

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS

ISABELLY DE CAMPOS CARVALHO CABASSA

**HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DA TORTA DE AMÊNDOA DE  
BARU (DIPTERYX ALATA VOGEL) E DETERMINAÇÃO DE  
PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E BIOATIVAS**

Goiânia

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

#### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação     Tese     Outro\*: \_\_\_\_\_

\*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

#### 2. Nome completo do autor

**Isabelly de Campos Carvalho Cabassa**

#### 3. Título do trabalho

HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DA TORTA DE AMÊNDOA DE BARU (DIPTERYX ALATA VOGEL) E DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E BIOATIVAS.

#### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
- b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Mariana Buranelo Egea, Usuário Externo**, em 05/02/2025, às 10:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Isabelly De Campos Carvalho Cabassa, Discente**, em 05/02/2025, às 14:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5142890** e o código CRC **DCFA6511**.

ISABELLY DE CAMPOS CARVALHO CABASSA

**HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DA TORTA DE AMÊNDOA DE  
BARU (DIPTERYX ALATA VOGEL) E DETERMINAÇÃO DE  
PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E BIOATIVAS**

Dissertação de mestrado apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, como exigência para a obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, na área de concentração em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

**Orientadora:** Profa. Dra. Mariana Buranelo Egea

**Coorientadora:** Profa. Dra. Sibeles Santos Fernandes

Goiânia  
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Cabassa, Isabelly de Campos Carvalho  
HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DA TORTA DE AMÊNDOA DE BARU (DIPTERYX ALATA VOGEL) E DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E BIOATIVAS [manuscrito] / Isabelly de Campos Carvalho Cabassa, Isabelly de Campos Carvalho Cabassa, Isabelly de Campos Carvalho Cabassa. - 2024.  
XCII, 92 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Mariana Buranelo Egea; co-orientadora Dra. Sibebe Santos Fernandes.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Goiânia, 2024.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, lista de tabelas.

1. Cerrado. 2. Aminoácidos. 3. Propriedades tecnológicas. 4. peptídeos bioativos. I. Egea, Mariana Buranelo, orient. II. Título.

CDU 63



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE AGRONOMIA

### ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 202 da sessão de Defesa de Dissertação de Isabelly de Campos Carvalho Cabassa, que confere o título de Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos, na área de concentração em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Aos vinte e nove dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e quatro, a partir das quatorze horas, no Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada "HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DA TORTA DE AMÊNDOA DE BARU (*Dipteryx alata* vogel) E DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E BIOATIVAS". Os trabalhos foram instalados pela Orientadora, Doutora Mariana Buranelo Egea (PPGCTA/UFG), com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Doutor Franciello Vendruscolo (PPGCTA/UFG), membro titular interno, Doutora Raphaela Gabri Bitencourt (IF Goiano), membro externo, Doutor Ailton Cesar Lemes (UFRJ/EQ), membro titular externo e Doutor Josemar Gonçalves de Oliveira Filho (UIC), membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca não fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata aprovada pelos seus membros. Proclamados os resultados pela Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora.

#### TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por Franciello Vendruscolo, Professor do Magistério Superior, em 29/02/2024, às 17:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Mariana Buranelo Egea, Usuário Externo, em 29/02/2024, às 17:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Ailton Cesar Lemes, Usuário Externo, em 04/03/2024, às 14:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador 4417134 e o código CRC 4F60F979.

Referência: Processo nº 23070.011524/2024-83

SEI nº 4417134

***Dedicatória***

*Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, que, durante os últimos dois anos, me deu forças, sabedoria e entendimento para guiar minhas decisões e enfrentar os problemas.*

*Aos meus pais, Ozeli Gonçalves de Campos Cabassa (in memoriam) e Marcelo*

*Andrade Carvalho Cabassa.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre ouviu minhas orações e súplicas e foi meu suporte nos dias de angústia, dúvidas e preocupações. Sempre que eu tinha certeza de que algo não daria certo, Ele confortava meu coração e me dava forças para continuar.

À minha mãe, Ozeli Gonçalves de Campos Cabassa, que já descansa nos braços do Senhor e foi minha maior apoiadora, junto com meu pai, Marcelo Andrade Carvalho Cabassa, na realização da pós-graduação (Mestrado e Doutorado). Infelizmente, ela não pôde presenciar esta primeira conquista, mas tenho certeza de que estaria agora, neste momento, celebrando comigo e com nossa família.

Ao meu pai, que, nesses últimos dois anos, me apoiou inúmeras vezes, sempre com uma palavra de conforto e tranquilidade nos momentos de incertezas e preocupações. Eu te amo, papai! Muito obrigada por tudo e por me criar com tanto amor!

Aos meus dois irmãos mais novos, Guilherme e Nicolas, por sempre estarem ao meu lado, me dando suporte e compreendendo os momentos de ausência e dedicação à pesquisa. Amo vocês!

Aos meus amigos, Tainara, Samuel, Diego, Geovanna, Larissa, Raquel e Bianca, que sempre me ouviram quando eu precisava de um conselho ou um ombro amigo. Em especial, à Tainara, que estava diariamente comigo no laboratório, pelas conversas, conselhos, ajuda nos momentos de dificuldades durante a pesquisa e pela frase: "Para de ser doida, Isa, vai dar tudo certo!" E deu. Muito obrigada!

Ao meu namorado, Cássio, que muito me ajudou nesta reta final, sem medir esforços para deixar o ambiente o mais confortável e tranquilo, sempre preparando comidinhas deliciosas e resolvendo todos os problemas fora do mestrado por mim. Muito obrigada, eu te amo!

À minha co-orientadora, Sibebe, por toda a ajuda e paciência em resolver os problemas das análises quando eu já não sabia mais o que fazer. Obrigada!

Por fim, à minha orientadora, Mariana, por ter me guiado nesses últimos dois anos, por me tranquilizar nos dias em que eu ficava ansiosa e queria resolver tudo de uma vez, por acreditar no meu potencial e me incentivar a continuar neste caminho. Muito obrigada, professora!

Agradeço também ao GFI Brasil, à FAPEG (Processos 202310267000884 e 202310267001405), ao CNPq (Processo 308489/2020-9), ao IF Goiano/PROPPI (Processo 23216.000940.2022-92) por todo o apoio financeiro e estrutural para o desenvolvimento da pesquisa, e à Universidade Federal de Goiás pela oportunidade de cursar uma pós-graduação, pela estrutura oferecida e pelo empenho do corpo docente e dos funcionários.

## RESUMO

O perfil dos consumidores de alimentos está em constante alteração, tendo aumentado a busca por uma dieta mais nutritiva e o consumo de alimentos funcionais que promovam algum benefício a saúde. Diversos processos podem dar origem a alimentos funcionais, como os bioprocessos, os quais incluem a hidrólise enzimática, um processo que desempenha um papel fundamental. Este processo envolve a quebra de ligações moleculares na presença de água, catalisada por enzimas, melhorando suas propriedades tecnológicas e nutricionais, especialmente no caso das proteínas. O mercado de proteínas vegetais está em ascensão devido à crescente preferência por fontes de alimentos não animais. Entre as opções de fontes de proteínas vegetais destaca-se a torta de amêndoa de baru, que é rica em proteínas (24 g/ 100g) que pode conter peptídeos com propriedades bioativas e tecnológicas em sua estrutura. Neste sentido, realizou a hidrólise enzimática da torta de amêndoa de baru e avaliou os hidrolisados obtidos, frente as suas características tecnológicas. A torta de baru foi submetida a hidrólise utilizando a enzima Alcalase, em diferentes condições de pH, temperaturas e proporção E:S, totalizando 17 experimentos. Foi realizado um delineamento experimental com três fatores e também foi conduzido para a escolha de um experimento ótimo, com avaliação da eficácia do modelo de segunda ordem usando R<sup>2</sup> e teste Tukey entre os tratamentos. Os hidrolisados foram caracterizados em relação a solubilidade, capacidade de retenção de água e óleo, capacidade de formação de gel, capacidade de formação e estabilidade de espuma, índice de atividade emulsificante e estabilidade da emulsão. Os hidrolisados apresentaram altos percentuais de grau de hidrólise (28%), excelentes propriedades de retenção de óleo (230,80%), emulsificantes (134,70 m<sup>2</sup>/g) e espumantes (40,40%). A modelagem matemática de segunda ordem, permitiu escolher uma variável resposta que melhor se adequou as variáveis independentes avaliadas, sendo a capacidade emulsionante apresentado a melhor adequação, tendo como escolha para o tratamento otimizado o experimento 12 (60°C, 9,35 (pH) e 2,5% (E:S)). Os resultados obtidos evidenciaram a presença de hidrolisados com propriedades tecnológicas dentro da torta da amêndoa de baru, indicando o potencial que o produto apresenta para aplicações em processos de alimentos.

**Palavras-chaves:** Cerrado, Aminoácidos, Propriedades tecnológicas, peptídeos bioativos.

# ENZYMATIC HYDROLYSIS OF BARU ALMOND PIE (*DIPTERYX ALATA VOGEL*) AND DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL AND BIOACTIVE PROPERTIES

## ABSTRACT

The profile of food consumers is constantly changing, with an increasing demand for a more nutritious diet and the consumption of functional foods that promote health benefits. Various processes can give rise to functional foods, such as bioprocesses, which include enzymatic hydrolysis, a process that plays a fundamental role. This process involves breaking molecular bonds in the presence of water, catalyzed by enzymes, improving their technological and nutritional properties, especially in the case of proteins. The plant protein market is on the rise due to the growing preference for non-animal food sources. Among the options for plant protein sources, baru almond cake stands out, being rich in proteins (24 g/100 g), which may contain peptides with bioactive and technological properties in its structure. In this context, enzymatic hydrolysis of the baru almond cake was carried out, and the obtained hydrolysates were evaluated for their technological characteristics. The baru cake was subjected to hydrolysis using the enzyme Alcalase, under different pH conditions, temperatures, and E:S ratios, totaling 17 experiments. An experimental design with three factors was conducted to choose an optimal experiment, evaluating the effectiveness of the second-order model using  $R^2$  and Tukey's test among the treatments. The hydrolysates were characterized in terms of solubility, water and oil holding capacity, gel-forming capacity, foam formation and stability capacity, emulsifying activity index, and emulsion stability. The hydrolysates showed high percentages of degree of hydrolysis (28%), excellent oil holding properties (230.80%), emulsifying properties (134.70  $\text{m}^2/\text{g}$ ), and foaming properties (40.40%). The second-order mathematical modeling allowed the selection of a response variable that best fit the evaluated independent variables, with emulsifying capacity showing the best fit, making experiment 12 (60°C, 9.35 pH, and 2.5% E:S) the optimized treatment choice. The obtained results highlighted the presence of hydrolysates with technological properties within the baru almond cake, indicating the potential that the product has for applications in food processes.

**Keywords:** Cerrado, Amino acids, Technological properties, bioactive peptides.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fluxograma de processo de preparo de amostra .....	19
<b>Figura 2.</b> Ordem de realização das hidrólises e propriedade tecnológicas presente estudo ....	38
<b>Figura 3.</b> Metodologia de hidrólise enzimática da torta de amêndoa de baru .....	41
<b>Figura 4.</b> Curva do grau de hidrólise da hidrólise enzimática da torta de baru ( <i>Dipteryx alata</i> vogel) utilizando a enzima Alcalase .....	48
<b>Figura 5.</b> Percentual de solubilidade da hidrólise enzimática da torta de baru utilizando a enzima Alcalase. (A) Gráfico de barras, (B) Gráfico de linhas. Valores expressos pela média e desvio padrão da duplicata. Letras diferentes entre linhas na mesma coluna mo .....	61
<b>Figura 6.</b> Gráficos da superfície de resposta da variável dependente de capacidade de emulsão. (A) Superfície 3D, (B) Superfície 2D.....	68
<b>Figura 7.</b> Curva do grau de hidrólise da hidrólise enzimática da torta de baru utilizando a enzima Flavourzyme.....	69
<b>Figura 8.</b> Percentual de solubilidade da hidrólise enzimática da torta de baru utilizando a enzima Flavourzyme. (A) Gráfico de barras, (B) Gráfico de linhas. Valores expressos pela média e desvio padrão da duplicata. Letras diferentes entre linhas na mesma coluna.....	78
<b>Figura 9.</b> Capacidade de formação de gel apresentada pelos hidrolisados com a enzima Flavourzyme. (A) – Formação de gel com alto escoamento; (B) Formação de gel com baixo escoamento; (C) Formação de gel sem escoamento.....	79
<b>Figura 10.</b> Gráficos da superfície de resposta da variável dependente de capacidade de emulsão. (A) Superfície 3D, (B) Superfície 2D.....	85

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Subprodutos vegetais que podem constituir fontes de proteínas para a indústria de alimentos e suas principais características.....	17
<b>Tabela 2.</b> Variáveis codificadas e decodificadas utilizadas no delineamento composto central rotacional da hidrólise utilizando a enzima Alcalase e Flavourzyme .....	40
<b>Tabela 3.</b> Composição proximal da torta de amêndoa de baru, em base seca, e valor energético .....	47
<b>Tabela 4.</b> Percentual de grau de hidrólise (GH), teor proteico, tempo mínimo e rendimentos da torta de baru hidrolisada utilizando enzima Alcalase .....	50
<b>Tabela 5.</b> Capacidade de retenção de água (CRA) e óleo (CRO), formação de espuma (FE), capacidade e estabilidade de emulsão dos hidrolisados utilizando a enzima Alcalase .....	55
<b>Tabela 6.</b> Estabilidade da espuma (EE) do hidrolisado da torta de baru utilizando a enzima Alcalase .....	58
<b>Tabela 7.</b> Capacidade de formação de gel nos hidrolisados da torta de baru utilizando enzima Alcalase .....	62
<b>Tabela 8.</b> Atividade antioxidante nos hidrolisados da torta de baru utilizando enzima Alcalase Atividade antioxidante nos hidrolisados da torta de baru utilizando enzima Alcalase .....	64
<b>Tabela 9.</b> Parâmetros de cor nos hidrolisados da torta de baru utilizando enzima Alcalase ...	66
<b>Tabela 10.</b> Anova e coeficiente de regressão para a resposta de tratamento ótimo de hidrolisados de proteína de torta de amêndoa de baru.....	67
<b>Tabela 11.</b> Percentual de grau de hidrólise (GH), tempo mínimo e máximo para o GH, teor proteico e rendimentos da torta de baru hidrolisada utilizando enzima Flavourzyme .....	71
<b>Tabela 12.</b> Capacidade de retenção de água (CRA) e óleo (CRO), formação de espuma (FE), capacidade e estabilidade de emulsão dos hidrolisados utilizando a enzima Flavourzyme .....	73
<b>Tabela 13.</b> Estabilidade da espuma (%) do hidrolisado da torta de baru utilizando a enzima Flavourzyme .....	75
<b>Tabela 14.</b> Capacidade de formação de gel nos hidrolisados da torta de baru utilizando enzima Flavourzyme .....	79
<b>Tabela 15.</b> Atividade antioxidante nos hidrolisados da torta de baru utilizando enzima Flavourzyme .....	81
<b>Tabela 16.</b> Parâmetros de cor nos hidrolisados da torta de baru utilizando enzima Flavourzyme .....	83

<b>Tabela 17.</b> Anova e coeficiente de regressão para a resposta de tratamento ótimo de hidrolisados de proteína de torta de amêndoa de baru.....	84
---	----

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: Alterações das propriedades funcionais de proteína de subprodutos agroindustriais através do processo de hidrólise .....	12
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. GERAÇÃO E USO DE SUBPRODUTOS .....	14
2.1. Principais subprodutos da agroindústria vegetal .....	15
3. OBTENÇÃO DAS PROTEÍNAS .....	19
3.1. Método convencional .....	20
3.2. Métodos verdes.....	21
4. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS.....	23
4.1. Propriedades surfactantes .....	23
4.2. Propriedades hidratantes.....	24
4.3. Propriedades hidrodinâmicas.....	25
5. APLICAÇÕES .....	27
6. CONCLUSÕES .....	28
REFERÊNCIAS .....	29
CAPÍTULO 2: OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE HIDROLISADOS DE TORTA DE BARU .....	36
1. INTRODUÇÃO.....	36
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	38
2.1. Material.....	38
2.2. Métodos .....	38
2.2.1. Caracterização da matéria-prima.....	39
2.3. Delineamento experimental.....	39
2.4. Hidrólise enzimática proteica .....	40
2.5. Avaliação do processo de hidrólise enzimática.....	41

2.5.1.	Grau de hidrólise .....	41
2.5.2.	Teor de proteína .....	42
2.5.3.	Determinação do rendimento .....	42
2.6.	Caracterização dos hidrolisados proteicos.....	43
2.6.1.	Capacidade de retenção de água e óleo.....	43
2.6.2.	Capacidade e estabilidade de espuma .....	43
2.6.3.	Índice de atividade emulsificante e estabilidade da emulsão.....	44
2.6.4.	Solubilidade .....	44
2.6.5.	Capacidade de formação de gel .....	45
2.6.6.	Atividade antioxidante .....	45
2.6.7.	Determinação da cor .....	46
2.7.	Análise estatística .....	46
3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
3.1.	Caracterização da matéria-prima .....	47
3.2.	Hidrólise enzimática com a enzima Alcalase .....	48
	3.2.1. Grau de hidrólise (GH), teor de proteína e rendimentos da hidrólise enzimática	48
	3.2.2. Capacidade de retenção de água e óleo.....	52
	3.2.3. Capacidade e estabilidade de espuma .....	56
	3.2.4. Capacidade e estabilidade de emulsão .....	59
	3.2.5. Solubilidades das proteínas.....	60
	3.2.6. Capacidade de formação e gel .....	62
	3.2.7. Atividade antioxidante .....	63
	3.2.8. Determinação da cor .....	64
	3.2.9. Modelagem matemática .....	67
	3.3.1. Grau de hidrólise (GH), teor de proteína e rendimentos da hidrólise enzimática	69

3.3.2. Capacidade de retenção de água e óleo.....	72
3.3.3. Capacidade e estabilidade de espuma .....	74
3.3.4. Capacidade e estabilidade de emulsão .....	76
3.3.5. Solubilidade de proteínas .....	76
3.3.6. Capacidade de formação e gel .....	78
3.3.7. Atividade antioxidante .....	80
3.3.8. Determinação da cor .....	81
3.3.9. Modelagem matemática .....	84
4. CONCLUSÃO.....	86
REFERÊNCIAS .....	87

# **CAPÍTULO 1: ALTERAÇÕES DAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS DE PROTEÍNA DE SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS ATRAVÉS DO PROCESSO DE HIDRÓLISE**

## **1. INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos a sustentabilidade alimentar tem se tornado um tema muito em alta por estar ligada a alguns objetivos traçados pela ONU na lista de metas de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O intuito principal dos 17 ODS desenvolvidos para serem alcançados até 2030 é garantir a segurança alimentar e nutricional da população mundial, erradicar pobreza e garantir meios de produções mais sustentáveis, estando a produção de alimentos inclusa nestes meios de produção (United Nations, 2015).

Desde então os pesquisadores da área de alimentos voltaram-se para o desenvolvimento de pesquisas que atendam a solucionar estes problemas, impulsionados também pela demanda do mercado consumidor (RAYA-TAPIA et al., 2024). Agregando-se a isso, agroindústrias de alimentos em todo mundo produzem milhares de toneladas de resíduos que ainda são aptos para nutrição humana e apresentam alto teor nutricional, podendo ser utilizados como fortificantes, para consumo direto ou desenvolvimento de embalagens (KARIMI SANI et al., 2023).

Os resíduos ainda apresentam excelente valor nutricional, exibindo altos teores de proteínas, fibras, carboidratos, compostos fenólicos, minerais e vitaminas, os quais auxiliam na melhoria da saúde (TARCHI et al., 2024). As moléculas de proteínas desempenham uma importante função na nutrição humana, estando presentes em diversos alimentos de origem animal e vegetal (ORTEGA et al., 2024). Esses macronutrientes, formados basicamente de carbono, hidrogênio, nitrogênio e enxofre, são definidos como polímeros compostos por diversos aminoácidos, ligados entre si por ligações amidas e apresentam diversas funções nos sistemas biológicos (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

O interesse em proteínas vegetais tem aumentado com a preocupação da desnutrição proteica presente em países de baixa renda, além da preocupação ambiental e ética envolvida com o consumo de proteínas de origem animal, bem como a demanda proteica pelo aumento populacional (HUA et al., 2024; ORTEGA et al., 2024). Além da sua relevância em relação a

função nutricional, as proteínas também desenvolvem funções tecnológicas importante quando aplicadas a processos de produção de alimentos (MCCLEMENTS; GROSSMANN, 2021).

Dessa forma, fica nítido a importância nutricional e funcional associada as proteínas e a pressão industrial que existe para novas fontes proteicas bem como a melhoria tecnológica deste macronutriente. Diante disso, esta revisão tem como objetivo evidenciar a importância da utilização de subprodutos agroindustriais como matéria-prima proteica e o uso da hidrólise como meio facilitador da sua aplicação em relação as funções tecnológicas.

## 2. GERAÇÃO E USO DE SUBPRODUTOS

O crescimento da produção de alimentos, impulsionado pelo aumento da população global nas últimas décadas, tem resultado em uma grande geração de resíduos, correspondendo a cerca de 38% do desperdício total de alimentos no mundo (YU et al., 2024). Estes resíduos geram impactos ambientais durante o seu processo de descarte, pois a utilização de aterros, compostagem, incineração se mostram cada vez mais ineficientes, agregando o alto custo de manutenção e poluição ambiental (ESPARZA et al., 2020).

Parte destes resíduos descartados pelas indústrias podem ser definidos como subprodutos, já que estes podem ser consumidos por humanos e apresentam um perfil nutricional composto por macronutrientes, vitaminas, minerais, compostos antioxidantes e antimicrobianos. A origem desses subprodutos é vasta, podendo ser encontrada na indústria de pescados, hortifrútiçolas, pecuária e agrícola. Portanto, isso evidencia a potencialidade para serem utilizados na alimentação humana (KIM et al., 2022; PANZA et al., 2023).

Tendo em vista os problemas enfrentados para o descarte desses subprodutos, somando-se ao seu potencial para alimentação humana, a indústria alimentícia, juntamente com os pesquisadores, tem se concentrado em novas alternativas de utilização desses subprodutos. O principal destino dos subprodutos é para aplicação em produção de ração animal, devido ao seu potencial para nutrição dos animais. Entretanto, é possível encontrar na literatura estudos que abordam o uso de subproduto, tais como o uso das cascas de nozes como um antioxidante natural em óleo de girassol, diminuindo a reação de oxidação do óleo (MUSATI et al., 2023; NOSHIRVANI et al., 2015).

Apesar dos resultados positivos encontrados em estudos sobre o uso de subprodutos em aplicações de processos alimentares, a aceitação do consumidor é outro fator importante para a comercialização e consumo de alimentos que contêm subprodutos (NITZKO, 2023). Alguns consumidores têm a tendência de associar resíduos como aqueles descartáveis em lixeiras, sendo um ingrediente que pode contaminar e diminuir a qualidade do produto final (MAGNIER; MUGGE; SCHOORMANS, 2019). Um estudo conduzido por Nitzko (2023) sobre a aceitação do consumidor em relação ao uso de subprodutos de origem animal e vegetal revelou que, quando os consumidores avaliam produtos nos quais um ingrediente comum é diretamente substituído por um subproduto não convencional, a aceitação é baixa. No entanto, quando esses mesmos consumidores têm acesso a informações sobre o uso de subprodutos,

observa-se um aumento na aceitação devido à associação desses produtos com propostas sustentáveis e benefícios para a saúde.

A aceitação dos consumidores surge a partir de uma conscientização ambiental e por grupos de pessoas frugais, os quais tem um estilo de vida que visa a diminuir desperdícios de alimentos, escolhendo alimentos nutritivos e econômicos (ASCHEMANN-WITZEL et al., 2022). No entanto, de acordo com Grasso et al., (2023) a aceitação do uso de subprodutos vegetais é maior quando comparada ao mesmo uso de subprodutos animais em processamento de alimentos.

Apesar do receio inicial dos consumidores na aceitação de alimentos com aplicação de subprodutos, o interesse por produções sustentáveis reduz grande parte da rejeição inicialmente apresentada. No entanto, a crença de alguns consumidores na ausência de controle sanitário dos subprodutos, ainda é um fator que influencia diretamente na aceitação, sendo necessário ações que informem aos consumidores que os subprodutos usados na produção de alimentos, são seguros para consumo do ponto de vista microbiológico.

## **2.1. Principais subprodutos da agroindústria vegetal**

De acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO), (2019) aproximadamente 11,6% dos alimentos produzidos na América Latina e no Caribe são perdidos ou desperdiçados, deste percentual 46% corresponde a perdas de frutas, tubérculos e vegetais (FAO; PAHO; WFP; UNICEF, 2019). No Brasil estima-se que cerca de 46 milhões de toneladas de alimentos são desperdiçados anualmente, estando na 10<sup>o</sup> posição no ranking mundial de desperdício de alimentos, desperdiçando em média 60kg/capita (PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O AMBIENTE, 2021)

A utilização dos subprodutos agroindustriais vegetais para nutrição humana e aplicação a processos de alimentos e de embalagens foram estudados por diversos autores na literatura (GRIMALDI et al., 2022; HE; SAMPERS; RAES, 2021; WONGWAIWECH et al., 2019). Os subprodutos vegetais utilizados como objeto de estudo variam de acordo com o intuito da pesquisa, entretanto, nota-se uma tendência maior para a utilização de subprodutos derivados de sementes e cascas de frutas, cereais, leguminosas e produtos hortícolas, os quais geralmente são fontes de proteínas, fibras e minerais (REGUENGO et al., 2022).

Na Tabela 1 é apresentado os principais subprodutos vegetais que são fontes de proteínas, utilizados como materiais de estudo para a obtenção e aplicações de novos produtos,

assim como a investigação de suas propriedades. A seleção dos estudos exibidos na tabela foi realizada após a definição de 5 palavras chaves, as quais foram “alimentos funcionais”, “propriedades funcionais”, “isolado de proteína”, “subprodutos proteicos” e “Bio-resíduo proteico”. A pesquisa foi realizada com as palavras chaves em português e inglês, nas bases de dados Science Direct e Google Acadêmico. Foram considerados os subprodutos que apresentaram teor proteico igual ou superior a 10% em sua composição centesimal.

Durante o processamento de soja para a produção de tofu e leite de soja, é gerado um subproduto da moagem dos grãos de soja conhecido como okara, muito rico em proteína (25 g/100g), o processo gera aproximadamente cerca de 140 milhões de toneladas de subproduto por ano no mundo (SANTOS et al., 2019; WU et al., 2021). Quando não é descartado, seu destino é voltado geralmente para aplicação em ração animal ou em fertilizantes, entretanto a sua composição nutricional tem potencial para aplicações em processos de alimentos (ZHANG et al., 2022). Guimarães et al., (2018) ao avaliarem a aplicação de okara em pastas vegetais, obtiveram bons resultados quanto a aceitabilidade sensorial do produto desenvolvido. A pasta vegetal também apresentou um aumento no valor nutricional com a agregação deste subproduto, com baixo valor energético e elevado teor proteico (3,07 g/100 g) (GUIMARÃES et al., 2018).

Genevois e De Escalda Pla (2021) também avaliaram outro subproduto da soja vindo da extração lipídica para produção do óleo, que tem como resíduo o farelo parcialmente desengordurado. Os autores tiveram por objetivo melhorar a estrutura e demais características de qualidade de pães sem glúten. Os resultados evidenciaram que a adição do farelo contribuiu para uma melhor estruturação do miolo do pão, além de aumentar a intensidade da cor, por fim pequenas adições do mesmo farelo em conjunto com a fécula de mandioca contribuíram para um miolo mais macio e melhor recuperação da elasticidade (GENEVOIS; DE ESCALADA PLA, 2021).

**Tabela 1.** Subprodutos vegetais que podem constituir fontes de proteínas para a indústria de alimentos e suas principais características

<b>Subproduto vegetal</b>	<b>Forma de utilização</b>	<b>Aplicação/ Objetivo</b>	<b>Principais informações</b>	<b>Referência</b>
Okara	Alimento proteico	Pastas vegetais;	Aumento do valor nutricional no teor proteico e boa aceitação sensorial Aumento do volume especifico, melhor da atividade antioxidante e boa aceitação sensorial	Guimarães et al. (2018)
Farinha de chia desengordurada	Hidrolisado proteico	Pão de arroz;	Melhora da estrutura do miolo do pão e aumento da recuperação da elasticidade	Madruga et al., (2020)
Farelo de soja desengordurado	Alimento proteico	Pães sem glúten;	Melhora da atividade antioxidante e propriedades de inibição antimicrobiana	Genevois, De Escalda Pla, (2021)
Farelo de algodão	Hidrolisado proteico	Avaliação de propriedades antioxidantes e antimicrobianas	Aumento no teor de proteínas, alto teor de fenólicos totais e taninos	De Oliveira Filho et al., (2021)
Pó de polpa de baru	Alimento proteico	Biscoitos; Enriquecimento de propriedades nutricionais, avaliação compostos bioativos e antioxidantes	Aumento no valor nutritivo quanto aos teores de proteína e fibras, maior potencial antioxidante	Viana et al., (2023)
Torta de semente de maçã	Alimento proteico	Pão de trigo; Avaliação propriedades nutritivas, texturais, antioxidantes e sensoriais		Purić et al., (2020)

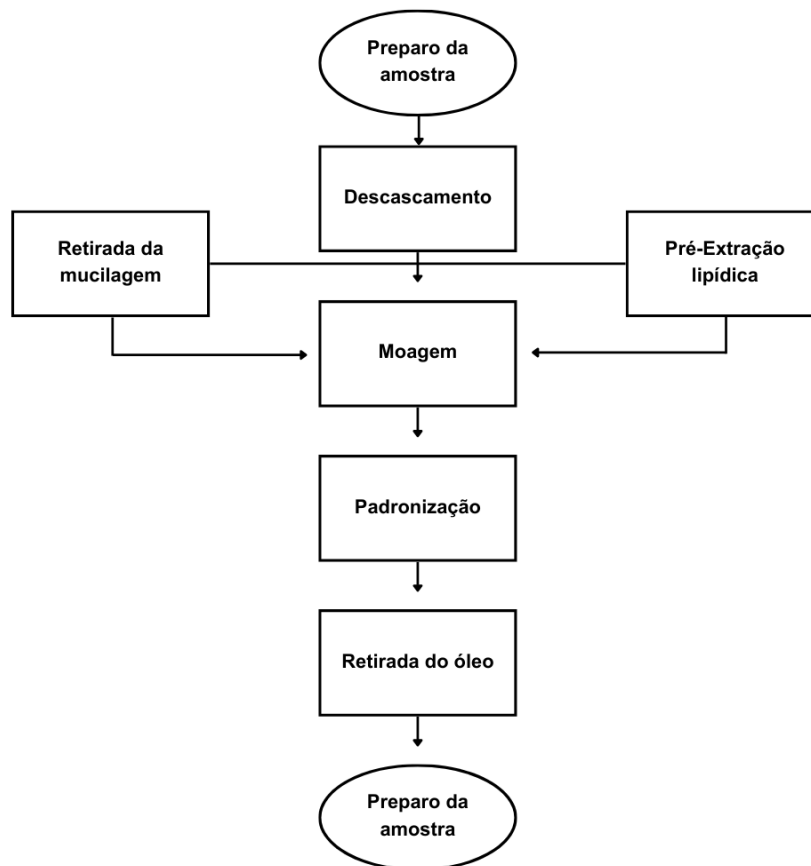
Proteína da batata-doce	Hidrolisado proteico	Pães; Avaliação na estabilidade de congelamento e efeitos nas propriedades reológicas	Melhora da retenção de água livre durante congelamento e propriedades reológicas	Chen et al., (2023)
Subproduto da extração de óleo de amêndoa	Hidrolisado proteico	Obtenção de peptídeos com alta atividade inibitória de $\alpha$ -glucosidase	Aumento da atividade inibitória de $\alpha$ -glucosidase e identificação de dois peptídeos bioativos	Gu et al., (2020)

---

### 3. OBTENÇÃO DAS PROTEÍNAS

Diversos métodos são aplicados para extração de proteínas vegetais, entretanto, alguns processos submetem as moléculas a condições extremas de temperatura e pH, podendo provocar desnaturação e perda das propriedades funcionais e tecnológicas (ALBOLAFIO et al., 2020). Com o objetivo de solucionar este problema, diversos métodos de obtenção de proteínas, considerados como tecnologias verdes tem surgido (HEWAGE et al., 2024). Neste tópico serão discutidos o método convencional de extração alcalina e os principais métodos verdes usados na literatura.

O preparo das amostras para extração da proteína envolve algumas etapas como o descascamento, moagem e desengorduramento, conforme é exposto na Figura 1 (YANG et al., 2022).



**Figura 1.** Fluxograma de processo de preparo de amostra

O processo de moagem pode ser precedido por uma etapa de pré-desengorduramento da amostra, que consiste na prensagem hidráulica para a retirada parcial de óleos e outros componentes líquidos, conforme relatado por Cao et al., (2023). Quando a amostra é rica em carboidratos, o preparo prévio a moagem envolve a remoção da mucilagem por sonicação, seguida da secagem em estufa de circulação de ar e posterior moagem. Após a moagem, os grânulos são padronizados utilizando peneiras granulométricas (WANG et al., 2023).

Por fim se for necessário, é realizado o processo de extração do óleo com solvente, homogeneizando a amostra com hexano por um tempo determinado a temperatura ambiente, sob agitação constante (FLAIBAM; GOLDBECK, 2024). O objetivo do preparo das amostras é padronizar as dimensões das partículas e remover componentes indesejados, tais como lipídios e fibras, facilitando o acesso e a extração da proteína.

### **3.1. Método convencional**

A extração alcalina de proteínas é um método convencional comumente mencionada em várias pesquisas. Neste método, a amostra é inicialmente dispersa em água purificada em uma proporção pré-estabelecida, seguida pela agitação e centrifugação da mistura formada. O líquido tem então seu pH ajustado para 9,5 com NaOH (com molaridade variando entre 0,1 e 5 M) sob agitação constante por 2 h. Após esse período, a dispersão é centrifugada novamente, e o sobrenadante tem seu pH ajustado para 4,5 com o auxílio de HCl 1M, promovendo a precipitação das proteínas no ponto isoelétrico. Por fim, a proteína precipitada é obtida após a separação por centrifugação e é lavada com água destilada (HEWAGE et al., 2024). Através do processo descrito se obtém o isolado proteico, no entanto, quando se deseja uma maior concentração de proteínas, recomenda-se refazer o processo de precipitação de proteína com a adição de HCl por mais duas repetições, sendo possível ter acesso a um produto mais puro e concentrado (FLAIBAM; GOLDBECK, 2024).

As desvantagens do método se baseiam nos altos níveis de aplicação de calor e solventes alcalinos, o que pode influenciar no rendimento da extração e na estrutura da proteína extraída, além de exigir gastos elevados para a extração. A extração alcalina ainda pode ser combinada com outros processos, como a aplicação de ultrassom, visando aumentar a rentabilidade da extração, diminuindo o tempo de extração, o gasto energético e aumentando o rendimento (ORTEGA et al., 2024). Alguns autores ainda relatam que a utilização de ultrassom na extração

alcalina de proteínas auxilia no acesso as propriedades tecnológicas e funcionais das proteínas (HADIDI et al., 2020).

### 3.2. Métodos verdes

O processo de extração enzimática ou hidrólise enzimática pode ser usado para concentração e modificação das moléculas de proteínas ou em alguns estudos para extração direta (DIAS; TAHA; BELL, 2022). Esse método se encaixa nas tecnologias verdes, por não necessitar de aplicações extremas de alcalinidade, altas temperaturas, além de evitar a contaminação por outros solventes (LOLLI et al., 2023).

O método se baseia na clivagem das moléculas de proteínas, na presença de água com a adição de enzimas proteases (DENT; CAMPANELLA; MALEKY, 2023). Existem algumas variações de métodos para realizar a hidrólise enzimática, dentre estes o mais citado na literatura está o método pH-stat (ADLER-NISSEN, 1986), o qual consiste no controle do pH do meio com NaOH 1M padronizado. O processo consiste no controle de três variáveis, sendo estas o pH, a temperatura aplicada e o percentual de enzima sobre o substrato, sendo possível calcular a partir destas variáveis o grau de moléculas hidrolisadas (YANQING et al., 2022).

Quando aplicado diretamente para extração de proteínas, este método apresenta muitas vantagens quanto aos convencionais, já que as condições de pH, temperatura e os tipos de enzimas utilizadas durante o processo de hidrólise, promovem uma melhor solubilidade e modificam outras características das proteínas, auxiliando na extração. As enzimas aplicadas durante a extração também contribuem para o aumento do rendimento da proteína extraída (FLAIBAM; GOLDBECK, 2024).

O foco nos estudos sobre a aplicação de hidrólise enzimática em processos de extração e modificação de proteínas, também se deve a sua propriedade de alterar as propriedades funcionais e tecnológicas, podendo dar origem a peptídeos bioativos e aminoácidos, por meio da quebra das moléculas (DENT; CAMPANELLA; MALEKY, 2023).

Quando são realizados os métodos de extração de proteínas é possível obter três frações proteicas diferentes, sendo estes o concentrado, isolado e o hidrolisado proteico. Para se obter concentrados proteicos são aplicados métodos de extração de proteínas mais brandos, sem a adição de reagentes alcalinos fortes, passando por um processo de filtração onde há a retirada de frações lipídicas e de carboidratos solúveis, restando ainda outros nutrientes em pequenas

frações (JIA et al., 2021). Já os isolados proteicos são obtidos em processos de extração com aplicações de condições alcalinas altas. Para se obter um isolado a matriz vegetal da célula é rompida, facilitando a solubilização das proteínas na solução alcalina, removendo por centrifugação ou filtração os demais nutrientes presentes na matriz proteica (HADIDI; AGHABABAEI; MCCLEMENTS, 2023).

## 4. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

As moléculas de proteínas exibem diversas funções dentro da dieta humana, entretanto a sua aplicabilidade não se resume apenas a essas funções, já que as proteínas apresentam propriedades tecno-funcionais com potencial para aplicações em processamentos, armazenamento e consumo de alimentos (BUČKO et al., 2016). Elas são frequentemente de difícil acesso em sua estrutura original, no entanto, ao empregar o processo de hidrólise, essas propriedades são aprimoradas e tornam-se mais acessíveis (GANESH; NINGTYAS; PRAKASH, 2022). Dentre as variedades de propriedades tecnológicas que as proteínas podem apresentar, a literatura foca na investigação de fontes proteicas vegetais que apresentam propriedades hidratantes surfactantes, e hidrodinâmicas.

### 4.1. Propriedades surfactantes

Os agentes surfactantes também chamados de agentes tensoativos, são substâncias compostas por moléculas anfifílicas, as quais são capazes de interagir com substâncias apolares e polares, atuando na formação e na estabilização de emulsões e espumas (HASENHUETTL, 2019). Sua aplicação apresenta grande variedade, podendo ser utilizado em indústrias de produtos têxteis, químicos, agrícolas e de alimentos (RAI et al., 2021). Os surfactantes podem ser classificados de acordo com sua origem, podendo ser sintéticos ou naturais. Os surfactantes naturais, por sua vez, apresentam uma subdivisão em seu grupo, sendo estes produzidos por plantas ou oriundos de fermentações microbiológicas. (RAI et al., 2021). Alguns exemplos de surfactantes permitidos para serem utilizados na indústria de alimentos são: lecitina, gomas alimentícias e monoestearato de glicerol, tendo como funções principais estabilizar emulsões e melhorar a textura (BHATTACHARYA, 2022).

As propriedades surfactantes comumente encontradas em hidrolisados proteicos são a capacidade de retenção de óleo, emulsão, formação de espuma e tensão superficial. Essa propriedade responsável por diminuir a tensão entre dois líquidos imiscíveis, líquido e sólido ou líquido e gás, foi encontrada nos hidrolisados de farelo desengordurado de noqueira conforme exposto por Moghadam et al., (2020). Ao avaliarem a tensão superficial em função do tempo para hidrolisados de proteína de noqueira preparados por diferentes tempos de

hidrólise, os autores relatam que todos os hidrolisados demonstraram capacidade em reduzir a tensão superficial, podendo influenciar no aumento das capacidades de formação de espuma e emulsão, as quais também foram aumentadas significativamente pelo processo de hidrólise empregadas, além de garantir uma boa estabilidade para formação de espuma (MOGHADAM et al., 2020).

A capacidade de retenção de óleo (CRO) também exerce uma importante função na produção de alimentos, por aumentarem a retenção do sabor e melhorar a sensação bucal do produto durante o consumo (DIAS; DE MOURA BELL, 2022). Esta capacidade foi avaliada por Fathollahy et al., (2021), onde encontraram um aumento na CRO de hidrólise de semente de limão pérsia em comparação ao isolado proteico. O mesmo resultado foi relatado por Yolandani et al. (2023) para o hidrolisado de proteína isolada de soja, onde três dos tratamentos expostos a diferentes frequências de ultrassom com grau de hidrólise igual a 12%, apresentaram maior CRO em relação ao controle (proteína isolada de soja).

#### **4.2. Propriedades hidratantes**

Os agentes hidratantes são compostos que apresentam alta interatividade com a água dos alimentos, sendo capazes de reter a água e impedir a perda de umidade nos alimentos, assegurando as propriedades físico-químicas e sensoriais do produto final, como consistência e suculência (CORNET; VAN DER GOOT; VAN DER SMAN, 2020). Os principais ingredientes utilizados pela indústria de alimentos como agentes hidratantes são: a glicerina, sorbitol e propilenoglicou, no entanto, as proteínas são compostos capazes de apresentar excelentes propriedades de retenção de água por meio das ligações de hidrogênio que as moléculas proteicas exibem (SIKORSKIÍCONE; SINKIEWICZÍCONE, 2023).

As principais propriedades hidratantes estudadas em hidrolisados proteicos são as propriedades de formação de gel, capacidade de retenção de água (CRA), solubilidade e textura. Zhao et al., (2022) avaliaram a capacidade de retenção de água de hidrolisados de proteína de amêndoa e verificaram que quanto maior a capacidade de retenção de água, melhor é a estabilidade do gel formado pela combinação de hidrolisado e isolado de amêndoas. A capacidade de retenção de água nos alimentos também está diretamente ligada as aplicações de processos em indústrias de alimentos, que visam melhorar o rendimento do produto, a viscosidade do alimento e reduzir a perda de água (DIAS; DE MOURA BELL, 2022).

A capacidade de formação de gel das proteínas foi estudada por Nisov, Ercili-Cura e Nordlund (2020), onde a hidrólise enzimática do endosperma de arroz apresentou capacidade gelificante a partir de 1,5% de grau de hidrólise, entretanto os autores obtiveram uma fraca rede de formação de gel. Já Nieto-Nieto et al., (2014) obtiveram formação fortes de rede de gel para hidrolisados de proteína de aveia, com a aplicação da enzima flavourzyme em pH 9. Essa propriedade exerce uma função importante quanto a textura dos alimentos, a sua estrutura é responsável por reter o sabor, a água e pigmentos nos alimentos, garantindo assim melhores características sensoriais (ZHANG; CHEN; CAMPANELLA, 2024).

As propriedades de solubilidade assim como a CRA, apresenta características com forte influência sobre as demais propriedades hidratantes e surfactantes, como a formação de espuma, a própria CRA e capacidade de emulsão (WOUTERS et al., 2016). Zhao et al., (2011) ao avaliarem a influência da hidrólise sobre isolados proteicos de amendoim, verificaram que o processo de hidrolise aumentou significativamente a solubilidade de proteínas em relação ao isolado proteico em todas as faixas de pH analisadas, tendo percentuais de solubilidade maior que 80%. Resultados semelhantes de solubilidade foram encontrados por Bučko et al., (2016), para o hidrolisado proteico de semente de abóbora e isolado proteico e semente de abóbora. Os autores relataram que os hidrolisados apresentaram percentual de solubilidade superior ao isolado, inclusive no ponto isoelétrico, onde o isolado teve solubilidade inferior a 20% e os hidrolisados tiveram solubilidade nas faixas superiores a 60% e 90% (BUČKO et al., 2016).

### **4.3. Propriedades hidrodinâmicas**

O conhecimento do comportamento hidrodinâmicos de alimentos é de suma importância para sua aplicação em processos, o mesmo é aplicado para a utilização de proteínas com propriedades tecnológicas. As propriedades hidrodinâmicas dizem respeito as características físicas e do comportamento dos compostos em meios fluidos, como a água ou misturas em processos de alimentos, sendo crucial o conhecimento destas propriedades para garantir segurança durante o processamento e qualidade final do produto (JAHANBAKHSI et al., 2019; PANCERZ et al., 2019).

Além da reologia, o potencial zeta e o perfil proteico por eletroforese são os principais meios de se obter respostas quanto ao comportamento hidrodinâmico das proteínas. A hidrólise do endosperma de arroz provocou alterações nos valores absolutos do potencial zeta, para o

processo de hidrólise realizado com a enzima endoprotease neutra, alcançando um valor máximo de -22,0 mV em pH 7 indicando uma melhor estabilidade a curto prazo das dispersões e emulsões deste hidrolisado (NISOV; ERCILI-CURA; NORDLUND, 2020). Já o perfil proteico por eletroforese é amplamente estudado por diversos pesquisadores em seus estudos sobre hidrolisados, por ser capaz de identificar e quantificar as proteínas presentes (LIU et al., 2022; ZHENG et al., 2015). Chen e Campanella (2022) encontraram diferenças entre as bandas proteicas de hidrolisado de proteína de ervilha e o isolado de proteína de ervilha, antes do processo de hidrolises bandas de proteínas com massa molecular acima de 25kDa eram facilmente encontradas, como a leguminosa e vicilina. Entretanto, após a hidrólise essas bandas desapareceram, resultado que interfere no aumento da capacidade de gelificação das proteínas (CHEN; CAMPANELLA, 2022).

## 5. APLICAÇÕES

Na literatura é possível encontrar estudos que avaliam a aplicação de hidrolisados em produtos alimentícios ou processos de produção de alimentos (Tabela 1), como o estudo realizado por Chen et al., (2023), onde avaliaram a diferentes aplicações de hidrolisado do subproduto da batata-doce em massas de pães congelados. Verificaram que todas as concentrações de hidrolisados aplicados sob a massa diminuíram a migração da água disponível, diminuindo, portanto, a água livre disponível para congelar, resultando em uma melhor qualidade final do pão.

A substituição de ovo por hidrolisado proteico de proteína de soja também se mostrou eficaz quanto as suas propriedades surfactantes em um estudo realizado por (LIANG et al., 2024). Neste estudo onde foi avaliado a substituição do ovo por hidrolisados e isolados proteicos de soja na produção de pão de ló, as propriedades de textura, massa e volume específico foram muito semelhantes ao pão de ló controle, além de apresentarem maior teor proteico em sua composição e potencial para redução de colesterol (LIANG et al., 2024).

Naibaho et al. (2022) durante o estudo da aplicação de hidrolisados de grãos usados para produção de cerveja na fortificação de iogurte, encontraram resultados positivos quanto a estrutura formada de gordura e proteína, sendo estas mais densas e macias quando comparadas ao controle (iogurte sem adição de hidrolisado), a textura de gel do controle ainda se mostrou menos estável em comparação aos tratamentos com a adição de hidrolisados.

## 6. CONCLUSÕES

Os estudos que utilizam subprodutos para a produção de hidrolisados proteicos estão cada vez mais em alta. Essa demanda surge, principalmente, do objetivo de aproveitar toda a cadeia de produção de diversos alimentos vegetais, reduzindo, portanto, a geração de resíduos poluentes no meio ambiente. As propriedades nutricionais e o potencial de enriquecimento nutricional dos alimentos também são impulsionadores da crescente busca pelo aproveitamento de subprodutos proteicos. Além disso, várias pesquisas evidenciam que a aplicação do processo de hidrólise facilita o acesso às propriedades tecnológicas de proteínas vegetais, ampliando as áreas de aplicação do hidrolisado. Estes podem ser utilizados no processamento de alimentos como aditivos e na substituição parcial de farinhas ricas em proteínas que apresentam algum tipo de restrição.

No entanto, observa-se que, apesar do grande potencial para aplicação em diversos processos alimentares, poucos estudos encontrados na literatura voltam-se para a aplicação das propriedades tecnológicas de hidrolisados proteicos. Os poucos achados tendem a se concentrar em processos de panificação e derivado lácteos, mostrando a necessidade de estudar aplicações em processos alimentares distintos desses, para futuras pesquisas.

## REFERÊNCIAS

ADLER-NISSEN, J. Enzymic hydrolysis of food proteins. Barking - Reino Unido: **Elsevier Applied Science Publishers**, 1986.

ALBOLAFIO, S. et al. Potential of Wastewater Valorization after Wet Extraction of Proteins from Faba Bean and Pea Flours. **Recent Progress in Materials**, v. 03, n. 02, p. 1–1, 2020.

ASCHEMANN-WITZEL, J. et al. Communicating upcycled foods: Frugality framing supports acceptance of sustainable product innovations. **Food Quality and Preference**, v. 100, n. February, p. 104596, 2022.

BHATTACHARYA, S. Chapter 12 - Processes and machinery. In: BHATTACHARYA, S. **Snack Foods: processing and technology**. Academic Press, 2022. Cap. 12. p. 321-382.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 890 p.

BUČKO, S. et al. Influence of enzymatic hydrolysis on solubility, interfacial and emulsifying properties of pumpkin (*Cucurbita pepo*) seed protein isolate. **Food Hydrocolloids**, v. 60, p. 271–278, 2016.

CAO, P. H. et al. Extraction of protein from sesame meal: Impact of deep eutectic solvents on protein structure and functionality. **Lwt**, v. 187, n. 100, p. 115366, 2023.

CHEN, D.; CAMPANELLA, O. H. Limited enzymatic hydrolysis induced pea protein gelation at low protein concentration with less heat requirement. **Food Hydrocolloids**, v. 128, n. January, p. 107547, 2022.

CHEN, J. et al. The alleviative effect of sweet potato protein hydrolysates on the quality deterioration of frozen dough bread in comparison to trehalose. **Lwt**, v. 175, n. January, p. 114505, 2023.

CORNET, S. H. V.; VAN DER GOOT, A. J.; VAN DER SMAN, R. G. M. Effect of mechanical interaction on the hydration of mixed soy protein and gluten gels. **Current Research in Food Science**, v. 3, p. 134–145, 2020.

DE OLIVEIRA FILHO, J. G. et al. Bioactive Properties of Protein Hydrolysate of Cottonseed Byproduct: Antioxidant, Antimicrobial, and Angiotensin-Converting Enzyme (ACE) Inhibitory Activities. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, n. 3, p. 1395–1404, 2021.

DENT, T.; CAMPANELLA, O.; MALEKY, F. Enzymatic hydrolysis of soy and chickpea protein with Alcalase and Flavourzyme and formation of hydrogen bond mediated insoluble aggregates. **Current Research in Food Science**, v. 6, n. October 2022, p. 100487, 2023.

DIAS, F. F. G.; TAHA, A. Y.; BELL, L. N. DE M. Effects of enzymatic extraction on the simultaneous extraction of oil and protein from full-fat almond flour, insoluble microstructure, emulsion stability and functionality. **Future Foods**, v. 5, n. March, p. 100151, 2022.

DIASA, F. F. G.; DE MOURA BELL, J. M. L. N. Understanding the impact of enzyme-assisted aqueous extraction on the structural, physicochemical, and functional properties of protein extracts from full-fat almond flour. **Food Hydrocolloids**, v. 127, p. 107534, 2022.

ESPARZA, I. et al. Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches. **Journal of Environmental Management**, v. 265, n. February, 2020.

FAO, PAHO, WFP and UNICEF. 2019. **Regional Overview of Food Security and Nutrition in Latin America and the Caribbean 2019**. Santiago. 135. <https://doi.org/10.4060/ca6979en>

FATHOLLAHY, I. et al. Characteristics and functional properties of Persian lime (*Citrus latifolia*) seed protein isolate and enzymatic hydrolysates. **Lwt**, v. 140, n. September 2020, p. 110765, 2021.

FLAIBAM, B.; GOLDBECK, R. Effects of enzymes on protein extraction and post-extraction hydrolysis of non-animal agro-industrial wastes to obtain inputs for cultured meat. **Food and Bioproducts Processing**, v. 143, n. November 2023, p. 117–127, 2024.

GANESH, S.; NINGTYAS, D. W.; PRAKASH, S. Investigating the functionality of enzymatically (transglutaminase and alcalase) treated almond protein isolate. **Food Bioscience**, v. 49, n. July, p. 101914, 2022.

GENEVOIS, C. E.; DE ESCALADA PLA, M. F. Soybean by-products and modified cassava starch for improving alveolar structure and quality characteristics of gluten-free bread. **European Food Research and Technology**, v. 247, n. 6, p. 1477–1488, 2021.

GRASSO, S. et al. Consumer attitudes to upcycled foods in US and China. **Journal of Cleaner Production**, v. 388, n. June 2022, p. 135919, 2023.

GRIMALDI, M. et al. Valorization of agro-industrial byproducts: Extraction and analytical characterization of valuable compounds for potential edible active packaging formulation. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 33, n. June, p. 100900, 2022.

GU, X. et al. Identification and characterization of two novel  $\alpha$ -glucosidase inhibitory peptides from almond (*Armeniaca sibirica*) oil manufacture residue. **Lwt**, v. 134, n. 666, 2020.

GUIMARÃES, R. M. et al. Okara: A soybean by-product as an alternative to enrich vegetable paste. **Lwt**, v. 92, n. November 2017, p. 593–599, 2018.

HADIDI, M.; AGHABABAEI, F.; MCCLEMENTS, D. J. Enhanced alkaline extraction techniques for isolating and modifying plant-based proteins. **Food Hydrocolloids**, v. 145, n. July, p. 109132, 2023.

HADIDI, M. et al. Application of Ultrasound-Ultrafiltration-Assisted alkaline isoelectric precipitation (UUAIP) technique for producing alfalfa protein isolate for human consumption: optimization, comparison, physicochemical, and functional properties. **Food Research International**, v. 130, p. 108907, abr. 2020.

HASENHUETTL, G.L. Overview of Food Emulsifiers. In: Hasenhuettl. In: HASENHUETTL, G.; HARTEL, R. **Food Emulsifiers and Their Applications**: Springer, 2019. p. 1-9.

HE, C.; SAMPERS, I.; RAES, K. Dietary fiber concentrates recovered from agro-industrial by-products: Functional properties and application as physical carriers for probiotics. **Food Hydrocolloids**, v. 111, n. August 2020, p. 106175, 2021.

HEWAGE, A. et al. Improved protein extraction technology using deep eutectic solvent system for producing high purity fava bean protein isolates at mild conditions. **Food Hydrocolloids**, v. 147, n. PA, p. 109283, 2024.

HUA, X. Y. et al. International Journal of Biological Macromolecules The extraction of buckwheat protein and its interaction with kappa -carrageenan: Textural , rheological , microstructural , and chemical properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 260, n. P1, p. 129427, 2024.

JAHANBAKHSI, A. et al. Evaluation of engineering properties for waste control of tomato during harvesting and postharvesting. **Food Science and Nutrition**, v. 7, n. 4, p. 1473–1481, 2019.

JIA, W. et al. Assessing functional properties of rapeseed protein concentrate versus isolate for food applications. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 68, n. October 2020, p. 102636, 2021.

KARIMI SANI, I. et al. Value-added utilization of fruit and vegetable processing by-products for the manufacture of biodegradable food packaging films. **Food Chemistry**, v. 405, n. PB, p. 134964, 2023.

KIM, S. et al. Microalgal transformation of food processing byproducts into functional food ingredients. **Bioresource Technology**, v. 344, n. PB, p. 126324, 2022.

LIANG, G. et al. Incorporating soy protein hydrolysate and temperature-induced gelling polysaccharide as partial egg replacements for enhanced texture in sponge cake. **Food Bioscience**, v. 57, n. December 2023, p. 103574, 2024.

LIU, F. F. et al. Physicochemical, functional and antioxidant properties of mung bean protein enzymatic hydrolysates. **Food Chemistry**, v. 393, n. May, p. 133397, 2022.

LOLLI, V. et al. Oil and protein extraction from fruit seed and kernel by-products using a one pot enzymatic-assisted mild extraction. **Food Chemistry: X**, v. 19, n. June, p. 100819, 2023.

MADRUGA, K. et al. Properties of wheat and rice breads added with Chia (*Salvia hispanica* L.) protein hydrolyzate. **Food Science and Technology (Brazil)**, v. 40, n. 3, p. 596–603, 2020.

MAGNIER, L.; MUGGE, R.; SCHOORMANS, J. Turning ocean garbage into products – Consumers' evaluations of products made of recycled ocean plastic. **Journal of Cleaner Production**, v. 215, p. 84–98, 2019.

MCCLEMENTS, D. J.; GROSSMANN, L. A brief review of the science behind the design of healthy and sustainable plant-based foods. **npj Science of Food**, v. 5, n. 1, 2021.

MOGHADAM, M. et al. Physicochemical and bio-functional properties of walnut proteins as affected by trypsin-mediated hydrolysis. **Food Bioscience**, v. 36, n. April, p. 100611, 2020.

MUSATI, M. et al. Temperate nuts by-products as animal feed: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 305, p. 115787, 2023.

NAIBAHO, J. et al. Fortification of milk-based yogurt with protein hydrolysates from brewers' spent grain: evaluation on microstructural properties, lactic acid bacteria profile, lactic acid forming capability and its physical behavior. **Current Research In Food Science**, [S.L.], v. 5, p. 1955-1964, 2022.

NATIONS, United. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2015.

NIETO-NIETO, T. V. et al. Effects of partial hydrolysis on structure and gelling properties of oat globular proteins. **Food Research International**, v. 55, p. 418–425, 2014.

NISOV, A.; ERCILI-CURA, D.; NORDLUND, E. Limited hydrolysis of rice endosperm protein for improved techno-functional properties. **Food Chemistry**, v. 302, n. February 2019, p. 125274, 2020.

NITZKO, S. Consumer acceptance of the use of plant and animal by-products of food manufacturing for human nutrition. **Food and Humanity**, v. 1, n. September, p. 1238–1249, 2023.

NOSHIRVANI, N. et al. Estudo dos efeitos antioxidantes do extrato e pó da casca de noqueira verde sobre a oxidação do óleo de girassol. **Revista Iraniana de Ciências da Nutrição e Tecnologia de Alimentos**, v. 10, n. 3, p. 79-90, 2015.

ORTEGA, M. L. S. et al. Olive leaf protein: Extraction optimization, in vitro digestibility, structural and techno-functional properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 256, n. P1, p. 128273, 2024.

PANCERZ, M. et al. Colligative and hydrodynamic properties of aqueous solutions of pectin from cornelian cherry and commercial apple pectin. **Food Hydrocolloids**, v. 89, n. October 2018, p. 406–415, 2019.

PANZA, O. et al. Fruit and vegetable by-products as source of bioactive compounds to preserve handmade fresh pasta. **Lwt**, v. 190, n. November, p. 115584, 2023.

Programa das Nações Unidas Para o Ambiente. UNEP Food Waste Index Report 2021. Nairobi: ONU, 2021. 100 p.

PURIĆ, M. et al. Application of defatted apple seed cakes as a by-product for the enrichment of wheat bread. **Lwt**, v. 130, n. November 2019, 2020.

RAI, S. et al. Plant-Derived Saponins: A Review of Their Surfactant Properties and Applications. **Sci**, v. 3, n. 4, p. 1–19, 2021.

RAYA-TAPIA, A. Y. et al. A typology country framework to evaluate the SDG progress and food waste reduction based on clustering analysis. **Trends in Food Science & Technology**, v. 143, n. December 2023, p. 104304, 2024.

REGUENGO, L. M. et al. Agro-industrial by-products: Valuable sources of bioactive compounds. **Food Research International**, v. 152, n. November 2021, 2022.

SANTOS, D. C. DOS et al. Okara flour: its physicochemical, microscopical and functional properties. **Nutrition and Food Science**, v. 49, n. 6, p. 1252–1264, 2019.

SIKORSKIÍCONE, Z. E.; SINKIEWICZÍCONE, I. The role of proteins in food. In: **Chemical and functional properties of food components**. 4. ed: Crc, 2023. p. 155-202.

TIWARI, B. K. et al. Utilisation of pigeon pea (*Cajanus cajan* L) byproducts in biscuit manufacture. **Lwt**, v. 44, n. 6, p. 1533–1537, 2011.

VIANA, H. N. A. C. et al. Characterization of baru (*Dipteryx alata* Vog.) and application of its agro-industrial by-product in the formulation of cookies. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 12, n. February, p. 100577, 2023.

WANG, Y. et al. Effect of protein extraction and fractionation of chia seeds grown in different locations: Nutritional, antinutritional and protein quality assessment. **Food Bioscience**, v. 56, n. September, 2023.

WONGWAIWECH, D. et al. Comparative study on amount of nutraceuticals in by-products from solvent and cold pressing methods of rice bran oil processing. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 27, n. 1, p. 71–82, 2019.

WOUTERS, A. G.B. et al. Relevance of the Functional Properties of Enzymatic Plant Protein Hydrolysates in Food Systems. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, v. 15, n. 4, p. 786-800, 26 abr. 2016.

WU, C. et al. Effect of cavitation jets on the physicochemical properties and structural characteristics of the okara protein. **Journal of Food Science**, v. 86, n. 10, p. 4566–4576, 2021.

YANG, J. et al. Foaming and emulsifying properties of extensively and mildly extracted Bambara groundnut proteins: A comparison of legumin, vicilin and albumin protein. **Food Hydrocolloids**, v. 123, n. July 2021, p. 107190, 2022.

YANQING, L. et al. Effect of enzymatic hydrolysis followed after extrusion pretreatment on the structure and emulsibility of soybean protein. **Process Biochemistry**, v. 116, n. October 2021, p. 173–184, 2022.

YOLANDANI et al. Ultrasound-assisted limited enzymatic hydrolysis of high concentrated soy protein isolate: alterations on the functional properties and its relation with hydrophobicity and molecular weight. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 95, p. 106414, maio 2023.

YU, J. et al. Valorization of fruit and vegetable byproducts for the beta-glucan production from *Euglena gracilis*. **Bioresource Technology**, v. 394, n. December 2023, p. 130213, 2024.

ZHANG, D.; CHEN, D.; CAMPANELLA, O. H. Effect of pH on the gelling properties of pea protein-pectin dispersions. **Food Hydrocolloids**, v. 151, n. December 2023, p. 109731, 2024.

ZHANG, M. et al. Effects of electron beam irradiation pretreatment on the structural and functional properties of okara protein. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 79, n. January, p. 103049, 2022.

ZHAO, G. et al. Enzymatic hydrolysis and their effects on conformational and functional properties of peanut protein isolate. **Food Chemistry**, v. 127, n. 4, p. 1438–1443, 2011.

ZHAO, J. et al. Altering almond protein function through partial enzymatic hydrolysis for creating gel structures in acidic environment. **Current Research in Food Science**, v. 5, n. November 2021, p. 653–664, 2022.

ZHENG, L. et al. Mechanism of the discrepancy in the enzymatic hydrolysis efficiency between defatted peanut flour and peanut protein isolate by Flavorzyme. **Food Chemistry**, v. 168, p. 100–106, 2015.

## **CAPÍTULO 2: OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE HIDROLISADOS DE TORTA DE BARU (DIPTERYX ALATA VOGEL)**

### **1. INTRODUÇÃO**

O perfil dos consumidores de alimentos está em constante evolução, o que promove uma crescente demanda por um estilo de vida mais saudável e impulsionando a busca por produtos que atendam a essa demanda. Nesse contexto, destacam-se os alimentos funcionais, os quais contêm em sua composição, componentes que podem conferir benefícios à saúde durante o consumo, fornecendo efeitos benéficos a saúde como atividades antioxidantes, antidiabéticas e anticancerígenas (BANWO et al., 2021, CHOURASIA et al., 2020). Os alimentos funcionais podem ser obtidos por meio de bioprocessos para que possam ser aplicados na produção de alimentos. Dentre esses processos biológicos, tem-se os processos de fermentação, hidrólises e digestão anaeróbia, empregando-se de fontes renováveis como substratos, enzimas ou microrganismos (PHUKON et al., 2021).

A origem do local onde estes compostos podem ser encontrados é vasta dentro dos alimentos, sendo obtidos, portanto, de plantas, cereais, vegetais e animais (SHETTY; SARKAR, 2019). Com a produção destes compostos bioativos a aplicação destes materiais a alimentos tem uma vasta funcionalidade, desde atuar como um conservante natural, estendendo a sua vida útil, passando pela função de nutrir, por meio de vitaminas e auxiliando na manutenção da saúde humana (PHUKON et al., 2021).

Um dos processos para a produção de compostos bioativos com grandes vantagens, tais como menor impacto térmico, biodegradabilidade e sustentabilidade, menor necessidade de reagentes químicos e alta eficiência, é a hidrólise enzimática, que consiste na clivagem das ligações existentes entre as moléculas na presença de água, tendo uma enzima como um agente catalizador da reação (CRUZ-CASAS et al., 2021; MUHAMYANKAKA et al., 2013). Esta etapa do processo provoca mudanças conformacionais na estrutura da molécula, tendo basicamente como resultado três efeitos: redução da massa molecular, aumento dos grupos ionizáveis e exposição dos grupos hidrofóbicos (PANYAM; KILARA, 1996). O processo leva a produção de peptídeos bioativos, que podem resultar portanto, em melhora nas propriedades funcionais e nutricionais, como atividade antioxidante e antidiabética, sendo uma alternativa

para aplicação em processos de fabricações industriais de alimentos (AKBARIAN et al., 2022; RIVERO-PINO; ESPEJO-CARPIO; GUADIX, 2021).

O processo de hidrólise enzimática também provoca alterações na estrutura das proteínas que facilitam o acesso as propriedades tecnológicas, funções as quais são de difícil acesso em sua conformação original (GANESH; NINGTYAS; PRAKASH, 2022). As propriedades tecnológicas assim como as propriedades bioativas encontradas nas proteínas apresentam potencial para aplicações em processamento de alimentos, podendo atuar como agentes surfactantes e hidratantes, os quais são responsáveis por garantir melhor textura, estabilidade e qualidade final dos alimentos (RIBEIRO; GUERRA; SARUBBO, 2020).

O mercado de proteínas vegetais se destaca principalmente por sua variedade, pela crescente busca da sociedade por fontes proteicas de origem não animal, aplicada a produtos alimentícios, além busca pela erradicação da desnutrição proteica encontrada em países de baixa renda (EROKHIN et al., 2021; GANESH; NINGTYAS; PRAKASH, 2022). A amêndoa de baru (*Dipteryx alata vogel*), um fruto nativo do cerrado brasileiro, rico em proteínas e lipídios, apresentando cerca de 24,95 g/100 g de proteínas e 59,36 g/100 g de lipídios (LIMA et al., 2021), se encaixa dentro das fontes promissoras de proteína vegetal. O seu valor de produção no mercado global foi estimado em 2022 em aproximadamente US\$5,1 milhões, sendo o Brasil o maior produtor com produção média de 117 ton de amêndoa. Além disso, estima-se que a produção anual da amêndoa gera 2.200 ton de subprodutos (EGEA et al., 2023). Um dos subprodutos gerados pela amêndoa de baru, é a torta, um subproduto obtido pela prensagem da amêndoa para a extração parcial da fração lipídica. A concentração proteica na torta aumenta, podendo apresentar cerca de 38 g/100 g de proteínas (ARACAVA et al., 2022).

Portanto, tendo em vista a alta concentração proteica encontrada no subproduto da amêndoa de baru, o objetivo deste trabalho foi realizar a hidrólise enzimática da torta da amêndoa utilizando diferentes enzimas e condições de temperatura e pH, assim como avaliar propriedades tecnológicas e bioativas do ingrediente produzido, escolhendo ao fim deste processo um tratamento ótimo por meio da modelagem matemática de segunda ordem.

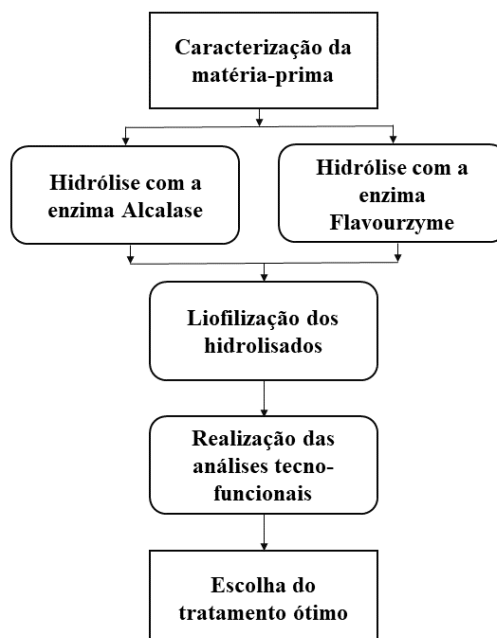
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material

A torta de amêndoa de baru (*Dipteryx alata* Vog.), parcialmente desengordurada foi obtida na empresa Flora do Cerrado, localizada em Jussara, GO, Brasil. A amostra foi subdividida em sacos de 1 kg e armazenada sob refrigeração (4 °C) até o momento das análises. Para a hidrólise foram utilizadas as enzimas Alcalase 2.4 L FG e Flavourzyme, cedidas gentilmente pela empresa LNF Latino Americana (Rio Grande do Sul – Brasil). Os demais reagentes utilizados de grau analíticos foram obtidos nacionalmente.

### 2.2. Métodos

Na Figura 2, foi esquematizado a ordem de realização dos procedimentos analíticos seguidos na execução deste estudo.



**Figura 2.** Ordem de realização das hidrólises e propriedade tecnológicas presente estudo

### 2.2.1. Caracterização da matéria-prima

O teor de umidade (método nº 935.29), lipídios (método nº 920.85), proteínas (método de micro-Kjeldahl, nº 920.87) e fibras (método nº 985.29 e método 32-05.01) foram determinados de acordo com a *Association of Official Analytical Chemists International* – (AOAC, 2000). O conteúdo de carboidratos foi obtido por diferença (Teor de carboidratos = 100 – umidade – lipídios – proteínas – fibras) e o valor energético (kcal/100 g) foi obtido pela Equação 1.

$$V. \text{ energético} = (g/100g \text{ Carboidratos} * 4) + (g/100g \text{ Proteínas} * 4) + (g/100g \text{ Gorduras} * 9) \quad (1)$$

### 2.3. Delineamento experimental

Para conduzir as hidrólises proteicas, foram realizados dois ensaios com as enzimas Alcalase e Flavourzyme, onde foi utilizado um delineamento composto central rotacional (DCCR). Três variáveis independentes foram consideradas: pH, temperatura e a relação de percentual de massa de enzima/substrato (E:S), com condições diferentes conforme a enzima utilizada. Foram realizadas 3 repetições no ponto central e adicionados seis pontos axiais, totalizando 17 experimentos para cada enzima. A Tabela 2 apresenta os valores codificados utilizados no DCCR de três fatores e dois níveis para cada enzima.

**Tabela 2.** Variáveis codificadas e decodificadas utilizadas no delineamento composto central rotacional da hidrólise utilizando a enzima Alcalase e Flavourzyme

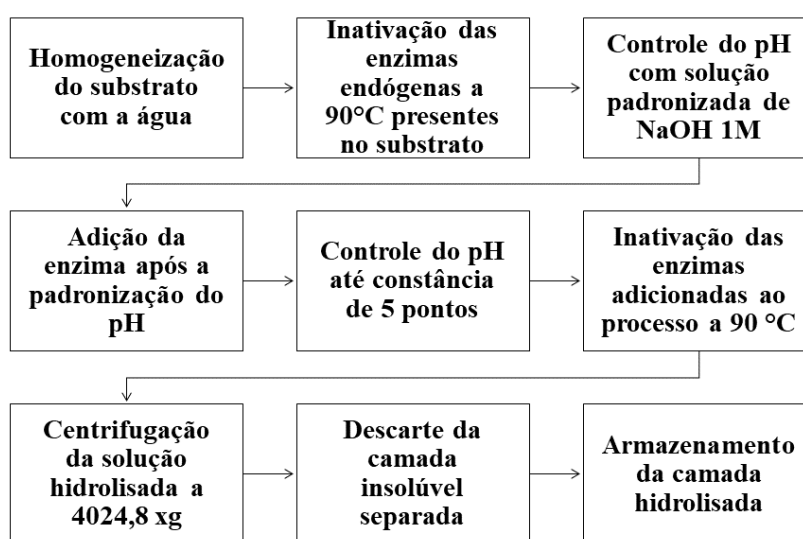
Experimento	Variáveis codificadas			Variáveis decodificadas -Alcalase			Variáveis decodificadas - Flavourzyme		
	T (°C)	pH	%E:S	T (°C)	pH	% E:S	T (°C)	pH	% E:S
1	-1	-1	-1	50	6	1	40	6	1
2	1	-1	-1	70	6	1	65	6	1
3	-1	-1	1	50	6	3	40	6	3
4	1	-1	1	70	6	3	65	6	3
5	-1	1	-1	50	8,5	1	40	8	1
6	1	1	-1	70	8,5	1	65	8	1
7	-1	1	1	50	8,5	3	40	8	3
8	1	1	1	70	8,5	3	65	8	3
9	0	0	0	60	7,25	2,50	52,5	7	2,50
10	0	0	0	60	7,25	2,50	52,5	7	2,50
11	0	0	0	60	7,25	2,50	52,5	7	2,50
12	0	1,68	0	60	9,35	2,50	52,5	8,68	2,50
13	0	-1,68	0	60	5,15	2,50	52,5	5,32	2,50
14	1,68	0	0	76,8	7,25	2,50	73,5	7	2,50
15	-1,68	0	0	43,2	7,25	2,50	31,5	7	2,50
16	0	0	1,68	60	7,25	0,02	52,5	7	3,34
17	0	0	-1,68	60	7,25	3,34	52,5	7	0,02

## 2.4. Hidrólise enzimática proteica

A hidrólise enzimática da torta da amêndoa de baru foi realizada inicialmente com a homogeneização da torta com água destilada na proporção 1:6 (m:v), em seguida, a mistura foi submetida a um aquecimento em banho-maria a 90 °C por 20 min para inativação das enzimas endógenas, presentes nas partículas da torta (YANQING et al., 2022). Após inativação, a mistura foi transferida para um reator de vidro de parede dupla conectado a um banho termostatizado e, teve seu pH ajustado com NaOH 1 M padronizado, de acordo com a enzima de trabalho (Alcalase ou Flavourzyme). Após a realização do ajuste do pH e da temperatura, a enzima foi adicionada em conformidade com as proporções estabelecidas na Tabela 1, em relação à massa da matriz de substrato. O grau de hidrólise (GH) foi subsequentemente monitorado conforme especificado por Adler-Nissen (1986), até que a reação tivesse atingido um percentual de GH constante (considerado neste trabalho como tendo atingido 5 pontos de constância no gráfico de cinética). Após a reação atingir o GH, a mistura foi submetida novamente a 90 °C 20 min para inativação das enzimas adicionadas, seguida de um processo

de resfriamento à temperatura ambiente (aproximadamente 30°C) por 20 min e centrifugação a 4024,8 xg 40 min a 4 °C para separação das frações: superior (graxa/lipídica), central (hidrolisado) e inferior (resíduo fibroso). A fração solúvel foi congelada e liofilizada, depois armazenada à - 18 °C para posterior análises (ALEMÁN et al., 2011; YANQING et al., 2022).

A Figura 3 esquematiza o a metodologia de hidrólise realizada com a torta de baru pelas enzimas Alcalase e Flavourzyme.



**Figura 3.** Metodologia de hidrólise enzimática da torta de amêndoa de baru

## 2.5. Avaliação do processo de hidrólise enzimática

### 2.5.1. Grau de hidrólise

A determinação do grau de hidrólise (GH) foi alcançada seguindo o método de controle *pH-stat* (ADLER-NISSEN, 1986), onde o grau de hidrólise é determinado pela porcentagem obtida da quantidade de ligações peptídicas quebradas na hidrólise pelo número total de ligações existentes antes do processo. Segundo Yanqing et al., (2022) o GH é diretamente relacionado à quantidade de álcalis consumidos durante o processo de hidrólise. Portanto, o consumo de álcalis pode ser empregado como um indicador do grau de hidrólise alcançado. Para monitorar a progressão da hidrólise enzimática, o consumo de álcalis é registrado em intervalos de tempo distintos, permitindo a construção de uma curva que representa o progresso da reação. A porcentagem de GH é então calculada com base nos valores registrados de consumo de álcalis, aplicando os dados na Equação 2.

$$GH = \frac{V(\text{NaOH}) * N(\text{NaOH})}{\alpha * Mp * HTot} \quad (\%) \quad (2)$$

Onde  $V_{(\text{NaOH})}$  é o volume consumido de hidróxido de sódio durante a hidrólise,  $N_{(\text{NaOH})}$  a normalidade padronizada da solução de hidróxido de sódio,  $\alpha$  é o grau de dissociação do grupo amino obtido pelos valores registrados de pH e pK no processo,  $Mp$  a massa de torta de amêndoa de baru utilizada e  $H_{Tot}$  é a constante soma das ligações peptídicas na unidade de proteína mássica, específica para cada grupo de alimentos, o valor utilizado neste estudo foi de 7,75 mmol/g .

### 2.5.2. Teor de proteína

O teor de proteínas presentes nos hidrolisados da torta de baru foi obtido pelo método de Lowry et al. (1951), onde inicialmente foi realizado uma diluição do hidrolisado de cada ensaio até que a leitura no espectrofotômetro fosse menor do que 1 no comprimento de onda de 280 nm. Após a etapa mencionada, procedeu-se à análise mediante homogeneização do extrato com o reagente de Lowry, o qual foi previamente preparado. A mistura resultante foi deixada em repouso por um período de 10 min, seguido pela adição de 0,5 mL do reagente de Follin Ciocalteu, com um subsequente período de repouso de 30 min. Após o término desse tempo de reação, a leitura espectrofotométrica foi realizada a 750 nm para a determinação quantitativa do teor de proteínas contidas nas amostras.

### 2.5.3. Determinação do rendimento

Foram realizados três cálculos de rendimento quanto aos experimentos dos hidrolisados da torta de amêndoa de baru. Para cada enzima foi realizado o rendimento quanto ao GH pelo tempo gasto (%/t) e quanto ao teor de proteínas pelo tempo (Ptn/t), em cada tratamento conforme Equação 3 e 4. Já para o rendimento total de massa de hidrolisado obtido no final do processo de cada tratamento, o cálculo foi realizado considerando a massa de hidrolisado liofilizado e a massa de torta utilizada (Equação 5).

$$\frac{GH}{t} = \frac{\%GH}{tp} \quad (3)$$

$$\frac{Ptn}{t} = \frac{\text{concentração proteica}}{tp} \quad (4)$$

$$\text{Rendimento mássico} = \frac{MS}{MH} * 100 \quad (5)$$

Onde %GH é o percentual de grau de hidrólise obtido por cada experimento, tp o tempo do processo de hidrólise para finalizar em min, MS a massa de substrato adicionada no processo e MH a massa de hidrolisado obtida após a liofilização.

## 2.6. Caracterização dos hidrolisados proteicos

### 2.6.1. Capacidade de retenção de água e óleo

A capacidade de retenção de água (CRA) e a capacidade de retenção de óleo (CRO) foram determinadas de acordo com o método de Mintah et al., (2020) com algumas modificações. Dispersões proteicas a 1% foram homogeneizadas com 10 mL de água destilada (ou óleo de soja para CRO), em seguida foram submetidas à agitação em vórtex por 1 mi, seguido de descanso por 10 min e novamente agitação por 1 min. Em seguida, as amostras foram mantidas em repouso por 30 min em temperatura ambiente (~25 °C). Em seguida as amostras foram centrifugadas por 30 min em 4024,8 xg a 25 °C. Após a centrifugação, a camada sobrenadante foi descartada e o tubo teve sua massa mensurada novamente. O cálculo das capacidades foi determinado pela Equação 6.

$$CRA/CRO = \frac{Mft - Mta}{Ma} * 100 \quad (6)$$

Onde Mft é a massa final do tubo com a proteína e a água absorvida (ou óleo), Mta é a massa do tubo com a amostra de proteína e Ma é a massa de proteína adicionada.

### 2.6.2. Capacidade e estabilidade de espuma

As propriedades de formação de espuma (FE) e estabilidade de espuma (EE) foram avaliadas conforme descrito por Ganesh, Ningtyas, Prakash, (2022) com modificações. Foram preparadas dispersões dos hidrolisados a 1% (m/v) em água destilada e em seguida foram agitadas com agitador (IKA T10 basic, Staufen, Alemanha) por 5 min. O volume atingido foi registrado nos tempos 0, 5, 15, 30, 60 e 120 min e aplicados nas seguintes Equações 7 e 8:

$$FE = \frac{A-B}{B} * 100 \quad (7)$$

$$EE = \frac{At-B}{A-B} * 100 \quad (8)$$

Onde A é o volume da amostra logo após a agitação, B é o volume antes de agitar e At é o volume após cada passagem de tempo estipulada.

### 2.6.3. Índice de atividade emulsificante e estabilidade da emulsão

O Índice de Atividade Emulsificante (IAE, m<sup>2</sup>/g) e o Índice de Estabilidade Emulsificante (IEE, min) foram determinados conforme descrito por Fathollahy et al., (2021) com modificações. Cerca de 11,25 mL de uma solução de hidrolisado proteico (10 g/L) foi combinada com 3,75 mL de óleo de soja e homogeneizada à máxima velocidade (20.000 rpm, 1 min) utilizando um homogeneizador (IKA T10 basic, Staufen, Alemanha). Foram retiradas duas alíquotas de 50 µL da emulsão, a primeira imediatamente após a homogeneização e a segunda após 10 min, sendo posteriormente misturadas com 5 mL de solução de dodecil sulfato de sódio (0,1%). A absorbância da solução diluída foi então medida a 500 nm utilizando um espectrofotômetro. O IAE e o IEE foram determinados utilizando as Equações 9 e 10:

$$IAE = \frac{2*2,303*A0}{0,25*massa\ amostra} \quad (9)$$

$$IEE = A0 * \frac{\Delta t}{A0-A10} \quad (10)$$

Onde A0 é a absorbância obtida logo após a homogeneização, A10 a absorbância obtida após 10 min e Δt o tempo de 10 min.

### 2.6.4. Solubilidade

A análise de solubilidade foi realizada segundo Zhao et al., (2011) com algumas modificações. As amostras (equivalente de proteína 1% [m/m]) foram dispersas em água destilada e após passaram por homogeneização por 20 min em incubadora de agitação orbital (modelo: 6430, marca: Thoth). As soluções tiveram seu pH ajustado nas faixas de 2, 5, 7, 10 e 12 utilizando HCl 1 M ou NaOH 1 M, em seguida foram agitadas novamente por 30 min à temperatura ambiente. Realizada a segunda homogeneização, as amostras foram centrifugadas a 4024,8 xg durante 15 min à temperatura ambiente (25 ± 2 °C). Finalizada estas etapas, a solubilidade foi expressa como percentagem de proteínas que foram determinadas pelo método de Lowry et al. (1951).

### 2.6.5. Capacidade de formação de gel

A avaliação da propriedade de formação de gel foi realizada segundo Ibrahim et al., (2021), com modificações. Dispersões dos hidrolisados a 4%, 8%, 12%, 16% e 20% (m/v), foram adicionadas em tubos de ensaios 5 mL de água destilada, para em seguida serem homogeneizados em vórtex por 1 min, após esta etapa os tubos foram aquecidos em banho-maria a 100 °C por 60 min e resfriados imediatamente em banho de gelo. Os tubos foram colocados sob refrigeração controlada a 4 °C por 2 h e, após, foi verificado se houve escoamento. A resposta do teste foi expressa em 4 níveis diferentes de formação de gel: (-) não houve formação de gel, (+) houve formação de gel com alto escoamento, (++) formação de gel com baixo escoamento e (+++) formação de gel sem escoamento.

### 2.6.6. Atividade antioxidante

Para o preparo dos extratos foi seguida a metodologia descrita por Rasera, Hilckner e De Castro, (2020), com modificações. O preparo consistiu na homogeneização de 7,5 mL de acetona 50% com 0,25g de amostra em vórtex por 1 min. Após essa primeira etapa de homogeneização, os extratos foram deixados em agitador mecânico por 20 min a 150 rpm em temperatura ambiente (25°C). Em seguida os extratos foram centrifugados a 1006,2 xg por 15 min e a sua camada sobrenadante filtrada e armazenada a -22°C.

A atividade de eliminação dos radicais DPPH pela torta hidrolisada foi determinada seguindo o protocolo descrito por Nguyen et al. (2017). Para isso, 100 µL de cada amostra (com concentração de proteína de 3 mg/mL) foram combinados com 100 µL de uma solução de DPPH com concentração de  $2.10^{-4}$  M. A mistura resultante foi incubada à temperatura ambiente, protegida da luz, por um período de 30 min. A redução dos radicais DPPH foi então quantificada utilizando um espectrofotômetro UV-Vis com  $\lambda = 550$  nm. Um controle foi conduzido de forma análoga, substituindo-se a amostra por água destilada. Uma menor absorvância na mistura reacional indica uma atividade mais elevada na eliminação dos radicais DPPH. A atividade de eliminação do radical DPPH será obtida usando a Equação 11.

$$\text{Eliminação do radical DPPH (\%)} = \frac{\text{Absorvância}_{\text{controle}} - \text{Absorvância}_{\text{amostra}}}{\text{Absorvância}_{\text{controle}}} \times 100 \quad (11)$$

O teste de eliminação radical ABTS foi avaliado conforme descrito em Moreno, Atarés & Chiralt (2015). O ABTS foi dissolvido em água para atingir a concentração de 7 mM. Em

seguida, 5 mL da solução estoque de ABTS será misturado com 88 µL da solução de persulfato de potássio, durante 16 h. A solução será diluída com etanol até atingir a absorvância de  $0,70 \pm 0,02$  a 734 nm. Um volume de 40 µL de extrato da hidrólise será adicionado a 3960 µL da solução diluída. Após 6 min de incubação no escuro à temperatura ambiente, a absorvância será medida a 734 nm. A atividade de eliminação do radical ABTS será obtida usando a Equação 12.

$$\text{Eliminação do radical ABTS (\%)} = \frac{\text{Absorvância}_{\text{controle}} - \text{Absorvância}_{\text{amostra}}}{\text{Absorvância}_{\text{controle}}} \times 100 \quad (12)$$

#### 2.6.7. Determinação da cor

Para a medição colorimétrica, foi utilizado um colorímetro portátil (CR-400 – Konica Minolta), onde foram avaliados os parâmetros de  $L^*$  (luminosidade), as coordenadas de cromaticidade  $a^*$ ,  $b^*$  e  $C^*$  e a tonalidade ou ângulo hue ( $^\circ$ ), seguindo os sistemas de cor nos espaços CieLab e Cielch conforme definido pela Comissão Internacional de Iluminação no ano de 1976 (KONICA MINOLTA, 2007).

### 2.7. Análise estatística

Todos os ensaios foram realizados em triplicata, com exceção da análise de solubilidade (feita em duplicata) e os resultados foram avaliados estatisticamente mediante a Análise de Variância (ANOVA) e as médias comparadas entre si por meio do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) utilizando o programa Statistica versão 5.0 (Statsoft Inc., USA). A estatística do delineamento experimental com três fatores também foi realizada no software Statistica 5.0, por meio da regressão dos valores obtidos após as finalizações dos experimentos. A eficácia da modelagem de segunda ordem foi avaliada por meio do coeficiente de determinação  $R^2$ , enquanto a análise da sua relevância estatística foi conduzida através do teste tukey. Para estimar o erro experimental e verificar a adequação do modelo de primeira ordem, foram realizadas três repetições nos pontos centrais (ALMEIDA et al., 2021).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Caracterização da matéria-prima

Na Tabela 3, são apresentados os valores obtidos nas análises de composição proximal. O teor de proteínas (56,15 g/ 100g) obtido mostra que a torta apresenta alto teor proteico, sendo o principal composto da torta e maior que o teor apresentado na amêndoa de baru, que contém cerca de 25,47 g/100 g de proteínas, em base seca, segundo Lima et al. (2021). O conteúdo proteico encontrado nesse estudo também se mostrou superior aos teores encontrados por Aracava et al., (2022) e Pineli et al., (2015) (38,00 g/100 g e 30,67 g/100 g, respectivamente em base seca), onde avaliaram a composição proximal da torta de baru parcialmente desengordurada.

O teor lipídico encontrado, de 17,55 g/100 g, demonstra uma quantidade significativa ainda de óleo remanescente na torta. Aracava et al. (2022) também encontraram teores de lipídios e carboidratos similares ao do presente estudo, totalizando 16,76 g/100 g e 8,00 g/100 g, respectivamente. Os resultados obtidos evidenciam o potencial proteico que a torta da amêndoa de baru apresenta, podendo ser aplicada tanto para fortificação em alimentos, como para extração e concentração da sua proteína.

**Tabela 3.** Composição proximal da torta de amêndoa de baru, em base seca, e valor energético

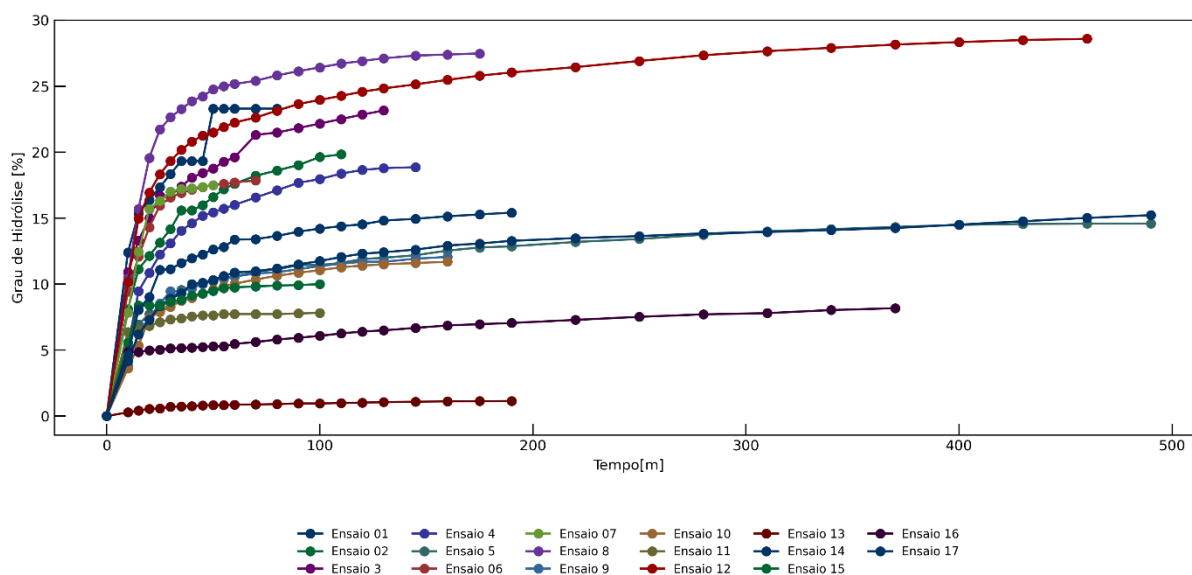
	<b>Proteínas (g/100g)</b>	<b>Lipídios (g/100g)</b>	<b>Umidade (g/100g)</b>	<b>Fibras (g/100g)</b>	<b>Carboidratos (g/100g)</b>	<b>Valor energético (kcal)</b>
Torta de amêndoa de baru	56,15 ± 0,64	17,55±0,72	5,89±0,76	18,70±0,87	7,48	387,56

Os valores são expressos pela média e desvio padrão das triplicatas.

## 3.2. Hidrólise enzimática com a enzima Alcalase

### 3.2.1. Grau de hidrólise (GH), teor de proteína e rendimentos da hidrólise enzimática

Na Figura 4, é possível observar a curva da cinética do grau de hidrólise durante a realização do processo, até que fosse obtido a constância do GH. Verificou-se que apenas os experimentos 5, 12, 14 e 16 ultrapassaram o tempo de 200 min de processo. Estes experimentos foram expostos a condições de temperatura iguais ou superiores a 50 °C e condições de pH mais alcalinas, sendo que apenas o experimento 16 não atingiu um %GH acima de 10%. Os demais experimentos apresentaram um tempo médio de 127 min.



**Figura 4.** Curva do grau de hidrólise da hidrólise enzimática da torta de baru (*Dipteryx alata vogel*) utilizando a enzima Alcalase

Os experimentos que demonstraram um grau de hidrólise superior a 20% foram os ensaios 1, 3, 8 e 12. No entanto, é importante observar que esses experimentos tiveram durações diferentes no processo, com tempos de 80, 130, 175 e 460 min, respectivamente. Notavelmente, os ensaios 8 (27,49%) e 12 (28,60%) exibiram os valores mais elevados dentre todos os experimentos. A relevância no tempo levado para finalização de cada experimento se deve ao gasto maior de calor aplicado durante o processo, resultando em gastos maiores durante o processo. Tendo esta informação em vista, foi realizado o rendimento do percentual do GH e teor de proteína dos ensaios pelo tempo, como é exposto na Tabela 4 para avaliar se o tempo

levado para a produção de cada experimento influenciaria significativamente na escolha no experimento ótimo.

**Tabela 4.** Percentual de grau de hidrólise (GH), teor proteico, tempo mínimo e rendimentos da torta de baru hidrolisada utilizando enzima Alcalase

Experimentos	Codificado			Decodificado			Resultados					
	T (°C)	pH	%E:S	T (°C)	pH	% E:S	Proteína (g/100g)	GH (%)	tGH (min)	Rendimento GH/t (%/min)	Rendimento Ptn/t (g/min)	Rendimento mássico (%)
<b>1</b>	-1	-1	-1	50	6	1	25,80±0,78 <sup>k</sup>	23,32	50	0,2914	0,3225	27,59
<b>2</b>	1	-1	-1	70	6	1	34,23±1,20 <sup>f,g,h,i</sup>	19,84	105	0,1804	0,3112	25,39
<b>3</b>	-1	-1	1	50	6	3	31,47±0,46 <sup>h,i,j</sup>	23,17	125	0,1782	0,2420	38,76
<b>4</b>	1	-1	1	70	6	3	40,89±0,49 <sup>c,d</sup>	18,87	140	0,1301	0,2820	27,83
<b>5</b>	-1	1	-1	50	8,5	1	37,36±0,56 <sup>e,d,e,f,g</sup>	14,60	455	0,0298	0,0762	20,30
<b>6</b>	1	1	-1	70	8,5	1	40,26±0,49 <sup>c,d,e</sup>	17,87	65	0,2552	0,5752	41,68
<b>7</b>	-1	1	1	50	8,5	3	33,74±0,33 <sup>g,h,i</sup>	17,52	50	0,3503	0,6747	32,85
<b>8</b>	1	1	1	70	8,5	3	38,23±1,03 <sup>c,d,e,f,g</sup>	27,49	170	0,1571	0,2184	31,70
<b>9</b>	0	0	0	60	7,25	2,5	38,07±0,49 <sup>c,d,e,f,g</sup>	12,07	155	0,0755	0,2379	27,61
<b>10</b>	0	0	0	60	7,25	2,5	35,93±1,53 <sup>e,f,g,h</sup>	11,70	425	0,0731	0,2246	19,28
<b>11</b>	0	0	0	60	7,25	2,5	29,58±0,57 <sup>i,j,k</sup>	7,83	95	0,0783	0,2958	36,36
<b>12</b>	0	1,68	0	60	9,35	2,5	41,40±1,69 <sup>c</sup>	28,60	455	0,0622	0,0900	10,27
<b>13</b>	0	-1,68	0	60	5,15	2,5	30,09±1,38 <sup>i,j,k</sup>	1,15	185	0,0060	0,1584	8,39
<b>14</b>	1,68	0	0	76,8	7,25	2,5	38,92±0,49 <sup>c,d,e,f</sup>	15,23	355	0,0311	0,0794	25,48
<b>15</b>	-1,68	0	0	43,2	7,25	2,5	28,85±1,31 <sup>j,k</sup>	10,00	100	0,1000	0,2885	35,59
<b>16</b>	0	0	1,68	60	7,25	0,02	63,56±1,37 <sup>b</sup>	8,18	370	0,0221	0,1718	21,44
<b>17</b>	0	0	-1,68	60	7,25	3,34	36,50±0,92 <sup>d,e,f,g</sup>	15,43	185	0,0812	0,1921	24,67
<b>Torta</b>	-	-	-	-	-	-	144,76±23,21 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-

Valores de proteína expressos pela média e desvio padrão da triplicata (coeficiente de variação (CV) <25%). Letras diferentes na mesma coluna mostram diferenças significativas entre os ensaios por meio do teste de Tukey (p<0,05).

Zheng et al., (2015) em seus estudos sobre os efeitos da hidrólise enzimática sobre a proteína de amendoim, um vegetal oleaginoso, verificaram que ao aplicar as condições de temperatura, pH e percentual de concentração de enzima/substrato (% E:S) iguais a 55 °C, 8,0 e 1%, respectivamente, obtiveram um percentual de GH igual a 14% após 12 h de processo, sendo aplicado também a este processo a enzima alcalase utilizada neste estudo. Já Ganesh, Ningtyas e Prakash, (2022) relataram que ao realizarem o processo de hidrólise da amêndoa (*Prunus amygdalus*), com as condições de hidrólise de temperaturas e pH também de 55 °C e 8,0 e %E:S de 0,12% e encontraram um percentual de GH de 12% após 1 h de processo.

As condições de temperatura e pH aplicadas em ambos os estudos citados, se referem as condições ótimas de atuação da enzima alcalase, uma endoprotease, responsável pela clivagem no interior das moléculas de proteínas, podendo provocar o rompimento das moléculas mesmo na ausência de aplicação calor ao processo (GANESH; NINGTYAS; PRAKASH, 2022; SCHLEGEL et al., 2019).

No presente estudo, o experimento 12 apresentou as condições de temperatura e pH (60 °C e 9,35) mais próximos aos trabalhos citados anteriormente e realizados com outros vegetais oleaginosos, porém obtendo um maior percentual de GH (28,60%) em 7 h e 40 min de processo. Fatores, como a concentração de proteínas presentes na matéria-prima utilizada, podem ser um dos contribuintes para a diferença encontrada, já que a amêndoa pode apresentar concentração proteica variou entre 14-35 g/100 g (SHI et al., 2023) e o amendoim apresenta teores proteicos de até 25 g/100 g (ÇİFTÇİ; SUNA, 2022), bem similar a concentração contida na amêndoa de baru. O tratamento térmico previamente aplicado para inativação das enzimas endógenas também pode ter influenciado nos valores superiores de GH aos achados, conforme é discutido por De Oliveira Filho et al., (2021), onde relataram que a aplicação de tratamento térmico prévio ao processo de hidrólise provocou o desdobramento de moléculas de proteínas, facilitando o acesso da enzima Alcalase a sítios de clivagem que inicialmente eram inacessíveis. Os estudos conduzidos por Zheng et al., (2015) e Ganesh, Ningtyas e Prakash, (2022) não tiveram a aplicação de tratamento prévio ao processo de hidrólise enzimática.

Outro fator importante a ser avaliado é a interação da enzima com as moléculas de proteína da torta da amêndoa de baru e o período de tempo no qual ocorreram os processos de hidrólise, enquanto no presente trabalho o tempo para finalização do processo durou aproximadamente 7 h e 40 min, os processos aqui comparados tiveram tempos de 12 h e 1 h para as hidrólises de farinha de amendoim (GANESH; NINGTYAS; PRAKASH, 2022) e isolado proteico de amêndoa (SCHLEGEL et al., 2019), respectivamente. Ainda foi possível

observar que o experimento 8 obteve um GH muito próximo ao obtido pelo experimento 12, em um período de tempo inferior e com condições de temperatura, pH e %E:S superiores aplicadas sobre o processo de hidrólise, o que evidencia que é possível obter um alto GH em um tempo curto de processo.

De acordo com os resultados obtidos referentes à concentração de proteínas na torta de baru hidrolisada, destaca-se que o experimento 16 demonstrou uma concentração de proteínas superior aos demais experimentos (63,56 g/100 g), no entanto, com um percentual de GH inferior a 10%. Além disso, ao examinar os valores de concentração proteica obtidos, foi possível observar que os experimentos 8 e 12 (38,23 g/100 g e 41,60 g/100 g, respectivamente), apesar de apresentarem maiores percentagens de GH, exibiram teores de proteína mais baixos comparados ao experimento 16.

Os dados obtidos quanto aos rendimentos, demonstraram que o experimento 7 apresentou o melhor rendimento referente aos rendimentos do grau de hidrólise pelo tempo e concentração proteica por tempo (0,35%/min e 0,67 g/min), já quando analisado o percentual de rendimento mássico de hidrolisado liofilizado obtido, o ensaio que apresenta melhor resultado foi o experimento 6. Ambos os ensaios tiveram GH maior que 10% e tempos iguais ou inferiores a 1h para alcançar os percentuais encontrados para cada processo, destaca-se que os dois ensaios ocorreram em uma mesma faixa de pH, entretanto o experimento 6 foi realizado com uma maior aplicação de calor e menor concentração de E:S ao experimento 7, sendo um fator importante a ser avaliado para futuros processos de hidrólise e em aplicações a larga escala.

### 3.2.2. Capacidade de retenção de água e óleo

A avaliação da capacidade de retenção de óleo da torta de baru hidrolisada é um importante índice a ser verificado dentro das propriedades tecnológicas, tendo em vista que esta capacidade indica uma melhor retenção da gordura nos alimentos, garantindo a estabilidade no sabor do produto. Além disso, auxilia em uma melhor taxa de vida útil, reduzindo a oxidação lipídica em alimentos, por fim é um excelente indicativo de ótimas propriedades de emulsão (FATHOLLAHY et al., 2021).

Os tratamentos de hidrólise enzimática de torta de baru utilizando enzima alcalase se diferiram estatisticamente ( $p < 0,05$ ) em relação a capacidade de retenção de água (CRA) e de óleo (CRO). Globalmente, todos os experimentos exibiram uma elevada CRO (63,28 – 230,18%) como é exposto na Tabela 5, tendo o experimento 16 com a maior CRO, se diferenciando

estatisticamente da capacidade encontrada para a torta da amêndoa de baru. Os valores encontrados para CRO neste estudo foram superiores aos valores relatados na literatura de 5,43 g/g 3,75 g/g, 7,82 g/g e 3,33 g/g para hidrolisado enzimática de sementes de limão pérsia (FATHOLLAHY et al., 2021), hidrolisado enzimática de isolado de proteína de soja (YOLANDANI et al., 2023), pepino-do-mar (ZIELIŃSKA; KARASÍ; BARANIAK, 2018) e isolado proteico de grilo (ZIELIŃSKA; KARASÍ; BARANIAK, 2018), respectivamente. Observou-se também que a torta da amêndoa de baru apresentou elevada CRO (130,56%), mostrando ter um melhor percentual do que os expostos para os tratamentos 1, 2, 4, 10, 11 e 14 (72,67%, 90,05%, 85,40%, 63,68%, 93,30% e 100,35% respectivamente), se diferindo estatisticamente.

Essa diferença encontrada entre os valores da CRO do presente trabalho e os achados na literatura pode ter ocorrido em decorrência da estrutura rígida que as moléculas de proteína apresentam, o que as tornam insolúveis em gordura e a uma maior presença de grupos hidrofóbicos nas moléculas hidrolisadas (ISLAM et al., 2023). A massa molecular e a densidade molecular das proteínas são parâmetros adicionais que podem influenciar na CRO, uma vez que na literatura existem registros de que em casos nos quais o produto exibe baixa densidade e massa molecular, a CRO demonstra maior eficácia, resultando em taxas superiores de retenção (ARYEE; AGYEI; UDENIGWE, 2017).

Os resultados da CRA avaliados para todos os experimentos dos hidrolisados com a enzima Alcalase estão demonstrados na Tabela 5. A hidrólise enzimática das proteínas pode provocar alterações na estrutura da molécula capazes de melhorar as propriedades tecnológicas da torta de amêndoa de baru, incluindo a CRA. No entanto, ao contrário do que foi encontrado para a CRO, os valores obtidos para CRA mostraram que os experimentos não apresentam uma boa capacidade, apresentando valores negativos com exceção do experimento 6, que apresentou CRA de 26,38%. Ao mesmo tempo, a CRA encontrada para a torta de amêndoa de baru sem passar pelo processo de hidrólise mostrou-se com um percentual elevado em relação aos hidrolisados proteicos, evidenciando que o processo de hidrólise diminuiu a CRA inicialmente apresentada pela torta.

Valores positivos de CRA indicam uma melhor propriedade do hidrolisado em assegurar uma qualidade sensorial superior dos alimentos, influenciando diretamente nas propriedades de textura, sinérese, viscosidade e rendimento do produto (DIASA; DE MOURA BELL, 2022; GALANTE et al., 2020). A CRA mantém uma associação direta com a massa molecular da proteína hidrolisada, estabelecendo uma correlação inversa entre ambos os parâmetros, sendo

que quanto maior a massa molecular, menor a CRA. Contudo, a CRA também está correlacionada com a solubilidade das proteínas, a qual, por sua vez, está relacionada com o tamanho molecular das proteínas hidrolisadas. Nesse contexto, solubilidade presente no hidrolisados sugere uma menor dimensão molecular, facilitando a dissolução e, conseqüentemente, reduzindo a CRA (NOMAN et al., 2018).

**Tabela 5.** Capacidade de retenção de água (CRA) e óleo (CRO), formação de espuma (FE), capacidade e estabilidade de emulsão dos hidrolisados utilizando a enzima Alcalase

Decodificado				Resultados				
Experimentos	T (°C)	pH	% E:S	CRA (%)	CRO (%)	FE (%)	C. Emsulsão (m <sup>2</sup> /g)	Estabilidade Emulsão (min)
1	50	6	1	-69,51 ± 10,43 <sup>d,e,f,g</sup>	72,67 ± 1,78 <sup>f,g</sup>	4,33 ± 0,03 <sup>e,f</sup>	31,57 ± 1,11 <sup>j,k</sup>	18,95 ± 0,74 <sup>e</sup>
2	70	6	1	-73,10 ± 10,45 <sup>e,f,g</sup>	90,05 ± 4,33 <sup>e,f,g</sup>	4,43 ± 0,32 <sup>e,f</sup>	42,13 ± 1,23 <sup>ij</sup>	60,95 ± 2,53 <sup>b,c,d,e</sup>
3	50	6	3	-86,13 ± 2,91 <sup>g</sup>	143,90 ± 3,72 <sup>b</sup>	7,92 ± 1,34 <sup>d,e,f</sup>	26,04 ± 2,83 <sup>k</sup>	33,76 ± 1,94 <sup>d,e</sup>
4	70	6	3	-82,29 ± 1,74 <sup>e,f,g</sup>	85,40 ± 4,23 <sup>e,f,g</sup>	4,26 ± 0,09 <sup>e,f</sup>	44,26 ± 0,51 <sup>g,h,l,j</sup>	97,16 ± 8,88 <sup>b</sup>
5	50	8,5	1	-65,69 ± 1,60 <sup>d,e,f,g</sup>	115,74 ± 4,20 <sup>b,c,d,e</sup>	12,27 ± 2,76 <sup>c,d</sup>	42,66 ± 1,04 <sup>h,l,j</sup>	43,21 ± 6,51 <sup>c,d,e</sup>
6	70	8,5	1	26,38 ± 14,59 <sup>a</sup>	146,89 ± 2,40 <sup>b</sup>	15,91 ± 2,27 <sup>b,c</sup>	93,72 ± 8,35 <sup>c</sup>	43,92 ± 4,87 <sup>c,d,e</sup>
7	50	8,5	3	-78,80 ± 9,79 <sup>e,f,g</sup>	144,70 ± 1,33 <sup>b</sup>	8,89 ± 0,20 <sup>d,e</sup>	108,58 ± 2,01 <sup>b,c</sup>	21,49 ± 3,34 <sup>e</sup>
8	70	8,5	3	-36,17 ± 6,97 <sup>b,c</sup>	138,76 ± 4,04 <sup>b,c</sup>	4,32 ± 0,05 <sup>e,f</sup>	57,65 ± 6,13 <sup>e,f,g,h</sup>	203,69 ± 48,25 <sup>a</sup>
9	60	7,25	2,50	-82,74 ± 8,92 <sup>f,g</sup>	136,86 ± 5,40 <sup>b,c</sup>	8,17 ± 0,53 <sup>d,e,f</sup>	67,06 ± 4,49 <sup>d,e</sup>	59,31 ± 13,11 <sup>b,c,d,e</sup>
10	60	7,25	2,50	-83,34 ± 6,61 <sup>f,g</sup>	63,68 ± 15,14 <sup>g</sup>	3,44 ± 0,47 <sup>f</sup>	58,17 ± 4,04 <sup>e,f,g</sup>	155,91 ± 37,00 <sup>a</sup>
11	60	7,25	2,50	-81,15 ± 2,94 <sup>e,f,g</sup>	93,30 ± 6,72 <sup>e,f,g</sup>	4,35 ± 0,00 <sup>e,f</sup>	71,29 ± 6,77 <sup>d,e</sup>	54,63 ± 6,95 <sup>b,c,d,e</sup>
12	60	9,35	2,50	-55,79 ± 20,59 <sup>c,d,e,f,g</sup>	102,96 ± 3,30 <sup>d,e,f</sup>	17,55 ± 2,61 <sup>b</sup>	134,70 ± 8,46 <sup>a</sup>	23,37 ± 3,80 <sup>d,e</sup>
13	60	5,15	2,50	-41,63 ± 5,53 <sup>b,c,d</sup>	133,26 ± 9,70 <sup>b,c,d</sup>	10,91 ± 1,85 <sup>d</sup>	48,58 ± 4,75 <sup>f,g,h,i</sup>	17,93 ± 0,51 <sup>e</sup>
14	76,8	7,25	2,50	-53,90 ± 2,00 <sup>e,d,e</sup>	100,35 ± 9,07 <sup>e,f</sup>	40,40 ± 3,99 <sup>a</sup>	76,57 ± 10,39 <sup>d</sup>	88,97 ± 12,41 <sup>b,c</sup>
15	43,2	7,25	2,50	-76,25 ± 11,86 <sup>e,f,g</sup>	146,39 ± 9,42 <sup>b</sup>	8,70 ± 0,00 <sup>d,e</sup>	33,12 ± 1,30 <sup>j,k</sup>	201,11 ± 17,21 <sup>a</sup>
16	60	7,25	0,02	-23,45 ± 0,35 <sup>b</sup>	230,18 ± 34,30 <sup>a</sup>	10,39 ± 0,13 <sup>d</sup>	111,37 ± 2,01 <sup>b</sup>	33,37 ± 4,52 <sup>d,e</sup>
17	60	7,25	3,34	-59,31 ± 12,51 <sup>c,d,e,f,g</sup>	107,67 ± 5,75 <sup>c,d,e</sup>	18,67 ± 0,25 <sup>b</sup>	63,62 ± 3,49 <sup>d,e,f</sup>	72,62 ± 6,58 <sup>b,c,d</sup>
<b>Torta baru</b>	-	-	-	172,45±226,50 <sup>a</sup>	130,56±17,14 <sup>b,c,d</sup>	10,00±0,00 <sup>d</sup>	58,27±5,58 <sup>e,f,g</sup>	22,08±3,35 <sup>e</sup>

Valores expressos pela média e desvio padrão da triplicata. Letras diferentes entre linhas na mesma coluna mostram diferenças significativas entre os ensaios por meio do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### 3.2.3. Capacidade e estabilidade de espuma

No que diz respeito ao percentual de formação de espuma (FE), os experimentos de hidrólise conduzidos com torta de baru produziram valores que exibiram diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ). O experimento 14 (40,40%) demonstrou maior percentual para FE, que foi superior aos percentuais encontrados por Ganesh, Ningtyas, Prakash (2022) em seu trabalho sobre o tratamento enzimático de amêndoa com a enzima alcalase (8-32%). Enquanto isso, os demais ensaios testados na presente pesquisa demonstraram valores similares a Ganesh, Ningtyas, Prakash (2022). Ha, Hieu, Thuy, (2023) também reportaram percentuais similares (23,33%) para a hidrólise enzimática da proteína presente no resíduo do arroz utilizado para produção de amido utilizando a enzima neutrase.

A importância de analisar essa propriedade tecnológica reside em sua aplicabilidade nos processos industriais de alimentos como agentes espumantes. Nota-se que, dentre as 17 hidrólises realizadas, somente os experimentos 6, 12, 14 e 17 demonstraram um percentual de FE superior ao observado na torta de amêndoa (10%), se diferindo estatisticamente, indicando um impacto positivo do processo de hidrólise na capacidade de FE desses hidrolisados.

Segundo Fathollahy et al., (2021), para obter hidrolisados proteicos com uma boa capacidade de FE, é recomendável que o GH não seja excessivamente elevado (<15%). Isso ocorre porque um percentual de GH muito alto pode prejudicar a formação de espuma devido ao aumento da tensão superficial, resultante do incremento dos grupos peptídicos hidrofílicos. Esse aumento interfere no equilíbrio entre os grupos hidrofílicos e hidrofóbicos, os quais são responsáveis por reduzir a tensão superficial e conferir maior flexibilidade aos peptídeos, facilitando assim a formação de espuma. (GANESH; NINGTYAS; PRAKASH, 2022). Essa observação é consistente com as taxas FE mais baixas nos experimentos 1, 3 e 8, os quais exibiram elevados GH (23,32%, 23,17% e 27,49%, respectivamente).

Por outro lado, é importante destacar que o experimento 12, com níveis mais elevados de GH (28,60%), também revelou uma FE significativamente aumentada. Essa observação pode ser associada, em parte, à possibilidade de as moléculas de peptídeos adquirirem uma maior flexibilidade estrutural após passarem pelo processo de hidrólise enzimática. A FE parece ser mais eficaz em moléculas que apresentam uma estrutura helicoidal flexível, ao contrário daquelas que possuem uma estrutura mais rígida e compacta (SEVERIN; XIA, 2006).

As taxas de FE demonstradas no presente trabalho também se mostraram superiores às relatadas por Aracava et al., (2022). Os autores avaliaram os percentuais de FE para a torta de amêndoa de baru em três tratamentos diferentes de extração da gordura, sendo a torta

parcialmente desengordurada, torta desengordurada em três etapas a 60 °C e desengordurada em duas etapas a 90 °C. Para a farinha parcialmente desengordurada de baru e para a farinha desengordurada em três etapas a 60 °C com etanol absoluto, que apresentou FE de 10% e 32%, respectivamente. No entanto, a farinha desengordurada em duas etapas a 90 °C com etanol absoluto exibiu uma FE de 54% (ARACAIVA et al., 2022), superando o percentual obtido no experimento 14 deste estudo.

A torta de baru utilizada nesta pesquisa foi parcialmente desengordurada, sendo o processo de remoção parcial do óleo realizado por meio do método de extração mecânica, sem a utilização de solventes ou calor para extrair completamente sua fração lipídica. Os resultados do hidrolisado obtido a partir desta torta demonstraram taxas de FE similares ou ligeiramente inferiores às do estudo realizado por Aracava et al., (2022), que empregou métodos distintos para a remoção do óleo, evidenciando assim o potencial da torta de baru para alcançar FE mais elevadas em processos de extração de óleo semelhantes aos descritos na literatura.

A Tabela 6 apresenta a estabilidade da espuma (EE) dos hidrolisados da torta de baru em intervalos de tempo de 1, 15, 30, 60 e 120 min, revelando diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Os experimentos 1, 3, 4, 6, 8, 10 e 15 demonstraram uma estabilidade de 100% no primeiro min, contudo, o experimento 11 apresentou uma estabilidade de 16,67% no mesmo período.

A torta da amêndoa de baru também exibiu uma excelente estabilidade nos primeiros 60 min, com porcentagens superiores aos experimentos 1, 4, 5, 8, 11, 13, 14, 16 e 17. No entanto, após 120 min, sua estabilidade diminuiu para 26%. Os experimentos 10 e 12, por sua vez, mantiveram melhores índices de estabilidade ao longo dos 120 min de avaliação, alcançando porcentagens finais de 65,71% e 67,11%, respectivamente.

**Tabela 6.** Estabilidade da espuma (EE) do hidrolisado da torta de baru utilizando a enzima Alcalase

Tratamento	Tempo (min)				
	1	15	30	60	120
<b>1</b>	100,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	95,00 ± 5,00 <sup>a,b</sup>	70,00 ± 20,00 <sup>a,b,c</sup>	55,00 ± 5,00 <sup>b,c,d</sup>	30,00 ± 20,00 <sup>a,b,c</sup>
<b>2</b>	96,97 ± 5,25 <sup>a,b</sup>	90,45 ± 0,45 <sup>a,b</sup>	85,45 ± 5,45 <sup>a</sup>	80,91 ± 0,91 <sup>a,b</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>3</b>	100,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	92,78 ± 2,55 <sup>a,b</sup>	92,78 ± 2,55 <sup>a</sup>	78,89 ± 6,74 <sup>a,b</sup>	55,56 ± 9,62 <sup>a,b</sup>
<b>4</b>	100,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	90,00 ± 10,00 <sup>a,b</sup>	78,33 ± 2,89 <sup>a,b,c</sup>	55,00 ± 5,00 <sup>b,c,d</sup>	30,00 ± 10,00 <sup>a,b,c</sup>
<b>5</b>	98,92 ± 1,86 <sup>a,b</sup>	79,48 ± 15,55 <sup>a,b,c,d</sup>	67,44 ± 12,84 <sup>a,b,c</sup>	55,91 ± 10,24 <sup>b,c,d</sup>	57,26 ± 7,26 <sup>a,b</sup>
<b>6</b>	100,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	81,35 ± 5,63 <sup>a,b,c</sup>	74,96 ± 9,76 <sup>a,b,c</sup>	63,53 ± 9,85 <sup>a,b,c,d</sup>	53,57 ± 3,57 <sup>a,b</sup>
<b>7</b>	98,10 ± 3,30 <sup>a,b</sup>	86,90 ± 12,54 <sup>a,b</sup>	86,90 ± 12,54 <sup>a</sup>	90,00 ± 10,00 <sup>a</sup>	62,50 ± 12,50 <sup>a,b</sup>
<b>8</b>	100,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	85,00 ± 15,00 <sup>a,b,c</sup>	70,00 ± 20,00 <sup>a,b,c</sup>	50,00 ± 0,00 <sup>c,d</sup>	25,00 ± 25,00 <sup>b,c</sup>
<b>9</b>	92,98 ± 12,15 <sup>a,b</sup>	82,39 ± 5,09 <sup>a,b,c</sup>	80,73 ± 6,79 <sup>a,b</sup>	80,73 ± 6,79 <sup>a,b</sup>	60,40 ± 13,88 <sup>a,b</sup>
<b>10</b>	100,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	80,42 ± 12,02 <sup>a,b,c,d</sup>	75,66 ± 11,70 <sup>a,b,c</sup>	64,55 ± 8,15 <sup>a,b,c</sup>	65,71 ± 5,71 <sup>a</sup>
<b>11</b>	16,67 ± 28,87 <sup>c</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>e</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>d</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>e</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>12</b>	99,21 ± 1,37 <sup>a,b</sup>	89,33 ± 6,89 <sup>a,b</sup>	89,33 ± 6,89 <sup>a</sup>	85,66 ± 3,71 <sup>a</sup>	67,11 ± 4,00 <sup>a</sup>
<b>13</b>	85,77 ± 9,34 <sup>a,b</sup>	56,46 ± 12,34 <sup>c,d</sup>	51,46 ± 9,96 <sup>b,c</sup>	36,64 ± 11,64 <sup>d</sup>	26,29 ± 1,29 <sup>b,c</sup>
<b>14</b>	85,51 ± 10,53 <sup>a,b</sup>	51,39 ± 5,55 <sup>d</sup>	47,31 ± 2,78 <sup>c</sup>	44,81 ± 5,01 <sup>c,d</sup>	39,44 ± 3,37 <sup>a,b</sup>
<b>15</b>	100,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	76,67 ± 15,28 <sup>a,b,c,d</sup>	70,00 ± 13,23 <sup>a,b,c</sup>	50,00 ± 0,00 <sup>c,d</sup>	45,00 ± 5,00 <sup>a,b</sup>
<b>16</b>	82,22 ± 13,47 <sup>a,b</sup>	72,22 ± 4,8 <sup>a,b,c,d</sup>	71,11 ± 6,74 <sup>a,b,c</sup>	65,00 ± 8,66 <sup>a,b,c</sup>	45,00 ± 5,00 <sup>a,b</sup>
<b>17</b>	71,43 ± 12,45 <sup>b</sup>	67,62 ± 14,66 <sup>b,c,d</sup>	64,05 ± 15,98 <sup>a,b,c</sup>	58,33 ± 25,84 <sup>b,c,d</sup>	53,57 ± 34,07 <sup>a,b</sup>
<b>Torta</b>	100,00±0,00 <sup>a</sup>	97,33±4,62 <sup>a</sup>	93,33±6,11 <sup>a</sup>	90,00±2,00 <sup>a</sup>	26,00±6,00 <sup>b,c</sup>

Valores expressos pela média e desvio padrão da triplicata. Letras diferentes entre linhas na mesma coluna mostram diferenças significativas entre os ensaios por meio do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

O comportamento de redução da estabilidade de todos os tratamentos era, entretanto, um resultado esperado, visto que o sistema formado pelas espumas é instável no ponto de vista termodinâmico, tendo em vista que variações de temperaturas juntamente com a tendência das bolhas de gás formadas na espuma tem a se coalescerem, o que pode provocar uma desproporção e coalescência nas espumas do sistema (ELLIS et al., 2017). Os percentuais de estabilidade encontrados no presente trabalho também foram superiores em sua maioria a EE da globulina 7S de soja, que apresentou valores entre 30-40% (WANG et al., 2023). Assim como os resultados obtidos por García Arteaga et al., (2020), onde ao investigarem o percentual de estabilidade de espuma da proteína de ervilha hidrolisada com a enzima alcalase, encontraram uma estabilidade de 80%, neste estudo os tratamentos que exibiram alta atividade hidrolítica (GH) coincidiram com aqueles que apresentaram uma eficiência de emulsão (EE) superior a 50%. Isso sugere que esses hidrolisados podem ter originado peptídeos com maior hidrofobicidade na superfície, contribuindo para a estabilidade observada.

#### 3.2.4. Capacidade e estabilidade de emulsão

A capacidade de emulsão é dada pela quantidade da área da interface de óleo que é estabilizada por unidade de massa de proteína (NOMAN et al., 2018). A hidrólise enzimática realizada provocou alterações significativas na capacidade de emulsificação analisada nos 17 experimentos, os quais apresentaram diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ). O experimento 12 evidenciou o mais alto teor dentre os experimentos analisados ( $134,70 \text{ m}^2/\text{g}$ ), superando o valor obtido na torta de amêndoa de baru ( $58,27 \text{ m}^2/\text{g}$ ). Em contrapartida, este mesmo experimento apresentou baixa estabilidade de emulsão (23,37 min), enquanto o experimento 8 que teve percentual de GH próximo, teve a melhor estabilidade entre os 17 experimentos, com 203,69 min de estabilidade.

Destaca-se também que apesar dos experimentos 1 e 3 terem apresentado percentuais de GH superiores a 20%, os valores obtidos quanto a capacidade e estabilidade de emulsão foram demonstrados dentro dos mais baixos dentre os 17 experimentos, com  $37,57 \text{ m}^2/\text{g}$  e 19,85 min para o experimento 1 e  $26,04 \text{ m}^2/\text{g}$  e 3,76 min. Esses resultados evidenciam que apesar do alto percentual de GH, os peptídeos clivados durante a hidrólise nestes experimentos não apresentaram boas propriedades emulsionantes.

Os resultados encontrados neste estudo foram superiores aos achados por Yanqing et al., (2022), para proteína isolada de soja hidrolisada, onde encontraram cerca de  $16 \text{ m}^2/\text{g}$  de capacidade emulsionante e 37 min de estabilidade. A capacidade das proteínas de emulsionar

e manter uma boa estabilidade estão diretamente ligados a flexibilidade e hidrofobicidade apresentada pelas estruturas proteicas, já que proteínas flexíveis são mais eficientes em estabilizar a interface entre as fases miscíveis e imiscíveis, o que implica em melhores formações e estabilidade de emulsões, enquanto que a hidrofobicidade das moléculas indica a capacidade das proteínas de interagirem com moléculas de óleo, facilitando desta forma a estabilidade (TANG; SUN; FOEGEDING, 2011, YANQING et al., 2022).

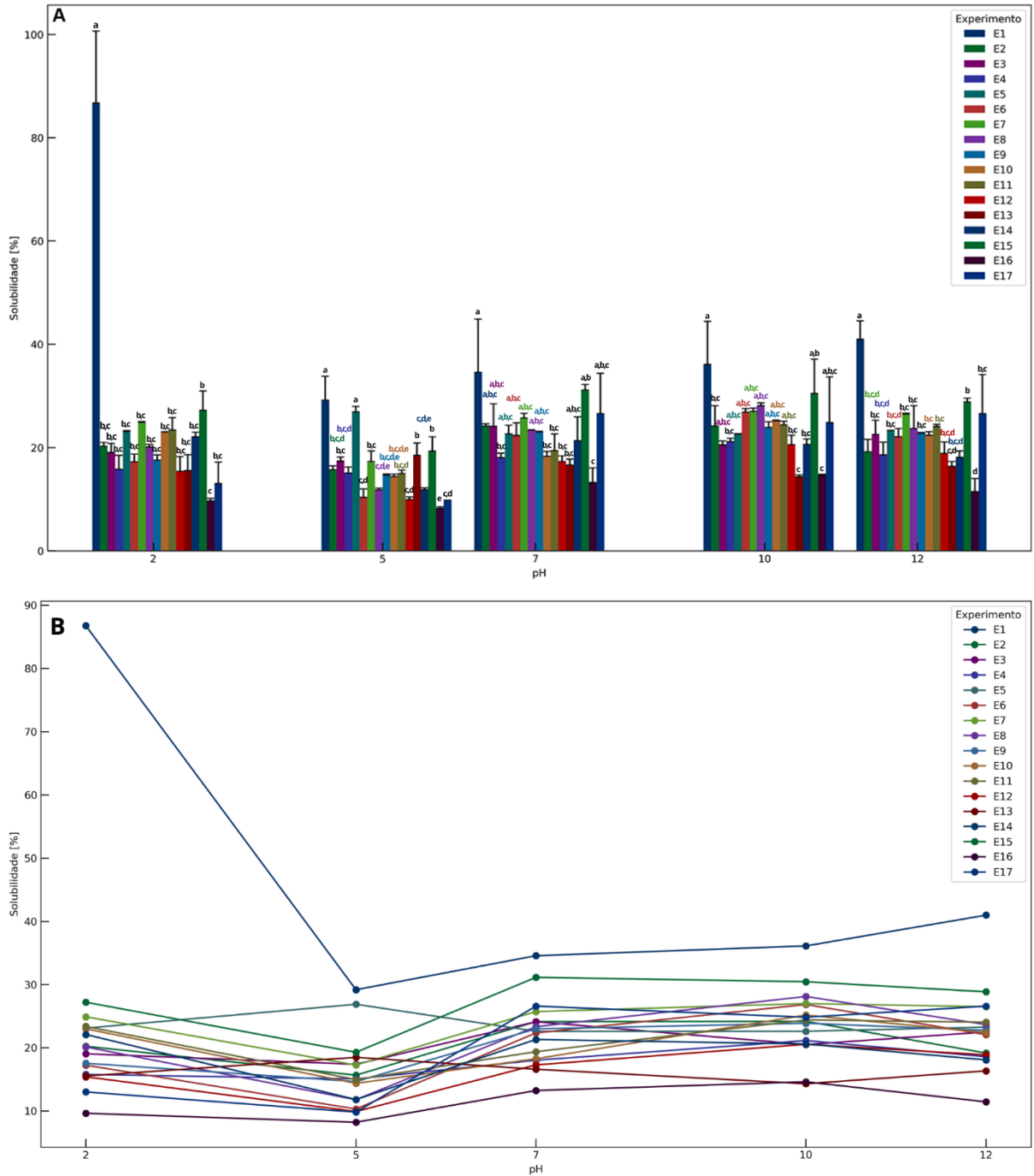
### 3.2.5. Solubilidades das proteínas

Os percentuais de solubilidade obtidos para a os 17 experimentos hidrolíticos realizados com a enzima Alcalase em diferentes faixas de pH são exibidos na Figura 5. A avaliação da solubilidade de proteínas é de suma importância dentro das capacidades tecnológicas, isso se deve ao fato de estar relacionada a estrutura da proteína, além de influências nas propriedades hidratantes como a CRA e surfactantes (capacidade emulsionante) (ZHENG et al., 2015).

Os percentuais de solubilidades obtidos mostraram um comportamento semelhante entre os experimentos. Nota-se que o experimento 1 apresentou maior percentual de solubilidade na faixa de pH 2 (86,75%), no entanto, tem uma queda na faixa de pH 5, com a sua solubilidade caindo para 29,19%. Esta queda da solubilidade também é observada para todos os experimentos, com exceção dos experimentos 5 e 13, que tiveram seu percentual de solubilidade aumentado de 23,38% para 26,89% (experimento 5) e 15,41% para 18,50% (experimento 13). Em seguida na faixa de pH 7, os percentuais de solubilidade voltam a aumentar, tendo a exceção novamente dos experimentos 5 (22,62%) e 13 (16,61%) que tem o percentual e solubilidade reduzido.

Na faixa de pH 10, o experimento 13 continua a apresentar uma queda no percentual de solubilidade (14,13%), no entanto, desta vez, o experimento 15 apresenta uma pequena queda (31,14% para 30,41%) junto ao experimento 13. Na faixa do pH 12 foi possível observar que o experimento 1 apresentou maior percentual de solubilidade, comportamento que ocorreu durante todas as faixas avaliadas. A queda da solubilidade da maior parte dos experimentos na faixa de pH 5 ocorreu próxima ao ponto isoelétrico que as proteínas apresentam, sendo este o possível motivo da diminuição da solubilidade, tendo em vista que a solubilidade de proteínas é mais baixa nesta faixa devido a neutralização que ocorre nas cargas elétricas das proteínas, o que facilita na formação de agregados insolúveis (BUČKO et al., 2016). Um comportamento semelhante foi obtido por Fathollahy et al., (2021) para o hidrolisado de isolado de proteína de

semente de limão pérsia, onde a solubilidade das proteínas apresentou uma queda na faixa de pH 4.



**Figura 5.** Percentual de solubilidade da hidrólise enzimática da torta de baru utilizando a enzima Alcalase. (A) Gráfico de barras, (B) Gráfico de linhas. Valores expressos pela média e desvio padrão da duplicata. Letras diferentes indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ )

### 3.2.6. Capacidade de formação e gel

A capacidade de formação de gel é uma propriedade crucial para aplicação em processos que se tem a necessidade de melhora de textura, auxiliando na estrutura do alimento, conferindo consistência e estabilidade, estando correlacionados com a capacidade de retenção de água (NIETO-NIETO et al., 2014). Esta propriedade tecnológica depende de diversos fatores, dentre os quais estão o tipo de proteína e a concentração de matéria-prima usada no ensaio (NIETO-NIETO et al., 2014; TANG; ROOS; MIAO, 2024).

Conforme os resultados apresentados na Tabela 7, pode-se observar que a torta de baru hidrolisada não apresentou a criação de uma matriz de forte de gel, demonstrando, em vez disso, a formação de uma estrutura de gel de baixa densidade. É importante destacar que a formação de gel não foi detectada nos experimentos 7, 9, 10, 12 e 17, enquanto na torta e nos experimentos 1, 2, 8, 13 e 16 revelaram uma capacidade limitada de formação de gel na concentração de mínima empregada. Isso sugere que esses últimos experimentos exibiram uma maior propensão para a geração de uma rede de gel em comparação aos demais. Estes resultados também mostram que o processo de hidrólise não melhorou as propriedades gelificantes dos hidrolisados pela enzima Alcalase.

**Tabela 7.** Capacidade de formação de gel nos hidrolisados da torta de baru utilizando enzima Alcalase

Tratamentos	Percentual de concentração				
	4%	8%	12%	16%	20%
<b>1</b>	+	+	+	+	+
<b>2</b>	+	+	+	+	+
<b>3</b>	-	+	+	+	+
<b>4</b>	-	-	-	-	+
<b>5</b>	-	+	+	+	+
<b>6</b>	-	-	+	+	+
<b>7</b>	-	-	-	-	-
<b>8</b>	+	+	+	+	+
<b>9</b>	-	-	-	-	-
<b>10</b>	-	-	-	-	-
<b>11</b>	-	+	+	+	+
<b>12</b>	-	-	-	-	-
<b>13</b>	+	+	+	+	+
<b>14</b>	-	-	-	-	+
<b>15</b>	-	-	-	+	+
<b>16</b>	+	++	++	++	++
<b>17</b>	-	-	-	-	-
<b>Torta</b>	+	+	+	+	+

**Legenda:** (+) houve formação fraca de gel, (-) não houve formação de gel e (++) houve formação de gel, (+++) houve formação forte de gel.

Destaca-se ainda que a CRA que está diretamente ligada a capacidade de formação de gel, foi negativa no presente trabalho, concordando com os dados obtidos para a capacidade de formação de gel dos hidrolisados da torta da amêndoa de baru, com a enzima Alcalase.

Tang, Roos, Miao, (2024) em seu trabalho sobre o comportamento de gelificação estrutural e térmico, encontraram uma capacidade de formação de gel fraca para os isolados proteicos de soja e lentilha a 12% de concentração, ficando esta formação mais forte a partir de 14% de concentração. Já Nisov, Ercili-Cura e Nordlund, (2020) em suas pesquisas sobre a capacidade de formação de gel em hidrolisados de proteína de arroz, obtiveram formação de gel apenas para a amostrada tratada com endoprotease neutra com concentração de 0,2  $\mu\text{L/g}$  a 10% de concentração após a aplicação de calor. Segundo Nieto-Nieto et al., (2014), as proteínas vegetais apresentam uma característica de gelificar restrita quando comparadas às proteínas de origem animal.

### 3.2.7. Atividade antioxidante

A importância da avaliação da atividade antioxidante em peptídeos se dá por diversos fatores, já que os peptídeos antioxidantes auxiliam na proteção das células prevenindo danos celulares causados pelo estresse oxidativo, o qual é associado ao aparecimento de algumas doenças no organismo humano, como problemas cardiovasculares e câncer (CHEN et al., 2020). A atividade antioxidante encontrada também se aplica para auxílio na conservação de alimentos e na garantia da qualidade final do produto, pois a aplicação de antioxidantes em processos de produção de alimentos retarda a oxidação lipídica e reduz a deterioração de alimentos com altos níveis de gordura (ZAKY et al., 2020).

Os percentuais de atividade antioxidante pelos métodos de eliminação dos radicais DPPH e ABTS dos hidrolisados obtidos pela enzima Alcalase, expressos na Tabela 8 se diferiram estatisticamente ( $p < 0,05$ ). Todos os 17 experimentos apresentaram atividade antioxidante. Destaca-se que os hidrolisados apresentaram maior atividade sequestradora para o radical ABTS, no entanto, o experimento 3 destacou-se por apresentar percentuais mais altos para os radicais DPPH (88,31%) e ABTS (98,26%), se diferenciando estatisticamente dos experimentos 8 (56,52%), 11 (70,81%), 12 (55,38%), 13 (55,38%), 14 (53,76%), 15 (70,43%), 16 (63,31%), 17 (70,63%) para a atividade antioxidante de eliminação do radical DPPH e dos experimentos 12 (77,92%), 13 (91,22%), 14 (91,79 %) e 15 (95,95 %) para a atividade de

eliminação do radical ABTS. Abbasi, Moslehishad e Salami, (2022) também encontraram atividade antioxidante de 10,51% até 89,92% para o radical ABTS para o hidrolisado de proteína de quinoa com a enzima Alcalase. Foi verificado que a torta também apresentou atividade antioxidante para ambos os radicais analisados (98,32% para ABTS e 84,41% para ABTS), não apresentando diferença significativa com o experimento 3.

**Tabela 8.** Atividade antioxidante nos hidrolisados da torta de baru utilizando enzima Alcalase

Experimentos	Decodificado			Resultados	
	T (°C)	pH	% E:S	C. Antioxidante DPPH (%)	C. Antioxidante ABTS (%)
1	50	6	1	88,04 ± 2,85 <sup>a</sup>	94,91 ± 1,59 <sup>a,b,c,d</sup>
2	70	6	1	81,79 ± 2,15 <sup>a,b</sup>	97,65 ± 0,44 <sup>a,b</sup>
3	50	6	3	88,31 ± 2,53 <sup>a</sup>	98,26 ± 0,55 <sup>a</sup>
4	70	6	3	82,53 ± 6,85 <sup>a,b</sup>	97,90 ± 0,39 <sup>a,b</sup>
5	50	8,5	1	75,20 ± 2,10 <sup>a,b,c,d</sup>	97,05 ± 0,78 <sup>a,b,c</sup>
6	70	8,5	1	73,32 ± 4,44 <sup>a,b,c,d,e</sup>	97,72 ± 0,37 <sup>a,b</sup>
7	50	8,5	3	77,28 ± 1,82 <sup>a,b,c</sup>	94,38 ± 1,76 <sup>a,b,c,d,e</sup>
8	70	8,5	3	56,52 ± 5,48 <sup>f,e,f</sup>	94,27 ± 0,37 <sup>a,b,c,d,e</sup>
9	60	7,25	2,50	73,86 ± 5,21 <sup>a,b,c,d,e</sup>	95,55 ± 1,33 <sup>a,b,c,d</sup>
10	60	7,25	2,50	77,42 ± 0,96 <sup>a,b,c</sup>	92,64 ± 2,87 <sup>b,c,d,e</sup>
11	60	7,25	2,50	70,81 ± 16,88 <sup>b,c,d,e,f</sup>	92,99 ± 2,10 <sup>a,b,c,d,e</sup>
12	60	9,35	2,50	55,38 ± 7,45 <sup>f</sup>	77,92 ± 2,64 <sup>d,e</sup>
13	60	5,15	2,50	59,48 ± 11,71 <sup>d,e,f</sup>	91,22 ± 2,38 <sup>e</sup>
14	76,8	7,25	2,50	53,76 ± 8,56 <sup>f</sup>	91,79 ± 5,17 <sup>a,b,c,d</sup>
15	43,2	7,25	2,50	70,43 ± 2,37 <sup>b,c,d,e,f</sup>	88,87 ± 4,32 <sup>e</sup>
16	60	7,25	0,02	63,31 ± 5,52 <sup>c,d,e,f</sup>	95,95 ± 1,09 <sup>a,b,c,d</sup>
17	60	7,25	3,34	70,63 ± 5,32 <sup>b,c,d,e,f</sup>	94,20 ± 0,65 <sup>a,b,c,d,e</sup>
<b>Torta</b>	-	-	-	84,41±1,23 <sup>a,b</sup>	98,32±0,16 <sup>a,b</sup>

Valores expressos pela média e desvio padrão da triplicata. Letras diferentes entre linhas na mesma coluna mostram diferenças significativas entre os ensaios por meio do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### 3.2.8. Determinação da cor

Os parâmetros de cor dos hidrolisados da torta da amêndoa de baru com a enzima Alcalase apresentaram diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ). Os valores de L\* indicam luminosidade, sendo 0 = preto e 100= branco, a\* representa o eixo variante entre o vermelho e o verde, sendo +a tons mais avermelhados e -a tons mais esverdeados. O parâmetro b\* se refere ao eixo variante entre o amarelo e o azul, enquanto +b representa tons amarelos, -b se refere a tons azuis. Os parâmetros de cor C\* e h° representam a saturação ou intensidade da cor e a tonalidade

respectivamente (AZETSU; SUETAKE, 2019). A Tabela 9 apresenta os parâmetros de cor determinados para os hidrolisados obtidos a partir da torta de baru utilizando a enzima Alcalase.

Ao avaliar os parâmetros de cor dos hidrolisados (Tabela 8), verificou-se que o ensaio 12 apresentou os menores valores de dentro de todos os parâmetros avaliados. De uma forma geral, os experimentos tenderam ao vermelho (+a) e ao amarelo (+b), esses resultados condizem com o tempo de duração que o processo de hidrólise levou para esse experimento, onde teve maior aplicação de calor e hidróxido de sódio 1M, supõe-se que a aplicação de calor em um tempo prolongados, somando o pH do meio com ação das enzimas provocaram um escurecimento no ingrediente. Os experimentos 5, 14 e 16, os quais apresentaram maior tempo de processo e foram aplicados a condições de pH e temperaturas semelhantes também apresentaram resultados similares. Este mesmo comportamento foi encontrado por Galante et al., (2020) para hidrolisados proteicos de quinoa.

Tabela 9. Parâmetros de cor nos hidrolisados da torta de baru utilizando enzima Alcalase

Tratamentos	Decodificado			Parâmetros colorimétricos				
	T (°C)	pH	% E:S	L*	a*	b*	C*	h°
1	50	6	1	69,09 ± 0,95 <sup>a</sup>	4,15 ± 0,14 <sup>i,j</sup>	32,10 ± 0,58 <sup>b</sup>	32,32 ± 0,58 <sup>b,c</sup>	82,85 ± 0,57 <sup>a</sup>
2	70	6	1	59,28 ± 1,49 <sup>b</sup>	8,57 ± 0,38 <sup>e,f,g</sup>	32,75 ± 1,20 <sup>a,b</sup>	35,52 ± 2,85 <sup>a,b</sup>	75,33 ± 0,42 <sup>b,c</sup>
3	50	6	3	44,36 ± 0,92 <sup>c,d</sup>	6,08 ± 0,19 <sup>g,h,i</sup>	24,16 ± 0,52 <sup>c,d</sup>	24,92 ± 0,56 <sup>d,e,f</sup>	75,87 ± 0,13 <sup>b,c</sup>
4	70	6	3	51,36 ± 0,73 <sup>b,c</sup>	11,60 ± 0,37 <sup>a,b,c,d</sup>	36,43 ± 0,65 <sup>a</sup>	38,30 ± 0,61 <sup>a</sup>	72,34 ± 0,25 <sup>c,d</sup>
5	50	8,5	1	28,79 ± 1,58 <sup>e,f</sup>	12,39 ± 0,48 <sup>a,b,c</sup>	25,13 ± 0,79 <sup>c</sup>	28,02 ± 0,90 <sup>c,d</sup>	63,77 ± 0,42 <sup>g,h,i</sup>
6	70	8,5	1	29,91 ± 1,47 <sup>e,f</sup>	8,63 ± 0,12 <sup>e,f,g</sup>	20,75 ± 0,36 <sup>d</sup>	22,37 ± 0,41 <sup>e,f,g</sup>	67,42 ± 0,10 <sup>e,f,g</sup>
7	50	8,5	3	26,37 ± 2,63 <sup>e,f</sup>	9,25 ± 0,89 <sup>d,e,f</sup>	16,07 ± 2,41 <sup>f</sup>	18,86 ± 2,07 <sup>g,h,i</sup>	59,96 ± 1,48 <sup>j</sup>
8	70	8,5	3	23,15 ± 3,60 <sup>f</sup>	10,97 ± 1,71 <sup>b,c,d,e</sup>	20,09 ± 2,19 <sup>e</sup>	22,89 ± 2,72 <sup>e,f,g</sup>	61,45 ± 1,47 <sup>h,i,j</sup>
9	60	7,25	2,50	35,02 ± 2,94 <sup>d,e</sup>	10,97 ± 0,59 <sup>b,c,d,e</sup>	24,05 ± 1,31 <sup>c,d</sup>	26,43 ± 1,43 <sup>d,e</sup>	65,48 ± 0,10 <sup>f,g,h</sup>
10	60	7,25	2,50	28,38 ± 0,20 <sup>e,f</sup>	11,93 ± 0,52 <sup>a,b,c,d</sup>	22,60 ± 1,47 <sup>c,d</sup>	25,55 ± 1,54 <sup>d,e,f</sup>	62,15 ± 0,52 <sup>h,i</sup>
11	60	7,25	2,50	44,38 ± 3,88 <sup>c,d</sup>	13,05 ± 1,17 <sup>a,b</sup>	35,59 ± 1,71 <sup>a,b</sup>	37,59 ± 1,22 <sup>a</sup>	69,62 ± 2,38 <sup>d,e,f</sup>
12	60	9,35	2,50	21,60 ± 2,06 <sup>f</sup>	1,39 ± 0,29 <sup>j</sup>	2,65 ± 0,33 <sup>g</sup>	2,80 ± 0,48 <sup>j</sup>	57,06 ± 4,82 <sup>j</sup>
13	60	5,15	2,50	42,99 ± 1,14 <sup>c,d</sup>	3,90 ± 0,46 <sup>i,j</sup>	20,62 ± 1,67 <sup>d</sup>	20,98 ± 1,70 <sup>f,g,h</sup>	79,29 ± 0,94 <sup>a,b</sup>
14	76,8	7,25	2,50	34,73 ± 2,70 <sup>d,e</sup>	14,21 ± 2,95 <sup>a</sup>	21,84 ± 2,11 <sup>c,d</sup>	25,36 ± 2,23 <sup>d,e,f</sup>	59,43 ± 1,46 <sup>i,j</sup>
15	43,2	7,25	2,50	22,25 ± 0,55 <sup>f</sup>	7,65 ± 0,72 <sup>f,g,h</sup>	15,43 ± 0,78 <sup>f</sup>	17,23 ± 1,01 <sup>h,i</sup>	63,67 ± 1,04 <sup>a,b</sup>
16	60	7,25	0,02	43,53 ± 2,52 <sup>c,d</sup>	8,41 ± 0,33 <sup>e,f,g</sup>	25,63 ± 1,12 <sup>c</sup>	26,98 ± 1,16 <sup>d,e</sup>	71,83 ± 0,11 <sup>i,j</sup>
17	60	7,25	3,34	28,57 ± 3,42 <sup>e,f</sup>	9,44 ± 0,88 <sup>c,d,e,f</sup>	24,20 ± 1,74 <sup>c,d</sup>	25,98 ± 1,89 <sup>d,e</sup>	68,70 ± 1,11 <sup>g,h,i</sup>
<b>Torta</b>	-	-	-	29,92±10,00 <sup>d</sup>	4,99±0,49 <sup>h,i</sup>	15,31±0,71 <sup>f</sup>	16,10±0,83 <sup>i</sup>	72,16±0,76 <sup>c,d,e</sup>

Valores expressos pela média e desvio padrão da triplicata. Letras diferentes entre linhas na mesma coluna mostram diferenças significativas entre os ensaios por meio do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### 3.2.9. Modelagem matemática

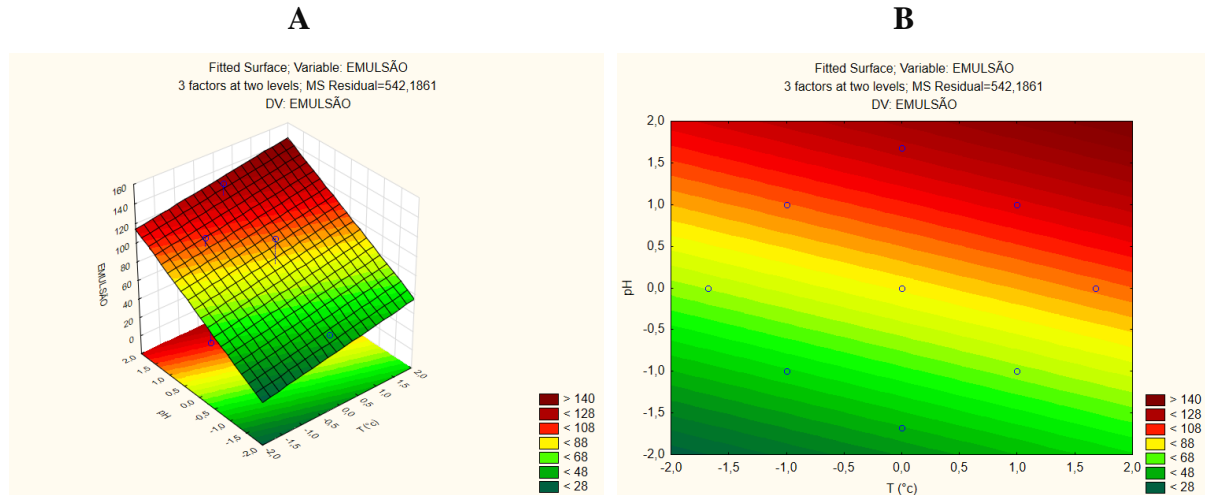
Após a obtenção e discussão dos resultados preliminares, procedeu-se à modelagem matemática para determinar o tratamento otimizado dos 17 experimentos previamente estabelecidos no início do estudo. Todas as variáveis dependentes (também conhecidas como variáveis resposta) foram submetidas à análise de modelagem matemática, incluindo  $R^2$ ,  $R^2$ ajustado e a avaliação de falta de ajuste (conforme apresentado na Tabela 10).

Observou-se que todas as variáveis dependentes foram estatisticamente significativas de acordo com a análise de variância, indicando que as alterações nas variáveis independentes demonstraram efeitos sobre as variáveis dependentes. No entanto, apenas a capacidade de emulsão foi suscetível à formulação de um modelo matemático apropriado (conforme expresso na Equação 10). Isso implica que modificações nas variáveis independentes (tais como temperatura ( $T^{\circ}C$ ), pH e relação enzima:sustrato (E:S)) resultarão em alterações na capacidade emulsionante nos hidrolisados. Os gráficos de superfície de resposta, considerando a relação E:S no ponto central, expostos na Figura 6, ajudam a explicar melhor essa correlação, indicando que conforme tenha um aumento do pH e da temperatura, maior será a capacidade de emulsão dos hidrolisados da torta de amêndoa de baru.

**Tabela 10.** Anova e coeficiente de regressão para a resposta de tratamento ótimo de hidrolisados de proteína de torta de amêndoa de baru

Variáveis dependentes	Anova	$R^2$	Radj	Lack of fit
<b>CRA (%)</b>	0,0000	0,2696	0,1010	0,0014
<b>CRO (%)</b>	0,0000	0,3137	0,1553	0,6179
<b>F. Espuma (%)</b>	0,0002	0,2272	0,0488	0,0671
<b>C. Emsulsão (m<sup>2</sup>/g)</b>	0,0000	0,5419	0,4362	0,0680
<b>C. Antioxidante DPPH (%)</b>	0,0000	0,3440	0,1927	0,0935
<b>C. Antioxidante ABTS (%)</b>	0,0000	0,1608	0,0000	0,0850
<b>Proteína (g/100g)</b>	0,0000	0,38646	0,2733	0,2787
<b>Tempo GH (min)</b>	0,0001	0,1438	0,0000	0,7320
<b>Rendimento GH/t (%)</b>	0,0004	0,0332	0,0000	0,0005
<b>Rendimento Ptn/t (%)</b>	0,0000	0,0279	0,0000	0,0309

$$C. \text{Emulsão} = 65,37 + 7,47 * T (\text{°C}) + 22,23 * \text{pH} + 7,82 * E:S \quad (10)$$



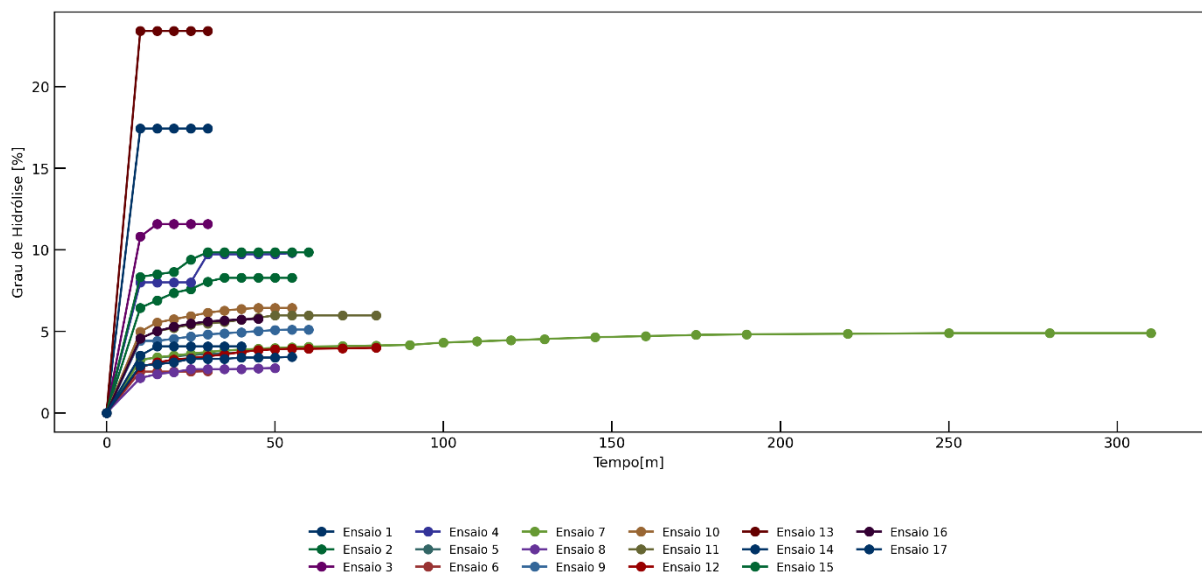
**Figura 6.** Gráficos da superfície de resposta da variável dependente de capacidade de emulsão. (A) Superfície 3D, (B) Superfície 2D.

No contexto da avaliação da capacidade de emulsão, o experimento 12 demonstrou a maior capacidade ( $134,70 \text{ m}^2/\text{g}$ ) de acordo com o teste de médias de Tukey. Portanto, este experimento foi identificado como o ótimo, uma vez que exibiu uma influência mais significativa sobre as variáveis dependentes. O experimento 12 também demonstrou excelentes propriedades tecnológicas quanto as capacidades de formação e estabilidade de espuma, além de apresentar o maior percentual de GH (28,60%) e demonstrar ter atividade antioxidante para ambos os métodos analisados.

### 3.3. Hidrólise enzimática com a enzima Flavourzyme

#### 3.3.1. Grau de hidrólise (GH), teor de proteína e rendimentos da hidrólise enzimática

As curvas da cinética das hidrólises realizadas com a enzima Flavourzyme são apresentadas na Figura 7. Observa-se que os experimentos apresentaram um tempo médio de processo inferior a 60 min, com exceção dos experimentos 7, 11 e 12, os quais foram aplicadas às condições de pH mais alcalinas e maiores percentuais de aplicação na relação E:S. Também foi possível verificar que os percentuais de GH apresentaram um grande aumento nos primeiros 15 min de processo, se estabilizando nos minutos seguintes, o mesmo comportamento foi observado por De Oliveira Filho et al., (2021) sobre a hidrólise proteolítica da torta de algodão com a enzima Flavourzyme.



**Figura 7.** Curva do grau de hidrólise da hidrólise enzimática da torta de baru utilizando a enzima Flavourzyme

Apenas os ensaios 1 (17,43%), 3(11,58%) e 13 (23,42) alcançaram %GH superior a 10%, enquanto os ensaios 6 (2,56%) e 8 (2,75) apresentaram os menores percentuais de GH. Percentuais inferiores aos obtidos neste estudo foram encontrados por Dent, Campanella e Maleky, (2023) para o grau de hidrólise de isolado de proteína de soja (10%) e isolado de proteína de grão-de-bico (13%), com aplicação da enzima Flavourzyme, onde aplicaram condições de condições de T (°C), pH e E:S iguais a 50 °C, 7 e 1% respectivamente, sem aplicação de tratamento térmico prévio a hidrólise. A enzima Flavourzyme é uma protease de

origem fúngica, sendo uma mistura de endoprotease e exopeptidases, podendo gerar mais aminoácidos livres durante a hidrólise (ZHENG et al., 2015).

O tempo médio necessário para que os 17 experimentos atingissem a estabilidade no GH foi de 60 min, o que representa um intervalo inferior ao observado com a aplicação da enzima Alcalase no processo de hidrólise neste estudo. Os cálculos dos rendimentos para os 17 experimentos submetidos à hidrólise com a enzima Flavourzyme, expressos em relação ao GH por unidade de tempo (GH/t), à proteína por unidade de tempo (Ptn/t) e ao rendimento mássico por batelada, estão detalhados na Tabela 11. O experimento 3 evidenciou um valor de rendimento de grau de hidrólise por unidade de tempo superior, alcançando 1,18% por min. Em consonância com a tendência de obtenção dos maiores valores de GH, os experimentos 1 e 13 também apresentaram, juntamente com o experimento 3, os maiores valores de GH/t, registrando 0,58% e 0,78% por min, respectivamente.

As concentrações proteicas obtidas nos hidrolisados pela enzima Flavourzyme (Tabela 10) se diferiram estatisticamente ( $p < 0,05$ ), tendo o experimento 14 apresentado maior concentração proteica (473,05 g/100 g), superior ao encontrado na torta de amêndoa de baru (144,76 g/100 g). Esta diferença pode ser explicada devido aos processos de hidrólise enzimática, que podem provocar a concentração de proteínas pertencentes ao material hidrolisado, provocando desta forma um aumento na concentração proteica (DIAS; TAHA; BELL, 2022; JIA et al., 2021). No entanto, quando avaliados os rendimentos de proteína por tempo de hidrólise de cada experimento, verificou-se que os experimentos 1 (0,79 g/min), 3 (0,69 g/min) e 13 (0,89 g/min) apresentaram melhores valores, enquanto o experimento teve apenas 0,53 g/min.

Os percentuais de rendimento mássico obtidos por batelada para cada experimento (Tabela 10), evidenciaram que o experimento 8 (58,50%), teve o maior percentual de rendimento, enquanto os experimentos 2 (18,12%) e 13 (19,56%) tiveram percentuais de rendimentos mais baixos, inferiores a 20%.

A análise dos diversos rendimentos alcançados pelos experimentos submetidos à hidrólise enzimática é crucial para avaliar a produção e a eficiência de cada processo. Essa avaliação proporciona informações essenciais para quantificar a quantidade de produtos gerados em relação à quantidade de substrato utilizado, além de servir como um indicador importante na seleção e comparação de diferentes processos de hidrólise.

**Tabela 11.** Percentual de grau de hidrólise (GH), tempo mínimo e máximo para o GH, teor proteico e rendimentos da torta de baru hidrolisada utilizando enzima Flavourzyme

Experimentos	Codificado			Decodificado			Resultados					
	T (°C)	pH	%E:S	T (°C)	pH	%E:S	Proteína (g/100g)	GH (%)	tGH (min)	Rendimento GH/t (%/min)	Rendimento Ptn/t (g/min)	Rendimento mássico (%)
<b>1</b>	-1	-1	-1	40	6	1	158,16 ± 11,10 <sup>d</sup>	17,43	10	0,5811	0,7905	20,10
<b>2</b>	1	-1	-1	65	6	1	328,80 ± 0,00 <sup>b</sup>	8,28	35	0,0282	0,6035	18,12
<b>3</b>	-1	-1	1	40	6	3	336,49 ± 23,53 <sup>b</sup>	11,58	15	1,1874	0,6930	22,78
<b>4</b>	1	-1	1	65	6	3	325,96 ± 54,50 <sup>b</sup>	9,81	55	0,1772	0,5891	20,98
<b>5</b>	-1	1	-1	40	8	1	376,20 ± 41,05 <sup>a,b</sup>	3,70	40	0,0926	0,5463	20,93
<b>6</b>	1	1	-1	65	8	1	378,12 ± 86,87 <sup>a,b</sup>	2,56	30	0,0853	0,5427	21,45
<b>7</b>	-1	1	1	40	8	3	328,65 ± 78,23 <sup>b</sup>	4,89	250	0,0739	0,5698	28,31
<b>8</b>	1	1	1	65	8	3	421,80 ± 15,64 <sup>a,b</sup>	2,75	50	0,0551	0,5275	58,50
<b>9</b>	0	0	0	52,5	7	2,50	361,25 ± 16,37 <sup>a,b</sup>	5,11	55	0,0293	0,5426	26,20
<b>10</b>	0	0	0	52,5	7	2,50	308,65 ± 33,72 <sup>b,c</sup>	6,44	45	0,0549	0,5920	25,76
<b>11</b>	0	0	0	52,5	7	2,50	312,09 ± 33,91 <sup>b,c</sup>	5,97	50	0,0282	0,5498	20,66
<b>12</b>	0	2	0	52,5	8,68	2,50	414,20 ± 28,70 <sup>b</sup>	3,99	80	0,0499	0,5249	34,68
<b>13</b>	0	-2	0	52,5	5,32	2,50	190,27 ± 27,03 <sup>c,d</sup>	23,42	10	0,7805	0,8903	19,56
<b>14</b>	2	0	0	73,5	7	2,50	473,05 ± 32,68 <sup>a</sup>	3,43	55	0,0624	0,5312	28,58
<b>15</b>	-2	0	0	31,5	7	2,50	390,12 ± 14,42 <sup>a,b</sup>	9,84	30	0,0295	0,6231	23,88
<b>16</b>	0	0	2	52,5	7	3,34	433,14 ± 17,83 <sup>a,b</sup>	5,77	45	0,1282	0,5641	27,46
<b>17</b>	0	0	-2	52,5	7	0,02	389,68 ± 60,05 <sup>a,b</sup>	4,08	15	0,0456	0,5680	20,91
<b>Torta</b>	-	-	-	-	-	-	144,76±23,2 <sup>d</sup>	-	-	-	-	-

Valores de proteína expressos pela média e desvio padrão da triplicata (coeficiente de variação (CV) <25%). Letras diferentes entre linhas na mesma coluna mostram diferenças significativas entre os ensaios por meio do teste de Tukey (p<0,05).

### 3.3.2. Capacidade de retenção de água e óleo

As capacidades de retenção de água avaliadas nos experimentos hidrolisados com a enzima Flavourzyme estão expressas na Tabela 12. Todos os 17 experimentos apresentaram diferenças estatísticas com um nível de significância de  $p < 0,05$ . Alguns percentuais obtidos demonstraram um comportamento semelhante ao observado nos hidrolisados com a enzima Alcalase neste estudo, entretanto, o experimento 14 apresentou uma CRA de 78,38%, diferenciando-se estatisticamente dos demais experimentos. Outros experimentos também evidenciaram resultados positivos significativos para a CRA, destacando-se os experimentos 6 (43,97%), 8 (13,61%) e 15 (37,80%). Os resultados favoráveis da CRA nos hidrolisados utilizando a enzima Flavourzyme sugerem que o processo de hidrólise induziu modificações na estrutura das proteínas, resultando em uma melhoria na sua habilidade de retenção de água. Este achado contrasta com os resultados obtidos utilizando a enzima Alcalase, implicando em uma interação mais eficiente da enzima Flavourzyme com as proteínas presentes na torta de amêndoa de baru, resultando em uma resposta mais eficaz nesta capacidade específica.

Já as respostas obtidas para a CRO mostram que o experimento 8 (228,39%) exibiu maior percentual dentro dessa propriedade, se diferenciando estatisticamente dos demais experimentos e da torta da amêndoa (130,56%). Ressalta-se que mesmo o experimento 8 tendo um percentual GH igual a 2,75%, o experimento alcançou percentual superior ao encontrado para a torta de amêndoa de baru, com tempo mínimo de 50 min para alcançar esta porcentagem durante o processo, com um rendimento mássico de 58%. Este resultado aponta que o processo de hidrólise foi capaz de promover mudanças na propriedade proteína, com um baixo percentual de GH, acessando peptídeos que exibem essa capacidade. Em contrapartida, os experimentos 3 (41,99%) e 13 (26,76%) apresentaram os menores percentuais de CRO, apesar de terem apresentado percentuais de GH mais elevados dentre os 17 experimentos.

Apesar da torta de amêndoa de baru ter apresentado boas capacidades de CRA e CRO, ressalta-se que esta apresenta cerca de 18,70 g/100 g de fibra em sua composição proximal, a qual é comumente utilizada como ingrediente tecnológico em processos alimentícios como produções de iogurtes e pães, por apresentar excelente CRA (KRISTENSEN et al., 2022). He et al., (2023) também relataram que a fibra possui boas propriedades de CRO, podendo então os resultados obtidos no presente estudo para a torta, serem em partes atribuídos a fibra.

**Tabela 12.** Capacidade de retenção de água (CRA) e óleo (CRO), formação de espuma (FE), capacidade e estabilidade de emulsão dos hidrolisados utilizando a enzima Flavourzyme

Experimentos	Decodificado			Resultados				
	T (°C)	pH	%E:S	CRA (%)	CRO (%)	F. Espuma (%)	C. Emsulsão (m <sup>2</sup> /g)	Estabilidade Emulsão (min)
<b>1</b>	40	6	1	-61,01 ± 10,22 <sup>ij</sup>	83,28 ± 5,55 <sup>g,h,i</sup>	12,00 ± 0,00 <sup>c,d</sup>	11,84 ± 1,88 <sup>e,f</sup>	29,73 ± 7,24 <sup>e</sup>
<b>2</b>	65	6	1	-59,09 ± 3,59 <sup>ij</sup>	135,99 ± 9,55 <sup>e,f,g</sup>	10,00 ± 0,00 <sup>c,d,e,f</sup>	31,17 ± 5,21 <sup>d,e</sup>	352,08 ± 54,86 <sup>c</sup>
<b>3</b>	40	6	3	-82,51 ± 2,67 <sup>j</sup>	41,99 ± 8,55 <sup>j</sup>	5,20 ± 0,69 <sup>e,f</sup>	33,25 ± 0,82 <sup>d,e</sup>	154,53 ± 8,83 <sup>d</sup>
<b>4</b>	65	6	3	-52,52 ± 4,69 <sup>h,i</sup>	137,07 ± 7,45 <sup>e,f,g</sup>	10,20 ± 0,20 <sup>c,d,e</sup>	62,51 ± 12,37 <sup>a,b,c</sup>	21,74 ± 4,10 <sup>e</sup>
<b>5</b>	40	8	1	-31,21 ± 7,05 <sup>g,h</sup>	235,89 ± 48,00 <sup>a,b,c</sup>	13,50 ± 1,50 <sup>b,c,d</sup>	64,78 ± 7,37 <sup>a,b,c</sup>	21,45 ± 1,96 <sup>e</sup>
<b>6</b>	65	8	1	43,97 ± 7,50 <sup>c</sup>	170,02 ± 2,13 <sup>c,d,e,f</sup>	13,40 ± 2,20 <sup>b,c,d</sup>	75,89 ± 5,74 <sup>a,b</sup>	16,08 ± 1,06 <sup>e</sup>
<b>7</b>	40	8	3	-17,86 ± 4,59 <sup>f,g</sup>	211,82 ± 25,98 <sup>b,c,d</sup>	13,80 ± 2,99 <sup>b,c,d</sup>	82,85 ± 7,62 <sup>a</sup>	733,02 ± 50,99 <sup>b</sup>
<b>8</b>	65	8	3	13,01 ± 4,20 <sup>d,e</sup>	293,77 ± 13,4 <sup>a</sup>	18,33 ± 2,89 <sup>a,b</sup>	62,00 ± 14,07 <sup>a,b,c</sup>	15,84 ± 3,15 <sup>e</sup>
<b>9</b>	52,5	7	2,50	-21,35 ± 0,65 <sup>f,g</sup>	67,27 ± 0,96 <sup>h,i</sup>	4,33 ± 0,58 <sup>f</sup>	61,29 ± 0,73 <sup>a,b,c</sup>	16,22 ± 3,00 <sup>e</sup>
<b>10</b>	52,5	7	2,50	10,50 ± 1,22 <sup>e</sup>	82,11 ± 5,25 <sup>g,hi</sup>	10,27 ± 0,46 <sup>c,d,e</sup>	78,16 ± 2,48 <sup>a,b</sup>	19,16 ± 0,52 <sup>e</sup>
<b>11</b>	52,5	7	2,50	11,39 ± 3,09 <sup>e</sup>	71,69 ± 1,73 <sup>g,hi</sup>	12,00 ± 0,00 <sup>c,d</sup>	61,71 ± 0,50 <sup>a,b,c</sup>	25,21 ± 0,44 <sup>e</sup>
<b>12</b>	52,5	8,68	2,50	-73,06 ± 3,32 <sup>i,j</sup>	228,39 ± 17,66 <sup>a,b,c,d</sup>	18,67 ± 2,31 <sup>a,b</sup>	64,67 ± 12,04 <sup>a,b,c</sup>	41,83 ± 11,84 <sup>e</sup>
<b>13</b>	52,5	5,32	2,50	-72,99 ± 3,20 <sup>ij</sup>	26,76 ± 4,16 <sup>j</sup>	9,20 ± 1,39 <sup>d,e,f</sup>	9,95 ± 1,03 <sup>f</sup>	11,95 ± 0,27 <sup>e</sup>
<b>14</b>	73,5	7	2,50	78,38 ± 15,92 <sup>b</sup>	200,83 ± 49,45 <sup>b,c,d,e</sup>	20,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	67,26 ± 5,21 <sup>a,b,c</sup>	18,72 ± 2,57 <sup>e</sup>
<b>15</b>	31,5	7	2,50	37,80 ± 6,71 <sup>c,d</sup>	223,15 ± 27,20 <sup>b,c,d</sup>	10,67 ± 1,15 <sup>c,d,e</sup>	68,94 ± 9,85 <sup>a,b,c</sup>	31,04 ± 7,56 <sup>e</sup>
<b>16</b>	52,5	7	3,34	-1,67 ± 0,03 <sup>e,f</sup>	165,03 ± 14,25 <sup>d,e,f</sup>	15,00 ± 5,00 <sup>a,b,c</sup>	78,86 ± 8,07 <sup>a,b</sup>	1209,56 ± 62,24 <sup>a</sup>
<b>17</b>	52,5	7	0,02	-23,63 ± 2,78 <sup>f,g</sup>	252,80 ± 37,13 <sup>a,b</sup>	12,47 ± 2,19 <sup>c,d</sup>	49,70 ± 9,28 <sup>c,d</sup>	21,86 ± 4,70 <sup>e</sup>
<b>Torta</b>	-	-	-	172,45±226,50 <sup>a</sup>	130,56±17,14 <sup>f,g,h</sup>	10,00±0,00 <sup>c,d,e,f</sup>	58,27±5,58 <sup>b,c</sup>	22,08±3,35 <sup>e</sup>

Valores expressos pela média e desvio padrão da triplicata. Letras diferentes entre linhas na mesma coluna mostram diferenças significativas entre os ensaios por meio do teste de Tukey (p<0,05)

### 3.3.3. Capacidade e estabilidade de espuma

Na Tabela 12, os percentuais obtidos para a capacidade de formação de espuma se revelaram diferentes a um nível de significância com  $p < 0,05$ . O experimento 14 (20%) apresentou o melhor percentual dentro desta propriedade, sendo superior a esta mesma propriedade apresentada pela torta de amêndoa de baru, enquanto o experimento 9 (4,33%) exibiu o menor percentual dentro dos 17 experimentos. Ressalta-se ainda que no experimento 14 foi aplicado condições de temperatura superiores ao intervalo ótimo que a enzima Flavourzyme apresenta, sendo aplicado pontos centrais para os parâmetros de pH e E:S, obtendo ao final do processo de hidrólise GH igual a 3,43%, os dados obtidos mostram que a os hidrolisados com a enzima Flavourzyme mesmo sem obter percentuais altos de GH como os alcançados pela enzima Alcalase, são capazes de acessar peptídeos com excelentes propriedades tecnológicas.

A torta de amêndoa de baru apresentou limitada capacidade de formação de espuma (10,00%), se diferenciando estatisticamente dos experimentos 8 (18,33%), 12 (18,67%) e 14 (20%). A limitada formação de espuma apresentada pela torta e os demais experimentos pode ter ocorrido por sua massa molecular ser mais densa, o que provoca uma menor mobilidade das moléculas dificultando a interação das proteínas com as moléculas de ar, prejudicando desta forma a capacidade de formação de espuma (GARCÍA ARTEAGA et al., 2020).

Em relação aos valores obtidos para os percentuais de estabilidade de espuma, conforme apresentado na Tabela 13, três experimentos apresentaram 100% de estabilidade (2, 15 e 17), não se diferenciando estatisticamente ( $p < 0,05$ ) do experimento 14 que teve 99,33% de estabilidade. Observa-se que, embora os experimentos 2 e 15 tenham mantido estabilidade superior a 90% até os 30 min de avaliação, apenas o experimento 2 manteve essa estabilidade acima de 90% após 60 min, enquanto o experimento 15 atingiu 48,44% de estabilidade nesse mesmo intervalo. Quanto à torta de amêndoa de baru, embora não tenha produzido uma alta quantidade de espuma, demonstrou excelente estabilidade, mantendo 90% de estabilidade após 60 min de avaliação. Além disso, exibiu uma estabilidade 26% superior aos 17 experimentos após 120 min de avaliação.

Nisov, Ercili-Cura e Nordlund, (2020) encontraram um comportamento semelhante de estabilidade de espuma para o hidrolisado proteico do endosperma do arroz, onde verificaram uma queda alta na espuma formada logo após o tempo zero. No contexto desse estudo, a baixa estabilidade pode ter ocorrido devido à baixa coalescência e rápida agregação das moléculas, após a formação de espuma.

**Tabela 13.** Estabilidade da espuma (%) do hidrolisado da torta de baru utilizando a enzima Flavourzyme

Tratamento	Tempo (min)				
	1	15	30	60	120
<b>E1</b>	58,89 ± 8,39 <sup>c,d</sup>	16,67 ± 0,00 <sup>g,h</sup>	3,33 ± 0,00 <sup>e,f</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>e</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>E2</b>	100,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	100,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	92,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	90,67 ± 2,3 <sup>a</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>E3</b>	38,89 ± 4,81 <sup>d</sup>	38,89 ± 4,81 <sup>f,g</sup>	16,67 ± 0,00 <sup>d,e,f</sup>	8,33 ± 0,00 <sup>d,e</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>E4</b>	96,15 ± 3,85 <sup>a</sup>	94,23 ± 6,93 <sup>a</sup>	89,74 ± 14,56 <sup>a</sup>	80,15 ± 20,79 <sup>a</sup>	14,81 ± 5,19 <sup>b</sup>
<b>E5</b>	69,56 ± 13,67 <sup>b,c</sup>	67,56 ± 16,74 <sup>b,c,d</sup>	62,67 ± 13,38 <sup>a,b,c</sup>	22,67 ± 3,53 <sup>c,d</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>E6</b>	97,38 ± 2,27 <sup>a</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>h</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>f</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>e</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>E7</b>	90,38 ± 9,01 <sup>a,b</sup>	80,16 ± 14,14 <sup>a,b,c,d</sup>	61,92 ± 0,58 <sup>a,b,c</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>e</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>E8</b>	89,11 ± 11,36 <sup>a,b</sup>	67,78 ± 11,08 <sup>b,c,d</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>f</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>e</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>E9</b>	93,33 ± 11,55 <sup>a</sup>	90,00 ± 10,00 <sup>a,b,c</sup>	46,67 ± 5,77 <sup>b,c,d</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>e</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>E10</b>	90,86 ± 10,11 <sup>a,b</sup>	92,59 ± 7,41 <sup>a,b</sup>	44,22 ± 0,22 <sup>b,c,d,e</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>e</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>E11</b>	83,33 ± 0,00 <sup>a,b</sup>	81,67 ± 1,67 <sup>a,b,c,d</sup>	38,89 ± 41,94 <sup>b,c,d,e,f</sup>	5,56 ± 9,62 <sup>d,e</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>E12</b>	84,17 ± 7,22 <sup>a,b</sup>	65,00 ± 8,66 <sup>c,d,e</sup>	16,67 ± 28,87 <sup>d,e,f</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>e</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>E13</b>	55,26 ± 9,12 <sup>c,d</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>h</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>f</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>e</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>E14</b>	99,33 ± 1,15 <sup>a</sup>	62,00 ± 13,11 <sup>d,e,f</sup>	25,00 ± 0,00 <sup>c,d,e,f</sup>	10,00 ± 6,00 <sup>d,e</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>E15</b>	100,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	100,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	91,56 ± 7,34 <sup>a</sup>	48,44 ± 13,68 <sup>b</sup>	5,56 ± 9,62 <sup>c</sup>
<b>E16</b>	48,00 ± 8,00 <sup>c,d</sup>	40,00 ± 12,00 <sup>e,f,g</sup>	61,00 ± 11,00 <sup>a,b,c</sup>	31,50 ± 6,50 <sup>b,c</sup>	7,00 ± 1,00 <sup>b,c</sup>
<b>E17</b>	100,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	93,02 ± 0,27 <sup>a,b</sup>	75,00 ± 14,29 <sup>a,b</sup>	40,18 ± 4,46 <sup>b,c</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>c</sup>
<b>Torta</b>	100,00±0,00 <sup>a</sup>	97,33±4,62 <sup>a</sup>	93,33±6,11 <sup>a</sup>	90,00±2,00 <sup>a</sup>	26,00±6,00 <sup>a</sup>

Valores expressos pela média e desvio padrão da triplicata. Letras diferentes entre linhas na mesma coluna mostram diferenças significativas entre os ensaios por meio do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 3.3.4. Capacidade e estabilidade de emulsão

As capacidades de emulsão e estabilidade de emulsão foram avaliadas para os 17 experimentos hidrolisados (Tabela 12) com a enzima Flavourzyme, apresentando diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre si. Os maiores valores obtidos de emulsão neste tópico (6 – 75,89  $\text{m}^2/\text{g}$ ; 7 – 82,85  $\text{m}^2/\text{g}$ ; 10 – 78,16  $\text{m}^2/\text{g}$  e 16 – 78,86  $\text{m}^2/\text{g}$ ) se mostraram inferiores aos valores obtidos na mesma análise para os hidrolisados com a enzima Alcalase no presente estudo, exibindo que diferentes enzimas podem ter efeitos diferentes durante a hidrólise de um mesmo substrato. Destaca-se ainda que o experimento 7 exibiu a maior capacidade emulsionante dos hidrolisados com a enzima Flavourzyme. Em contrapartida, o experimento 13 que teve o maior percentual de GH, exibiu a menor capacidade emulsionante (9,95  $\text{m}^2/\text{g}$ ), valor inferior ao achado para a torta de amêndoa de baru (58,27  $\text{m}^2/\text{g}$ ) podendo este achado ter sido resultado da geração de peptídeos com baixa massa molecular durante o processo hidrolítico, não tendo estes peptídeos, portanto, afinidade necessária com moléculas polares e não polares, característica necessária para ter boas propriedades emulsificantes (FATHOLLAHY et al., 2021).

Os valores obtidos para a estabilidade de emulsão mostraram diferenças significativas entre as médias alcançadas com nível de significância de 5%. Os maiores resultados para a estabilidade emulsionante dos experimentos 7 e 16 (733,02 e 1209,56 min respectivamente) concordaram com os maiores achados para formação de emulsão, no entanto, o experimento 2 apesar de ter exibido capacidade emulsionante mediana em comparação aos demais experimentos, exibiu estabilidade alta (352,08 min).

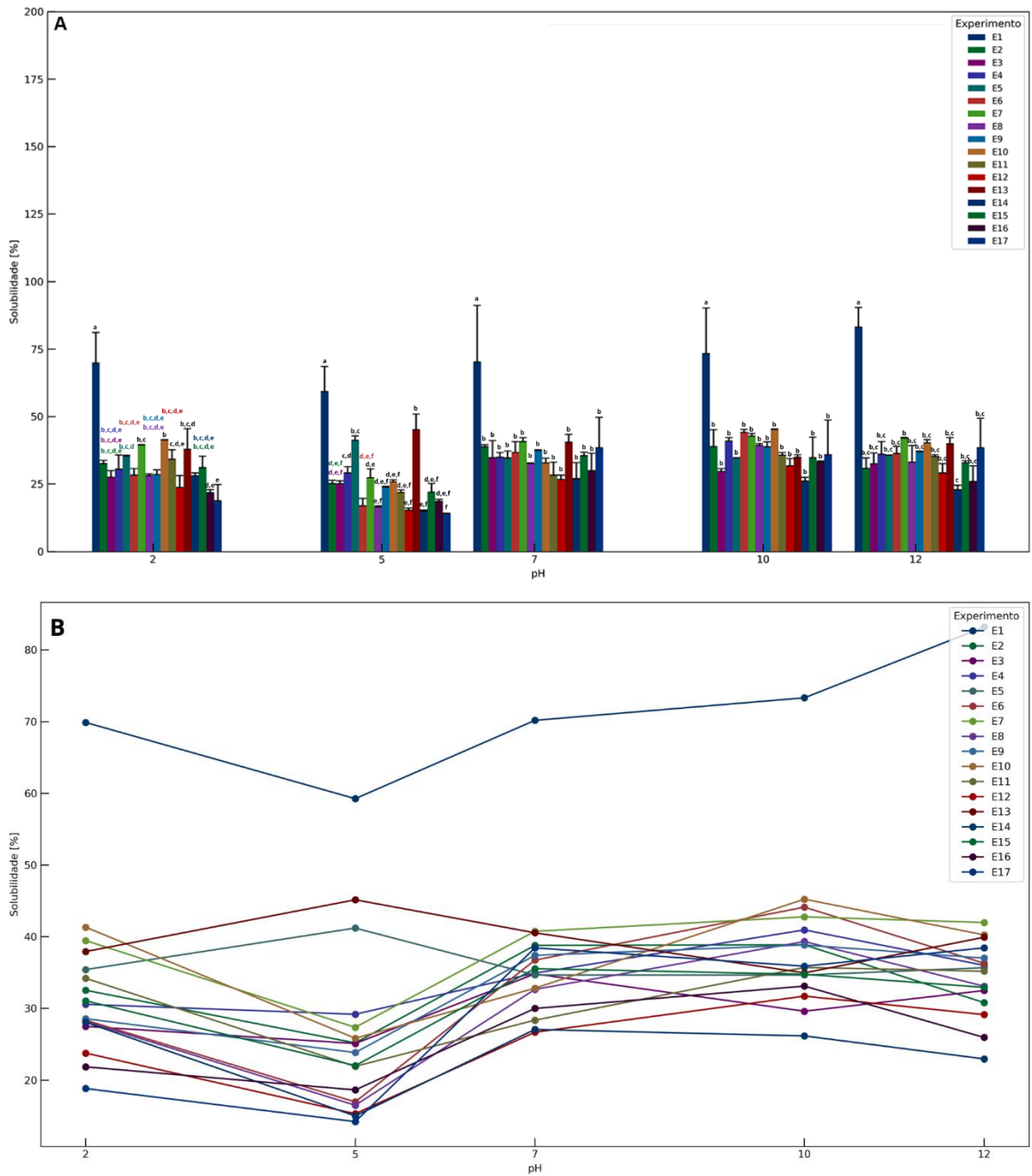
Os agentes emulsificantes estabilizadores apresentam grande importância em processamentos de alimentos, pois são integrados a diversos processos com emulsões já preparadas, como maioneses e molhos, onde há necessidade de melhor estabilidade, além de aprimorar a textura e o sabor (BHATTACHARYA, 2022). Estudos recentes mostram que partículas a base de proteínas exibem excelentes propriedades estabilizadoras em sistemas multifásicos de alimentos (RIBEIRO et al., 2021).

#### 3.3.5. Solubilidade de proteínas

O percentual médio de solubilidade, conforme evidenciado pelos experimentos conduzidos no ensaio 2 e representados na Figura 8, revelou disparidades estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) em relação às cinco faixas de pH examinadas. O padrão de solubilidade observado no experimento 1 do primeiro ensaio foi replicado no experimento 1 do segundo ensaio na primeira faixa de pH analisada, apresentando um percentual de solubilidade de

69,88%. Em ambos os experimentos, os percentuais de GH alcançados por eles estava entre os maiores GH dos ensaios 1 e 2, indicando que a hidrólise elevada melhorou as propriedades de solubilidade dos hidrolisados da torta da amêndoa de baru. Observa-se ainda que os experimentos 5 e 13 também apresentaram um aumento no percentual de solubilidade na faixa de pH 5, assim como ocorreu para a enzima Alcalase. Em ambos os ensaios as condições de temperatura, pH e relação E:S foram semelhantes, podendo indicar que a combinação destes parâmetros promove uma melhora no percentual de solubilidade das proteínas, independente da enzima utilizada.

Os hidrolisados da torta da amêndoa de baru apresentaram um percentual médio de solubilidade superior a 30% para a maioria dos experimentos, mostrando que a enzima Flavourzyme apresentou uma melhor propriedade de solubilização das proteínas presentes na amêndoa de baru. Zheng et al., (2015) também relataram que a enzima Flavourzyme foi capaz de melhorar as capacidades de solubilização dos hidrolisados de proteína de amendoim, apresentando cerca de 90% de solubilidade em pH neutro.



**Figura 8.** Percentual de solubilidade da hidrólise enzimática da torta de baru utilizando a enzima Flavourzyme. (A) Gráfico de barras, (B) Gráfico de linhas. Valores expressos pela média e desvio padrão da duplicata. Letras diferentes entre linhas na mesma coluna. Letras diferentes indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ).

### 3.3.6. Capacidade de formação e gel

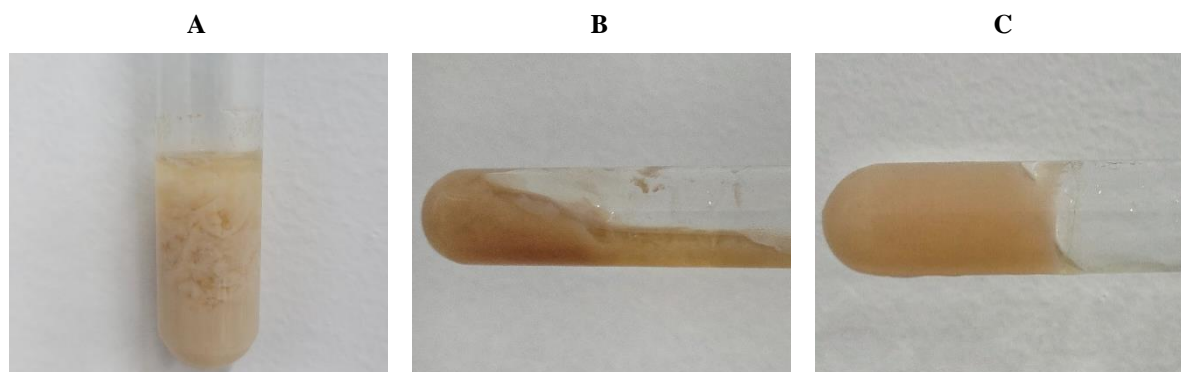
A propriedade de gelificação dos hidrolisados com a enzima Flavourzyme exibiram excelentes resultados, conforme é mostrado na Tabela 14. Ao contrário do encontrado para os

hidrolisados com a enzima Alcalase, todos os 17 experimentos exibiram alta propriedade de formação de gel. Os resultados foram expressos em 4 níveis diferentes de formação de gel, sendo (-) indicando que não houve formação de gel na concentração analisada, (+) houve formação de gel com alto escoamento, (++) formação de gel com baixo escoamento e (+++) formação de gel sem escoamento, conforme é exemplificado na Figura 9.

**Tabela 14.** Capacidade de formação de gel nos hidrolisados da torta de baru utilizando enzima Flavourzyme

Tratamentos	Percentual de concentração				
	4%	8%	12%	16%	20%
1	++	++	++	++	++
2	+++	+++	+++	+++	+++
3	++	++	++	++	++
4	++	++	++	++	++
5	+++	+++	+++	+++	+++
6	+++	+++	+++	+++	+++
7	-	++	++	++	++
8	+++	+++	+++	+++	+++
9	++	++	++	++	++
10	+++	+++	+++	+++	+++
11	+++	+++	+++	+++	+++
12	+++	+++	+++	+++	+++
13	-	+	+	+	+
14	+++	+++	+++	+++	+++
15	+++	+++	+++	+++	+++
16	++	++	++	++	++
17	+++	+++	+++	+++	+++
<b>Torta</b>	+	+	+	+	+

**Legenda:** (+) houve formação fraca de gel, (-) não houve formação de gel e (++) houve formação de gel, (+++) houve formação forte de gel.



**Figura 9.** Capacidade de formação de gel apresentada pelos hidrolisados com a enzima Flavourzyme. (A) – Formação de gel com alto escoamento; (B) Formação de gel com baixo escoamento; (C) Formação de gel sem escoamento.

Dos 17 experimentos analisados, apenas 2 não desenvolveram gel com a menor concentração aplicada (7 e 13 com 4% de concentração). Além disso, ao excluir os experimentos nos quais não houve formação de gel com 4% de concentração, constatou-se que 5 experimentos não apresentaram gel sem escoamento (1, 3, 4, 9 e 16). Estes resultados indicam que a enzima Flavourzyme, durante o processo hidrolítico, aprimorou as propriedades de gelificação da torta de amêndoa de baru, permitindo a formação de uma rede de gel robusta mesmo com a menor concentração aplicada. Chen e Campanella, (2022) também encontraram capacidade de formação de gel para proteína de soja hidrolisada, onde avaliaram a gelificação da proteína de ervilha com baixa concentração.

O acesso as propriedades formadoras de géis se destacam por proteínas vegetais não apresentarem comumente redes fortes de gel, ao contrário das proteínas de origem animal (NIETO-NIETO et al., 2014), conforme já discutido neste estudo, sendo uma característica que difere os hidrolisados da torta da amêndoa de baru com a enzima Flavourzyme das demais proteínas vegetais. Somando-se a isso, peptídeos com capacidades formadoras de géis são de grande valor para indústria de alimentos, uma vez que possuem características capazes de melhorar as características sensoriais dos alimentos, conferindo textura, melhor estabilidade e estender a vida útil do produto (ZHANG; CHEN; CAMPANELLA, 2024).

### 3.3.7. Atividade antioxidante

A atividade antioxidante exibida pelos 17 experimentos de hidrolisados de amêndoa de baru com aplicação da enzima Flavourzyme, para os radicais DPPH e ABTS estão expressos na Tabela 15, apresentando médias que se diferiram entre si ( $p < 0,05$ ). Todos os experimentos hidrolisados apresentaram capacidade inibitória para o radical DPPH, tendo o experimento 3 apresentado maior percentual redutor (92,41%) e o ensaio 14 o menor percentual (77,35%). Os percentuais de inibição achados neste estudo se mostraram superiores aos encontrados por De Oliveira Filho et al., (2021) para hidrolisados de torta de algodão com e sem aplicação de tratamento térmico prévio ao processo de hidrólise (62,94 e 62,06%, respectivamente). Os resultados adquiridos evidenciam ainda a excelente capacidade dos peptídeos da amêndoa de baru como agentes antioxidantes, segundo Wang et al., (2021) peptídeos bioativos oriundos de processos de hidrólise tendem a apresentar excelentes propriedades antioxidantes, podendo atuar como substituintes de antioxidantes sintéticos aumentando a vida útil dos alimentos e acarretar benefícios a saúde.

Quanto as atividades inibitórias encontradas para o radical ABTS, todos experimentos também apresentaram atividade inibitória, tendo o experimento 5 exibido o maior poder redutor entre os 17 experimentos (98,29%), no entanto, os experimentos não apresentaram atividade inibitória superior ao encontrado para a torta da amêndoa de baru (98,32%). Por meio dos dados análises, presume-se que o processo de hidrólise pela enzima Flavourzyme não foi capaz de aumentar significativamente a atividade oxidante contra o radical ABTS, no entanto, os percentuais de inibição não apresentaram diferenças estatísticas entre os experimentos hidrolisados e a torta de amêndoa de baru.

**Tabela 15.** Atividade antioxidante nos hidrolisados da torta de baru utilizando enzima Flavourzyme

Experimento	Decodificado			Resultados	
	T (°C)	pH	%E:S	C. Antioxidante DPPH (%)	C. Antioxidante ABTS (%)
1	40	6	1	84,68 ± 17,44 <sup>a,b</sup>	93,46 ± 3,61 <sup>a,b</sup>
2	65	6	1	90,39 ± 0,74 <sup>a,b</sup>	97,90 ± 0,14 <sup>a,b</sup>
3	40	6	3	92,41 ± 0,34 <sup>a</sup>	95,41 ± 1,27 <sup>a,b</sup>
4	65	6	3	90,59 ± 0,22 <sup>a,b</sup>	97,19 ± 0,91 <sup>a,b</sup>
5	40	8	1	88,31 ± 0,56 <sup>a,b</sup>	98,29 ± 0,12 <sup>a</sup>
6	65	8	1	89,18 ± 0,13 <sup>a,b</sup>	97,37 ± 2,04 <sup>a,b</sup>
7	40	8	3	87,03 ± 0,67 <sup>a,b</sup>	93,56 ± 4,57 <sup>a,b</sup>
8	65	8	3	85,22 ± 0,79 <sup>a,b</sup>	98,04 ± 0,21 <sup>a,b</sup>
9	52,5	7	2,50	84,48 ± 2,02 <sup>a,b</sup>	97,55 ± 0,51 <sup>a,b</sup>
10	52,5	7	2,50	80,11 ± 4,23 <sup>a,b</sup>	96,87 ± 0,61 <sup>a,b</sup>
11	52,5	7	2,50	82,59 ± 2,73 <sup>a,b</sup>	97,87 ± 0,40 <sup>a,b</sup>
12	52,5	8,68	2,50	81,32 ± 3,53 <sup>a,b</sup>	97,87 ± 1,05 <sup>a,b</sup>
13	52,5	5,32	2,50	88,58 ± 1,92 <sup>a,b</sup>	96,12 ± 1,23 <sup>a,b</sup>
14	73,5	7	2,50	77,35 ± 10,93 <sup>b</sup>	97,90 ± 0,07 <sup>a,b</sup>
15	31,5	7	2,50	87,03 ± 0,74 <sup>a,b</sup>	97,23 ± 0,88 <sup>a,b</sup>
16	52,5	7	3,34	82,19 ± 1,31 <sup>a,b</sup>	94,81 ± 6,41 <sup>a,b</sup>
17	52,5	7	0,02	81,72 ± 7,18 <sup>a,b</sup>	91,68 ± 5,36 <sup>b</sup>
<b>Torta</b>	-	-	-	84,41±1,23 <sup>a,b</sup>	98,32±0,16 <sup>a</sup>

Valores expressos pela média e desvio padrão da triplicata. Letras diferentes entre linhas na mesma coluna mostram diferenças significativas entre os ensaios por meio do teste de Tukey (p<0,05).

### 3.3.8. Determinação da cor

A Tabela 16 apresenta os valores médios obtidos para os parâmetros de cor adquiridos para os hidrolisados com a enzima Flavourzyme (p<0,05). Os 17 experimentos demonstraram cores distintas, sendo que o experimento 9 exibiu parâmetros mais baixos para L\*, indicando uma coloração mais escura, com valores reduzidos para os parâmetros a\* e b\*, indicando baixas

intensidades de tonalidades vermelhas e amarelas, respectivamente. Este resultado está em consonância com a baixa saturação encontrada para este mesmo tratamento (7,73 \*C) e a baixa tonalidade.

Por outro lado, o experimento 15 registrou valores mais elevados para luminosidade (65,50 L\*), indicando uma propensão para tonalidades mais claras, com tendência a tonalidades amarelas (25,74), saturadas (26,01 C\*) e com alta tonalidade (81,94°h). Os resultados observados para o experimento 15 podem ser atribuídos ao seu curto período de hidrólise (30 min), combinado com a baixa aplicação de calor (31,50°C), valores que demonstram baixa predisposição ao escurecimento.

A análise da cor dos hidrolisados da torta de amêndoa de baru se mostra relevante para aplicações em processos de alimentos, pois além dos peptídeos hidrolisados contribuírem com suas funções tecno-funcionais, a cor também implicará nas características sensoriais dos alimentos quanto a aparência, podendo provocar alterações na cor do alimento durante o processo de produção, sendo este um atributo importante avaliado pelo consumidor (GALANTE et al., 2020).

**Tabela 16.** Parâmetros de cor nos hidrolisados da torta de baru utilizando enzima Flavourzyme

Tratamentos	Decodificado			Parâmetros colorimétricos				
	T (°C)	pH	% E:S	L*	a*	b*	C*	h°
<b>1</b>	50	6	1	44,89 ± 1,03 <sup>b,c,d</sup>	5,47 ± 0,06 <sup>d,e</sup>	20,93 ± 1,32 <sup>c,d,e</sup>	23,36 ± 0,26 <sup>b,c,d</sup>	75,38 ± 1,35 <sup>c</sup>
<b>2</b>	70	6	1	42,83 ± 0,61 <sup>b,c,d</sup>	9,75 ± 0,55 <sup>a</sup>	24,14 ± 0,50 <sup>a,b,c</sup>	26,04 ± 0,65 <sup>a,b</sup>	68,02 ± 0,79 <sup>d,e,f,g</sup>
<b>3</b>	50	6	3	29,43 ± 2,33 <sup>f,g,h</sup>	6,28 ± 0,24 <sup>c,d</sup>	16,98 ± 1,67 <sup>f,g</sup>	16,56 ± 1,05 <sup>f</sup>	67,62 ± 2,34 <sup>e,f,g</sup>
<b>4</b>	70	6	3	35,99 ± 1,39 <sup>d,e,f</sup>	9,16 ± 0,58 <sup>a</sup>	18,19 ± 1,55 <sup>e,f,g</sup>	19,99 ± 1,20 <sup>d,e</sup>	63,16 ± 0,46 <sup>g</sup>
<b>5</b>	50	8,5	1	43,98 ± 0,69 <sup>b,c,d</sup>	3,41 ± 0,43 <sup>g,h,i</sup>	15,68 ± 0,77 <sup>g</sup>	16,07 ± 0,80 <sup>f</sup>	77,88 ± 1,02 <sup>a,b,c</sup>
<b>6</b>	70	8,5	1	33,37 ± 2,36 <sup>e,f,g</sup>	5,65 ± 0,43 <sup>c,d,e</sup>	16,75 ± 1,93 <sup>f,g</sup>	18,76 ± 1,67 <sup>e,f</sup>	71,69 ± 0,35 <sup>c,d,e,f</sup>
<b>7</b>	50	8,5	3	49,78 ± 2,86 <sup>b,c</sup>	4,61 ± 0,23 <sup>e,f,g</sup>	22,95 ± 0,29 <sup>b,c,d</sup>	23,60 ± 0,47 <sup>b,c</sup>	76,88 ± 3,13 <sup>b,c</sup>
<b>8</b>	70	8,5	3	49,95 ± 0,58 <sup>b,c</sup>	8,27 ± 0,24 <sup>a,b</sup>	26,20 ± 0,11 <sup>a,b</sup>	27,48 ± 0,10 <sup>a</sup>	72,49 ± 0,50 <sup>c,d,e</sup>
<b>9</b>	60	7,25	2,50	22,38 ± 0,46 <sup>h</sup>	3,44 ± 0,08 <sup>f,g,h,i</sup>	6,77 ± 0,25 <sup>h</sup>	7,73 ± 0,11 <sup>g</sup>	65,71 ± 3,57 <sup>f,g</sup>
<b>10</b>	60	7,25	2,50	24,87 ± 1,28 <sup>g,h</sup>	3,51 ± 0,75 <sup>f,g,h,i</sup>	6,31 ± 0,95 <sup>h</sup>	7,23 ± 1,19 <sup>g</sup>	63,08 ± 5,28 <sup>g</sup>
<b>11</b>	60	7,25	2,50	26,29 ± 0,61 <sup>g,h</sup>	2,06 ± 0,25 <sup>i</sup>	3,90 ± 0,48 <sup>h</sup>	4,42 ± 0,52 <sup>g</sup>	62,15 ± 1,85 <sup>g</sup>
<b>12</b>	60	9,35	2,50	32,86 ± 0,43 <sup>e,f,g</sup>	5,02 ± 0,62 <sup>d,e,f</sup>	19,66 ± 0,78 <sup>d,e,f</sup>	20,30 ± 0,80 <sup>c,d,e</sup>	75,68 ± 1,66 <sup>c</sup>
<b>13</b>	60	5,15	2,50	49,63 ± 1,79 <sup>b,c</sup>	2,92 ± 0,59 <sup>h,i</sup>	27,14 ± 1,65 <sup>a</sup>	27,30 ± 1,67 <sup>a</sup>	83,86 ± 1,15 <sup>a</sup>
<b>14</b>	76,8	7,25	2,50	44,40 ± 2,52 <sup>b,c,d</sup>	7,17 ± 0,54 <sup>b,c</sup>	24,98 ± 1,35 <sup>a,b</sup>	25,99 ± 1,44 <sup>a,b</sup>	73,99 ± 0,46 <sup>c,d</sup>
<b>15</b>	43,2	7,25	2,50	65,50 ± 2,87 <sup>a</sup>	3,69 ± 1,05 <sup>f,g,h</sup>	25,74 ± 2,44 <sup>a,b</sup>	26,01 ± 2,56 <sup>a,b</sup>	81,94 ± 1,51 <sup>a,b</sup>
<b>16</b>	60	7,25	0,02	24,73 ± 1,15 <sup>g,h</sup>	9,39 ± 0,41 <sup>a</sup>	20,85 ± 0,79 <sup>c,d,e</sup>	22,88 ± 0,66 <sup>b,c,d</sup>	65,76 ± 1,41 <sup>f,g</sup>
<b>17</b>	60	7,25	3,34	51,28 ± 2,20 <sup>b</sup>	4,38 ± 0,77 <sup>e,f,g,h</sup>	19,90 ± 1,21 <sup>d,e,f</sup>	20,72 ± 0,84 <sup>c,d,e</sup>	77,66 ± 1,48 <sup>a,b,c</sup>
<b>Torta</b>	-	-	-	29,92±10,00 <sup>c,d,e</sup>	4,99±0,49 <sup>d,e,f,g</sup>	15,31±0,71 <sup>g</sup>	16,10±0,83 <sup>f</sup>	72,16±0,76 <sup>c,d,e</sup>

Valores expressos pela média e desvio padrão da triplicata. Letras diferentes entre linhas na mesma coluna mostram diferenças significativas entre os ensaios por meio do teste de Tukey (p<0,05).

### 3.3.9. Modelagem matemática

Após a avaliação dos resultados individuais dos hidrolisados da torta da amêndoa de baru com a enzima Flavourzyme, procedeu-se à modelagem matemática de segunda ordem para determinar o tratamento ótimo dentre os 17 experimentos, com base nas variáveis de resposta que apresentaram melhor ajuste ao modelo matemático. Todas as variáveis dependentes foram submetidas à análise de modelagem matemática, incluindo  $R^2$ ,  $R^2$  ajustado e a avaliação de falta de ajuste, conforme descrito na Tabela 17.

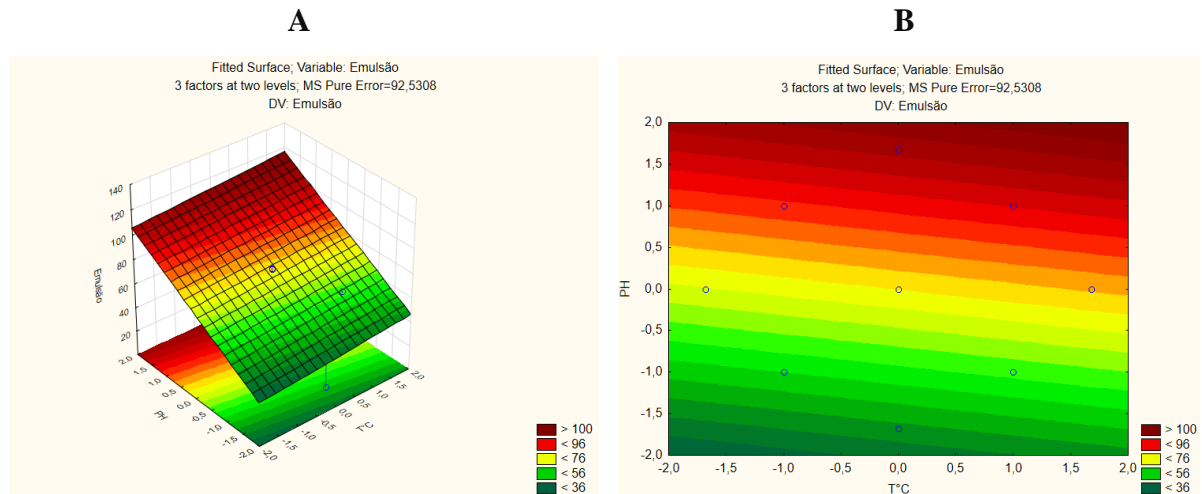
As informações obtidas indicaram que apenas a CRA não se mostrou significativa para a modelagem matemática, entretanto, não foi identificada falta de ajuste nesta variável. Observou-se ainda que duas variáveis resposta apresentaram  $R^2$  superior a 50%, sendo estas a CRO (0,5180) e a capacidade de emulsão (0,6405), sendo esta última escolhida como a variável de resposta com melhor adequação ao modelo matemático, conforme expresso na Equação 11. Através da Figura 10, é possível observar a tendência da capacidade de emulsão em aumentar conforme os valores de T (°C) e pH aumentam, destacando a temperatura como um fator que influencia significativamente na obtenção de alta capacidade de emulsão em qualquer faixa aplicada.

**Tabela 17.** Anova e coeficiente de regressão para a resposta de tratamento ótimo de hidrolisados de proteína de torta de amêndoa de baru

Variáveis dependentes	Anova	Rq	Radj	Lack of fit
CRA (%)	0,1265	0,2385	0,0627	0,1379
CRO (%)	0,0000	0,5180	0,4067	0,0124
F. Espuma (%)	0,0000	0,4956	0,3792	0,7487
C. Emsulsão (%)	0,0000	0,6405	0,5575	0,3080
C. Antioxidante DPPH (%)	0,0000	0,1589	0,0000	0,2036
C. Antioxidante ABTS (%)	0,0000	0,1956	0,0991	0,0562
Proteína (g/100g)	0,0000	0,4220	0,2886	0,2091
Tempo GH (min)	0,0007	0,3723	0,2275	0,0091
Rendimento GH/t (%)	0,0065	0,4856	0,3668	0,0028

Rendimento Ptn/t (%)	0,0000	0,0467	0,0000	0,3701
----------------------	--------	--------	--------	--------

$$C. \text{ Emuls\~{a}o} = 65,75 + 2,64 * T (\text{^\circ C}) + 17,49 * \text{pH} + 7,76 * e: s \quad (11)$$



**Figura 10.** Gráficos da superfície de resposta da variável dependente de capacidade de emulsão. (A) Superfície 3D, (B) Superfície 2D.

Ao analisar individualmente a variável resposta da capacidade emulsionante, constatase que o experimento 7 obteve o melhor desempenho, apresentando uma capacidade de emulsão de 82,85 m<sup>2</sup>/g e uma estabilidade emulsificante de 733 minutos. Além disso, este experimento demonstrou uma concentração de proteína de 328,65 g/100 g, exibindo uma excelente capacidade de formação de gel com uma concentração a partir de 8%, com um percentual de hidrólise de 4,89%.

## 4. CONCLUSÃO

As propriedades tecnológicas avaliadas em cada grupo demonstraram comportamentos distintos para cada experimento. Entre as descobertas mais significativas deste estudo, destaca-se a alta capacidade de retenção de óleo (CRO) alcançada pelos hidrolisados com as enzimas Alcalase (63,68% a 230,18%) e Flavourzyme (26,76% a 293,77) após o processo hidrolítico. Além disso, destacam-se as propriedades emulsificantes apresentadas por ambos os grupos de hidrólise, com os hidrolisados da enzima Alcalase exibindo valores mais elevados (134,70 m<sup>2</sup>/g). Por outro lado, os hidrolisados com a enzima Flavourzyme demonstraram excelentes propriedades gelificantes, evidenciando uma forte formação de rede de gel em 10 experimentos. Os resultados obtidos também indicaram que altos percentuais de hidrólise (GH) não são necessários para disponibilizar as propriedades tecnofuncionais presentes na torta de amêndoa. Adicionalmente, ambos os ensaios apresentaram atividade antioxidante, embora não tenham diferido estatisticamente dos resultados observados na torta original.

Após a avaliação das propriedades tecnológicas, procedeu-se à modelagem matemática de segunda ordem para selecionar os experimentos ótimos dentro de cada grupo de hidrolisados. Ambos os ensaios tiveram a capacidade de emulsão como variável resposta com melhor adequação ao modelo matemático, sendo os experimentos 12 (ensaio 1) e 7 (ensaio 2) escolhidos como os ótimos de cada grupo.

Os hidrolisados da torta de amêndoa de baru apresentaram excelentes propriedades surfactantes e hidratantes, os quais indicam o seu grande potencial para aplicações em diferentes processos de alimentos, podendo auxiliar no controle da qualidade sensorial e atuar como substituintes de agentes sintéticos.

## REFERÊNCIAS

ABBASI, S.; MOSLEHISHAD, M.; SALAMI, M. Antioxidant and alpha-glucosidase enzyme inhibitory properties of hydrolyzed protein and bioactive peptides of quinoa. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 213, n. May, p. 602–609, 2022.

ADLER-NISSEN, J. Enzymic hydrolysis of food proteins. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1986.

AKBARIAN, M. et al. Bioactive Peptides: Synthesis, Sources, Applications, and Proposed Mechanisms of Action. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 3, 2022.

ALEMÁN, A.; PÉREZ-SANTÍN, E.; BORDENAVE-JUCHEREAU, S.; ARNAUDIN, I.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; MONTERO, P. Squid gelatin hydrolysates with antihypertensive, anticancer and antioxidant activity. **Food Research International**, v. 44, n. 4, p. 1044–1051, 2011.

ALMEIDA, A B. et al. Pigment bioproduction by *Monascus purpureus* using corn bran, a byproduct of the corn industry. **Biocatalysis And Agricultural Biotechnology**, v. 32, p. 101931, mar. 2021

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis of International. 17 th. 1 CD-ROM, 2000.

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, n. June 2021, p. 132587, 2022.

ARYEE, A. N. A.; AGYEI, D.; UDENIGWE, C. C. Impact of processing on the chemistry and functionality of food proteins. **Proteins in Food Processing, Second Edition**, p. 27–45, 2017.

AZETSU, T.; SUETAKE, N. Hue-preserving image enhancement in CIELAB color space considering color gamut. **Optical Review**, v. 26, n. 2, p. 283–294, 2019.

BANWO, K. et al. Functional importance of bioactive compounds of foods with Potential Health Benefits: A review on recent trends. **Food Bioscience**, v. 43, n. May, p. 101320, 2021.

BHATTACHARYA, S. Chapter 12 - Processes and machinery. In: BHATTACHARYA, S. **Snack Foods: processing and technology**. Academic Press, 2022. Cap. 12. p. 321-382.

BUČKO, S. et al. Influence of enzymatic hydrolysis on solubility, interfacial and emulsifying properties of pumpkin (*Cucurbita pepo*) seed protein isolate. **Food Hydrocolloids**, v. 60, p. 271–278, 2016.

CHEN, D.; CAMPANELLA, O. H. Limited enzymatic hydrolysis induced pea protein gelation at low protein concentration with less heat requirement. **Food Hydrocolloids**, v. 128, n. January, p. 107547, 2022.

CHEN, S. et al. Bioactive peptides derived from crimson snapper and: In vivo anti-aging effects on fat diet-induced high fat *Drosophila melanogaster*. **Food and Function**, v. 11, n. 1, p. 524–533, 2020.

CHOURASIA, R.; PHUKON, L. C.; SINGH, S. P.; RAI, A. K.; SAHOO, D.. Chapter 15 - Role of enzymatic bioprocesses for the production of functional food and nutraceuticals. In: SINGH, Sudhir P. et al. **Biomass, Biofuels, Biochemicals: advances in enzyme catalysis and technologies**: Elsevier, 2020. Cap. 15. p. 309-334.

ÇİFTÇİ, S.; SUNA, G. Functional components of peanuts (*Arachis Hypogaea* L.) and health benefits: A review. **Future Foods**, v. 5, n. November 2021, 2022.

CRUZ-CASAS, D. E. et al. Enzymatic hydrolysis and microbial fermentation: The most favorable biotechnological methods for the release of bioactive peptides. **Food Chemistry: Molecular Sciences**, v. 3, 2021.

DE OLIVEIRA FILHO, J. G. et al. Bioactive Properties of Protein Hydrolysate of Cottonseed Byproduct: Antioxidant, Antimicrobial, and Angiotensin-Converting Enzyme (ACE) Inhibitory Activities. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, n. 3, p. 1395–1404, 2021.

DENT, T.; CAMPANELLA, O.; MALEKY, F. Enzymatic hydrolysis of soy and chickpea protein with Alcalase and Flavourzyme and formation of hydrogen bond mediated insoluble aggregates. **Current Research in Food Science**, v. 6, n. March, p. 100487, 2023.

DIAS, F. F. G.; TAHA, A. Y.; BELL, L. N. DE M. Effects of enzymatic extraction on the simultaneous extraction of oil and protein from full-fat almond flour, insoluble microstructure, emulsion stability and functionality. **Future Foods**, v. 5, n. March, p. 100151, 2022.

DIASA, F. F. G.; DE MOURA BELL, J. M. L. N. Understanding the impact of enzyme-assisted aqueous extraction on the structural, physicochemical, and functional properties of protein extracts from full-fat almond flour. **Food Hydrocolloids**, v. 127, p. 107534, 2022.

EGEA, M. B. et al. The potential of baru (*Dipteryx alata* Vog.) and its fractions for the alternative protein market. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, n. April, p. 1–9, 2023.

ELLIS, A. L. et al. Stabilisation of foams by agar gel particles. **Food Hydrocolloids**, v. 73, p. 222–228, 2017.

EROKHIN, V. et al. The supply of calories, proteins, and fats in low-income countries: A four-decade retrospective study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 14, p. 1–30, 2021.

FATHOLLAHY, I. et al. Characteristics and functional properties of Persian lime (*Citrus latifolia*) seed protein isolate and enzymatic hydrolysates. **Lwt**, v. 140, n. December 2020, p. 110765, 2021.

GALANTE, M. et al. Effects of the enzymatic hydrolysis treatment on functional and antioxidant properties of quinoa protein acid-induced gels. **Lwt**, v. 118, n. December 2018, p. 108845, 2020.

GANESH, S.; NINGTYAS, D. W.; PRAKASH, S. Investigating the functionality of enzymatically (transglutaminase and alcalase) treated almond protein isolate. **Food Bioscience**, v. 49, n. July, p. 101914, 2022.

GARCÍA ARTEAGA, V. et al. Effect of enzymatic hydrolysis on molecular weight distribution, techno-functional properties and sensory perception of pea protein isolates. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 65, n. July, p. 102449, 2020.

HA, N. C.; HIEU, T. T.; THUY, N. T. Valorization of protein from by-product of purified rice starch industry: Protein hydrolysates exhibit a potential heat resistance and protease inhibition besides foam formation and stability properties. **Journal of Cereal Science**, v. 112, n. June, p. 103722, 2023.

HE, C. AI et al. Excellent hydration properties and oil holding capacity of citrus fiber: Effects of component variation and microstructure. **Food Hydrocolloids**, v. 144, n. February, p. 108988, 2023.

IBRAHIM, S. G. et al. Functional properties of protein concentrates of KB6 kenaf (*Hibiscus cannabinus*) seed and its milky extract. **Lwt**, v. 135, n. August 2020, p. 110234, 2021.

ISLAM, M. et al. Enzymatic hydrolysis of soy protein to high moisture textured meat analogue with emphasis on antioxidant effects: As a tool to improve techno-functional property. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 50, n. April, p. 102700, 2023.

JIA, W. et al. Assessing functional properties of rapeseed protein concentrate versus isolate for food applications. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 68, n. October 2020, p. 102636, 2021.

KRISTENSEN, K. et al. Effects of different moisture contents on the structural and functional properties of cellulose with cell wall components in different citrus fibres. **Food & function**, v. 13, n. 5, p. 2756–2767, 2022.

KONICA MINOLTA. Precise color communication: Color control for perception to instrumentation. Konica Minolta Sensing, Inc. 2007.

LIMA, D. S. et al. Technological quality and sensory acceptability of nutritive bars produced with Brazil nut and baru almond coproducts. **Lwt**, v. 137, n. October 2020, p. 110467, 2021.

MINTAH, B. K. et al. Characterization of edible soldier fly protein and hydrolysate altered by multiple-frequency ultrasound: Structural, physical, and functional attributes. **Process Biochemistry**, v. 95, n. May, p. 157–165, 2020.

MUHAMYANKAKA, V. et al. Physicochemical properties of hydrolysates from enzymatic hydrolysis of pumpkin (*Cucurbita moschata*) protein meal. **International Food Research Journal**, v. 20, n. 5, p. 2227–2240, 2013.

NIETO-NIETO, T. V. et al. Effects of partial hydrolysis on structure and gelling properties of oat globular proteins. **Food Research International**, v. 55, p. 418–425, 2014.

NISOV, A.; ERCILI-CURA, D.; NORDLUND, E. Limited hydrolysis of rice endosperm protein for improved techno-functional properties. **Food Chemistry**, v. 302, n. February 2019, p. 125274, 2020.

NOMAN, A. et al. Influence of enzymatic hydrolysis conditions on the degree of hydrolysis and functional properties of protein hydrolysate obtained from Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) by using papain enzyme. **Process Biochemistry**, [S.L.], v. 67, p. 19-28, abr. 2018.

PANYAM, D.; KILARA, A. Enhancing the functionality of food proteins by enzymatic modification. **Trends in Food Science and Technology**, v. 7, n. 4, p. 120–125, 1996.

PINELI, L. DE L. DE O. et al. Use of baru (Brazilian almond) waste from physical extraction of oil to produce flour and cookies. **Lwt**, v. 60, n. 1, p. 50–55, 2015.

RASERA, G. B.; HILKNER, M. H.; DE CASTRO, R. J. S. Free and insoluble-bound phenolics: How does the variation of these compounds affect the antioxidant properties of mustard grains during germination? **Food Research International**, v. 133, n. July 2019, p. 109115, 2020.

RIBEIRO, B. G.; GUERRA, J. M. C.; SARUBBO, L. A. Biosurfactants: production and application prospects in the food industry. **Biotechnology Progress**, [S.L.], v. 36, n. 5, p. 30-30, 24 jun. 2020.

RIBEIRO, E. F. et al. Protein- and polysaccharide-based particles used for Pickering emulsion stabilisation. **Food Hydrocolloids**, v. 119, n. January, p. 106839, 2021.

RIVERO-PINO, F.; ESPEJO-CARPIO, F. J.; GUADIX, E. M. Unravelling the  $\alpha$ -glucosidase inhibitory properties of chickpea protein by enzymatic hydrolysis and in silico analysis. **Food Bioscience**, v. 44, n. PA, p. 101328, 2021.

SCHLEGEL, K. et al. Enzymatic hydrolysis of lupin protein isolates—Changes in the molecular weight distribution, technofunctional characteristics, and sensory attributes. **Food Science and Nutrition**, v. 7, n. 8, p. 2747–2759, 2019.

SENADHEERA, T. R. L. et al. Functional and physiochemical properties of protein isolates from different body parts of North Atlantic sea cucumber (*Cucumaria frondosa*). **Food Bioscience**, v. 52, n. January, p. 102511, 2023.

SEVERIN, S.; XIA, W. S. Enzymatic hydrolysis of whey proteins by two different proteases and their effect on the functional properties of resulting protein hydrolysates. **Journal of Food Biochemistry**, v. 30, n. 1, p. 77–97, 2006.

SHETTY, K.; SARKAR, D. Introduction: Metabolic-driven ecological rationale to advance biotechnological approaches for functional foods. **Functional Foods and Biotechnology**. p. 1-4, 2019

SHI, T. et al. Almond (*Amygdalus communis* L.) kernel protein: A review on the extraction, functional properties and nutritional value. **Food Research International**, v. 167, n. March, p. 112721, 2023.

TANG, C. H.; SUN, X.; FOEGEDING, E. A. Modulation of Physicochemical and Conformational Properties of Kidney Bean Vicilin (Phaseolin) by Glycation with Glucose: implications for structure–function relationships of legume vicilins. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, v. 59, n. 18, p. 10114-10123, 1 set. 2011.

TANG, Q.; ROOS, Y. H.; MIAO, S. Comparative studies of structural and thermal gelation behaviours of soy, lentil and whey protein: A pH-dependency evaluation. **Food Hydrocolloids**, v. 146, n. July 2023, 2024.

WANG, L. et al. Preparation and identification of antioxidant peptides from cottonseed proteins. **Food Chemistry**, v. 352, n. February, p. 129399, 2021.

WANG, W. et al. Effects of electric field intensity regulation on protein aggregation behaviour and foaming property of soybean 7S globulin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 248, n. July, p. 125784, 2023.

YANQING, L. et al. Effect of enzymatic hydrolysis followed after extrusion pretreatment on the structure and emulsibility of soybean protein. **Process Biochemistry**, v. 116, n. October 2021, p. 173–184, 2022a.

YANQING, L. et al. Effect of enzymatic hydrolysis followed after extrusion pretreatment on the structure and emulsibility of soybean protein. **Process Biochemistry**, v. 116, n. March, p. 173–184, 2022b.

YOLANDANI et al. Ultrasound-assisted limited enzymatic hydrolysis of high concentrated soy protein isolate: Alterations on the functional properties and its relation with hydrophobicity and molecular weight. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 95, n. April, p. 106414, 2023.

ZAKY, A. A. et al. An overview on antioxidant peptides from rice bran proteins: extraction, identification, and applications. **Critical Reviews In Food Science And Nutrition**, v. 62, n. 5, p. 1350-1362, 4 nov. 2020.

ZHANG, D.; CHEN, D.; CAMPANELLA, O. H. Effect of pH on the gelling properties of pea protein-pectin dispersions. **Food Hydrocolloids**, v. 151, n. December 2023, p. 109731, 2024.

ZHAO, G. et al. Enzymatic hydrolysis and their effects on conformational and functional properties of peanut protein isolate. **Food Chemistry**, v. 127, n. 4, p. 1438–1443, 2011.

ZHENG, L. et al. Mechanism of the discrepancy in the enzymatic hydrolysis efficiency between defatted peanut flour and peanut protein isolate by Flavorzyme. **Food Chemistry**, v. 168, p. 100–106, 2015.

ZIELIŃSKA, E.; KARAŚ, M.; BARANIAK, B. Comparison of functional properties of edible insects and protein preparations thereof. **Lwt**, v. 91, n. February, p. 168–174, 2018.