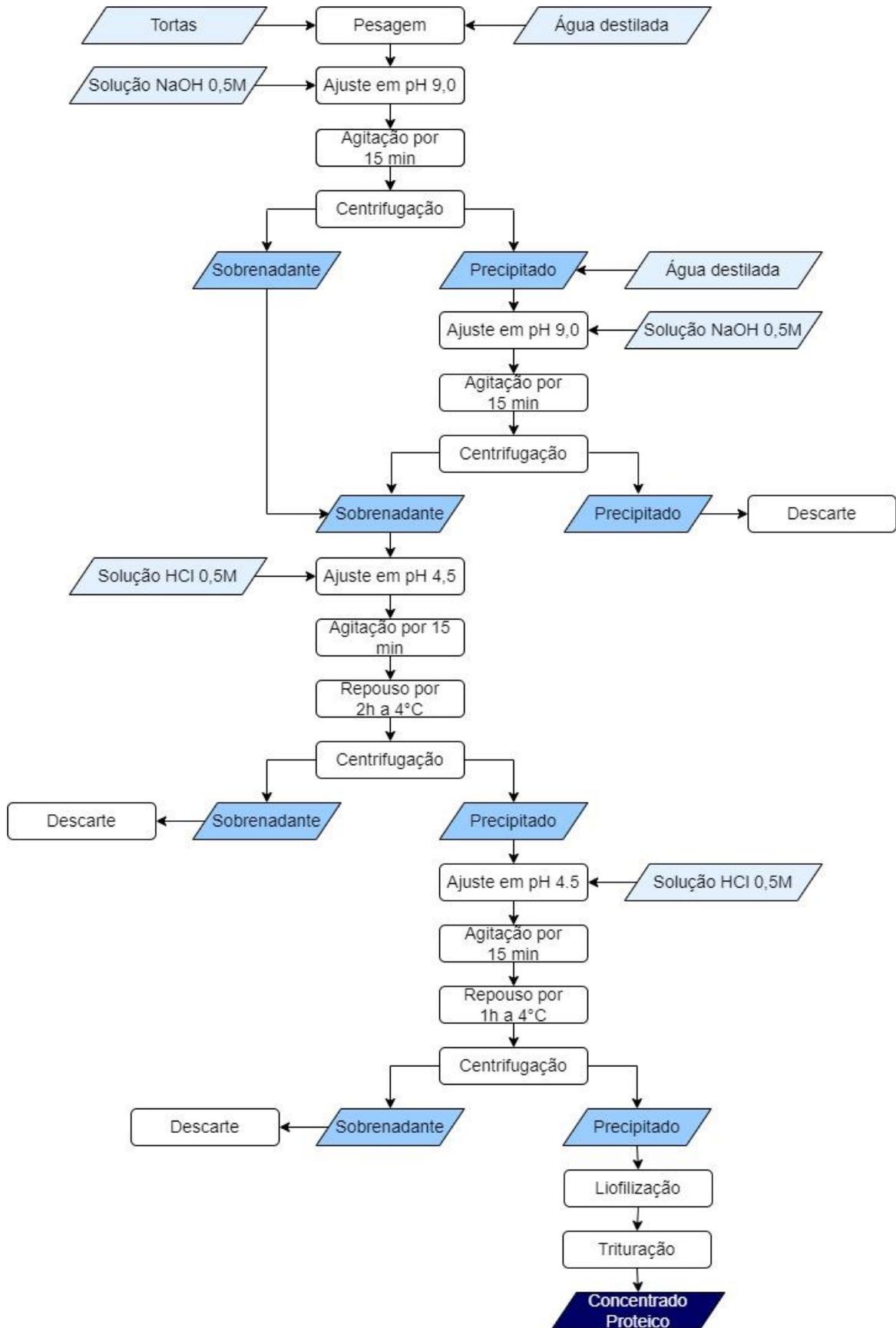
O sobrenadante foi descartado e o precipitado final foi congelado a aproximadamente -50°C, liofilizado (LP510, Liobras, Brasil), triturado em moinho analítico, peneirado em peneira 28 mesh (abertura de 0,6 mm), embalado e armazenado a -18 °C. Obtiveram-se assim CPA, CPP e CPHS.

##### *4.2.4.2 Composição dos concentrados proteicos*

###### *4.2.4.2.1 Composição centesimal*

Para análises de umidade, cinzas, lipídios, proteínas e carboidratos foram seguidas as mesmas metodologias descritas no item 4.2.1.

Figura 7 – Fluxograma de obtenção de concentrado proteico de ACC



Fonte: A autora (2024).

#### 4.2.4.2.2 Determinação do perfil de aminoácidos

Para a determinação de aminoácidos totais (ácido aspártico, ácido glutâmico, alanina, arginina, cisteína, fenilalanina, glicina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, prolina, serina, tirosina, treonina e valina), as amostras foram hidrolisadas com solução de HCl 6 N com fenol durante 24 horas a 110 °C. Após hidrólise, as amostras foram secas e reagidas com solução de Fenilisotilcianato para derivatização pré-coluna. Os aminoácidos hidrolisados foram separados por cromatografia líquida de alta performance (HPLC) em fase reversa e detectados por ultravioleta a 254 nm (HAGEN; FROST; AUGUSTIN, 1989; WHITE; HART; FRY, 1986).

O teor de triptofano livre foi avaliado através de hidrólise enzimática. As amostras foram incubadas com pronase a 45°C por 24 horas em banho-maria e centrifugadas a 3000 rpm durante 10 minutos. O sobrenadante foi reagido com solução 4-dimetil-amino-benzaldeído e solução de nitrito de sódio e a leitura foi feita em espectrofotômetro a 590 nm (LUCAS; SOTELO, 1980). Os resultados foram expressos em porcentagem (g de aminoácido/100g de proteína).

#### 4.2.4.3 Rendimento proteico

O rendimento proteico foi calculado com base na massa de proteínas (g) nas tortas e a massa de proteínas (g) nos concentrados proteicos, de acordo com a Equação 4:

$$R_{prot} (\%) = \frac{M_d}{M_c} \times 100 \quad (4)$$

Onde:  $R_{prot}$  é o rendimento de proteína expresso em porcentagem;  $M_c$  é a massa (g) de proteína na torta;  $M_d$  é a massa (g) de proteína nos concentrados proteicos.

#### 4.2.4.4 Digestibilidade *in vitro*

A digestibilidade *in vitro* foi determinada em sistema enzimático composto por pepsina e pancreatina, simulando as condições da digestão humana (AKESON; STAHMANN, 1964; GAUTHIER; VACHON; SAVOIE, 1986). Após hidrólise, as proteínas não hidrolisadas foram precipitadas com solução de ácido tricloroacético 30% e separadas por filtração. As proteínas hidrolisadas foram quantificadas pelo método de Kjeldahl (AOAC, 2012). A caseína

foi utilizada como proteína padrão de referência. Os resultados foram expressos em porcentagem.

#### 4.2.4.5 Caracterização físico-química

##### 4.2.4.5.1 Cor instrumental

A cor instrumental foi determinada como descrito no item 4.2.2.5.3, tendo CPHS como padrão para o cálculo do diferencial de cor ( $\Delta E$ ).

##### 4.2.4.5.2 Potencial Zeta

A análise do Potencial Zeta foi realizada com o objetivo de avaliar se os diferentes métodos de extração de óleo causaram alterações na carga superficial da proteína. As amostras foram diluídas em água Milli-Q (Direct-Q3, Millipore, Estados Unidos), obtendo-se soluções de concentração de 0,01% (p/p) e o pH foi ajustado para 8,0 com solução de NaOH 1 M. O Potencial Zeta dos concentrados proteicos de ACC foi medido usando equipamento Zetasizer Nano-ZS (Malvern Instruments Ltd, Reino Unido).

##### 4.2.4.5.3 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de FTIR foram coletados em um espectrômetro (Spectrum Two, Perkinelmer, Estados Unidos) com o acessório de refletância total atenuada (ATR - cristal de diamante), em uma faixa de número de onda de 4000 a 500  $\text{cm}^{-1}$  com 32 varreduras e resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$ . O *software* Origin Pro 2024 foi utilizado para analisar os espectros adquiridos para as amostras. Para a análise da estrutura secundária das proteínas, a correção da linha de base foi realizada dentro da faixa da banda amida I em 1600-1700  $\text{cm}^{-1}$  e o ajuste da curva gaussiana foi realizado com base no espectro da segunda derivada para determinar a relação correspondente entre posições de subpicos e unidades estruturais secundárias. Posteriormente, calculou-se a proporção de cada conformação da estrutura secundária da proteína com base na proporção da área total do pico.

#### 4.2.4.5.4 Comportamento de fluxo dos pós

As densidades aparente e compactada, a tensão principal de consolidação, a tensão não confinada de deslizamento, o ângulo de atrito interno e ângulo de atrito com a parede foram determinados para avaliar a fluidez dos pós. A análise foi realizada utilizando o Powder Flow Tester (PFT, Brookfield, Estados Unidos). A bandeja circular de aço inoxidável foi preenchida com a amostra, pesada antes do início do teste e transferida para o equipamento. Foi utilizada a tampa de palheta para realizar o teste de função de fluxo e a tampa plana para o teste de atrito de parede (LIMA et al., 2022). O equipamento aplicou tensões variadas na superfície dos pós para determinar os parâmetros de fluxo. As tensões normais aplicadas à superfície dos pós variaram de 0 a 13,250 kPa.

A fluidez dos pós foi avaliada e classificada utilizando o índice de compressibilidade (IC), a Razão de Hausner (RH) (LOPES NETO et al., 2007) e o índice de fluxo (IF) de acordo com a classificação de Jenike (LIMA et al., 2022). Os cálculos foram feitos de acordo com as Equações 5, 6 e 7.

$$IC = \frac{\alpha_c - \alpha_a}{\alpha_c} \times 100 \quad (5)$$

$$RH = \frac{\alpha_c}{\alpha_a} \quad (6)$$

$$IF = \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \quad (7)$$

Onde IC é o índice de compressibilidade (%); RH é a razão de Hausner;  $\alpha_c$  é densidade compactada ( $\text{kg/m}^3$ ) e  $\alpha_a$  é densidade aparente ( $\text{kg/m}^3$ ); IF é índice de fluxo;  $\sigma_1$  é a média da tensão principal de consolidação (kPa) e  $\sigma_c$  é a média da tensão não confinada de deslizamento (kPa).

#### 4.2.4.6 Avaliação tecnológica-funcional

##### 4.2.4.6.1 Solubilidade proteica

Seguiu-se metodologia adaptada de Ogunwolu et al. (2009). Pesou-se 300 mg das amostras em um béquer de 50 mL para cada pH a ser avaliado. Adicionou-se 30 mL de água destilada e homogeneizou-se em agitador magnético. Ajustou-se o pH para os valores 2, 4, 6, 7, 8, 10 e 12 em potenciômetro de bancada, com soluções de HCl (0,1; 0,5 e 1 M) ou NaOH

(0,1; 0,5 e 1 M), de acordo com a necessidade, visando alterar minimamente o volume da dispersão. Após ajuste de pH, agitou-se por 30 minutos em agitador orbital (TE-420 Incubadora, Tecnal, Brasil) à temperatura ambiente e, em seguida, a dispersão foi centrifugada (EBA 12 R, Hettich, Alemanha) a  $4620 \times g$  durante 20 min. O teor de proteína no sobrenadante foi determinado em espectrofotômetro (Cary 60 UV-Vis, Agilent Technologies, Malasia) pelo método de quantificação de proteínas solúveis (BRADFORD, 1976). A solubilidade da proteína foi então calculada de acordo com a Equação (8):

$$\text{Solubilidade (\%)} = \left( \frac{P_s}{P_t} \right) \times 100 \quad (8)$$

Onde:  $P_s$  é o conteúdo de proteína no sobrenadante e  $P_t$  é o conteúdo de proteína total.

#### 4.2.4.6.2 Capacidade de absorção de água e de óleo

Inicialmente, pesou-se 100 mg de cada amostra em microtubo tipo Eppendorf, anotando-se o peso do microtubo vazio ( $M_t$ ) e o valor exato da massa de amostra ( $M_0$ ). Adicionou-se 1 mL de água destilada para capacidade de absorção de água e repetiu-se o procedimento com 1 mL de óleo de soja para capacidade de absorção de óleo. Agitou-se em aparelho tipo Vortex por 1 minuto e deixou-se em repouso por 30 minutos em temperatura ambiente. A amostra foi centrifugada em centrífuga de microtubos (Z 233 M-2, HermLe, Alemanha) à temperatura ambiente na rotação de 12000 rpm pelo período de 20 minutos. Descartou-se o sobrenadante e pesou-se o microtubo com o precipitado ( $M_f$ ) (SILVA et al., 2022). Calculou-se a capacidade de absorção de água (CAA) e a capacidade de absorção de óleo (CAO) em g/g de amostra utilizando a Equação 9:

$$CAA \text{ ou } CAO = \frac{M_f - M_t - M_0}{M_0} \quad (9)$$

Onde:  $M_f$  é a massa (g) do microtubo com precipitado final, após o descarte do sobrenadante de água ou óleo;  $M_t$  é a massa (g) do microtubo e  $M_0$  é a massa (g) inicial da amostra.

#### 4.2.4.6.3 Capacidade de formação de gel

Para a determinação da concentração mínima capaz de formar gel, seguiu-se metodologia descrita por Silva et al. (2022) com adaptação. Preparou-se uma solução com

concentração de 0,2 g/mL de amostra dissolvida em água destilada com pH ajustado em 7,0 com solução de NaOH 1 M e, a partir desta solução, preparou-se soluções com concentração de 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,10; 0,12; 0,14; 0,16 e 0,18 g/mL em tubos de ensaio. Para preparar essas diluições, alíquotas retiradas da solução a 0,2 g/mL foram adicionadas de água destilada, completando um volume de 5 mL de solução em cada tubo de ensaio. Os tubos foram homogeneizados em Vortex por 1 minuto e, posteriormente, foram aquecidos em banho-maria a 100°C por 60 minutos e resfriados imediatamente em banho de gelo, sendo mantidos sob refrigeração (4 °C) por 2 horas.

Após o repouso, verteram-se os tubos vagarosamente, em ordem crescente de concentração, verificando se havia escoamento, sendo as respostas: (-) Não formou gel (quando a solução se apresentou líquida); (±) Gel fraco (quando a solução escoou, porém mais viscosa) e (+) Formou gel (quando a solução não escoou).

A menor concentração (g/mL) em que a amostra não escoou foi denominada concentração mínima de gelificação (CMG).

#### 4.2.4.6.4 Capacidade emulsificante e estabilidade de emulsão

Pesou-se 300 mg de cada amostra proteica e adicionou-se 60 mL de água destilada. A mistura foi submetida a agitação em homogeneizador magnético até completa dissolução da amostra. Ajustou-se o pH para 7,0 usando solução de NaOH (0,1, 0,5 e 1 M) e HCl (0,1, 0,5 e 1 M). Em seguida, adicionou-se 20 mL de óleo de soja comercial à amostra solubilizada, sendo imediatamente emulsionada com um homogeneizador de cisalhamento de alta velocidade na rotação de 9500 rpm por 1 minuto à temperatura ambiente. Retirou-se uma alíquota de 50 µL entre o meio e o fundo do béquer, imediatamente após a homogeneização, e adicionou-se em um tubo de ensaio contendo 5 mL de solução aquosa de dodecil sulfato de sódio (SDS) 0,1% (p/v), homogeneizando por 30 segundos em Vortex. O espectrofotômetro (Cary 50 Bio UV-Visible, Varian, Austrália) foi zerado com a solução de SDS 0,1%. A leitura de absorbância da amostra foi realizada no comprimento de onda de 500 nm, sendo considerada a leitura no tempo zero ( $A_0$ ). Após 10 minutos, repetiu-se o procedimento, fazendo a leitura no espectrofotômetro ( $A_{10}$ ) (SILVA et al., 2022).

O índice de atividade emulsificante (IAE) em  $m^2/g$  foi calculado utilizando a Equação 10:

$$IAE = \frac{2 \times 2,303 \times 100 \times A_0}{c \times 0,25 \times 10000} \quad (10)$$

Onde:  $A_0$  é a absorvância da emulsão no tempo zero;  $c$  é a concentração da amostra proteica (g/mL), ou seja, a massa pesada da amostra dividida por 60 mL. Os números 2 e 2,303 são valores fixos (PEARCE; KINSELLA, 1978). O número 100 corresponde ao fator de diluição. 0,25 é a fração de volume do óleo adicionado na emulsão e 10000 é usado para a correção da unidade de expressão do resultado.

O índice de estabilidade da emulsão (IEE) foi calculado em minutos, utilizando a Equação 11:

$$IEE = \frac{A_0}{A_0 - A_{10}} \times 10 \quad (11)$$

Onde:  $A_0$  é a absorvância da emulsão no tempo zero;  $A_{10}$  é a absorvância da emulsão após 10 minutos.

#### **4.2.5 Análise estatística**

A análise estatística foi realizada usando o software Statistica Versão 10. As análises foram realizadas em triplicata. Os dados foram submetidos à análise de variância unidirecional (ANOVA). As diferenças das médias entre as amostras foram determinadas pelo teste de Tukey e valores de  $p < 0,05$  foram considerados estatisticamente significativos.

### **4.3 Resultados e discussão**

#### **4.3.1 Caracterização da matéria-prima**

Os resultados da composição centesimal em base seca da ACC tipo P1 encontram-se na Tabela 1.

A ACC apresentou 50,19% de lipídios e 20,61% de proteínas, sendo considerada um matéria-prima com elevado valor nutricional. Na literatura são encontrados teores variando de 40 a 57% de lipídios, 23 a 25% de carboidratos e 20 a 25% de proteínas (LIU et al., 2018a). O teor de óleo da ACC é considerado alto quando comparado com a soja (15 a 25%) (HADIDI et al., 2024), por exemplo, o que indica sua potencial utilização na extração de óleo comestível.

Os valores podem variar de acordo com o local de cultivo, sazonalidade e tipo de processamento das amêndoas (LIMA, 2018).

Tabela 1 – Composição centesimal da ACC

<b>Análises</b>	<b>Teor (%)</b>
Lipídios*	50,19 ± 0,24
Proteínas*	20,61 ± 0,39
Carboidratos*	22,15 ± 0,54
Cinzas*	7,05 ± 0,69
Umidade	3,65 ± 0,06

Fonte: A autora (2024). \*: valores em base seca. Os resultados são expressos em média e desvio padrão.

#### 4.3.2 Caracterização das tortas parcialmente desengorduradas

##### 4.3.2.1 Composição centesimal e rendimento de extração de óleo

A Tabela 2 apresenta a composição centesimal em base seca das tortas parcialmente desengorduradas.

Tabela 2 – Composição centesimal das tortas parcialmente desengorduradas

<b>Análises</b>	<b>Tortas parcialmente desengorduradas</b>			
	<b>TA</b>	<b>TP</b>	<b>TPHS</b>	<b>TPHI</b>
Lipídios (%)*	17,05 ± 0,20b	35,19 ± 0,25a	5,33 ± 0,17c	16,32 ± 0,89b
Proteínas (%)*	35,51 ± 0,30b	27,40 ± 0,29c	40,36 ± 0,10a	35,94 ± 0,17b
Carboidratos (%)*	43,12 ± 0,43b	32,59 ± 0,66c	48,99 ± 0,26a	43,26 ± 0,96b
Cinzas (%)*	4,33 ± 0,03b	4,82 ± 0,40ab	5,33 ± 0,04a	4,49 ± 0,02b
Umidade (%)	5,27 ± 0,07a	3,35 ± 0,06d	4,18 ± 0,06c	4,73 ± 0,01b

Fonte: A autora (2024). \*: valores em base seca. TA: torta obtida por extração aquosa; TP: torta obtida por prensagem; TPHS: torta obtida por prensagem, seguida de extração com hexano em Soxhlet; TPHI: torta obtida por prensagem, seguida de extração com hexano por imersão. Os resultados são expressos em média e desvio padrão. Médias com letras iguais na mesma linha não diferem ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

A torta desengordurada com hexano em Soxhlet (TPHS) apresentou menor teor de lipídios (5,33%) e maior teor de proteínas (40,36%), dobrando o teor de proteínas em relação à matéria-prima utilizada. O processo de obtenção de TPHS apresentou melhor rendimento de

extração de óleo de ACC, sendo extraído 94,07% do óleo presente na matéria-prima (Tabela 3).

Tabela 3 – Rendimento dos processos de extração de óleo

<b>Processos</b>	<b>Rendimento (%)</b>
Extração aquosa	79,15 ± 0,40c
Extração por prensagem	46,95 ± 0,37d
Extração com hexano em Soxhlet	94,07 ± 0,02a
Extração com hexano por imersão	80,39 ± 0,43b

Fonte: A autora (2024). Os resultados são expressos em média e desvio padrão. Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

Alobo, Agbo e Ilesanmi (2009) avaliaram a composição centesimal de farinha de ACC desengordurada com hexano em Soxhlet e encontraram 46,50% de proteínas e 3,58% lipídios, valores próximos aos relatados no presente estudo.

Entre as tortas obtidas sem utilização de hexano, TA apresentou menor teor de lipídios (17,05%) e maior teor de proteínas (35,51%). O teor de proteínas encontrado em TA representa um aumento de 74% em relação a matéria-prima utilizada.

O processo de prensagem apresentou menor rendimento de extração de óleo, sendo de 46,95%, resultado semelhante ao relatado por Lima, García e Lima et al. (2004), que obtiveram um rendimento de extração de 45,7% do óleo da ACC por prensagem. Lima, Pinto e Magalhães (2018), ao avaliarem diferentes métodos de extração de óleo de ACC, relataram um rendimento maior de extração por prensagem (59%) e menor por extração aquosa (63%), quando comparados aos resultados obtidos no presente estudo. Kross (2008) avaliou a extração de óleo de ACC por prensagem, obtendo uma torta com 38,1% de proteínas e 20,11% de lipídios. O autor destacou que a eficiência da extração de óleo, e consequentemente a composição da torta, é influenciada pelo tipo de prensa, pela pressão aplicada e pelo tempo de prensagem. Uma das desvantagens do método de prensagem é a retenção de parte do óleo no material sólido, o que resulta em um rendimento menor de extração em comparação a outros processos. Contudo, esse método permite a obtenção de um óleo vegetal com excelente qualidade oxidativa (CARVALHO et al., 2018).

Embora TA e TPhi tenham apresentado composição e rendimento de extração de óleo com diferença significativa entre si ( $p > 0,05$ ), os valores encontrados foram bem próximos. Considerando que o processo de imersão em hexano não apresentou rendimento

próximo à extração em Soxhlet, optou-se por não seguir com TPHI para a concentração proteica.

A extração com hexano é o método mais utilizado em nível industrial para extração de óleo de matérias-primas oleaginosas e apresenta maior rendimento de extração, já que o solvente tem grande afinidade por lipídios. No entanto, apresenta desvantagens, como alta toxicidade e inflamabilidade, além da necessidade de etapas de tratamento do óleo para refinamento (LEAL et al., 2023). Considerando o aumento da procura dos consumidores por produtos alimentícios obtidos por processos considerados “limpos” (PACHIONE, 2019), grandes marcas de proteínas vegetais têm investido no *marketing* de “rótulos e processos limpos”. Nesse sentido, a extração aquosa de lipídios apresentou bom rendimento e se destaca como uma alternativa ao uso do hexano.

Os valores encontrados neste estudo mostram que os métodos de desengorduramento por si só já contribuem para uma concentração de proteínas nas tortas. As tortas obtidas podem ser potenciais ingredientes para a indústria de alimentos, com menos etapas de processamento quando comparadas a concentrados e isolados proteicos.

#### 4.3.2.2 Teor de minerais

Os teores de minerais das tortas apresentaram diferença significativa entre si ( $p > 0,05$ ) (Tabela 4).

Fósforo, potássio e magnésio foram os minerais mais abundantes nas quatro tortas de ACC. Rico, Bulló e Salas-Salvadó (2015) avaliaram amêndoas de castanha de caju de diferentes países e também identificaram esses três minerais como os mais predominantes na matéria-prima.

Emelike, Barber e Ebere (2015) analisaram a farinha de ACC desengordurada com éter de petróleo e relataram valores inferiores para fósforo (24,7 mg/100g), ferro (11,8 mg/100g), sódio (7,8 mg/100g), potássio (52,0 mg/100g) e magnésio (220 mg/100g).

Os minerais não podem ser sintetizados pelo corpo humano e devem ser obtidos regularmente através da dieta para a manutenção de funções corporais saudáveis. A ingestão e absorção insuficiente de minerais pode levar a diversos problemas de saúde, como anemia grave em casos de deficiência de ferro e distúrbios neurológicos devido à falta de zinco (XAVIER et al., 2019).

As tortas de ACC, assim como a maioria dos produtos de origem vegetal, apresentaram baixo teor de cálcio (49,33 a 74,33 mg/100g), um mineral essencial para a saúde

óssea e outras funções vitais. A fortificação de produtos industrializados tem sido uma estratégia para suprir a carência desse mineral no desenvolvimento de produtos *plant-based*, principalmente de bebidas análogas ao leite (HOLANDA, 2017; SCHOLZ-AHRENS; AHRENS; BARTH, 2020; SILVA et al., 2020).

Tabela 4 – Teor de minerais das tortas parcialmente desengorduradas

Minerais (mg/100g)	Tortas parcialmente desengorduradas			
	TA	TP	TPHS	TPHI
Cálcio	61,67 ±	49,33 ±	66,67 ±	74,33 ±
	0,58b	2,52c	0,58b	3,79a
Cobre	3,17 ±	2,60 ±	3,70 ±	3,07 ±
	0,06b	0,00c	0,00a	0,06b
Enxofre	344,67±	279,00 ±	397,33 ±	345,00 ±
	5,51b	6,24c	7,02a	22,52b
Ferro	14,00 ±	12,23 ±	16,13 ±	14,07 ±
	0,26b	0,35c	0,25a	0,06b
Fósforo	808,67 ±	652,33 ±	906,33 ±	829,67 ±
	11,06b	11,59c	14,57a	2,52b
Magnésio	427,67 ±	339,67 ±	487,33 ±	464,00 ±
	5,77b	2,08c	4,73a	25,12a
Manganês	2,63 ±	2,13 ±	3,07 ±	2,93 ±
	0,06b	0,06c	0,06a	0,06a
Potássio	1091,67	890,00 ±	1258,33 ±	1068,00 ±
	± 16,29b	5,20c	9,87a	50,39b
Sódio	20,67 ±	16,67 ±	23,67 ±	26,67 ±
	0,58c	0,58d	0,58b	0,58a
Zinco	8,87 ±	7,23 ±	10,70 ±	9,13 ±
	0,06b	0,21c	0,35a	0,06b

Fonte: A autora (2024). TA: torta obtida por extração aquosa; TP: torta obtida por prensagem; TPHS: torta obtida por prensagem, seguida de extração com hexano em Soxhlet; TPHI: torta obtida por prensagem, seguida de extração com hexano por imersão. Os resultados são expressos em média e desvio padrão. Médias com letras iguais na mesma linha não diferem ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

As tortas de ACC analisadas demonstraram ser boas fontes de fósforo, magnésio e potássio, porém mais estudos são necessários para avaliar a bioacessibilidade e a biodisponibilidade desses minerais após a ingestão.

#### 4.3.2.3 Cor instrumental

Os diferentes métodos de extração de óleo proporcionaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) em todos os parâmetros de cor das tortas (Tabela 5).

Tabela 5 – Parâmetros de cor instrumental das tortas parcialmente desengorduradas

Parâmetros	Tortas parcialmente desengorduradas			
	TA	TP	TPHS	TPHI
L*	77,23 ± 0,12d	86,66 ± 0,11c	93,65 ± 0,33a	92,09 ± 0,10b
a*	2,07 ± 0,01a	0,57 ± 0,03b	-0,10 ± 0,04d	0,04 ± 0,00c
b*	20,80 ± 0,08a	16,72 ± 0,09b	8,32 ± 0,36d	9,98 ± 0,13c
C*	20,91 ± 0,08a	16,74 ± 0,09b	8,32 ± 0,36d	9,98 ± 0,13c
h	84,32 ± 0,03d	88,03 ± 0,09c	90,68 ± 0,31a	89,80 ± 0,09b
ΔE	20,74	10,95	-	2,28

Fonte: A autora (2024). TA: torta obtida por extração aquosa; TP: torta obtida por prensagem; TPHS: torta obtida por prensagem, seguida de extração com hexano em Soxhlet; TPHI: torta obtida por prensagem, seguida de extração com hexano por imersão. Os resultados são expressos em média e desvio padrão. Médias com letras iguais na mesma linha não diferem ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

TA apresentou coloração predominantemente amarela (Figura 8), com o maior valor de b\* no eixo positivo, ângulo de matiz de 84,32°, maior valor de a\* no eixo positivo, indicando uma leve tendência ao vermelho, e menor luminosidade (L\*). Também apresentou maior ΔE, quando comparada com TPHS, sendo considerada a torta com coloração mais escura. Essas características podem ser explicadas pelo aquecimento ocasionado na etapa de trituração e na secagem da torta em estufa. O calor pode ter causado a oxidação dos compostos fenólicos ou escurecimento não enzimático (LIMA, 2018). TP também apresentou coloração amarelada, com valor de b\* no eixo positivo.

As tortas obtidas por extração com hexano (TPHS e TPHI) apresentaram altos valores de L\* (>90), indicando alta luminosidade, e apresentaram coloração levemente amarelada tendendo ao branco, com valores de a\* em 0, valores menores no eixo b\* positivo e

também valores de  $C^*$  menores. As duas tortas diferiram significativamente em todos os parâmetros, mas TPFI apresentou  $\Delta E$  menor que 3 quando comparada com TPFS, não sendo a diferença de cor entre essas duas tortas visível ao olho nu (XI et al., 2021). Valores semelhantes foram encontrados por Lima (2018) na obtenção de torta de ACC desengordurada por hexano em Soxhlet ( $L^* = 91,26$ ;  $a^* = 0,00$  e  $b^* = 11,10$ ).

Figura 8 – Tortas parcialmente desengorduradas de ACC



Fonte: A autora (2024). A: Torta obtida por extração aquosa. B: Torta obtida por prensagem. C: Torta obtida por prensagem e extração com hexano em Soxhlet. D: Torta obtida por prensagem e extração com hexano por imersão.

O óleo da ACC apresenta coloração amarela (LEAL et al., 2023), portanto o teor de lipídios influenciou diretamente na coloração das tortas. As tortas avaliadas exibiram uma coloração ideal para a criação de uma variedade de produtos alimentícios, como substitutos lácteos e de carne, especialmente para imitar carnes mais claras, como frango e peixe.

#### 4.3.3 Avaliação do óleo de ACC

A IN n° 87 de 15 de março de 2021 (BRASIL, 2021), define os limites específicos para óleos prensados a frio e não refinados, sendo acidez máxima de 4,0 mg KOH/g e índice de peróxidos máximo de 15 meq/Kg. Os resultados obtidos para OACC-A e OACC-P são

mostrados na Tabela 6 e estão bem abaixo dos limites especificados na legislação, podendo ser considerados óleos de excelente qualidade oxidativa.

Tabela 6 – Caracterização do óleo da ACC obtido por extração aquosa (OACC-A) e prensagem (OACC-P)

<b>Análises</b>	<b>OACC-A</b>	<b>OACC-P</b>
Índice de acidez (KOH/g)	0,40 ± 0,02a	0,39 ± 0,01a
Índice de peróxido (meq/Kg)	1,80 ± 0,01a	0,81 ± 0,00b

Fonte: A autora (2024). OACC-A: óleo de ACC obtido do processo por extração aquosa; OACC-P óleo de ACC obtido do processo de prensagem. Os resultados são expressos em média e desvio padrão. Médias com letras iguais na mesma linha não diferem ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

Os resultados de índice de peróxido diferiram estatisticamente ( $p > 0,05$ ), sendo o índice de peróxidos do óleo obtido por extração aquosa maior que no óleo obtido por prensagem, provavelmente em virtude da maior manipulação e exposição ao ar da matéria-prima durante os processos de trituração para obtenção da pasta antes da centrifugação.

Os valores encontrados neste estudo foram bem inferiores aos encontrados por Leal et al. (2023) ao avaliar a qualidade do óleo extraído por prensagem de diferentes qualidades de ACC.

#### **4.3.4 Caracterização dos concentrados proteicos**

##### *4.3.4.1 Composição dos concentrados proteicos*

###### *4.3.4.1.1 Composição centesimal*

A composição centesimal em base seca dos concentrados proteicos CPA, CPP e CPHS são apresentados na Tabela 7.

Os métodos de extração de óleo de ACC influenciaram na composição centesimal dos concentrados proteicos obtidos. Os teores de lipídios, proteínas e carboidratos diferiram significativamente entre as amostras ( $p > 0,05$ ).

O concentrado proteico obtido a partir da torta desengordurada com hexano em Soxhlet (CPHS) obteve o maior teor de proteínas (85,45%) entre os concentrados proteicos analisados. Valor maior do que o descrito por Büyükcan e Karakaya. (2021) para isolado

comercial de proteína de ervilha (81,7%), produto que tem recebido atenção considerável nos últimos anos.

Tabela 7 – Composição centesimal dos concentrados proteicos de ACC

Análises	Concentrados proteicos		
	CPA	CPP	CPHS
Lipídios (%) <sup>*</sup>	14,13 ± 0,25b	21,71 ± 1,23a	1,98 ± 0,03c
Proteínas (%) <sup>*</sup>	69,02 ± 0,71b	59,34 ± 0,37c	85,45 ± 0,44a
Carboidratos (%) <sup>*</sup>	15,30 ± 1,06a	17,49 ± 1,47a	10,89 ± 0,50b
Cinzas (%) <sup>*</sup>	1,55 ± 0,12a	1,45 ± 0,12a	1,64 ± 0,07a
Umidade (%)	2,62 ± 0,09b	2,65 ± 0,10b	3,09 ± 0,08a

Fonte: A autora (2024). <sup>\*</sup>: valores em base seca. CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa; CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem; CPHS: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com hexano em Soxhlet. Os resultados são expressos em média e desvio padrão. Médias com letras iguais na mesma linha não diferem ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

Um teor de proteínas de 86,2% foi relatado por Lima (2018) em isolado proteico de ACC, obtido a partir de torta desengordurada por hexano em Soxhlet. Liu et al. (2018a), analisando um isolado proteico de ACC obtido a partir de torta desengordurada com éter de petróleo, descreveram um teor de proteínas de 80,7%. Com base na literatura, CPHS apresenta alto conteúdo proteico e pode ser denominado como isolado proteico de ACC, mas para fins de entendimento, neste estudo continuará denominado como concentrado proteico.

CPA e CPP apresentaram 69,02% e 59,34% de proteínas e 14,13% e 21,71% de lipídios, respectivamente. O conteúdo lipídico presente nas tortas não foi eliminado nas etapas de hidrólise alcalina e precipitação isoeletrica. Os teores de lipídios encontrados em CPA e CPP são significantes e podem influenciar nas características funcionais, o que será descrito mais adiante.

Lima et al. (2021b) avaliaram a obtenção de concentrados proteicos obtidos a partir de torta de ACC desengordurada com hexano em Soxhlet e concentração por precipitação isoeletrica em diferentes pHs, sem a etapa de solubilização em pH básico, e obtiveram um concentrado com 58,6% de proteínas totais em pH 4,5. A etapa de solubilização das proteínas em pH alcalino é essencial para o alto teor de proteínas no produto final.

A ANVISA determina apenas os teores de proteína em concentrados e isolados proteicos produzidos a partir de soja, com 68% e 88%, respectivamente (BRASIL, 2005).

Embora não haja limites específicos para concentrados proteicos de ACC na legislação brasileira, há um limite para produtos proteicos em geral, que é de pelo menos 40%. Com base nisso, todos os concentrados obtidos apresentam potencial como aporte proteico para serem incorporados em alimentos e suplementos alimentares.

Entre os concentrados obtidos sem a utilização de hexano no processo, CPA se destaca por apresentar maior conteúdo de proteínas que CPP. De forma geral, os conteúdos de proteína dos concentrados proteicos de ACC são comparáveis aos dos produtos proteicos comerciais de soja (61 a 91%), de ervilha (77 a 81%) e de trigo (74 a 88%) (GORISSEN et al., 2018). Isto indica que os concentrados proteicos de ACC podem ser potencialmente comercializados como boa fonte de proteínas.

#### 4.3.4.1.2 Determinação do perfil de aminoácidos

O perfil de aminoácidos dos concentrados proteicos de ACC é mostrado na Tabela 8.

Ácido glutâmico (25,56% a 26,31%) e arginina (13,51% a 13,84%), aminoácidos não essenciais, foram os aminoácidos presentes em maior quantidade nos três concentrados proteicos analisados. CPA, CPP e CPHS apresentaram um perfil contendo todos os aminoácidos essenciais. Leucina (7,84% a 8,17%), valina (5,96% a 6,09%) e fenilalanina (4,98% a 5,15%) foram os aminoácidos essenciais que apresentaram os maiores teores.

A composição de aminoácidos observada foi muito semelhante a composição relatada por Sun et al (2021) para isolado proteico de amendoim. Os estudos de Aremu, Ogunlade e Olonisakin (2007) e de Liu et al. (2018a), que avaliaram concentrado proteico de ACC obtido de torta desengordurada com éter de petróleo e concentração por precipitação isoelétrica, relataram perfil de aminoácidos essenciais semelhantes a este estudo.

A comparação do teor de aminoácidos (mg/g de proteína) dos concentrados proteicos com a composição de referência para alegação nutricional de suplementos alimentares estabelecida na IN nº 28 de 26 de julho de 2018 (BRASIL, 2018) e recomendada pela Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2007) para a dieta de adultos é feita na Tabela 9.

A partir da composição de referência, podemos observar que os concentrados proteicos obtidos apresentaram valores superiores aos recomendados pela FAO para todos os aminoácidos indispensáveis, exceto para a lisina. A composição de lisina variou de 41,0 a 42,9 mg/g de proteína, valores ligeiramente inferiores à composição de referência (45 mg/g de

proteína), sendo este o único aminoácido limitante nos concentrados proteicos de ACC. No entanto, o teor de lisina de CPA, CPP e CPHS foi superior ao observado para isolado proteico de gérmen de trigo (2,60 g/100g de proteína) em estudo de Abarghoei, Goli e Shahi (2023). Parte do teor de lisina pode ter sido perdido na etapa de solubilização, uma vez que o pH alcalino extremo é prejudicial à qualidade da proteína, podendo destruir a lisina (OGUNWOLU et al., 2009).

Tabela 8 – Perfil de aminoácidos (g/100g de proteína) dos concentrados proteicos de ACC

Aminoácidos	Composição (g/100g)		
	CPA	CPP	CPHS
Ácido Aspártico	10,21	10,40	10,71
Ácido Glutâmico	25,56	26,17	26,31
Alanina	3,59	3,68	3,65
Arginina	13,51	13,52	13,84
Cisteína	1,71	1,98	1,69
Glicina	4,50	4,53	4,61
Prolina	3,60	3,70	3,72
Serina	5,65	5,73	5,78
Tirosina	3,58	3,64	3,64
Fenilalanina*	4,98	5,15	5,07
Histidina*	2,16	2,17	2,19
Isoleucina*	4,49	4,56	4,61
Leucina*	7,84	8,17	8,06
Lisina*	4,10	4,29	4,19
Metionina*	1,37	1,56	1,42
Treonina*	3,25	3,28	3,26
Triptofano*	1,00	0,71	1,52
Valina*	5,96	6,07	6,09

Fonte: A autora (2024). \*: aminoácidos essenciais. CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa; CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem; CPHS: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com hexano em Soxhlet.

Tabela 9 – Comparação de aminoácidos (mg/g de proteína) dos concentrados proteicos de ACC com a composição de referência

Aminoácidos	Composição (mg/g proteína)			Composição de referência*
	CPA	CPP	CPHS	
Histidina	21,6	21,7	21,9	15
Isoleucina	44,9	45,6	46,1	30
Leucina	78,4	81,7	80,6	59
Lisina	41,0	42,9	41,9	45
Metionina e cisteína	30,9	35,4	31,1	22
Fenilalanina e tirosina	85,6	88,0	87,1	38
Treonina	32,5	32,8	32,6	23
Triptofano	10,0	7,1	15,2	6
Valina	59,6	60,7	60,9	39

Fonte: A autora (2024). \*Teor de aminoácidos (mg/g de proteína) requeridos pela legislação brasileira para alegação nutricional (BRASIL,2018) e pela FAO (2007) para adultos. CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa; CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem; CPHS: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com hexano em Soxhlet.

As limitações dos perfis de aminoácidos nas proteínas vegetais constituem um dos principais obstáculos para sua aplicação na indústria alimentícia (ILLINGWORTH; LEE; SIOW, 2022). Os cereais geralmente são deficientes em lisina, enquanto as leguminosas podem apresentar deficiência de aminoácidos sulfurados, como metionina e cisteína (SÁ; MORENO; CARCIOFI, 2020). Combinar diferentes fontes de proteína vegetal pode ajudar a superar essas deficiências e fornecer uma variedade mais completa de aminoácidos essenciais.

Como solução, a combinação com fontes proteicas vegetais ricas em lisina ou a adição exógena desse aminoácido podem tornar os concentrados proteicos de ACC um aporte completo de aminoácidos essenciais para indústria alimentícia. Outro caminho é a avaliação dos parâmetros da etapa de solubilização em pH alcalino, por exemplo, reduzindo o pH para 8,0 e avaliando as consequências no rendimento do processo e no teor de lisina.

#### 4.3.4.2 Rendimento proteico

O rendimento proteico de CPA, CPP e CPHS é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Rendimento proteico dos concentrados proteicos de ACC

<b>Concentrados proteicos</b>	<b>Rendimento proteico (%)</b>
CPA	53,31 ± 1,87b
CPP	65,89 ± 0,75a
CPHS	49,45 ± 1,96b

Fonte: A autora (2024). CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa; CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com hexano em Soxhlet. Os resultados são expressos em média e desvio padrão. Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

O rendimento proteico de CPP (65,89%) diferiu significativamente dos demais concentrados analisados, sendo o maior rendimento proteico observado. Embora TP não tenha apresentado o maior conteúdo proteico em comparação com TA e TPHS, a recuperação da proteína foi maior no concentrado proteico obtido a partir desta torta.

L'Hocine, Boye e Arcand (2006) avaliaram o efeito de diferentes métodos de desengorduramento da soja para obtenção de isolado proteico e observaram comportamento semelhante. Entre os métodos testados, os autores observaram que os isolados proteicos obtidos a partir da farinha integral de soja (não desengordurada) e por extração aquosa não apresentaram os maiores teores de proteínas, mas apresentaram os maiores rendimentos proteicos (66,5% e 78,6%, respectivamente). Para os isolados proteicos de soja obtidos a partir de tortas desengorduradas com hexano, etanol e metanol, os rendimentos proteicos foram menores que 52,1%.

#### 4.3.4.3 Digestibilidade *in vitro*

Enzimas como pepsina, tripsina e quimotripsina atuam para quebrar proteínas em aminoácidos e a acessibilidade dessas proteases às ligações peptídicas afeta a taxa e extensão da digestão. A presença de fatores antinutricionais, a composição da parede celular das plantas,

bem como a desnaturação, estado de agregação e composição da matriz alimentar, podem limitar a digestibilidade da proteína (SHAGHAGHIAN et al., 2022).

Os processos aos quais as fontes proteicas vegetais são comumente submetidas para a concentração de proteínas contribuem para melhorar a digestibilidade pela remoção dos constituintes da parede celular vegetal (SANTOS-HERNÁNDEZ et al., 2020).

Os concentrados proteicos de ACC apresentaram excelente digestibilidade (>90%), sendo o maior valor observado para CPHS (95,85%). CPA e CPP não apresentaram diferença significativa entre si ( $p > 0,05$ ) (Tabela 11).

Tabela 11 – Digestibilidade *in vitro* dos concentrados proteicos de ACC

Concentrados proteicos	Digestibilidade <i>in vitro</i> (%)
CPA	92,68 ± 0,98b
CPP	91,83 ± 0,61b
CPHS	95,85 ± 0,59a

Fonte: A autora (2024). CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa; CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem; CPHS: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com hexano em Soxhlet. Os resultados são expressos em média e desvio padrão. Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

Os valores de digestibilidade *in vitro* apresentados pelos concentrados proteicos de ACC são comparáveis aos valores relatados para produtos comerciais de proteína do soro do leite (88,4 e 91,7%) e maiores que o relatado para isolado proteico de soja (55,2%) em estudo de Almeida et al. (2015).

Ogunwolu et al. (2015) avaliaram a digestibilidade *in vitro* de farinha de ACC desengordurada com hexano em Soxhlet, de concentrado e de isolado proteico de ACC e encontraram percentuais de digestibilidade de 79,93%, 87,83% e 95,30%, respectivamente. O aumento da digestibilidade de concentrados e isolados proteicos em relação a farinha de ACC desengordurada pode ser explicado uma vez que a precipitação isoelétrica desnatura as proteínas extraídas, tornando-as mais suscetíveis ao ataque enzimático no processo de digestão, além de reduzir fatores antinutricionais.

#### 4.3.4.4 Caracterização físico-química

##### 4.3.4.4.1 Cor instrumental

Os diferentes métodos de extração de óleo proporcionaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) nos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $C^*$  e  $h$  dos concentrados proteicos (Tabela 12).

Tabela 12 – Parâmetros de cor instrumental dos concentrados proteicos de ACC

Parâmetros	Concentrados proteicos		
	CPA	CPP	CPHS
$L^*$	84,34 ± 0,35a	80,78 ± 0,18b	83,78 ± 0,20a
$a^*$	0,63 ± 0,06b	0,46 ± 0,02c	0,87 ± 0,03a
$b^*$	16,56 ± 0,77a	17,16 ± 0,34a	17,58 ± 0,13a
$C^*$	16,17 ± 0,33b	17,16 ± 0,35a	17,60 ± 0,13a
$h$	87,78 ± 0,20b	88,48 ± 0,07a	87,13 ± 0,09c
$\Delta E$	1,34	3,08	-

Fonte: A autora (2024). CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa; CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem; CPHS: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com hexano em Soxhlet. Os resultados são expressos em média e desvio padrão. Médias com letras iguais na mesma linha não diferem ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

Os três concentrados proteicos apresentaram coloração predominantemente amarela clara, com valores próximos a zero para o parâmetro  $a^*$ , ângulo de matiz ( $h$ ) próximo a  $90^\circ$  e valores positivos no eixo  $b^*$ . CPA e CPP apresentaram valores baixos para  $\Delta E$  ( $\leq 3$ ) em relação a CPHS. Portanto, apesar das diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os parâmetros de cor e da composição lipídica, não houve diferença de coloração perceptível a olho nu entre os concentrados proteicos.

A coloração amarela dos concentrados pode ser justificada devido à oxidação de materiais não proteicos, como os compostos fenólicos que são co-extraídos com as proteínas, e pela ocorrência de Reação de Maillard, devido ao aumento do pH na fase de solubilização das proteínas (NOUSKA et al., 2024).

Os parâmetros de cor instrumental constataam a cor amarela clara dos concentrados proteicos de ACC (Figura 9), considerada uma característica boa para o desenvolvimento de

produtos alimentícios, como por exemplo, bebidas análogas ao leite e produtos análogos de carnes brancas, como peixe e frango.

Figura 9 – Concentrados proteicos de ACC



Fonte: A autora (2024). A: CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa. B: CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem. C: CPHS: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com hexano em Soxhlet.

Lima (2018) obteve concentrado proteico ( $L^*=72,28$ ;  $a^*=2,63$  e  $b^*=16,86$ ) e isolado proteico ( $L^*=67,66$ ;  $a^*=3,21$  e  $b^*=25,34$ ) de ACC, ambos com coloração amarela levemente mais escura.

#### 4.3.4.4.2 Potencial Zeta

A análise do Potencial Zeta foi realizada com o objetivo de avaliar se os métodos de extração de óleo para obtenção das tortas influenciaram na carga superficial da proteína. O Potencial Zeta varia de acordo com o pH da solução proteica (MIRANDA et al., 2022). Com base nisso, a partir de estudos preliminares, a análise foi realizada em pH 8, que é o menor pH onde as proteínas dos concentrados proteicos são mais solúveis em água (tópico discutido mais adiante) e, portanto, estão mais estáveis para medição.

As três amostras de concentrado proteico de ACC apresentaram valores de Potencial Zeta negativos (Tabela 13), pois foram avaliadas em pH acima do ponto isoelétrico ( $pI = 4$  a  $4,5$ ) (OGUNWOLU et al., 2009). CPA e CPP não apresentaram diferença significativa entre si e apresentaram maiores valores absolutos que CPHS. A diferença significativa ( $p > 0,05$ ) do Potencial Zeta de CPHS pode indicar uma mudança na conformação estrutural e na composição da superfície da proteína pelo uso do solvente apolar. Isso sugere que, embora o hexano não seja considerado um solvente desnaturante, ele promove modificações na superfície das proteínas. Essas modificações podem incluir pequenos rearranjos nas cadeias laterais das

proteínas, resultado da compactação induzida pelo hexano (GRAVEL; DUBOIS-LAURIN; DOYEN, 2023).

Tabela 13 – Potencial Zeta dos concentrados proteicos de ACC

Concentrados proteicos	Potencial Zeta (mV)
CPA	-51,23 ± 1,22a
CPP	-52,67 ± 2,53a
CPHS	-44,10 ± 2,81b

Fonte: A autora (2024). CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa; CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem; CPHS: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com hexano em Soxhlet. Os resultados são expressos em média e desvio padrão. Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

Nahimana et al. (2024) avaliaram a influência do desengorduramento de tremoço amarelo por diferentes métodos com solventes orgânicos para obtenção de isolado proteico. Os autores observaram que o Potencial Zeta do concentrado proteico que não passou por desengorduramento com solvente apresentou valor absoluto maior do que os concentrados proteicos que utilizaram solvente no processo, estando de acordo com os resultados encontrados no presente estudo.

O Potencial Zeta é comumente empregado para quantificar a intensidade da repulsão ou atração entre partículas (LIANG et al., 2021). O elevado Potencial Zeta líquido de CPA e CPP podem indicar maior repulsão entre as partículas, induzindo uma dispersão mais estável quando comparados a CPHS.

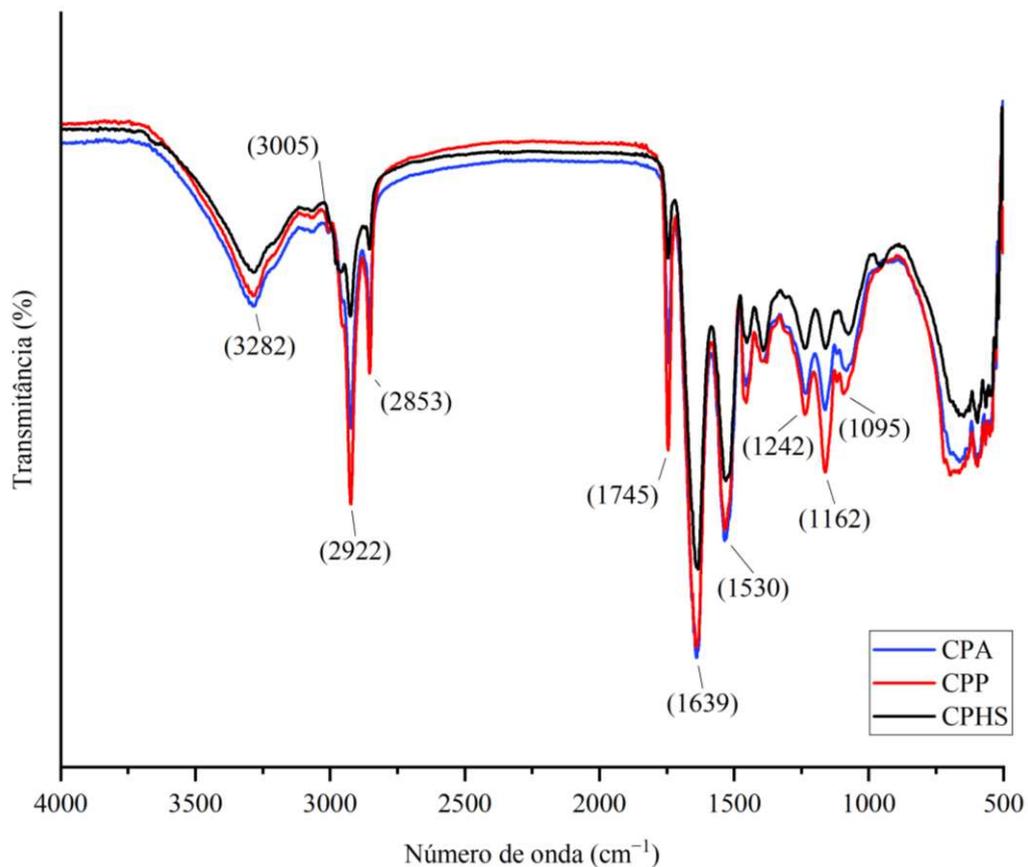
#### 4.3.4.4.3 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia de infravermelho avalia a estrutura secundária de proteínas, sendo uma técnica comumente utilizada para fornecer informação conformacional (WANG et al., 2024). Os espectros identificados em CPA, CPP e CPHS são apresentados na Figura 10.

O espectro observado em 3150 – 3500  $\text{cm}^{-1}$  pode ser atribuído à região da água, que inclui a vibração de estiramento de N–H e –OH (LI et al., 2017). Os picos de absorção característicos das vibrações de estiramento –OH para CPA, CPP e CPHS foram identificados

em  $3282\text{ cm}^{-1}$ . CPA e CPP apresentaram um pico em  $3005\text{ cm}^{-1}$ , semelhante ao pico observado em  $3005\text{ cm}^{-1}$  no espectro infravermelho do ácido oleico em óleo de buriti, atribuído como o estiramento de  $-\text{CH}$  (ALBUQUERQUE et al., 2003). CPHS não teve expressão desse pico, fato relacionado ao seu baixo teor de lipídios.

Figura 10 – Gráfico dos espectros obtidos por espectroscopia de FTIR dos concentrados proteicos de ACC



Fonte: A autora (2024). CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa; CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem; CPHS: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com hexano em Soxhlet.

Os picos em  $2853$  e  $2922\text{ cm}^{-1}$  são atribuídos à vibrações de estiramento simétrico e assimétrico dos grupos  $-\text{CH}_2$  e  $-\text{CH}_3$  nas cadeias de proteínas e lipídios e a diferença de intensidade dos picos corresponde ao teor de óleo na amostra (MA et al., 2024; RODSAMRAN; SOTHORNVIT, 2018). Pode-se observar que CPP apresenta esses picos com mais intensidade, seguido por CPA. CPHS apresenta picos de menor intensidade, sendo a intensidade diretamente relacionada ao teor de óleo dos concentrados proteicos. O pico observado em  $1745\text{ cm}^{-1}$  refere-se à vibração de estiramento  $\text{C}=\text{O}$  dos grupos carboxílicos, também associado ao teor de óleo

das amostras (ésteres metílicos e triglicerídeos) (BARUA et al., 2008; RODSAMRAN; SOTHORNVIT, 2018).

Na avaliação de material proteico por espectros de infravermelho, maior atenção é dada às bandas entre 1500 – 1700  $\text{cm}^{-1}$ . A banda entre 1600 – 1700  $\text{cm}^{-1}$ , com pico em 1639  $\text{cm}^{-1}$ , refere-se a banda amida I e está relacionada com a vibração de estiramento de C=O em ligações peptídicas como o componente principal. A banda amida II (1500 – 1600  $\text{cm}^{-1}$ ) corresponde principalmente à vibração de estiramento de C–N e à vibração de flexão de N–H em grupos amino (MA et al., 2024; MIRANDA et al., 2023). O pico de absorção em 1242  $\text{cm}^{-1}$  refere-se à banda amida III (faixa complexa resultante de vários deslocamentos coordenados) (MIRANDA et al., 2023). Foram observados outros picos de absorção em 1095  $\text{cm}^{-1}$  e em 1162  $\text{cm}^{-1}$ , como também descrito por Barua et al. (2008) para a ACC, relacionados com o ácido oleico.

A frequência característica da banda amida I é comumente usada para caracterizar a estrutura secundária das proteínas, pois consiste em bandas componentes sobrepostas que caracterizam as estruturas como hélice  $\alpha$ , folha  $\beta$  e volta  $\beta$  (MATHEWS et al., 2023; MIRANDA et al., 2023). Um ajuste de pico da proteína ligada na região Amida I, com ajuste da curva gaussiana com base no espectro da segunda derivada, permite determinar a relação correspondente entre posições de subpicos e unidades estruturais secundárias (NAHIMANA et al., 2024). Os resultados da estrutura secundária de CPA, CPP e CPHS, em porcentagem, são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Estrutura secundária das proteínas

Estruturas secundárias	Concentrados proteicos		
	CPA	CPP	CPHS
Hélice $\alpha$	17,83	27,45	19,24
Folha $\beta$ (%)	32,24	26,26	29,40
Volta $\beta$	37,83	33,84	27,26
Bobina aleatória (%)	12,11	12,46	24,10

Fonte: A autora (2024). CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa; CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem; CPHS: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com hexano em Soxhlet.

De acordo com Zhao et al. (2008), a banda espectral em 1615 – 1640  $\text{cm}^{-1}$  representa a folha  $\beta$ , a banda espectral em 1640 – 1650  $\text{cm}^{-1}$  representa bobina aleatória, a banda espectral em 1650 – 1658  $\text{cm}^{-1}$  representa hélice  $\alpha$  e a banda espectral em 1660 – 1670

$\text{cm}^{-1}$  representa volta  $\beta$ . A estrutura secundária de CPA, CPP e CPHS foi dominada por maior percentual de folha  $\beta$  e volta  $\beta$ . Na estrutura denominada folha  $\beta$ , dois ou mais segmentos da cadeia polipeptídica se encontram lado a lado e são conectados por ligações de hidrogênio entre segmentos paralelos da cadeia principal, portanto, é considerada compacta e estável. Folhas  $\beta$  compõem a região central de diversas proteínas globulares, como a globulina, principal proteína da ACC (LIU et al., 2018a; REECE et al., 2015). Uma vez que a hélice  $\alpha$ , folha  $\beta$  e voltas  $\beta$  foram consideradas responsáveis por mais de 75% da estrutura secundária das proteínas em CPA, CPP e CPHS, estas podem ser consideradas como proteínas com conformações ordenadas e estáveis (LIU et al., 2018a). CPHS apresentou maior porcentagem de bobinas aleatórias (24,10%), sugerindo que o uso do solvente pode ter causado desorganização na estrutura secundária das proteínas. Proporções aumentadas de estruturas aleatórias podem indicar a desordem e o desdobramento mais forte das cadeias proteicas (NOUSKA et al., 2024). Portanto, o método de extração de óleo, influenciou na estrutura secundária da proteína de ACC.

Liu et al. (2018a) avaliaram um isolado proteico de ACC obtido por desengorduramento com éter de petróleo e concentração proteica por precipitação isoelétrica e relatou estrutura secundária, avaliada por espectroscopia de dicroísmo circular, composta de 35,0% de folha  $\beta$ , 29,3% de bobinas aleatórias, 11,9% de hélice  $\alpha$  e 23,8% de volta  $\beta$ . A proporção entre as estruturas foi semelhante ao encontrado para CPHS.

#### 4.3.4.4.4 Comportamento de fluxo

A dinâmica dos produtos sólidos armazenáveis desempenha um papel significativo nos processos industriais, impactando diretamente aspectos como produtividade, eficiência e segurança. A análise das propriedades de fluxo é crucial, pois oferece *insights* essenciais para operações industriais, como o fluxo em tremonhas e silos, dosagem, transporte e empacotamento (LOPES NETO et al., 2007).

As propriedades de fluidez dos concentrados proteicos de ACC são apresentados na Tabela 15.

A densidade de um pó influencia diretamente sua fluidez. Pós com valores de densidade mais altos tendem a ter melhor fluidez e rendimento, resultando em economia de embalagem e facilitando o transporte e o armazenamento. Além disso, uma grande disparidade entre as densidades aparente e compactada indica menor fluidez do pó (LIMA et al., 2022).

CPHS apresentou a maior densidade aparente ( $436,2 \text{ kg/m}^3$ ), seguido por CPA ( $321,4 \text{ kg/m}^3$ ) e CPP ( $275,5 \text{ kg/m}^3$ ). Os valores encontrados foram superiores ao relatado para

isolado proteico de soja, com densidade aparente e compactada de 238 kg/m<sup>3</sup> e 286 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. A densidade aparente dos isolados vegetais são influenciadas pelo método utilizado na extração da proteína, levando em consideração a contribuição do ar incluído nas partículas durante o processo de secagem (ACOSTA-DOMÍNGUEZ et al., 2021). A partir das densidades, Acosta-Domínguez et al. (2021) relataram Razão de Hausner (RH) de 1,2 e índice de compressibilidade (IC) de 16,69% para o isolado de proteína de soja, o que indica uma coesão intermediária e uma boa fluidez.

Tabela 15 – Propriedades de fluidez dos concentrados proteicos de ACC

Parâmetros	Concentrados proteicos		
	CPA	CPP	CPHS
Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	321,4	275,5	436,2
Densidade compactada (kg/m <sup>3</sup> )	843,8	751,0	987,8
Razão de Hausner	2,6	2,7	2,3
Índice de compressibilidade (%)	61,9	63,3	55,8

Fonte: A autora (2024). CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa; CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem; CPHS: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com hexano em Soxhlet.

CPA, CPP e CPHS apresentaram IC acima de 50% e RH variando de 2,3 a 2,7, sendo considerados de fluidez excessivamente difícil de acordo com as duas classificações. É amplamente aceito que quanto menor for a compressibilidade de um componente, maior será sua fluidez, e vice-versa. De acordo com a Farmacopéia Americana, os valores ideais de IC ficam em torno de 15% ou menos. Já IC de 25% ou mais indicam um fluxo inadequado (MORAVKAR et al., 2022).

A correlação entre a RH e IC com a fluidez de um pó é muito utilizada, mas se torna mais desafiadora e sujeita a erros à medida que o tamanho das partículas diminui (DÜSENBERG et al., 2023). Uma forma de avaliar a resistência ao escoamento de pós é através do estudo da tensão não confinada de deslizamento ( $\sigma_c$ ), que é um parâmetro que indica a resistência à compressão dos pós e depende da tensão aplicada, conhecida como tensão principal de consolidação ( $\sigma_1$ ). Quanto maior a  $\sigma_c$  obtida, maior será a dificuldade de deslizamento do pó (LIMA et al., 2022). Os valores de  $\sigma_c$  e  $\sigma_1$  obtidos para CPA, CPP e CPHS são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Tensão não confinada de deslizamento ( $\sigma_c$ ) dos concentrados proteicos de ACC obtida da tensão principal de consolidação ( $\sigma_1$ ) aplicada

<b>Concentrados proteicos</b>					
<b>CPA</b>		<b>CPP</b>		<b>CPHS</b>	
<b><math>\sigma_1</math> (kPa)</b>	<b><math>\sigma_c</math> (kPa)</b>	<b><math>\sigma_1</math> (kPa)</b>	<b><math>\sigma_c</math> (kPa)</b>	<b><math>\sigma_1</math> (kPa)</b>	<b><math>\sigma_c</math> (kPa)</b>
1,405	0,936	1,401	0,926	1,421	0,494
2,871	1,52	2,87	1,535	2,944	0,632
5,783	2,542	5,756	2,617	5,952	0,962
11,264	4,214	10,665	4,389	13,042	1,781
20,660	6,935	20,446	7,215	27,250	4,628

Fonte: A autora (2024). CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa; CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem; CPHS: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com hexano em Soxhlet.  $\sigma_1$ : tensão principal de consolidação;  $\sigma_c$ : Tensão não confinada de deslizamento.

CPHS apresentou em média o menor valor de  $\sigma_c$ . Esse comportamento indica que CPHS é menos resistente ao escoamento do que CPA e CPP.

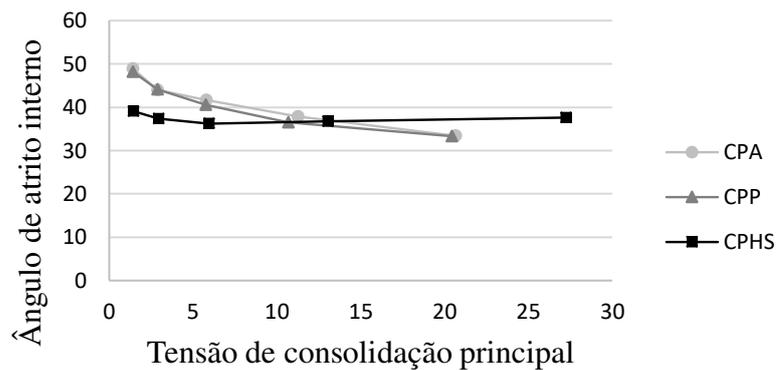
Com base nos dados da Tabela 15, o índice de fluxo foi calculado. CPA, CPP e CPHS apresentaram índice de fluxo (IF) de 2,60; 2,47 e 5,96, respectivamente. Assim, segundo a classificação de Jenike, CPA e CPP são considerados pós coesivos ( $2,0 < IF < 4,0$ ) e CPHS é considerado de fluidez fácil ( $4,0 < IF < 10,0$ ). Dentre eles, CPHS apresentou a melhor fluidez. Este dado pode ser explicado pelo menor teor de lipídios em CPHS, pois a gordura tem tendência a aumentar a coesão e dificultar a fluidez do pó (AMAGLIANI et al., 2016). Alonso-Miravalles et al. (2020) avaliaram a fluidez de concentrado proteico de arroz (0,79% de gordura e 75% de proteínas) e relatou índice de fluxo de 9,90 (fácil fluidez).

A Figura 11 mostra o gráfico do ângulo de atrito interno em vários níveis de tensão principal de consolidação. O ângulo de atrito interno representa o atrito entre as camadas de pó deslizantes. CPA, CPP e CPHS apresentaram valores abaixo de  $50^\circ$ . Ângulo efetivo de atrito interno acima de  $50^\circ$  é considerado relativamente alto e indicativo de possíveis problemas de fluxo (MORAVKAR et al., 2022).

A determinação do ângulo de atrito da parede ( $\varphi$ ) é crucial na definição do ângulo da tremonha, pois avalia o atrito entre o pó e as paredes de um recipiente ou silo. Esse atrito influencia consideravelmente a distribuição da tensão dentro de tremonhas, silos e recipientes. Um ângulo acima de  $30^\circ$  é considerado elevado, enquanto abaixo de  $10^\circ$  é mínimo (MORAVKAR et al., 2022). Quanto menor o ângulo, menor será a inclinação necessária a uma

parede para garantir o escoamento dos pós (AFONSO et al., 2019). A Tabela 17 mostra os ângulos de atrito da parede, máximos e mínimos, de acordo com a aplicação de tensões normais. O  $\phi$  diminui gradualmente à medida que a tensão normal aplicada aumenta. Os três concentrados proteicos de ACC apresentaram  $\phi$  abaixo de  $30^\circ$ . CPHS apresentou os menores ângulos. Essas medidas são importantes para a definição do projeto de uma tremonha, por exemplo.

Figura 11 – Gráfico do ângulo de atrito interno



Fonte: A autora (2024). CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa; CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem; CPHS: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com hexano em Soxhlet.

Tabela 17 – Ângulo de atrito com a parede (máximo e mínimo) dos concentrados proteicos de ACC

Ângulo de atrito com a parede	Concentrados proteicos		
	CPA	CPP	CPHS
Máximo ( $^\circ$ )	17,65	21,85	17,35
Mínimo ( $^\circ$ )	15,85	14,30	14,00

Fonte: A autora (2024). CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa; CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem; CPHS: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com hexano em Soxhlet.

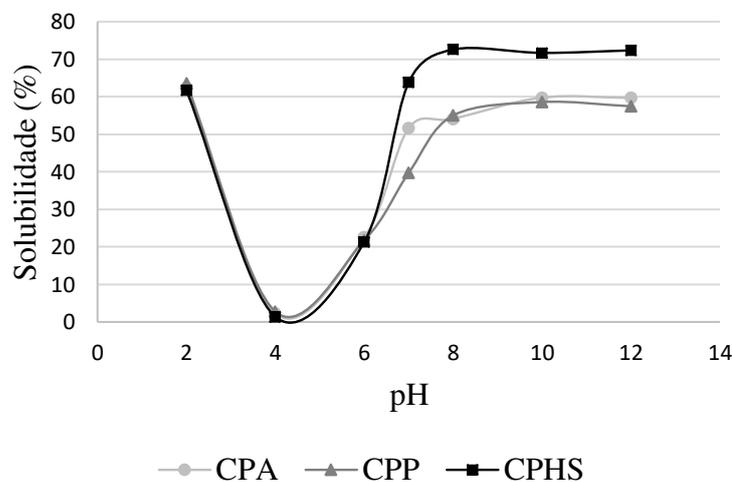
Os resultados obtidos neste estudo sugerem que CPA e CPP podem ser mais difíceis de manusear comparados a CPHS devido ao seu comportamento coesivo. Mais estudos são necessários para melhorar o manuseio a granel e as propriedades de fluxo desses novos ingredientes ricos em proteínas vegetais.

#### 4.3.4.5 Avaliação tecnológica-funcional

##### 4.3.4.5.1 Solubilidade proteica

A capacidade de uma proteína de solubilizar em água ou outros solventes influencia diretamente sua capacidade de realizar funções específicas no organismo ou em aplicações industriais. Quando uma proteína solubiliza, ela se torna disponível para interagir com outras moléculas, formando soluções que podem ter diversas propriedades. O gráfico da Figura 12 mostra que a solubilidade das proteínas da ACC é extremamente sensível ao pH, apresentando um padrão de curva em forma de U, que é típico de proteínas vegetais (OGUNWOLU et al., 2009).

Figura 12 – Solubilidade proteica dos concentrados proteicos de ACC



Fonte: A autora (2024). CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa; CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem; CPHS: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com solvente hexano em Soxhlet.

Os concentrados proteicos de ACC apresentaram solubilidade proteica mínima em pH 4,0 (< 2%). Nesse pH, as proteínas têm forte interação entre si, se agregam e precipitam, sendo mínima a solubilidade em água (OGUNWOLU et al., 2009). A partir do pH 5,0, a solubilidade aumentou, atingindo um valor constante do pH 8,0 ao 12,0. Os maiores valores de solubilidade foram observados em pH alcalino, onde CPHS apresentou o maior percentual de solubilidade (> 70%) e CPA e CPP não apresentaram diferença significativa entre si.

Em pH 7,0, os três concentrados proteicos apresentaram diferença significativa entre si. CPHS apresentou maior solubilidade (63,83%), seguido por CPA (51,60%) e CPP (39,70%). Liu et al. (2018a) observaram menor solubilidade (35,36%) em pH 7,0 ao avaliar um isolado proteico obtido a partir da ACC. Já Ogunwolu et al. (2009) obtiveram concentrado e isolado proteico de ACC apresentando maior solubilidade em pH 7,0, ambos com 95%.

O método de extração de óleo da ACC afetou significativamente a solubilidade das proteínas. O efeito positivo da extração com hexano pode ser explicado por uma possível mudança na estrutura das proteínas, expondo mais grupos hidrofílicos (NAHIMANA et al., 2024). Além disso, o maior teor de lipídios residual, observado nos concentrados CPA e CPP, também afetou a interação entre as moléculas de proteína e água, limitando a solubilidade desses concentrados (MA et al., 2024). L'Hocine, Boye e Arcand (2006) avaliaram a solubilidade de isolados proteicos de soja obtidos por diferentes rotas e observaram que a solubilidade dos isolados preparados pareceu ser menos afetada pelo processo de desengorduramento do que pelas condições utilizadas durante a concentração das proteínas.

Em temperatura ambiente e pH 7,0, CPHS apresentou solubilidade comparável à de um concentrado proteico comercial de ervilha (~ 60%) (SILVA; ALMEIDA; SATO, 2021). CPA e CPP, por apresentarem menor solubilidade, são mais indicados para produção de alimentos semi-sólidos e massas (LIMA et al., 2021b).

#### 4.3.4.5.2 Capacidade de absorção de água (CAA) e capacidade de absorção de óleo (CAO)

As interações entre proteínas, água e óleo influenciam na determinação da qualidade sensorial de produtos alimentícios, como sabor e textura. Nesse sentido, a composição de aminoácidos, a conformação das proteínas e a polaridade e hidrofobicidade de suas superfícies, bem como os componentes da matriz alimentar (lipídios e carboidratos) têm um impacto direto na capacidade de absorção de água e de óleo das proteínas (ADIAMO; GBADAMOSI; ABIOSE, 2016).

Embora os valores de CAA e CAO apresentados sejam próximos (Tabela 18), os concentrados proteicos apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre si.

CPHS apresentou maior CAA (1,64 g H<sub>2</sub>O/g), que pode ser explicada pela menor quantidade de componentes não proteicos na composição. Entre os concentrados proteicos analisados, CPHS apresenta o maior teor de proteínas e menor teor de lipídios e carboidratos. A presença de componentes não proteicos pode prejudicar a CAA das proteínas (OGUNWOLU et al., 2009).

Tabela 18 – Propriedades funcionais e tecnológicas dos concentrados proteicos de ACC

Análises	Concentrados Proteicos		
	CPA	CPP	CPHS
Capacidade de absorção de água (g H <sub>2</sub> O/g)	1,29 ±	1,45 ±	1,64 ±
	0,03c	0,07b	0,04a
Capacidade de absorção de óleo (g óleo/g)	1,09 ±	0,93 ±	0,78 ±
	0,08a	0,03b	0,02c
Concentração mínima de gelificação (g/mL)	0,10 ±	0,10 ±	0,10 ±
	0,00a	0,00a	0,00a
Capacidade emulsificante (m <sup>2</sup> /g)	35,45 ±	15,92 ±	25,73 ±
	0,44a	1,01c	2,56b
Estabilidade da emulsão (min)	46,90 ±	61,00 ±	21,19 ±
	3,69b	1,29a	1,76c

Fonte: A autora (2024). CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa; CPP: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem; CPHS: concentrado proteico obtido a partir da torta por prensagem e extração com hexano em Soxhlet. Os resultados são expressos em média e desvio padrão. Médias com letras iguais na mesma linha não diferem ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

Lima et al. (2021b) e Ogunwolu et al. (2009) relataram valores de CAA semelhantes em concentrados proteicos de ACC, 1,85 g H<sub>2</sub>O/g e 1,74 g H<sub>2</sub>O/g, respectivamente. Os valores encontrados foram inferiores aos relatados para proteína do trigo (2,3 a 2,5 g H<sub>2</sub>O/g) (ZHU et al., 2010), mas foram comparáveis a CAA de isolados de proteína de ervilha (1,7 e 1,2 g H<sub>2</sub>O/g) (SILVA et al., 2023b). Deng et al. (2019) relataram que proteínas vegetais com CAA de 1,49 a 4,72 g H<sub>2</sub>O/g eram recomendadas para uso em alimentos viscosos, portanto CPHS pode ser um ingrediente interessante para indústria de alimentos na formulação de produtos como salsichas, sopas e produtos de panificação.

Uma boa interação entre proteína e óleo em produtos alimentícios é essencial, não apenas para manter o sabor, mas também para melhorar a aceitação pelo paladar. Além disso, uma elevada CAO viabiliza o emprego de proteínas vegetais como alternativa aos produtos cárneos e molhos (ARACAVA et al., 2022).

CPA apresentou maior CAO (1,09 g óleo/g), seguido por CPP (0,93 g óleo/g). Comportamento semelhante foi observado em estudo descrito por Nahimana et al. (2024), onde o desengorduramento com solvente influenciou negativamente a CAO de isolados de proteína de tremoço amarelo.

Liu et al. (2018a) e Lima et al. (2021b) relataram valores semelhantes de CAO em isolado (1,05 g óleo/g) e concentrado proteico (1,06 mL/g) de ACC, respectivamente. Valores superiores foram descritos por Ogunwolu et al. (2009) para isolado proteico (4,42 mL óleo/g) e concentrado proteico (3,32 mL óleo/g) de ACC. Os estudos citados obtiveram isolados e concentrados proteicos de ACC por desengorduramento com solvente e precipitação isoelétrica. A CAO observada para CPA foi inferior ao relatado para proteína comercial de soja (6,88 g óleo/g) (LIU et al., 2018b), mas foi comparável a proteína de trigo (1,04 a 1,32 g óleo /g) (ZHU et al., 2010). Com isso, CPA se destaca por apresentar boa CAO e ser obtido por método alternativo ao uso de solvente no processo.

#### 4.3.4.5.3 Capacidade de formação de gel

A gelificação é uma funcionalidade importante para o desenvolvimento de produtos análogos a cárneos e pode ser afetada pela composição das proteínas e métodos de processamento (ZHENG et al., 2022).

O método de extração de óleo da ACC não teve influência na capacidade de formar gel dos concentrados proteicos. CPA, CPP e CPHS não diferiram estatisticamente ( $p > 0,05$ ), sendo 0,10 g/mL (10%) a concentração mínima de gelificação (Tabela 17).

Ogunwolu et al. (2009) relataram valores de concentração mínima de gelificação semelhantes para isolado (13,5%) e concentrado (10,0%) proteico de ACC. CPA, CPP e CPHS apresentaram concentrações mínimas menores que isolado proteico de ervilha (15%) (OMURA et al., 2021), ou seja, menor quantidade de concentrado proteico de ACC é necessária para formar a estrutura de gel. Os concentrados proteicos obtidos da ACC apresentam potencial para serem incorporados em processos de texturização.

#### 4.3.4.5.4 Capacidade emulsificante e estabilidade da emulsão

A capacidade emulsificante e estabilidade da emulsão determinam a capacidade da proteína em formar uma interface óleo-água e a capacidade da proteína em estabilizar a formação de gotículas de emulsão, respectivamente (SILVA et al., 2023b).

Os concentrados proteicos de ACC analisados apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para capacidade emulsificante e para a estabilidade da emulsão (Tabela 17).

CPA apresentou maior capacidade emulsificante (35,45 m<sup>2</sup>/g). Valor comparável ao descrito para concentrado proteico de farelo de aveia (7 a 48 m<sup>2</sup>/g), mas inferior a faixa de

isolado de proteína de soja (35 a 80 m<sup>2</sup>/g) (SILVA et al., 2023b). A boa capacidade de interação das proteínas do CPA com moléculas de gordura também foi verificada na avaliação da capacidade de absorção de óleo, essas duas funcionalidades estão fortemente associadas (DENG et al., 2019).

CPP apresentou maior estabilidade da emulsão (61 min), valor maior do que o descrito para proteína da ervilha (12,40 min) (LIU et al., 2018a).

Liu et al. (2018a) relataram capacidade emulsificante de 20,21 m<sup>2</sup>/g e estabilidade da emulsão de 61,78 min em isolado proteico de ACC, valores bem semelhantes aos encontrados nesse estudo.

A capacidade das proteínas de formar e estabilizar emulsões é crítica para aplicação em produtos cárneos, massas de bolo, leites, molhos e sobremesas (FEYZI et al., 2017). De uma forma geral, o método de desengorduramento afetou a capacidade emulsificante dos concentrados proteicos. De forma semelhante, Nahimana et al. (2024) relataram maior capacidade emulsificante em isolado proteico de tremoço amarelo não desengordurado com solvente, comparado aos isolados desengordurados com solvente.

#### **4.4 Conclusão**

Os métodos de extração de óleo exerceram um impacto significativo nas características dos insumos proteicos de ACC, resultando em diferentes composições nutricionais, rendimentos, propriedades físico-químicas e funcionalidades tecnológicas.

Os métodos alternativos de extração de óleo da ACC, que não envolvem o uso do hexano, possibilitaram a obtenção de tortas desengorduradas com até 35% de proteínas e concentrados proteicos com até 69% de proteínas. Notavelmente, a extração aquosa demonstrou-se mais promissora em relação à extração por prensagem, alcançando uma eficiência de extração de óleo de 79% e resultando em insumos com maiores teores proteicos. Além disso, o concentrado proteico derivado da torta por extração aquosa destacou-se por exibir melhor capacidade de absorção de óleo e emulsificação, características tecno-funcionais importantes para o desenvolvimento de produtos análogos a cárneos.

É importante ressaltar que, proteínas vegetais obtidas em condições de alto rendimento nem sempre apresentam a melhor funcionalidade. A escolha do método de processamento dependerá das especificidades do produto final desejado.

Os concentrados proteicos de ACC apresentaram a lisina como o aminoácido essencial limitante, porém essa limitação pode ser superada pela combinação com outras fontes proteicas vegetais, como a lentilha, ou adição exógena desse aminoácido.

Apesar das variações observadas, os três concentrados proteicos de ACC obtidos exibiram uma digestibilidade *in vitro* acima de 90%, comparável aos valores de digestibilidade apresentados por proteínas do soro do leite. Os resultados deste estudo indicam que a ACC representa uma fonte proteica promissora para o desenvolvimento de insumos na indústria de alimentos.

## 5 CAPÍTULO 2

### AValiação Nutricional e Sensorial de Empanados Vegetais Elaborados com Insumos Proteicos de Amêndoa de Castanha de Caju

#### RESUMO

Com o aumento da população global, a demanda por carne tem crescido, levando a severos impactos ambientais. Como alternativa, a produção de análogos de carne a partir de proteínas vegetais está ganhando destaque. A amêndoa de castanha de caju (ACC), rica em proteínas e lipídios, apresenta potencial como matéria-prima para o desenvolvimento de produtos *plant-based*. O objetivo deste capítulo foi avaliar a aplicação de insumos proteicos de ACC obtidos por diferentes métodos no desenvolvimento de empanado vegetal. Foram utilizados a torta de ACC desengordurada por extração aquosa (TA), a torta desengordurada por prensagem (TP) e o concentrado proteico obtido a partir de TA (CPA). Foi determinada a composição centesimal e o comportamento de fluxo desses materiais em pó em equipamento Powder Flow Tester. Três formulações de empanados vegetais (EVTA, EVTP e EVCPA) foram desenvolvidas para avaliar a aplicabilidade dos insumos proteicos de ACC, nas quais foram avaliadas a composição centesimal, perfil de aminoácidos e aceitação sensorial (aceitação global, aparência externa, aparência interna, sabor e textura) por escala hedônica verbal estruturada de nove pontos e intenção de compra. TA, TP e CPA apresentaram 35,5%, 27,4% e 69,0% de proteínas, respectivamente, e 17,1%, 35,2% e 14,1% de lipídios, respectivamente. TA foi considerada um pó com comportamento “muito coesivo” e TP e CPA foram considerados pós “coesivos”. EVTA, EVTP e EVCPA apresentaram 11,8%, 9,5% e 18,0% de proteínas, respectivamente. Embora EVTA e EVTP apresentassem menor teor de proteínas em comparação com EVCPA, destacaram-se como produtos *plant-based* com proteínas de qualidade, pois o teor de todos os aminoácidos essenciais atendeu a composição de referência recomendada pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. EVCPA apresentou apenas a lisina como aminoácido essencial limitante, sendo necessários ajustes na formulação para suprir a limitação desse aminoácido. As médias dos atributos sensoriais avaliados variaram entre “gostei” e “gostei muito” para as três formulações e a intenção de compra positiva foi superior a 70%. Conclui-se que os insumos proteicos de ACC apresentaram boa aplicabilidade no desenvolvimento de empanado vegetal, indicando um grande potencial de mercado.

**Palavras-chave:** *Plant-based*; proteína; vegano; nuggets.

## 5.1 Introdução

À medida que a população global aumenta, a procura de carne também aumenta drasticamente. Para atender essa demanda, a produção de proteína animal gera consequências severas ao meio ambiente. Isso tem aumentado o interesse na produção de análogos de carne, produtos desenvolvidos para replicar a aparência, textura e sabor da carne, porém elaborados com fontes alternativas de proteína (ETTINGER et al., 2022; SHAGHAGHIAN et al., 2022). Essa tendência tem impulsionado a busca por novas fontes vegetais com propriedades nutricionais e funcionais melhoradas. Os ingredientes proteicos vegetais estão ganhando destaque devido aos seus apelos de sustentabilidade e segurança alimentar (ALONSO-MIRAVALLÉS et al., 2020).

Além das propriedades funcionais, as proteínas vegetais precisam apresentar qualidade nutricional. Apesar de já serem muito utilizadas, muitas proteínas vegetais carecem de um ou mais aminoácidos essenciais, como a soja e a ervilha, que são limitadas em metionina e cisteína, e grãos como a cevada, que têm uma quantidade limitada de lisina (QIN; WANG; LUO, 2022). Na formulação de alimentos, a deficiência de alguns aminoácidos pode ser compensada com a combinação com outras fontes proteicas, como a lentilha, que contém naturalmente níveis mais elevados de lisina (ALONSO-MIRAVALLÉS et al., 2020; HANG et al., 2022).

O caju (*Anacardium occidentale* L.), matéria-prima nativa do Brasil, é atualmente cultivado em todo o mundo, com grande importância econômica. Suas amêndoas possuem um alto valor nutricional, contendo 40 a 57% de lipídios, 23 a 25% de carboidratos e 20 a 25% de proteínas de alta qualidade, além de um sabor único e suave (CHEN et al., 2022; SILVA; AMARAL; MOURA, 2021). Durante o processamento da amêndoa de castanha de caju (ACC), aproximadamente 40% das amêndoas são quebradas, resultando em um produto com qualidade nutricional equivalente a amêndoa inteira, mas com menor valor comercial. A extração do óleo das amêndoas quebradas agrega valor à cadeia de produção do caju, pois o óleo extraído possui características sensoriais únicas e alto conteúdo de ácidos graxos insaturados (LEAL et al., 2023).

O óleo da ACC pode ser extraído por prensagem, extração aquosa ou pelo uso de solventes, como hexano. Apesar de alto rendimento de extração de óleo, o hexano apresenta desvantagem por ser tóxico (LIMA; PINTO; MAGALHÃES, 2018). Da extração do óleo é gerada a torta desengordurada que tem sido investigada por diversos autores para a obtenção de concentrados e isolados proteicos de ACC (LIMA et al., 2021b; LIU et al., 2018a; SHARMA

et al., 2010). Ogunwolu et al. (2015) avaliaram a torta desengordurada, concentrado e isolado proteico de ACC e relataram perfil completo de aminoácidos, sendo a lisina o aminoácido essencial limitante, levando em consideração o padrão recomendado pela FAO para crianças pré-escolares. Além da qualidade nutricional, a proteína da ACC apresenta boas propriedades funcionais, como solubilidade e capacidade de absorção de água e de óleo, características importantes para o desenvolvimento de produtos *plant-based* (OGUNWOLU et al., 2009). Lima et al. (2021b) avaliaram o desenvolvimento de hambúrguer vegetal formulado com concentrado proteico de ACC, como uma alternativa ao uso da proteína de soja. Os hambúrgueres foram submetidos à avaliação sensorial apresentando boa aceitação e 60% dos provadores declararam que provavelmente ou certamente comprariam o produto.

No Brasil, a preferência pelo consumo de produtos vegetais análogos ainda está nas refeições preparadas em casa, porém, desde 2020, houve um aumento significativo no consumo de produtos *plant-based* prontos, seja em restaurantes ou via delivery. Isso evidencia o crescente interesse dos consumidores em incorporar alternativas vegetais prontas em diversas ocasiões de consumo (LUPETTI; CASSELLI, 2022). Os produtos fritos constituem uma grande fatia dos produtos prontos para consumo. Os empanados (também denominados de *nuggets*) são cobertos por uma camada de massa e fritos ou submetidos a outro processamento térmico, considerados muito práticos, pois são comercializados semi-prontos (GHAITARANPOUR; MOHEBBI; OLEYAEI, 2024). A parte interna dos *nuggets* é formulada com diversos ingredientes e a carne, principal ingrediente do produto tradicional, vem sendo substituída por proteínas vegetais para avaliação da aceitação dos consumidores (REGINALDO, 2021; SHARIMA-ABDULLAH et al., 2018; YULIARTI; KIAT KOVIS; YI, 2021).

Já foi relatado na literatura que as proteínas obtidas em condições ótimas, com alto rendimento, nem sempre apresentam a melhor funcionalidade, o que pode dificultar a aplicação no desenvolvimento de produtos (SILVA et al., 2023b). A avaliação sensorial dos análogos de carne desempenha um papel fundamental na seleção de métodos de processamento e ingredientes, fornecendo dados detalhados sobre sabor, textura, cor e aparência (FIORENTINI; KINCHLA; NOLDEN, 2020). Com base nas potenciais propriedades funcionais e nutricionais relatadas para proteína de ACC, este capítulo tem como objetivo avaliar a aplicação de insumos proteicos de ACC obtidos por diferentes métodos no desenvolvimento de empanado vegetal.

## 5.2 Metodologia

O experimento foi conduzido nos laboratórios da Embrapa Agroindústria Tropical, localizada em Fortaleza – CE. Para avaliar a aplicação de diferentes insumos proteicos obtidos da ACC em um produto *plant-based*, foram desenvolvidas formulações de empanado vegetal com adição de torta desengordurada por extração aquosa (TA), torta desengordurada por prensagem (TP) e concentrado proteico obtido a partir de TA (CPA).

### 5.2.1 Obtenção e composição centesimal dos insumos proteicos de ACC

As tortas obtidas por extração aquosa de óleo e por prensagem e o concentrado proteico de ACC foram elaborados de acordo com metodologia descrita nos itens 4.2.2.1, 4.2.2.2 e 4.2.4.1 do Capítulo 1, respectivamente. TA, TP e CPA apresentaram composição centesimal descrita na Tabela 19.

Tabela 19 – Composição centesimal dos insumos proteicos de ACC

Análises	Insumos proteicos		
	TA	TP	CPA
Lipídios (%) <sup>*</sup>	17,05 ± 0,20b	35,19 ± 0,25a	14,13 ± 0,25c
Proteínas (%) <sup>*</sup>	35,51 ± 0,30b	27,40 ± 0,29c	69,02 ± 0,71a
Carboidratos (%) <sup>*</sup>	43,12 ± 0,43a	32,59 ± 0,66b	15,30 ± 1,06c
Cinzas (%) <sup>*</sup>	4,33 ± 0,03a	4,82 ± 0,40a	1,55 ± 0,12b
Umidade (%)	5,27 ± 0,07a	3,35 ± 0,06b	2,62 ± 0,09c

Fonte: A autora (2024). <sup>\*</sup>: valores em base seca. TA: torta obtida por extração aquosa; TP: torta obtida por prensagem; CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa. Médias com letras iguais na mesma linha não diferem ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

### 5.2.2 Comportamento de fluxo dos insumos proteicos

As densidades aparente e compactada, a tensão principal de consolidação, a tensão não confinada de deslizamento, o ângulo de atrito interno e ângulo de atrito com a parede foram determinados para avaliar a fluidez dos pós. A análise foi realizada utilizando o Powder Flow Tester (PFT, Brookfield, Estados Unidos), de acordo como descrito no item 4.2.4.5.4 do Capítulo 1.

### 5.2.3 Formulação e caracterização dos empanados vegetais

#### 5.2.3.1 Formulação e processamento dos empanados vegetais

Foram desenvolvidas três formulações, sendo uma formulação de empanado vegetal com adição de TA (EVTA), uma formulação com adição de TP (EVTP) e uma formulação com adição de CPA (EVCPA), visando obter um produto *plant-based* análogo à carne com alto conteúdo de proteínas e bem aceito pelos consumidores. Os ingredientes e suas quantidades estão descritos na Tabela 20.

Tabela 20 – Composição das formulações de empanados vegetais

Ingredientes (%)	Empanados vegetais		
	EVTA	EVTP	EVCPA
TA	30,0	-	-
TP	-	30,0	-
CPA	-	-	30,0
Fibra do pedúnculo do caju reidratada	20,0	20,0	20,0
Lentilha hidratada	18,0	18,0	18,0
Água	15,0	15,0	15,0
Óleo de soja	8,8	8,8	8,8
Amido de milho	4,3	4,3	4,3
Cebola desidratada	2,0	2,0	2,0
Sal	1,0	1,0	1,0
Alho desidratado	0,5	0,5	0,5
Salsa desidratada	0,3	0,3	0,3
Pimenta do reino em pó	0,1	0,1	0,1

Fonte: A autora (2024). EVTA: empanado vegetal com adição de TA; EVTP: empanado vegetal com adição de TP; EVCPA: empanado vegetal com adição de CPA.

Previamente, a lentilha foi hidratada na proporção 1:4 (lentilha:água) por 24 horas, descartando-se a água que não foi absorvida após esse descanso, e triturada em processador de alimentos (R 502 V.V, Robot Coupe, França) por 10 minutos, até virar uma massa homogênea. A lentilha foi adicionada à formulação com o objetivo de contribuir com a textura do produto e para complementar o perfil de aminoácidos essenciais no produto final. Também previamente, a fibra do pedúnculo do caju seca foi reidratada, adicionando-se água na proporção 1:10 (fibra:água) e cozida por 10 minutos. Após o cozimento, escoou-se a água não absorvida. A fibra do pedúnculo do caju foi adicionada tanto para dar o aspecto fibroso de produtos cárneos como para valorizar mais um coproduto do processamento do caju.

Os ingredientes foram então pesados de acordo com os valores descritos na Tabela 20 e homogeneizados em processador de alimentos (R 502 V.V, Robot Coupe, França) por 2 minutos. A massa obtida passou por uma cocção em fogo brando até formar uma massa lisa que despreendeu do fundo da panela. Após esfriar, a massa foi moldada em formato de bolas pesando 12 g cada.

Para empanar, preparou-se uma solução de amido de milho e água (1:4), que foi aquecida em fogo brando até encorpar (formar um gel fino). Primeiramente, as bolas de massa foram imersas nessa solução e depois em farinha Panko até formar uma cobertura uniforme. Ao final, cada empanado pesou aproximadamente 18 g. As formulações de empanado vegetal foram armazenadas a -18 °C até o momento da fritura. Os empanados vegetais foram descongelados previamente e fritos em fritadeira elétrica com óleo de soja.

#### *5.2.3.2 Composição centesimal dos empanados vegetais*

Para análises de umidade, cinzas, lipídios, proteínas e carboidratos foram seguidas as mesmas metodologias descritas no item 4.2.1 do Capítulo 1.

#### *5.2.3.3 Determinação do perfil de aminoácidos*

Para a determinação de aminoácidos totais (ácido aspártico, ácido glutâmico, alanina, arginina, cisteína, fenilalanina, glicina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, prolina, serina, tirosina, treonina, valina e triptofano), foram seguidas metodologias descritas no item 4.2.4.2.2 do Capítulo 1.

#### *5.2.3.4 Determinação de valor energético total*

O valor energético total das amostras foi calculado de acordo com a energia metabolizável, em kcal, obtido a partir dos dados de composição centesimal, usando os fatores de conversão de 4 Kcal/g para carboidratos e proteínas e 9 Kcal/g para lipídios (BRASIL, 2020a).

#### 5.2.4 Análises microbiológicas

Antes da avaliação sensorial, foram realizadas análises microbiológicas nas amostras de EVTA, EVTP e EVCPA. Foram investigados os microrganismos *Escherichia coli* em Número Mais Provável (NMP)/g (FENG et al., 2020), *Staphylococcus* coagulase positiva em Unidade Formadora de Colônias (UFC)/g (TALLENT et al, 2016) e a presença de *Salmonella* spp. em 25g de amostra (ANDREWS et al., 2023), conforme Bacteriological Analytical Manual (BAM). A seleção dos microrganismos analisados seguiu a IN n° 161 de 01 de julho de 2022 (BRASIL, 2022) que estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos.

#### 5.2.5 Avaliação sensorial

Os testes sensoriais foram realizados no Laboratório de Análise Sensorial da Embrapa Agroindústria Tropical com 60 provadores selecionados aleatoriamente e não treinados. Os protocolos dos testes sensoriais foram previamente aprovados pelo Comitê Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP), sob parecer n° 3.117.036. Desta forma, os participantes foram devidamente esclarecidos dos objetivos propostos pela pesquisa, por meio da apresentação e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo A).

Foi elaborado um questionário (Apêndice A) para conhecer os avaliadores antes de iniciar a análise sensorial dos empanados vegetais, com questões pessoais como sexo e idade; bem como aspectos sobre o seu cotidiano, dentre os quais perfil de consumidor e frequência de consumo.

Os empanados vegetais foram fritos e servidos ainda quentes (35 a 45 °C). Todos os testes sensoriais foram efetuados em cabines individuais iluminadas com lâmpadas fluorescentes e as amostras foram oferecidas uma de cada vez em recipientes plásticos com codificação aleatória de 3 dígitos, acompanhadas de um copo com água. Cada provador recebeu uma unidade de cada formulação de empanado vegetal.

Para os testes de aceitação (Apêndice B), os provadores avaliaram os atributos sensoriais de aceitação global, aparência externa, aparência interna, sabor e textura através de uma escala hedônica verbal estruturada de nove pontos (1: “desgostei muitíssimo” a 9: “gostei muitíssimo”) (STONE; SIDEL, 2004). O índice de aceitabilidade (IA) foi calculado para todos os atributos utilizando-se a Equação 12:

$$IA (\%) = A \times 100 / B \quad (12)$$

Onde A é a nota média obtida para o produto e B é a nota máxima dada ao produto, sendo  $IA \geq 70\%$  considerado com boa aceitação (DUTKOSKI, 2013).

A intenção de compra foi avaliada por meio de uma escala de cinco pontos (1: “Certamente Não Compraria” a 5 “Certamente Compraria”), conforme descrito por Meilgaard, Civille e Carr (1999).

### **5.2.6 Análise estatística**

A análise estatística foi realizada usando o software Statistica Versão 10. As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata. Os dados foram submetidos à análise de variância unidirecional (ANOVA). As diferenças das médias entre as amostras foram determinadas pelo teste de Tukey e valores de  $p < 0,05$  foram considerados estatisticamente significativos.

## **5.3 Resultados e discussão**

### **5.3.1 Comportamento de fluxo dos insumos proteicos**

A fluidez, que indica a capacidade de manuseio de um pó, é fundamental para o armazenamento, transporte e dosagem do produto. As características do fluxo são determinantes para a eficácia do transporte por meio de uma tremonha em um silo. O transporte de materiais é uma etapa essencial no processo de extrusão, por exemplo, método bastante utilizado na fabricação de produtos análogos a carnes (MCGUIRE et al., 2022). Portanto, é crucial determinar as propriedades de fluxo dos insumos proteicos de ACC e avaliá-los como ingredientes em pó para a indústria de alimentos.

As propriedades de fluidez dos insumos proteicos de ACC são apresentadas na Tabela 21.

TA e TP apresentaram as maiores densidades aparentes,  $436,2 \text{ kg/m}^3$  e  $459,1 \text{ kg/m}^3$ , respectivamente. Os resultados de densidade aparente encontrados estão de acordo com os resultados de Emami e Tabil (2007) que relataram densidade aparente de  $416,49 \text{ kg/m}^3$  para a farinha de grão de bico com 26,3% de proteínas e observou valor menor ( $335,06 \text{ kg/m}^3$ ) para concentrado proteico de grão de bico com 81,9% de proteínas. A densidade é uma propriedade

de fluxo importante, considerada um indicador do volume do material de embalagem (KRAITHONG; LEE; RAWDKUEN, 2018).

Tabela 21 – Propriedades de fluidez dos insumos proteicos de ACC

Parâmetros	Insumos proteicos		
	TA	TP	CPA
Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	436,2	459,1	321,4
Densidade compactada (kg/m <sup>3</sup> )	963,3	937,4	843,8
Razão de Hausner	2,2	2,0	2,6
Índice de compressibilidade (%)	54,7	51,0	61,9

Fonte: A autora (2024). TA: torta obtida por extração aquosa; TP: torta obtida por prensagem; CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa.

Uma forma usual de avaliar a fluidez dos pós é pelo cálculo do índice de compressibilidade (IC) e da Razão de Hausner (RH), ambos obtidos a partir do valor da densidade aparente e compactada. TA, TP e CPA apresentaram IC acima de 50% e RH variando de 2,0 a 2,6, sendo considerados de “fluidez excessivamente difícil” de acordo com essas classificações (LIMA et al., 2022). Valores de IC maiores que 25% indicam pouca fluidez do pó (MORAVKAR et al., 2022).

A correlação entre a RH e IC com a fluidez de um pó é muito utilizada, mas acaba sendo sujeita a erros à medida que o tamanho das partículas diminui (DÜSENBURG et al., 2023). Uma forma de avaliar a resistência ao escoamento de pós é através do estudo da tensão não confinada de deslizamento ( $\sigma_c$ ), que é um parâmetro que indica a resistência à compressão dos pós e depende da tensão aplicada, conhecida como tensão principal de consolidação ( $\sigma_1$ ). Um aumento de  $\sigma_c$  indica maior dificuldade de deslizamento do pó e comportamento de fluxo diferente entre as etapas de processamento (AMAGLIANI et al., 2016). Os valores de  $\sigma_c$  e  $\sigma_1$  obtidos para TA, TP e CPA são apresentados na Tabela 22.

Dos três insumos proteicos de ACC, CPA apresentou em média o menor valor de  $\sigma_c$ . Esse comportamento indica que o concentrado proteico é menos resistente ao escoamento do que as tortas parcialmente desengorduradas (TA e TP). Com base nos dados da Tabela 22, o índice de fluxo foi calculado. TA, TP e CPA apresentaram índice de fluxo de 1,76; 2,15 e 2,60, respectivamente. Assim, segundo a classificação de Jenike, TA é considerada um pó “muito coesivo” ( $1,0 < IF < 2,0$ ) e TP e CPA são considerados “coesivos” ( $2,0 < IF < 4,0$ ). Geralmente, espera-se que quanto maior o teor de proteína, mais coeso o pó seja (CROWLEY et al., 2014), o que não aconteceu nesse estudo de insumos proteicos de ACC em pó. A diferença

no valor de IF entre as amostras pode ter se dado pela variação do teor de umidade. TA apresenta o maior teor de umidade (5,27%) e menor IF. A umidade aumenta as pontes líquidas e as forças capilares entre as partículas do pó, podendo ser responsável por maior coesão (LANDILLON et al., 2008). Fitzpatrick, Barringer e Iqbal (2004) relataram IF igual a 2 para farinha de soja, sendo considerado um pó “coesivo”.

Tabela 22 – Tensão não confinada de deslizamento ( $\sigma_c$ ) dos insumos proteicos obtida da tensão principal de consolidação aplicada ( $\sigma_1$ )

Insumos proteicos					
TA		TP		CPA	
$\sigma_1$ (kPa)	$\sigma_c$ (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	$\sigma_c$ (kPa)
1,438	1,103	1,556	0,592	1,405	0,936
2,968	1,995	2,956	1,502	2,871	1,52
5,886	3,651	5,920	2,752	5,783	2,542
11,746	6,650	12,131	5,708	11,264	4,214
21,685	11,397	23,714	10,945	20,660	6,935

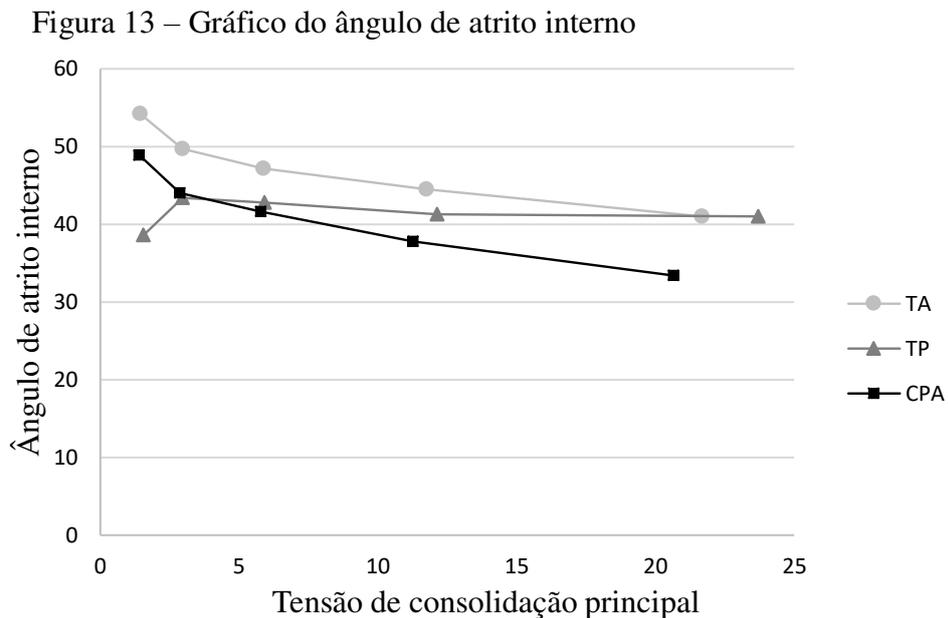
Fonte: A autora (2024). TA: torta obtida por extração aquosa; TP: torta obtida por prensagem; CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa.  $\sigma_1$ : tensão principal de consolidação;  $\sigma_c$ : Tensão não confinada de deslizamento.

Düsenberg et al. (2023) avaliaram as propriedades de fluxo de pós de diferentes matérias-primas vegetais. Os autores relataram valores de IC e RH de 18% e 1,22, respectivamente, para farinha de amêndoa com 8,9% de gordura, caracterizada com “boa fluidez” de acordo com essa classificação. No mesmo trabalho, os autores definiram o IF e classificaram o pó como “muito coesivo”, de acordo com a classificação de Jenike.

Muitos são os fatores que podem explicar a grande variação no comportamento de fluxo dos pós vegetais. A distribuição de tamanho e geometria de partículas, teor de umidade, composição dos pós e forças entre partículas são fatores que influenciam o comportamento de escoamento dos pós (ALONSO-MIRAVALLS et al., 2020; SHAH et al., 2023). Além disso, a fluidez não é uma propriedade intrínseca do pó, sendo uma característica complexa influenciada não apenas por suas propriedades físicas, mas também de uma combinação de fatores ambientais, de processamento e pelo equipamento empregado no armazenamento, manuseio ou processamento do material (VASILENKO; GLASSER; MUZZIO, 2011).

O ângulo de atrito interno e o ângulo de atrito da parede também foram determinados, informações importantes para a construção de um projeto de processo de um

determinado pó. O gráfico da Figura 13 mostra o ângulo de atrito interno em vários níveis de tensão principal de consolidação. O ângulo de atrito interno representa o atrito entre as camadas de pó deslizantes. TP e CPA apresentaram valores abaixo de  $50^\circ$ . Um ângulo efetivo de atrito interno acima de  $50^\circ$  é considerado relativamente alto e indicativo de possíveis problemas de fluxo (MORAVKAR et al., 2022). Fitzpatrick, Barringer e Iqbal (2004) relataram ângulo de atrito interno igual a  $52^\circ$  e  $46^\circ$  para farinha de milho e farinha de soja, respectivamente.



Fonte: A autora (2024). TA: torta obtida por extração aquosa; TP: torta obtida por prensagem; CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa.

O ângulo de atrito da parede ( $\phi$ ) reflete a resistência adesiva entre o pó e o material da parede do recipiente de armazenamento, sendo que quanto maior ele for, mais difícil será o deslizamento do pó ao longo da parede (AFONSO et al., 2019). A determinação do  $\phi$  é crucial na definição do ângulo da tremonha. Esse atrito influencia consideravelmente a distribuição da tensão dentro de tremonhas, silos e recipientes. Um ângulo acima de  $30^\circ$  é considerado elevado (MORAVKAR et al., 2022). A Tabela 23 mostra os ângulos de atrito da parede máximos e mínimos de acordo com a aplicação de tensões normais. O  $\phi$  diminui gradualmente à medida que a tensão normal aplicada aumenta. Os insumos proteicos de ACC apresentaram  $\phi$  abaixo de  $30^\circ$ . CPA apresentou os menores ângulos máximos. Essas medidas são importantes para a definição do projeto de uma tremonha, por exemplo.

Tabela 23 – Ângulo de atrito com a parede (máximo e mínimo) dos insumos proteicos

Ângulo de atrito com a parede	Insumos proteicos		
	TA	TP	CPA
Máximo (°)	23,45	23,45	17,65
Mínimo (°)	11,45	16,55	15,85

Fonte: A autora (2024). TA: torta obtida por extração aquosa; TP: torta obtida por prensagem; CPA: concentrado proteico obtido a partir da torta por extração aquosa.

Crowley et al. (2014) relataram valor de  $\phi$  de 15,9° a 21,7° para concentrados de proteína do leite com teor de proteína variando de 35 a 90%. Fitzpatrick, Barringer e Iqbal (2004) observaram ângulo de 18,2° para farinha de soja. Valores próximos aos encontrados neste estudo.

Os resultados obtidos para TA, TP e CPA podem representar dificuldades de manuseio devido ao comportamento coesivo dos pós, sendo TA o pó mais coesivo dos três pós avaliados. Ingredientes ricos em proteínas vegetais são geralmente utilizados na forma de pó durante o processamento, transporte e comercialização, portanto, mais estudos são necessários para melhorar o manuseio a granel e as propriedades de fluxo desses ingredientes ricos em proteínas.

### 5.3.2 Composição centesimal dos empanados vegetais

Os resultados de lipídios, proteínas, carboidratos, cinzas e umidade estão descritos na Tabela 24.

Tabela 24 – Caracterização dos empanados vegetais de ACC

Análises	Empanados vegetais		
	EVTA	EVTP	EVCPA
Lipídios (%)	12,51 ± 0,69b	16,63 ± 0,73a	9,24 ± 0,14c
Proteínas (%)	11,83 ± 0,07b	9,54 ± 0,47c	17,97 ± 0,46a
Carboidratos (%)	29,40 ± 1,13a	25,92 ± 0,80b	23,22 ± 0,13c
Cinzas (%)	4,49 ± 0,45a	3,09 ± 0,15b	3,61 ± 0,08b
Umidade (%)	41,77 ± 0,09c	44,82 ± 0,17b	45,96 ± 0,50a

Fonte: A autora (2024). EVTA: empanado vegetal com adição de TA; EVTP: empanado vegetal com adição de TP; EVCPA: empanado vegetal com adição de CPA. Médias com letras iguais na mesma linha não diferem ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

As amostras de empanado vegetal diferiram significativamente quanto a composição centesimal. O empanado vegetal formulado com concentrado proteico (EVCPA) apresentou maior teor proteico (17,97%) e menor teor lipídico (9,24%), como já era esperado considerando a composição de CPA em relação a TA e TP.

O teor de proteínas dos três empanados formulados variou de 9,54% a 17,97%. A legislação brasileira ainda não definiu padrões de identidade e qualidade para produtos *plant-based*, mas é um assunto discutido por órgãos governamentais, empresas e profissionais da área de alimentos. Para o empanado produzido com proteína animal, a legislação brasileira, por meio da IN nº 6 de 15 de fevereiro de 2001 do MAPA, exige um mínimo de 10% de proteínas (BRASIL, 2001). Assim, os empanados vegetais EVTA e EVCPA, atingiram esse parâmetro de referência.

Chen (2023) avaliou o rótulo de 22 amostras de *nuggets plant-based* disponíveis no mercado de todas as regiões do Brasil quanto à qualidade nutricional e encontrou uma média de 12,13 ( $\pm$  4,75) g de proteína/100g de produto. O desvio padrão evidencia que há uma variação considerável no teor de proteínas entre as marcas disponíveis no mercado. Em relação ao teor de lipídios, Chen (2023) observou uma média de 9,65 ( $\pm$  5,69) g/100g de produto para as amostras avaliadas. Yuliarti, Kovis e Yi (2021) avaliaram diferentes formulações de empanados vegetais obtidos com proteína de ervilha e proteína de trigo por técnica de estruturação por congelamento e relataram teor proteico variando de 22,51% a 25,83%, valores maiores que os encontrados neste estudo. Reginaldo (2021) elaborou empanado de grão de bico com 3,7% de proteínas, valor bem inferior aos observados nesse estudo, e 8,8% de lipídios.

Os óleos e gorduras presentes em formulações de análogos de carne têm a função de contribuir para a suculência, maciez, sensação na boca e liberação de sabor do produto (BOHRER, 2019). A adição de óleo de soja contribuiu com 8,8% da formulação dos empanados vegetais de ACC e, diretamente, para o teor lipídico do produto. A adição de TA, TP e CPA também representaram uma contribuição de lipídios ao produto, principalmente TP, com o maior teor de lipídios entre os insumos proteicos de ACC (35,19% em base seca). Como resultado, EVTP apresentou maior teor de lipídios (16,63%). Vale ressaltar que a ACC é uma matéria-prima oleaginosa e seu óleo apresenta excelente qualidade nutricional, considerado uma fonte de ácidos graxos monoinsaturados e poliinsaturados, como ácido oleico e linoléico, respectivamente (LEAL et al., 2023). Assim, além de agregar valor nutricional proteico, os insumos de ACC também contribuem com um perfil lipídico de qualidade.

Ingredientes proteicos não isolados, ou seja, onde o óleo ainda está em sua estrutura nativa, podem formar géis contendo gordura quando aquecidos, o que pode ser vantajoso para

produtos alimentícios do tipo emulsão, por exemplo (KYRIAKOPOULOU; KEPPLER; VAN DER GOOT, 2021). Em relação ao teor de carboidratos, as tortas desengorduradas apresentam maiores teores quando comparadas com concentrado proteico. Polissacarídeos são interessantes para contribuírem com as características estruturais dos produtos. Além disso, ingredientes como as tortas que requerem menos etapas de processo resultam em custos mais baixos (GRABOWSKA et al., 2016).

A escolha da matéria-prima vegetal, método de processamento e a formulação dos produtos são determinantes na composição de análogos à cárneos. Embora o teor mínimo de proteínas ainda não esteja estabelecido em legislação brasileira para essa categoria de produtos, é um fator muito importante, pois além de entregar qualidade sensorial, os produtos *plant-based* precisam atender as necessidades nutricionais dos consumidores. Nesse sentido, a ACC pode ser considerada uma excelente fonte de proteínas e a escolha do insumo a ser utilizado, dependerá do objetivo que se quer alcançar com o produto a ser desenvolvido.

### ***5.3.3 Determinação do perfil de aminoácidos***

A Tabela 25 apresenta o perfil de aminoácidos das formulações de empanados vegetais de ACC.

Ácido glutâmico (20,11% a 23,59%) e arginina (9,63% a 10,54%), aminoácidos não essenciais, foram os aminoácidos presentes em maiores quantidades nos três empanados vegetais de ACC. EVTA, EVTP e EVCPA apresentaram um perfil contendo todos os aminoácidos essenciais. Leucina (6,39% a 7,75%) e valina (4,69% a 5,04%) foram os aminoácidos essenciais que apresentaram os maiores teores.

A comparação do teor de aminoácidos (mg/g de proteína) dos empanados vegetais com a composição de referência para alegação nutricional de alimentos estabelecida na IN n° 75 de 8 de outubro de 2020 (BRASIL, 2020a) e recomendação da FAO (2007) para a dieta de adultos é feita na Tabela 26.

EVTA e EVTP apresentaram valores de todos os aminoácidos indispensáveis acima dos níveis recomendados pela FAO para adultos. EVCPA apresentou 37 mg de lisina/g de proteína, valor menor que a composição de referência para este aminoácido (45 mg de lisina/g de proteína). CPA, insumo proteico adicionado à formulação de EVCPA, foi obtido por precipitação isoelétrica, o que pode ter ocasionado redução de lisina pelo pH alcalino utilizado no processo (pH 9) (OGUNWOLU et al., 2009).

Tabela 25 – Perfil de aminoácidos (g/100g de proteína) dos empanados vegetais de ACC

Aminoácidos	Composição (g/100g)		
	EVTA	EVTP	EVCPA
Ácido Aspártico	9,02	8,78	7,34
Ácido Glutâmico	22,70	23,59	20,11
Alanina	4,22	4,44	3,12
Arginina	10,23	10,54	9,63
Cisteína	0,97	1,37	1,25
Glicina	4,46	4,44	3,54
Prolina	5,00	5,53	3,74
Serina	5,14	5,41	4,40
Tirosina	3,15	3,30	2,70
Fenilalanina*	4,66	4,84	3,92
Histidina*	2,04	2,22	1,99
Isoleucina*	3,98	3,99	3,59
Leucina*	7,47	7,75	6,39
Lisina*	4,95	4,67	3,68
Metionina*	1,41	1,54	1,01
Treonina*	3,06	3,25	2,67
Triptofano*	1,21	1,48	1,22
Valina*	5,04	4,84	4,69

Fonte: A autora (2024). \*: aminoácidos essenciais. EVTA: empanado vegetal com adição de TA; EVTP: empanado vegetal com adição de TP; EVCPA: empanado vegetal com adição de CPA.

Yang et al. (2023) avaliaram a qualidade nutricional de quatro produtos comerciais análogos de carne (P1, P2, P3 e P4), compostos principalmente de proteína de soja e de ervilha. Os resultados experimentais relataram mais de um aminoácido limitante em três dos quatro produtos análogos de carne. Com base nas recomendações da FAO, P1 era deficiente em metionina, cisteína e triptofano; P3 apresentou deficiência em lisina e triptofano; e P4 era deficiente em metionina, cisteína, lisina e triptofano. Apenas o perfil de aminoácidos do produto P2, adicionado de proteína de batata, atendeu às recomendações da FAO. Apesar das estratégias de combinação de diferentes fontes proteicas, as indústrias produtoras de alimentos *plant-based*

precisam avaliar os insumos utilizados e processos para se adequarem ao perfil de aminoácidos para alegação nutricional e recomendação da FAO.

Tabela 26 – Comparação de aminoácidos (mg/g de proteína) dos empanados vegetais de ACC com a composição de referência

Aminoácidos	Composição (mg/g proteína)			Composição de referência*
	EVTA	EVTP	EVCPA	
Histidina	20	22	20	15
Isoleucina	40	40	36	30
Leucina	75	77	64	59
Lisina	49	47	37	45
Metionina e cisteína	24	29	23	22
Fenilalanina e tirosina	78	81	66	38
Treonina	31	32	27	23
Triptofano	12	15	12	6
Valina	50	48	47	39

Fonte: A autora (2024). EVTA: empanado vegetal com adição de TA; EVTP: empanado vegetal com adição de TP; EVCPA: empanado vegetal com adição de CPA. \*Teor de aminoácidos (mg/g de proteína) requeridos pela legislação brasileira para alegação nutricional (BRASIL,2020) e pela FAO (2007) para adultos.

A composição de aminoácidos essenciais nas proteínas vegetais representa um dos principais desafios para sua utilização na indústria alimentícia. Os cereais, em geral, são pobres em lisina, enquanto as leguminosas podem apresentar deficiência de aminoácidos sulfurados, como a metionina. A combinação de diferentes fontes de proteína vegetal é uma estratégia utilizada para superar essas limitações e fornecer uma gama mais completa de aminoácidos essenciais (BOHRER, 2019).

A lentilha é uma leguminosa nutritiva, considerada uma boa fonte proteica, com cerca de 26% de proteína em sua composição. A proteína da lentilha contém todos os aminoácidos essenciais e fornece quantidades adequadas de leucina, lisina, treonina e fenilalanina. A combinação de uma fonte vegetal com lentilha pode ser eficaz para obter um perfil completo de aminoácidos essenciais, melhorando a qualidade da proteína e o valor nutricional (HANG et al., 2022). No entanto, neste estudo, a quantidade de lentilha adicionada

às formulações com o objetivo de alcançar o teor mínimo de lisina para reivindicações nutricionais não foi suficiente para a formulação EVCPA.

Embora EVTA e EVTP apresentem menor teor de proteínas em comparação com EVCPA, destacam-se como produtos *plant-based* com proteínas de alta qualidade. Para melhorar o perfil de aminoácidos de EVCPA e corrigir a limitação de lisina, sugere-se um ajuste na formulação.

#### 5.3.4 Valor energético total

Os consumidores estão cada vez mais atentos às informações nutricionais nas embalagens antes de fazerem suas escolhas alimentares. Eles buscam alimentos com alto teor de proteínas, baixo teor de gordura e calorias, além de conveniência para o consumo (SHARIMA-ABDULLAH et al., 2018). O rótulo alimentar desempenha um papel crucial na comunicação entre a indústria de alimentos e os consumidores, oferecendo informações claras e concisas (BARROS et al., 2023).

A RDC nº 429 de 8 de outubro de 2020 (BRASIL, 2020b) estabelece o regulamento técnico para rotulagem de alimentos embalados e é complementada pela IN nº 75 de 8 de outubro de 2020 (BRASIL, 2020a), que define os requisitos para declaração da rotulagem nutricional. Com base nessas normativas, as informações nutricionais dos empanados vegetais a base de proteína de ACC são apresentados nas Tabelas 27, 28 e 29.

Tabela 27 – Tabela nutricional da formulação EVTA

<b>INFORMAÇÃO NUTRICIONAL</b>			
<b>PORÇÃO: 80g (4 UNIDADES)</b>			
	<b>100g</b>	<b>80g</b>	<b>%VD*</b>
Valor energético (kcal)	222	178	8,8
Carboidratos (g)	29	23	7,7
Proteínas (g)	12	9,5	19
Gorduras totais (g)	13	10	15

Fonte: A autora (2024).

Tabela 28 – Tabela nutricional da formulação EVTP

<b>INFORMAÇÃO NUTRICIONAL</b>			
<b>PORÇÃO: 80g (4 UNIDADES)</b>			
	<b>100g</b>	<b>80g</b>	<b>%VD*</b>
Valor energético (kcal)	233	186	9
Carboidratos (g)	26	21	6,9
Proteínas (g)	9,5	7,6	15
Gorduras totais (g)	17	13	20

Fonte: A autora (2024).

Tabela 29 – Tabela nutricional da formulação EVCPA

<b>INFORMAÇÃO NUTRICIONAL</b>			
<b>PORÇÃO: 80g (4 UNIDADES)</b>			
	<b>100g</b>	<b>80g</b>	<b>%VD*</b>
Valor energético (kcal)	198	158	7,9
Carboidratos (g)	23	18	6,1
Proteínas (g)	18	14,4	29
Gorduras totais (g)	9,2	7	11

Fonte: A autora (2024).

As alegações nutricionais são informações opcionais nos rótulos, que indicam que um alimento possui propriedades nutricionais positivas relativas ao seu valor energético ou ao conteúdo de nutrientes (BARROS et al., 2023). A IN nº 75 de 8 de outubro de 2020 (BRASIL, 2020a) estabelece os critérios para que um alimento seja considerado “fonte de proteínas” e “alto conteúdo de proteínas”, levando em conta a porcentagem mínima do VDR de proteínas por porção e o requisito do perfil de aminoácidos para alegação nutricional. De acordo com esta legislação, EVTA e EVTP podem ser rotulados como “fonte de proteínas”, pois apresentam mais de 10% do VDR de proteínas por porção e atendem aos requisitos de perfil de aminoácidos. No entanto, embora EVCPA tenha um teor de proteínas superior a 20% do VDR por porção, que seria suficiente para ser rotulado como “alto conteúdo de proteínas”, não possui um perfil de aminoácidos que atenda à legislação, impossibilitando essa alegação no rótulo.

### 5.3.5 Análises microbiológicas

As amostras de EVTA, EVTP e EVCPA estavam de acordo com os padrões estabelecido na legislação (BRASIL, 2022) para as análises microbiológicas de *E. coli* (<3 NMP/g), *Staphylococcus* coagulase positiva (<10<sup>2</sup> UFC/g) e de *Salmonella spp.* (ausência em 25g de amostra). As boas práticas de manipulação durante o preparo dos empanados vegetais de ACC foram suficientes para se obter um produto seguro para o consumo.

### 5.3.6 Avaliação sensorial

O teste sensorial apresentou maior frequência de participantes do sexo feminino (58%) e da faixa etária de 18 a 25 anos (48%). 42% dos provadores disseram se encaixar em um perfil de consumidor de produtos vegetais. Desses, 68% se dizem ser flexitarianos e 24% vegetarianos. Quando perguntados se consomem empanados, *nuggets* ou outro petisco vegetal, 41% dos provadores responderam que sim, sendo que a maioria destes (72%) consome apenas eventualmente. A maioria dos provadores que consomem esse tipo de produto responderam consumir em momento de lanche (60%) e refeição (24%) e os principais motivos de consumo apontados foram “é saudável” (28%), “preferência” (20%) e outros motivos (32%). A maioria dos provadores (65%) disse se preocupar com o teor de proteínas do alimento quando consome petiscos ou lanches. Desses provadores, 77% disseram que se preocupam por já saberem a importância das proteínas na dieta e 23% por recomendação de algum profissional.

A avaliação sensorial é uma ferramenta crucial na otimização de processos e tecnologias de proteínas vegetais para o desenvolvimento de produtos análogos à carnes, fornecendo informações importantes para alcançar atributos sensoriais semelhantes aos da carne (FIORENTINI; KINCHLA; NOLDEN, 2020). Os produtos *plant-based* que imitam produtos cárneos moídos e triturados têm como objetivo replicar a textura mastigável, suculência e firmeza. Hambúrgueres e *nuggets* de origem animal são compostos principalmente por proteínas e gorduras, além de temperos, sal e aglutinantes. Nos produtos *plant-based* análogos, esses elementos são cuidadosamente combinados para alcançar uma experiência sensorial semelhante (KYRIAKOPOULOU; KEPPLER; VAN DER GOOT, 2021).

As médias de aceitação dos atributos sensoriais (aceitação global, aparência externa, aparência interna, sabor e textura), avaliados através de uma escala hedônica verbal estruturada de nove pontos (1: “desgostei muitíssimo” a 9: “gostei muitíssimo”), são apresentadas na Tabela 30.

Tabela 30 – Aceitação dos atributos sensoriais de empanados vegetais de ACC

Atributos de aceitação	Médias das notas		
	EVTA	EVTP	EVCPA
Aceitação global	7,58 ± 1,28a	8,02 ± 0,97a	7,53 ± 1,28a
Aparência externa	7,36 ± 1,72b	8,23 ± 0,96a	8,47 ± 0,75a
Aparência interna	7,48 ± 1,35a	7,55 ± 1,52a	7,08 ± 1,69a
Sabor	7,58 ± 1,31a	7,77 ± 1,39a	7,25 ± 1,35a
Textura	7,74 ± 1,47ab	8,13 ± 0,91a	7,23 ± 1,88b

Fonte: A autora (2024). EVTA: empanado vegetal com adição de TA; EVTP: empanado vegetal com adição de TP; EVCPA: empanado vegetal com adição de CPA. Médias com letras iguais na mesma linha não diferem ao nível de 5% de significância para o teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

As médias dos atributos avaliados variaram de 7,08 a 8,47 para as três formulações, ou seja, entre “gostei” e “gostei muito”. Os atributos de aceitação global, aparência interna e sabor não apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre as amostras. Embora a média de textura de EVTA não tenha diferido significativamente das médias de EVTP e EVCPA, o menor teor de lipídios pode explicar a menor média de textura para EVCPA (7,23), que recebeu comentários como “muito firme”, “seco”, “sem suculência”. A sensação de suculência na boca é influenciada pela presença e tipo de gordura no produto (KYRIAKOPOULOU; KEPPLER; VAN DER GOOT, 2021).

Um desafio frequente ao utilizar proteínas vegetais em substitutos de carne é a produção de compostos voláteis resultantes da oxidação de ácidos graxos insaturados, os quais podem gerar odores e sabores indesejáveis. Para mitigar isso, é comum a incorporação de misturas aromáticas contendo temperos, especiarias e realçadores de sabor (FIORENTINI; KINCHLA; NOLDEN, 2020). As leguminosas comumente apresentam sabores de “feijão” e “verde” descritos pelos consumidores (XU et al., 2019). Já os cereais são frequentemente relacionados à sabor adstringente e amargor (HOLTEKJØLEN et al., 2008). A ACC se destaca entre as matérias-primas vegetais por apresentar sabor suave e ser fácil de incorporar em formulações de alimentos, fato refletido nas médias em torno de 7 (“gostei”) para o atributo sabor das três formulações de empanados vegetais e ausência de comentários sobre sabores estranhos.

A Tabela 31 apresenta o resultado do índice de aceitabilidade calculado.

Tabela 31 – Índice de aceitabilidade dos atributos sensoriais de empanados vegetais de ACC

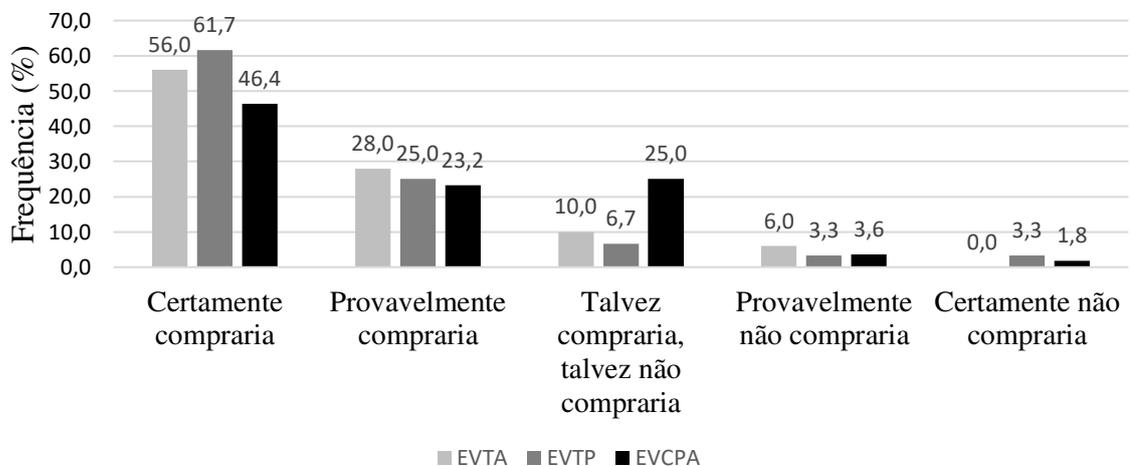
Atributos de aceitação	Índice de aceitabilidade		
	EVTA	EVTP	EVCPA
Aceitação global (%)	84,22	89,11	83,67
Aparência externa (%)	81,78	91,44	94,11
Aparência interna (%)	83,11	83,89	78,67
Sabor (%)	84,22	86,33	80,56
Textura (%)	86,00	90,33	80,33

Fonte: A autora (2024). EVTA: empanado vegetal com adição de TA; EVTP: empanado vegetal com adição de TP; EVCPA: empanado vegetal com adição de CPA.

Segundo Dutcosky (2013), para um produto ser aceito pelos provadores deve atingir uma porcentagem maior ou igual a 70%. Assim, os três empanados vegetais de ACC formulados apresentaram boa aceitação para todos os atributos avaliados.

A Figura 14 mostra a frequência de respostas de intenção de compra dos provadores.

Figura 14 – Frequência de respostas de intenção de compra



Fonte: A autora (2024). EVTA: empanado vegetal com adição de TA; EVTP: empanado vegetal com adição de TP; EVCPA: empanado vegetal com adição de CPA.

EVTA, EVTP e EVCPA apresentaram 84,0%, 86,7% e 69,6% de frequência de respostas na zona positiva de intenção de compra (certamente compraria e provavelmente compraria).

Lima et al. (2021b) avaliaram a aplicação de concentrado proteico de ACC na formulação de hambúrguer *plant-based* e relataram 80% dos escores hedônicos dentro da zona de aceitação da escala, entre “gostei um pouco” a “gostei extremamente”. No mesmo estudo, 60% dos provadores afirmaram que comprariam ou certamente comprariam os hambúrgueres elaborados com concentrado proteico de ACC. Assim, os resultados afirmam que insumos proteicos de ACC são ingredientes potenciais para a formulação de produtos vegetais análogos à carnes.

Ettinger et al. (2022) avaliaram a aceitação sensorial de *nuggets* vegetais comercializados no Canadá e formulados com diferentes ingredientes proteicos, entre eles proteína de soja, de ervilha e de trigo. O estudo comparou a aceitação sensorial dos produtos *plant-based* com *nuggets* de frango (controle). Os *nuggets* vegetais apresentaram médias de aceitação variando de 5,4 a 5,8 para aparência; 4,7 a 6,2 para sabor; 4,5 a 5,7 para textura e 4,6 a 5,7 para impressão global. As médias indicaram que os provadores desgostaram dos produtos ou ficaram na zona de indecisão. Os autores relacionaram as baixas médias obtidas aos sabores estranhos apontados pelos provadores, como sabor de feijão associado a proteína de soja, e ao aspecto fibroso e mastigável percebido.

A partir da boa aceitação sensorial, intenção de compra positiva e considerando que a maioria dos provadores (58%) não se dizem consumidores de produtos *plant-based*, pode-se concluir que o empanado vegetal de ACC tem grande potencial de mercado, entre diversos perfis de consumidores, não apenas veganos e flexitarianos.

## 5.4 Conclusão

Os insumos proteicos de ACC demonstraram comportamento de fluxo coesivo, indicando que pode haver desafios no manuseio e processamento de grandes quantidades de pó. Ingredientes com alto teor de proteínas vegetais costumam ser usados na forma de pó durante o processamento, transporte e comercialização, portanto, mais pesquisas são necessárias para melhorar as características de fluxo dos ingredientes proteicos de ACC.

TA, TP e CPA mostraram-se insumos promissores para a indústria de produtos análogos à carne, permitindo o desenvolvimento de empanados vegetais com teores de proteínas de até 17,97%. EVTA e EVTP apresentaram mais de 10% do VDR de proteínas por

porção e um excelente perfil de aminoácidos, podendo ser rotulados como “fonte de proteínas” de acordo com a legislação brasileira. Embora EVCPA tenha um teor de proteínas superior a 20% do VDR por porção, que seria suficiente para ser rotulado como “alto conteúdo de proteínas”, apresentou limitação no teor de lisina, impossibilitando essa alegação no rótulo. Para suprir essa limitação e atender a composição requerida pela FAO, sugere-se um ajuste na formulação de EVCPA.

Os diferentes métodos de processamento têm um impacto direto na composição nutricional dos insumos proteicos de ACC e a escolha do método depende das características desejadas para o produto a ser desenvolvido a partir desses insumos.

As médias dos atributos de aceitação variaram de 7,08 a 8,47 para as três formulações, ou seja, entre “gostei” e “gostei muito”. As formulações de empanados vegetais de ACC alcançaram uma aceitabilidade superior a 79% para todos os atributos avaliados e uma intenção de compra superior a 70% na zona positiva. Conclui-se, portanto, que os empanados vegetais de ACC possuem um grande potencial no mercado de produtos análogos à carnes.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos de extração de óleo influenciaram significativamente nas características dos insumos proteicos de ACC, resultando em variações na composição nutricional, rendimento e propriedades funcionais. As alternativas ao uso de hexano para extração de óleo da ACC mostraram-se promissoras, com tortas desengorduradas de até 35% de proteínas e concentrados proteicos de até 69% de proteínas. A extração aquosa mostrou-se mais eficiente que a prensagem, com rendimento de 79% de extração de óleo e maior teor proteico nos insumos obtidos por esse método (TA e CPA). CPA apresentou melhor capacidade de absorção de óleo e de emulsificação, características essenciais para produtos análogos à cárneos.

Apesar da limitação de lisina nos concentrados proteicos de ACC, essa deficiência pode ser corrigida pela combinação com outras fontes vegetais ou pela adição exógena de lisina. Os concentrados proteicos obtidos apresentaram digestibilidade *in vitro* superior a 90%, comparável às proteínas do soro do leite.

TA, TP e CPA mostraram-se ingredientes promissores para o desenvolvimento de empanados vegetais com até 17,97% de proteínas. EVTA e EVTP apresentaram excelente perfil de aminoácidos, atendendo à composição requerida pela FAO para adultos. As três formulações de empanado vegetal desenvolvidas apresentaram boa aceitação, com intenção de compra na zona positiva superior a 70%.

O uso de métodos que não utilizam hexano no processo de extração de óleo de ACC é uma estratégia viável para desenvolver insumos proteicos de alta qualidade, impulsionando o mercado de alimentos *plant-based* e valorizando uma matéria-prima brasileira.

## REFERÊNCIAS

- ABARGHOEI, M.; GOLI, M.; SHAHI, S. Investigation of cold atmospheric plasma effects on functional and physicochemical properties of wheat germ protein isolate. **LWT - Food Science and Technology**, v. 177, p. 114585, 2023.
- ABIA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. **Soluções plant based e suas inúmeras possibilidades**. 2021. Disponível em: <https://www.abia.org.br/noticias/plant-based>. Acesso em: 03 mar 2022.
- ACOSTA-DOMÍNGUEZ, L. et al. Effect of a cryogenic treatment in the microstructure, functional and flow properties of soy protein isolate. **Food Hydrocolloids**, v. 119, p. 106871, 2021.
- ADIAMO, O. Q.; GBADAMOSI, O. S.; ABIOSE, S. H. Functional Properties and Protein Digestibility of Protein Concentrates and Isolates Produced from Kariya (*Hildergadia bateri*) Seed. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 40, n. 5, p. 979–989, 2016.
- AFONSO, M. R. A. et al. Microstructure and flow properties of lyophilized mango pulp with maltodextrin. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 133–137, 2019.
- AKESON, W. R.; STAHMANN, M. A. A pepsin pancreatin digest index of protein quality evaluation. **The Journal of nutrition**, v. 83, p. 257–261, 1964.
- AKHARUME, F. U.; ALUKO, R. E.; ADEDEJI, A. A. Modification of plant proteins for improved functionality: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 1, p. 198–224, 2021.
- ALBUQUERQUE, M. L. S. et al. Infrared absorption spectra of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil. **Vibrational Spectroscopy**, v. 33, p. 127–131, 2003.
- ALMEIDA, C. C. et al. *In vitro* digestibility of commercial whey protein supplements. **LWT**, v. 61, p. 7–11, 2015.
- ALOBO, A. P.; AGBO, B. N.; ILESANMI, S. A. Physicochemical and functional properties of full fat and defatted cashew kernel flours. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, n. 3, p. 581–585, 2009.
- ALONSO-MIRAVALLS, L. et al. Physical and flow properties of pseudocereal-based protein-rich ingredient powders. **Journal of Food Engineering**, v. 281, p. 109973, 2020.
- ALVES, V. et al. Development of fermented beverage with water kefir in water-soluble coconut extract (*Cocos nucifera* L.) with inulin addition. **LWT**, v. 145, p. 111364, mar. 2021.
- ALVI, T.; ASIF, Z.; IQBAL KHAN, M. K. Clean label extraction of bioactive compounds from food waste through microwave-assisted extraction technique—A review. **Food Bioscience**, v. 46, p. 101580, 2022.

AMAGLIANI, L. et al. Physical and flow properties of rice protein powders. **Journal of Food Engineering**, v. 190, p. 1–9, 2016.

ANDREANI, G. et al. Plant-based meat alternatives: Technological, nutritional, environmental, market, and social challenges and opportunities. **Nutrients**, v. 15, n. 2, 2023.

ANDREWS, W. H. et al. BAM Chapter 5: Salmonella. **Bacteriological Analytical Manual: Food and Drug Administration**, 2023. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-5-salmonella>. Acesso em: 26 jan. 2024.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Washington D.C.:AOAC, 2012. 19 ed., p. 121-130, 2012.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Editor: Dr. George W. Latimer, Jr. Rockville, MD, USA, 20 ed., 2016.

AOCS – AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. Champaign: AOCS, 2003. 5 ed., 2003.

ARACAVAL, K. K. et al. Valorization of the baru (*Dipteryx alata* Vog.) processing chain: Technological properties of defatted nut flour and oil solubility in ethanol and isopropanol. **Food Chemistry**, v. 383, p. 132587, 2022.

ARAUJO, R. S. R. M; SILVA, P. E. B. A. **Alimento a base de castanha de caju com matérias-primas regionais e processo de obtenção do mesmo**. Depositante: Universidade Federal do Piauí (UFPI). BR n. 10 2015 007200 7 A2. Depósito: 02 mar. 2015. Disponível em: <https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodPedido=1338913&SearchParameter=CASTANHA%20DE%20CAJU%20%20%20%20%20%20%20%20&Resumo=&Titulo=>. Acesso em: 11 mar. 2024.

ARBACH, C. T. et al. Recent patent applications in beverages enriched with plant proteins. **NPJ Science of Food**, v. 5, n. 28, 2021.

AREMU, M. O.; OGUNLADE, I.; OLONISAKIN, A. Fatty acid and amino acid composition of protein concentrate from cashew nut (*Anacardium occidentale*) grown in Nasarawa State, Nigeria. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 6, n. 5, p. 419–423, 2007.

ASCHEMANN-WITZEL, J. et al. Plant-based food and protein trend from a business perspective: markets, consumers, and the challenges and opportunities in the future. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 61, n. 18, p. 3119-3128, jul. 2020.

BARROS, F. A. R. et al. **Composto de proteína isolada de amêndoa de macaúba, processos de obtenção do isolado proteico e usos**. Depositante: Solea Brasil Óleos Vegetais LTDA; Universidade Federal de Viçosa (UFV). Procurador: Paula Santos e Silva. BR n. 10 2022 010286 4 A2. Depósito: 26 mai. 2022. Disponível em: <https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodPedido=16>

61954&SearchParameter=MACA%DABA%20PROTE%CDNA%20%20%20%20%20%20%20&Resumo=&Titulo=. Acesso em: 11 mar. 2024.

BARROS, D. de M. et al. Atualizações sobre a rotulagem nutricional dos alimentos. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 1, 2023.

BARUA, A. G. et al. Spectroscopic investigation of the cashew nut kernel (*Anacardium occidentale*). **The Open Food Science Journal**, v. 2, p. 85–88, 2008.

BISINOTTO, M. S. et al. Bioaccessibility of cashew nut kernel flour compounds released after simulated *in vitro* human gastrointestinal digestion. **Food Research International**, v. 139, p. 109906, 2021.

BOHRER, B. M. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. **Food Science and Human Wellness**, v. 8, n. 4, p. 320–329, 2019.

BORA, P. S.; NETO, V. Q. Functionality of native and denatured cashew nut kernel protein isolates at isoelectric pH as a function of salt concentration. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, n. 15, p. 2022–2027, 2004.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248–254, 1976.

BRASIL. Instrução Normativa nº 6, de 15 de fevereiro de 2001. Aprovar os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de paleta cozida, de produtos cárneos salgados, de empanados, de presunto tipo serrano e de prato elaborado pronto ou semipronto contendo produtos de origem animal [...]. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Seção 1, p. 22, 19 fev. 2001. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/defesa-agropecuaria/suasa/regulamentos-tecnicos-de-identidade-e-qualidade-de-produtos-de-origem-animal-1/rtiq-carneos-e-seus-derivados-1>. Acesso em: 14 out. 2023.

BRASIL. Instrução Normativa nº 75, de 08 de outubro de 2020. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Seção 1, ed. 195, p. 113, 9 out. 2020a. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-75-de-8-de-outubro-de-2020-282071143>. Acesso em: 05 set. 2022.

BRASIL. Resolução RDC nº 429, de 8 de outubro de 2020. Dispõe sobre a rotulagem nutricional dos alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Seção 1, ed. 195, p. 106, 9 out. 2020b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-de-diretoria-colegiada-rdc-n-429-de-8-de-outubro-de-2020-282070599>. Acesso em: 29 set. 2022.

BRASIL. Instrução Normativa nº 28, de 26 de julho de 2018. Estabelece as listas de constituintes, de limites de uso, de alegações e de rotulagem complementar dos suplementos alimentares. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Seção 1, p. 276, 27 jul. 2018. Disponível em: [https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3898888/IN\\_28\\_2018\\_COMP.pdf/db9c7460-ae66-4f78-8576-dfd019bc9fa1](https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3898888/IN_28_2018_COMP.pdf/db9c7460-ae66-4f78-8576-dfd019bc9fa1). Acesso em: 02 fev. 2024.

BRASIL. Instrução Normativa nº 2, de 06 de fevereiro de 2017. Aprova o regulamento técnico para a amêndoa de castanha de caju. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Seção 1, p. 187, 17 fev. 2017. Disponível em: [http://www.puntofocal.gob.ar/notific\\_otros\\_miembros/bra325r1a1\\_t.pdf](http://www.puntofocal.gob.ar/notific_otros_miembros/bra325r1a1_t.pdf). Acesso em: 18 jan. 2023.

BRASIL. Instrução Normativa nº 87, de 15 de março de 2021. Estabelece a lista de espécies vegetais autorizadas, as designações, a composição de ácidos graxos e os valores máximos de acidez e de índice de peróxidos para óleos e gorduras vegetais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Seção 1, ed. 51, p. 261, 17 mar. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-87-de-15-de-marco-de-2021-309008143>. Acesso em: 15 nov. 2023.

BRASIL. Resolução de Diretoria Colegiada nº 268, de 22 de setembro de 2005. Aprova o "Regulamento técnico para produtos protéicos de origem vegetal". **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 23 set. 2005. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0268\\_22\\_09\\_2005.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0268_22_09_2005.html). Acesso em: 02 mai. 2022.

BRASIL. Instrução Normativa nº 161, de 01 de julho de 2022. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Seção 1, ed. 126, p. 235, 06 jul. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-161-de-1-de-julho-de-2022-413366880>. Acesso em: 13 set. 2022.

BÜYÜKCAN, M. K.; KARAKAYA, S. Comparison of some functional properties and protein profiles of different protein sources with egg components. **Italian Journal of Food Science**, v. 33, n. 2, p. 142–155, 2021.

CAPELLINI, M. C. et al. Alcoholic extraction of sesame seed cake oil: Influence of the process conditions on the physicochemical characteristics of the oil and defatted meal proteins. **Journal of Food Engineering**, v. 240, p. 145–152, 2019.

CARMO, C. A. F. et al. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. **Circular Técnica**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. n 6, 41 p., 2000.

CARVALHO, J. M. DE et al. Cashew nut oil: effect of kernel grade and a microwave preheating extraction step on chemical composition, oxidative stability and bioactivity. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 4, p. 930–937, 2018.

CHEN, N. et al. Characterization of the physicochemical, thermal and rheological properties of cashew kernel starch. **Food Chemistry: X**, v. 15, p. 100432, 2022.

CHEN, G. F. N. **Avaliação da qualidade nutricional de produtos “plant-based” análogos de carnes a partir de informações obtidas nos rótulos**. 2023. 40 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Nutrição), Universidade Federal de São Paulo, Santos, 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Castanha de Caju: Análise Mensal - Novembro 2023**. Brasília: CONAB, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e->

extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-castanha-de-caju. Acesso em: 18 fev. 2024.

CROWLEY, S. V. et al. Influence of protein concentration on the physical characteristics and flow properties of milk protein concentrate powders. **Journal of Food Engineering**, v. 135, p. 31–38, 2014.

DAY, L.; CAKEBREAD, J. A.; LOVEDAY, S. M. Food proteins from animals and plants: Differences in the nutritional and functional properties. **Trends in Food Science & Technology**, v. 119, p. 428–442, 2022.

DENG, Y. et al. Physicochemical and functional properties of Chinese quince seed protein isolate. **Food Chemistry**, v. 283, n. 16, p. 539–548, 2019.

DI, C; XIANYING, C. **Cashew nut polypeptides as well as extraction method and application thereof**. Depositante: Univ Hainan. CN n. 111138514A. Depósito: 08 jan. 2020. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/070523944/publication/CN111138514A?q=pn%3DCN111138514A>. Acesso em: 11 mar. 2024.

DÜSENBERG, B. et al. Flowability of plant based food powders: Almond, chestnut, chickpea, coconut, hazelnut and rice. **Journal of Food Engineering**, v. 357, p. 111606, 2023.

DUTCOSKY, S. D. **Análise Sensorial de Alimentos**. Curitiba: Champagnat – Pucpress, 4. ed., 2013.

EMAMI, S.; TABIL, L. G. Friction and compression characteristics of chickpea flour and components. **Powder Technology**, v. 175, n. 1, p. 14–21, 2007.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Variedades de Caju**. Multimídia: Banco de Imagens. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/5597002/variedades-de-caju>. Acesso em: 13 jul. 2022.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Amêndoa da castanha-de-caju**. Multimídia: Banco de Imagens. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/4740001/amendoa-da-castanha-de-caju>. Acesso em: 14 jul. 2022.

EMELIKE, N. J. T.; BARBER, L. I.; EBERE, C. O. Proximate, mineral and functional properties of defatted and undefatted cashew (*Anacardium occidentale* Linn.) kernel flour. **European Journal of Food Science and Technology**, v. 3, n. 4, p. 11–19, set. 2015.

ETTINGER, L. et al. Consumer perception and acceptability of plant-based alternatives to chicken. **Foods**, v. 11, n. 15, 2022.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Protein and amino acid requirements in human nutrition**. Geneva: World Health Organization, 2007. WHO Technical Report Series, 935, 2007. Disponível em: <https://iris.who.int/handle/10665/43411>. Acesso em: 21 set. 2022.

FENG, P. et al. BAM Chapter 4: Enumeration of Escherichia coli and the coliform bacteria. **Bacteriological Analytical Manual**: Food and Drug Administration, 2020. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-4-enumeration-escherichia-coli-and-coliform-bacteria#references>. Acesso em: 25 out. 2023.

FERREIRA, A. A.; GUIMARÃES, E. R.; CONTADOR, J. C. Patente como instrumento competitivo e como fonte de informação tecnológica. **Gestão & Produção**, v. 16, n. 2, p. 209–221, 2009.

FEYZI, S. et al. A comparison of chemical, structural and functional properties of fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) protein isolates produced using different defatting solvents. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 105, p. 27–35, 2017.

FIorentini, M.; KINCHLA, A. J.; NOLDEN, A. A. Role of sensory evaluation in consumer acceptance of plant-based meat analogs and meat extenders: a scoping review. **Foods**, v. 9, n. 9, 2020.

FITZPATRICK, J. J.; BARRINGER, S. A.; IQBAL, T. Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 399–405, 2004.

FLORES, A. F. **Desenvolvimento de nuggets enriquecidos com fibras e sem adição de glúten**. 2012. 47 p. Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2012.

FREITAS, S. P. et al. Extraction and simultaneous separation of the Brazil nuts oil with ethanol. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 14–17, 2007.

GADANI, B. C. et al. Physical and chemical characteristics of cashew nut flour stored and packaged with different packages. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 657–662, out./ dez. 2017.

GALDEANO, M. et al. **Evolução dos alimentos plant-based no Brasil**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/67002613/artigo-evolucao-dos-alimentos-plant-based-no-brasil>. Acesso em: 02 jun 2022.

GAUTHIER, S. F.; VACHON, C.; SAVOIE, L. Enzymatic conditions of an *in vitro* method to study protein digestion. **Journal of Food Science**, v. 51, n. 4, p. 960–964, 1986.

GAZZOLA, J. et al. Castanha de caju e sua amêndoa: composição e importância dos ácidos graxos – produção e comércio mundiais. In: SOARES, Naisy Silva; MEIRELLES, Ana Elísia de Freitas (org.). **Comércio internacional de produtos agrícolas da região Nordeste do Brasil**. Fortaleza: Edições BNB, 2018. p. 69–97.

GFI – THE GOOD FOOD INSTITUTE. **Relatório 2023**: Produzir comida sem consumir o planeta é possível!. 2023a. Disponível em: <https://gfi.org.br/relatorio-2023/>. Acesso: 08 jan 2024.

GFI – THE GOOD FOOD INSTITUTE. **Resumo Executivo:** Estudo de proteínas vegetais nacionais com potencial para aplicação em alimentos vegetais análogos. 2023b. Disponível em: [https://gfi.org.br/categoria\\_recursos/resumo-executivo-estudo-de-proteinas-vegetais-nacionais-com-potencial-para-aplicacao-em-alimentos-vegetais-analogos/](https://gfi.org.br/categoria_recursos/resumo-executivo-estudo-de-proteinas-vegetais-nacionais-com-potencial-para-aplicacao-em-alimentos-vegetais-analogos/). Acesso: 08 jan 2024.

GFI – THE GOOD FOOD INSTITUTE. **O consumidor brasileiro e o mercado plant-based (2020).** 2020. Disponível em: <https://gfi.org.br/resources/o-consumidor-brasileiro-e-o-mercado-plant-based-2020/>. Acesso: 05 mai 2022.

GHAITARANPOUR, A.; MOHEBBI, M.; OLEYAEI, S. A. Effects of coating formulation on structural changes of turkey nugget during frying: MRI evaluation. **Journal of Future Foods**, v. 4, n. 2, p. 142–148, 2024.

GORISSEN, S. H. M. et al. Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. **Amino Acids**, v. 50, n. 12, p. 1685–1695, 2018.

GÓRSKA-WARSEWICZ, H. et al. Food products as sources of protein and amino acids –The case of Poland. **Nutrients**, v. 10, n. 12, p. 1–21, 2018.

GRABOWSKA, K. J. et al. Shear-induced structuring as a tool to make anisotropic materials using soy protein concentrate. **Journal of Food Engineering**, v. 188, p. 77–86, 2016.

GRAVEL, A.; DUBOIS-LAURIN, F.; DOYEN, A. Effects of hexane on protein profile and techno-functional properties of pea protein isolates. **Food Chemistry**, v. 406, p. 135069, 2023.

HADIDI, M. et al. Oilseed meal proteins: From novel extraction methods to nanocarriers of bioactive compounds. **Food Chemistry**, v. 438, p. 137971, 2024.

HAGEN, S. R.; FROST, B.; AUGUSTIN, J. Precolumn phenylisothiocyanate derivatization and liquid chromatography of amino acids in food. **Journal of The Association of Official Analytical Chemists**, v. 72, n. 6, p. 912–916, 1989.

H Aidar, C. N. et al. Aqueous micellar two-phase system as an alternative method to selectively remove soy antinutritional factors. **LWT**, v. 93, p. 665–672, 2018.

HANG, J. et al. Prediction of protein and amino acid contents in whole and ground lentils using near-infrared reflectance spectroscopy. **LWT**, v. 165, p. 113669, 2022.

HOLANDA, S. A. de M. **Desenvolvimento e caracterização de bebida vegetal à base de amêndoa de castanha de caju, adicionada de achocolatado, leite de coco ou banana.** 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

HOLTEKJØLEN, A. K. et al. Antioxidant properties and sensory profiles of breads containing barley flour. **Food Chemistry**, v. 110, n. 2, p. 414–421, 2008.

HUANG, X. et al. Dynamic changes in the sensory properties, composition and antioxidant activity of sesame residues and oil during the preparation of sesame oil by aqueous extraction. **LWT**, v. 199, p. 116060, 2024.

IAL – INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. ZENEBO, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. (coord.). São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. p. 1020, 2008.

ILLINGWORTH, K. A.; LEE, Y. Y.; SIOW, L. F. The effect of isolation techniques on the physicochemical properties of *Moringa oleifera* protein isolates. **Food Chemistry Advances**, v. 1, p. 100029, 2022.

INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial. **Busca de patentes**. 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/guia-basico/busca-de-patentes>. Acesso: 03 mar 2024.

JIHONG, W. et al. **Cashew nut protein powder and preparation method thereof**. Depositante: Univ China Agricultural; Shandong Wasdon Agricultural Industry Park Co LTD. CN n. 103976133A. Depósito: 18 dez. 2013. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/051268507/publication/CN103976133A?q=CN103976133A>. Acesso em: 11 mar. 2024.

JINYUE, S. et al. **Method for obtaining protein and starch from cashew kernel cake meal**. Depositante: Shandong Acad of Agricultural Sciences. CN n. 116473156A. Depósito: 12 abr. 2023. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/087226146/publication/CN116473156A?q=CN116473156A>. Acesso em: 11 mar. 2024.

KRAITHONG, S.; LEE, S.; RAWDKUEN, S. Physicochemical and functional properties of Thai organic rice flour. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 259–266, 2018.

KROSS, R. K. **Processamento de amêndoas de castanha de caju: secagem, extração e estabilidade do azeite**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

KYRIAKOPOULOU, K.; KEPPLER, J. K.; VAN DER GOOT, A. J. Functionality of Ingredients and Additives in Plant-Based Meat Analogues. **Foods**, v. 10, n. 3, 29 p., 2021.

LAMEIRA, C. P.; COELHO, G. L. V.; MOTHÉ, C. G. Extração de lipídeos da amêndoa de castanha de caju com CO<sub>2</sub> supercrítico. **Food Science Technology**, v. 17, n. 4, 1997.

LANDILLON, V. et al. Flowability, cohesive, and granulation properties of wheat powders. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 2, p. 178–193, 2008.

LEAL, A. R. et al. Qualidade do óleo obtido a partir de diferentes classificações de amêndoa de castanha-de-caju. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2022. v. 232, 19 p., ago. 2022.

- LEAL, A. R. et al. Impact of different kernel grades on volatile compounds profile, fatty acids and oxidative quality of cashew nut oil. **Food Research International**, v. 165, p. 112526, jan. 2023.
- LEE, C. H. A simple outline of methods for protein isolation and purification. **Endocrinology and Metabolism**, v. 32, p. 18–22, 2017.
- LESSA, V. L. et al. Obtention and evaluation of physico-chemical and techno-functional properties of macauba (*Acrocomia aculeata*) kernel protein isolate. **Food Research International**, v. 161, p. 111848, 2022.
- L'HOCINE, L.; BOYE, J. I.; ARCAND, Y. Composition and functional properties of soy protein isolates prepared using alternative defatting and extraction procedures. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 3, 2006.
- LIANG, Q. et al. The impact of ultrasound duration on the structure of  $\beta$ -lactoglobulin. **Journal of Food Engineering**, v. 292, p. 110365, 2021.
- LIMA, A. C. de S. et al. Flowability of spray-dried sapodilla pulp powder. **Journal of Food Process Engineering**, v. 45, n. 9, p. e14092, 2022.
- LIMA, A. C.; GARCÍA, N. H. P.; LIMA, J. R. Obtenção e caracterização dos principais produtos do caju. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 133–144, jan./jun. 2004.
- LIMA, J. R. et al. Cashew nut-based beverage: Development, characteristics and stability during refrigerated storage. **Food Science and Technology**, v. 41, p. 60–64, jun. 2021a.
- LIMA, J. R. et al. Obtaining cashew kernel protein concentrate from nut processing by-product and its use to formulate vegetal burger. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, p. 1–9, 2021b.
- LIMA, J. R.; GARRUTI, D. S.; BRUNO, L. M. Physicochemical, microbiological and sensory characteristics of cashew nut butter made from different kernel grades-quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 45, n. 2, p. 180–185, 2012.
- LIMA, J. R.; PINTO, G. A. S.; MAGALHÃES, H. C. R. Óleo da amêndoa da castanha-de-caju: Métodos de extração. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2018. v. 165, 13 p., jun. 2018.
- LIMA, L. V. de. **Obtenção, caracterização e aplicação em alimentos de isolado e concentrado proteico de amêndoa de castanha de caju (*Anacardium occidentale* L.)**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- LI, S. et al. Preparation of branched canola protein isolate and effects of molecular architecture on solution flow properties. **LWT**, v. 79, p. 287–293, 2017.
- LIU, C. M. et al. Molecular and functional properties of protein fractions and isolate from cashew nut (*Anacardium occidentale* L.). **Molecules**, v. 23, n. 393, 2018a.

- LIU, R. et al. Fabricating soy protein hydrolysate/xanthan gum as fat replacer in ice cream by combined enzymatic and heat-shearing treatment. **Food Hydrocolloids**, v. 81, p. 39–47, 2018b.
- LOPES NETO, J. P. et al. Propriedade de fluxo e característica de escoabilidade de rações avícolas para dimensionamento de silos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 851–859, 2007.
- LUCAS, B.; SOTELO, A. Effect of different alkalies, temperature, and hydrolysis times on tryptophan determination of pure proteins and of foods. **Analytical Biochemistry**, v. 109, p. 192–197, 1980.
- LUPETTI, C.; CASSELLI, R. **O consumidor brasileiro e o mercado plant-based**. São Paulo: The Good Food Institute Brasil, 2022. E-book: PDF, 91 p. Disponível em: <https://gfi.org.br/resources/o-consumidor-brasileiro-e-o-mercado-plant-based-2022/>. Acesso em: 12 ago. 2023.
- MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Produtos plant-based**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/tomada-publica-de-subsidios/2022/produtos-plant-based>. Acesso em: 03 fev. 2023.
- MATHEWS, A. et al. Extraction and modification of protein from sesame oil cake by the application of emerging technologies. **Food Chemistry Advances**, v. 2, p. 100326, 2023.
- MA, X. et al. Effect of oil extraction methods on walnut oil quality characteristics and the functional properties of walnut protein isolate. **Food Chemistry**, v. 438, p. 138052, 2024.
- MCCLEMENTS, D. J.; GROSSMANN, L. The science of plant-based foods: Constructing next-generation meat, fish, milk, and egg analogs. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 4, p. 1–52, 2021.
- MCGUIRE, C. et al. Food powder flow in extrusion: Role of particle size and composition. **Processes**, v. 10, n. 1, 13 p., 2022.
- MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. New York: CRC, 3. ed., 281 p., 1999.
- MIRANDA, C. G. et al. Lentil protein: impact of different extraction methods on structural and functional properties. **Heliyon**, v. 8, n. 11, p. e11775, 2022.
- MIRANDA, C. G. et al. Influence of ohmic heating on lentil protein structure and protein-pectin interactions. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 87, p. 103413, 2023.
- MOKRZYCKI, W.; TATOL, M. Color difference  $\Delta E$  - A survey. **Machine Graphics and Vision**, v. 20, n. 4, p. 383–411, 2011.
- MORAVKAR, K. K. et al. Assessment of pharmaceutical powders flowability and comparative evaluation of lubricants on development of gastro retentive tablets: An

application of powder flow tester. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 71, p. 103265, 2022.

NAHIMANA, P. et al. Physico-chemical, functional, and structural properties of un-defatted, cold and hot defatted yellow lupin protein isolates. **Food Chemistry**, v. 437, n. 137871, 2024.

NOUSKA, C. et al. Structural and physicochemical properties of sesame cake protein isolates obtained by different extraction methods. **Food Hydrocolloids**, v. 151, p. 109757, 2024.

OGUNWOLU et al. Nutritional evaluation of cashew (*Anacardium occidentale*, l.) nut protein concentrate and isolate. **African Journal of Food Science**, v. 9, n. 1, p. 23–30, 2015.

OGUNWOLU, S. O. et al. Functional properties of protein concentrates and isolates produced from cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut. **Food Chemistry**, v. 115, n. 3, p. 852–858, 2009.

OLIVEIRA, G. F. de. **Óleo de amêndoa de castanha de caju: obtenção, potenciais usos e desenvolvimento de produto**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

OMURA, M. H. et al. Effects of protein concentration during ultrasonic processing on physicochemical properties and techno-functionality of plant food proteins. **Food Hydrocolloids**, v. 113, 2021.

OTERO, D. M. et al. Exploring alternative protein sources: Evidence from patents and articles focusing on food markets. **Food Chemistry**, v. 394, p. 133486, 2022.

PACHECO, M. T. B.; SADAHIRA, M. S. **Proteínas vegetais (plant-based)**. São Paulo: Tiki Books: The Good Food Institute Brasil, 2022. (Série Tecnológica das Proteínas Alternativas). E-Book: PDF, 51 p.

PACHIONE, R. Processos melhorados deixam rótulos limpos. 2019. Disponível em: <https://www.quimica.com.br/processos-melhorados-deixam-rotulos-limpos-fisa-2019/>. Acesso em: 15 mar. 2024.

PEARCE, K. N.; KINSELLA, J. E. Emulsifying properties of proteins: Evaluation of a turbidimetric technique. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 26, n. 3, p. 716–723, 1978.

PIGHINELLI, A. L. M. T. et al. Otimização da prensagem a frio de grãos de amendoim em prensa contínua tipo expeller Optimization peanut grain expelling. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 66–71, 2008.

QIN, P.; WANG, T.; LUO, Y. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 7, p. 100265, 2022.

REECE, J. B. et al. **Biologia de Campbell**. Porto Alegre: Artmed, 2015. 10 ed., 2015.

REGINALDO, M. G. **Desenvolvimento de empanado vegetal à base de grão de bico**. 2021. 45 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

RICO, R; BULLÓ, M.; SALAS-SALVADÓ, J. Nutritional composition of raw fresh cashew (*Anacardium occidentale* L.) kernels from different origin. **Food Science & Nutrition**, v. 4, n. 2, p. 329–338, 2016.

RODSAMRAN, P.; SOTHORNVIT, R. Physicochemical and functional properties of protein concentrate from by-product of coconut processing. **Food Chemistry**, v. 241, p. 364–371, 2018.

RYAN, E. et al. Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of Brazil, pecan, pine, pistachio and cashew nuts. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 57, n. 3/4, p. 219–228, mai./ jun. 2006.

SÁ, A. G. A.; MORENO, Y. M. F.; CARCIOFI, B. A. M. Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. **Trends in Food Science and Technology**, v. 97, p. 170–184, jan. 2020.

SANTOS-HERNÁNDEZ, M. et al. Compared digestibility of plant protein isolates by using the INFOGEST digestion protocol. **Food Research International**, v. 137, p. 109708, 2020.

SCHOLZ-AHRENS, K. E.; AHRENS, F; BARTH, C. A. Nutritional and health attributes of milk and milk imitations. **European Journal of Nutrition**, v. 59, n. 1, p. 19–34, 2020.

SHAGHAGHIAN, S. et al. Digestibility and bioavailability of plant-based proteins intended for use in meat analogues: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 129, p. 646–656, 2022.

SHAH, D. S. et al. A concise summary of powder processing methodologies for flow enhancement. **Heliyon**, v. 9, n. 6, p. e16498, 2023.

SHARIMA-ABDULLAH, N. et al. Physicochemical properties and consumer preference of imitation chicken nuggets produced from chickpea flour and textured vegetable protein. **International Food Research Journal**, v. 25, n. 3, p. 1016–1025, 2018.

SHARMA, G. M. et al. Functional properties of select edible oilseed proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 9, p. 5457–5464, 2010.

SHARMA, P. et al. Valorization of cashew nut processing residues for industrial applications. **Industrial Crops and Products**, v. 152, p. 112550, 2020.

SILVA, A. M. M. et al. **Estudo de proteínas vegetais nacionais com potencial para aplicação em alimentos vegetais análogos**. São Paulo: The Good Food Institute Brasil, 2023a. Disponível em: <https://gfi.org.br/resources/estudo-de-proteinas-vegetais-nacionais-com-potencial-para-aplicacao-em-alimentos-vegetais-analogos-2/>. Acesso em: 07 jan. 2024.

SILVA, A. M. M. DA et al. How do pH and temperature influence extraction yield, physicochemical, functional, and rheological characteristics of brewer spent grain protein concentrates? **Food and Bioproducts Processing**, v. 139, p. 34–45, 2023b.

SILVA, C. M. et al. Guia para caracterização tecnológica-funcional de ingredientes proteicos para o mercado de produtos de origem vegetal. **Documentos**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2022. v. 145, 27 p., mar. 2022.

SILVA, A. M. M. DA; ALMEIDA, F. S.; SATO, A. C. K. Functional characterization of commercial plant proteins and their application on stabilization of emulsions. **Journal of Food Engineering**, v. 292, p. 110277, 2021.

SILVA, Y. Y. V.; AMARAL, S. M. B.; MOURA, S. M. A. Utilização da farinha de castanha de caju na elaboração de biscoito integral tipo cookie. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e42610615527, 2021.

SILVA, J. G. S. et al. *In vitro* digestion effect on mineral bioaccessibility and antioxidant bioactive compounds of plant-based beverages. **Food Research International**, v. 130, p. 108993, 2020.

STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory Evaluation Practices**. London: Academic Press, 2004. 311 p., 2004.

SUN, X. et al. Effect of ultrasound-assisted extraction on the structure and emulsifying properties of peanut protein isolate. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 3, p. 1150–1160, 2021.

TALLENT, S. et al. BAM Chapter 12: Staphylococcus aureus. **Bacteriological Analytical Manual**: Food and Drug Administration, 2016. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-12-staphylococcus-aureus>. Acesso em: 25 out. 2022.

VASILENKO, A.; GLASSER, B. J.; MUZZIO, F. J. Shear and flow behavior of pharmaceutical blends – Method comparison study. **Powder Technology**, v. 208, n. 3, p. 628–636, 2011.

VIANA, K. D. A. L. et al. **Produto alimentício à base de proteína vegetal e castanha de cajú**. Depositante: Universidade Federal do Maranhão (UFMA). BR n. 10 2016 013958 9 A2. Depósito: 16 jun. 2016. Disponível em: <https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodPedido=1384911&SearchParameter=CASTANHA%20DE%20CAJU%20%20%20%20%20%20%20%20&Resumo=&Titulo=>. Acesso em: 11 mar. 2024.

WANG, J. et al. Extraction, structural and functional properties of lipophilic protein isolated from peanut defatted powder. **LWT**, v. 201, p. 116235, 2024.

WHITE, J. A.; HART, R. J.; FRY, J. C. An evaluation of the Waters Pico-Tag system for the amino-acid analysis of food materials. **Journal of Automatic Chemistry**, v. 8, n. 4, p. 170–177, 1986.

- WURLITZER, N. J. et al. Bebida vegetal de amêndoa de castanha-de-caju desenvolvida pela Embrapa comparada a produto comercial. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2021. v. 219, 16 p., jul. 2021.
- XAVIER, A. D. S. et al. Bioaccessibility of Fe and Zn (associated to proteins) in cashew nut. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 83, p. 103259, 2019.
- XI, Y. et al. Properties of oxidatively torrefied *Chinese fir* residue: Color dimension, pyrolysis kinetics, and storage behavior. **Fuel Processing Technology**, v. 213, p. 106663, 2021.
- XU, M. et al. HS-SPME-GC-MS/olfactometry combined with chemometrics to assess the impact of germination on flavor attributes of chickpea, lentil, and yellow pea flours. **Food Chemistry**, v. 280, p. 83–95, 2019.
- YANG, Y. et al. Meat and plant-based meat analogs: Nutritional profile and in vitro digestion comparison. **Food Hydrocolloids**, v. 143, 2023.
- YEJUN, Z. et al. **Separation method for high-quality cashew proteins**. Depositante: Univ Nanchang. CN n. 103694310A. Depósito: 27 dez. 2013. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/050355995/publication/CN103694310A?q=CN103694310A>. Acesso em: 11 mar. 2024.
- YOUNIS, K. et al. A critical review focusing the effect of ingredients on the textural properties of plant-based meat products. **Journal of Texture Studies**, v. 54, n. 3, p. 365–382, 2023.
- YULIARTI, O.; KIAT KOVIS, T. J.; YI, N. J. Structuring the meat analogue by using plant-based derived composites. **Journal of Food Engineering**, v. 288, p. 110138, 2021.
- ZHAO, X. et al. FTIR spectra studies on the secondary structures of 7S and 11S globulins from soybean proteins using AOT reverse micellar extraction. **Food Hydrocolloids**, v. 22, n. 4, p. 568–575, 2008.
- ZHENG, L. et al. Soy protein isolates: A review of their composition, aggregation, and gelation. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, p. 1940–1957, 2022.
- ZHU, K. X. et al. Comparison of functional properties and secondary structures of defatted wheat germ proteins separated by reverse micelles and alkaline extraction and isoelectric precipitation. **Food Chemistry**, v. 123, p. 1163–1169, 2010.

## ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

	<b>TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO</b> NÚMERO DO PARECER NO CEP: 3.117.036 (CONEP)
<p>Título da Pesquisa: Desenvolvimento de produtos e processos de interesse da agroindústria tropical.</p> <p>Pesquisador responsável por obter o consentimento: Deborah dos Santos Garruti</p> <p>Pesquisador responsável pelos experimentos: Ana Paula Dionísio</p> <p>Endereço: Rua Dra Sara Mesquita, 2270, Planalto Pici, Fortaleza, CE.</p> <p>Email: <a href="mailto:deborah.garruti@embrapa.br">deborah.garruti@embrapa.br</a> / <a href="mailto:ana.dionisio@embrapa.br">ana.dionisio@embrapa.br</a> Fones: (85) 984102000 / (85) 999994400</p>	
<p>Você está sendo convidado(a) a participar como voluntário(a) desta pesquisa que tem como finalidade desenvolver novos produtos e processos de conservação de alimentos e bebidas, de forma a torná-los seguros, mas com elevado apelo sensorial para o consumidor. Sua tarefa será comparecer ao Laboratório de Análise Sensorial, quando solicitado, onde em cerca de 20 minutos realizará um teste sensorial sobre sua aceitação e preferência em relação aos produtos estudados. Você não terá nenhum tipo de despesa e nem será remunerado para participar desta pesquisa. Entretanto, esperamos que este estudo traga informações importantes para contribuir com o avanço do conhecimento científico e tecnológico, influenciando o desenvolvimento socioeconômico dos agentes envolvidos na cadeia produtiva em questão e para a sociedade como um todo.</p> <p>Sua participação não é obrigatória, e a qualquer momento você poderá desistir de participar e retirar seu consentimento. Sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com o pesquisador ou com a instituição. Os procedimentos adotados nesta pesquisa foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP). O CEP é um colegiado responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos. O papel do CEP neste estudo é garantir que as perguntas formuladas ao provador e a abordagem utilizada são eticamente adequadas de acordo com as diretrizes nacionais (Resolução nº 466/12 e Resolução nº 510/16 do Conselho Nacional de Saúde) e internacionais (CIOMS).</p> <p>Nenhum dos procedimentos utilizados oferecem riscos à sua dignidade. O consumo deste produto também não oferece riscos à saúde, contudo se ocorrer algum desconforto durante ou até 12 h após a análise você receberá assistência médica integral e gratuita, pelo tempo que for necessário. Após a assinatura deste TCLE, caso ocorram danos à sua saúde decorrentes da sua participação nesta pesquisa, o patrocinador se responsabilizará por todos os gastos relativos aos exames e procedimentos necessários. Ainda lhe será garantido o sigilo que assegure a privacidade da sua identidade, como também a confidencialidade de todos os resultados obtidos, pois somente os pesquisadores terão acesso aos dados. Serão divulgados somente os dados relacionados aos objetivos desta pesquisa.</p> <p>Após estes esclarecimentos, solicitamos o seu consentimento de forma livre para participar desta pesquisa. Se concorda, por favor preencha e assine o documento. Você receberá uma cópia deste termo, onde constam e-mail e telefone do pesquisador responsável, podendo tirar dúvidas do projeto e de sua participação.</p>	
<p>Eu, ....., após ter recebido uma cópia deste Termo de Consentimento, ter lido as informações contidas no documento e ter tido a oportunidade de conversar com o pesquisador responsável para esclarecer todas as minhas dúvidas, acredito estar suficientemente informado(a) sobre o objetivo da pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Ficou claro para mim que minha participação é voluntária e que posso retirar este consentimento a qualquer momento, sem que isso leve a qualquer penalidade. Diante do exposto expresso de espontânea vontade minha concordância em participar como voluntário do projeto de pesquisa acima descrito.</p> <p>Fortaleza, ..... de ..... de .....</p> <p style="text-align: right;">_____</p> <p style="text-align: right;">Assinatura do voluntário</p> <p style="text-align: center;">_____</p> <p style="text-align: center;">Assinatura do responsável pela pesquisa                      Assinatura do responsável por obter o consentimento</p> <p>Endereço do Comitê de Ética: 8109 - Santa Casa de Misericórdia de Sobral R. Antônio Crisóstomo de Melo, 919 - Centro, Sobral – CE.</p>	

## APÊNDICE A – FICHA DE PERFIL DOS PROVADORES

### ANÁLISE SENSORIAL DE EMPANADO VEGETAL PROTEICO

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Provador (a) nº

Sexo: ( ) Fem ( ) Masc ( ) Prefiro não declarar Faixa etária: ( ) < 25 ( ) 25-35 ( ) 36-45 ( ) 46-55 ( ) > 55

Você se encaixa em algum perfil de consumidor de produtos vegetais? ( ) sim ( ) não

Se sim, marque uma das opções a seguir:

( ) vegetariano ( ) vegano ( ) flexitariano

( ) outro: \_\_\_\_\_

Você consome empanado, nugget ou outro petisco VEGETAL? ( ) sim ( ) não

Se sim, com que frequência você consome?

( ) Diariamente ( ) 2 a 3 vezes por semana ( ) 1 vez por semana ( ) Quinzenalmente ( ) Eventualmente

Se sim, em que momento você consome empanado, nugget ou outro petisco VEGETAL?

( ) Lanche ( ) Refeição ( ) Dieta ( ) Bares / Restaurantes

Por que você consome?

( ) preferência ( ) é saudável ( ) consciência ecológica ( ) respeito à vida dos animais ( ) composição nutricional

( ) outros: \_\_\_\_\_

Você se preocupa com o teor de proteínas quando consome petiscos e/ou lanches? ( ) sim ( ) não

Se sim, por que?

( ) porque já sabe a importância das proteínas na dieta ( ) recomendação de algum profissional (nutricionista, médico, educador físico)

( ) outros: \_\_\_\_\_

**A SEGUIR, VOCÊ ESTÁ SENDO CONVIDADO (A) PARA REALIZAR A AVALIAÇÃO SENSORIAL DE AMOSTRAS DE EMPANADO VEGETAL PROTEICO. DESDE JÁ, AGRADECEMOS A SUA PARTICIPAÇÃO!**

## APÊNDICE B – FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL

PROVADOR

### ANÁLISE SENSORIAL DE EMPANADO VEGETAL PROTEICO

NOME: \_\_\_\_\_ DATA: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

AMOSTRA 457

1. Você está recebendo uma amostra de empanado vegetal proteico. Por favor, analise a aparência da amostra, cheire e depois prove-a. Indique o quanto você gostou ou desgostou da amostra de um modo **GERAL (aceitação global)**, fazendo umX no termo da escala hedônica que mais expressa sua opinião.

<b>ACEITAÇÃO GLOBAL</b>	<b>Escala Hedônica</b>	Comentários: _____ _____ _____
	 Desgostei muitíssimo    Desgostei muito    Desgostei pouco    Nem gostei nem desgostei    Gostei pouco    Gostei    Gostei muito    Gostei muitíssimo	

2. Agora indique o quanto você gostou ou desgostou apenas da **APARÊNCIA EXTERNA**, individualmente:

<b>APARÊNCIA EXTERNA</b>	<b>Escala Hedônica</b>	Comentários: _____ _____ _____
	 Desgostei muitíssimo    Desgostei muito    Desgostei pouco    Nem gostei nem desgostei    Gostei pouco    Gostei    Gostei muito    Gostei muitíssimo	

3. Agora indique o quanto você gostou ou desgostou apenas da **APARÊNCIA INTERNA**, individualmente:

<b>APARÊNCIA INTERNA</b>	<b>Escala Hedônica</b>	Comentários: _____ _____ _____
	 Desgostei muitíssimo    Desgostei muito    Desgostei pouco    Nem gostei nem desgostei    Gostei pouco    Gostei    Gostei muito    Gostei muitíssimo	

4. Indique o quanto você gostou ou desgostou apenas do **SABOR**, individualmente:

<b>SABOR</b>	<b>Escala Hedônica</b>	Comentários: _____ _____ _____
	 Desgostei muitíssimo    Desgostei muito    Desgostei pouco    Nem gostei nem desgostei    Gostei pouco    Gostei    Gostei muito    Gostei muitíssimo	

5. Indique o quanto você gostou ou desgostou apenas da **TEXTURA**, individualmente:

<b>TEXTURA</b>	<b>Escala Hedônica</b>	Comentários: _____ _____ _____
	 Desgostei muitíssimo    Desgostei muito    Desgostei pouco    Nem gostei nem desgostei    Gostei pouco    Gostei    Gostei muito    Gostei muitíssimo	

6. Por fim, utilizando a escala abaixo, indique sua atitude de compra caso você encontrasse esse produto à venda no mercado:

- ( ) Certamente compraria  
 ( ) Provavelmente compraria  
 ( ) Talvez comprasse, talvez não comprasse  
 ( ) Provavelmente não compraria  
 ( ) Certamente não compraria

Comentários: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

OBRIGADO!