

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Daniela Lazzaron Lamers

**EXTRAÇÃO SEQUENCIAL E CARACTERIZAÇÃO DE GELATINA OBTIDA
A PARTIR DE RESÍDUOS DE PÉ DE PERU**

Porto Alegre
2023

Daniela Lazzaron Lamers

**EXTRAÇÃO SEQUENCIADA E CARACTERIZAÇÃO DE GELATINA OBTIDA A
PARTIR DE RESÍDUOS DE PÉ DE PERU**

Dissertação de Mestrado apresentada como
requisito parcial para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Química.

Área de Concentração: Pesquisa e
Desenvolvimento de Processos

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mariliz Guterres
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Aline Dettmer

Porto Alegre
2023

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desta dissertação não teria sido possível sem o apoio, estímulo, compreensão e carinho de algumas pessoas. Meus sinceros agradecimentos.

Aos meus pais, por me ensinarem a nunca desistir apesar das dificuldades.

Aos meus irmãos, que são meus exemplos.

Ao meu marido, pelo apoio incondicional.

Aos meus familiares, por sempre estarem ao meu lado.

As minhas orientadoras Prof^a. Dr^a. Aline Dettmer e Prof^a Dr^a. Mariliz Guterres, pela orientação, paciência e dedicação.

Aos meus amigos e aos meus colegas de laboratório pela ajuda, amizade e pelas palavras de apoio e tranquilidade.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), pela oportunidade de ensino público, de qualidade e gratuito.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

RESUMO

A gelatina é amplamente utilizada na indústria em diversos segmentos devido as suas características funcionais, abundância e seu valor econômico. O principal volume de gelatina é obtido industrialmente de mamíferos. Novas fontes, tais como os resíduos da avicultura, vem sendo estudadas em razão de preocupações de saúde, culturais e religiosas. Os resíduos de pés de peru são gerados em grande volume na avicultura, representando 3,5% do peso total do animal. Este material apresenta 24,49% de proteína em sua composição. O objetivo deste trabalho foi realizar a extração sequencial de gelatina, através de processo de hidrólise, a fim de extrair o máximo de proteína presente em resíduos de pés de peru, em três diferentes temperaturas, realizando um pré-tratamento químico com ácido acético 3 M. A primeira extração ocorreu a 55 °C, a segunda e a terceira ocorreram, respectivamente, a 65 e 72 °C sem quaisquer outros pré-tratamentos químicos. Para cada extração foi avaliado o tempo de processo, relacionado à quantidade de proteína das amostras. As gelatinas obtidas foram caracterizadas quanto ao teor de proteína, resíduo mineral fixo, lipídeos, análise termogravimétrica, espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier, eletroforese em gel de poliacrilamida e força de gel (Bloom). A preparação de gelatina obtida da primeira extração foi a que apresentou quantidade de proteína de 77,58% e maior rendimento de extração (10,41%). A soma dos rendimentos das três extrações foi de 15,14%. Através da análise de infravermelho por transformada de Fourier, as três gelatinas apresentaram picos semelhantes à gelatina comercial. Através da análise de eletroforese em gel de poliacrialmida, a preparação de gelatina que apresentou menor degradação foi a gelatina obtida na primeira extração. As análises de Bloom das três gelatinas obtidas apresentaram baixos valores de força de gel. As temperaturas de degradação das gelatinas obtidas foram superiores a 300 °C, similar a gelatina comercial. Os resíduos após as extrações sequenciais apresentaram uma redução de 30,62% na quantidade de proteínas, porém ainda apresentam quantidades significativas deste componente em sua composição. Através da caracterização das gelatinas é possível afirmar que as obtidas a partir de pés de peru têm potencial para substituir as obtidas a partir de mamíferos, porém estudos complementares devem ser realizados principalmente no que se refere ao perfil de aminoácidos, a fim de verificar quais aplicações podem ser realizadas com este material. As extrações sequenciais realizadas demonstraram que é

possível obter gelatina em temperaturas superiores à utilizada na hidrólise inicial, utilizando somente um pré-tratamento químico e extraindo a proteína remanescente do resíduo utilizado após a primeira e a segunda hidrólise. Quanto aos resíduos gerados após o último processo de hidrólise, para a viabilidade de novas extrações, são necessários estudos complementares para verificação da exequibilidade.

Palavras-chaves: reaproveitamento de resíduos, fontes alternativas, proteína hidrolisada, coproduto, propriedades funcionais

ABSTRACT

Gelatin is widely used in industry in several segments due to its functional characteristics, abundance and economic value. The main volume of gelatin is industrially obtained from mammals. New sources, such as poultry waste, are being studied due to health, cultural and religious concerns. Turkey feet residues are generated in large volumes in poultry manufacture, representing 3.5% of the total weight of the animal. This material has 24.49% protein in its composition. The objective of this work was to carry out the sequential extraction of gelatin, in order to extract the maximum amount of protein present in turkey feet residues, at three different temperatures, performing a pre-treatment with 3M acetic acid. The first extraction was made at 55 °C, the second and third hydrolysis, respectively, at 65 and 72 °C without any other chemical pretreatments. For each extraction, the hydrolysis time was evaluated, related to the amount of protein in the samples. The gelatins obtained were characterized in terms of protein content, fixed mineral residue, lipids, thermogravimetric analysis, Fourier transform infrared spectroscopy, polyacrylamide gel electrophoresis and gel strength (Bloom). The gelatin obtained in the first extraction showed the highest amount of protein (77.58%) and the highest extraction yield (10.41%). The sum of the yields of the three extractions was 15.14%. Through Fourier transform infrared analysis, the three gelatins showed peaks similar to commercial gelatin. Through the electrophoresis analysis in polyacrylamide gel, the gelatin with less degradation was the gelatin obtained in the first extraction. Bloom analyzes of the three gelatins obtained showed low values of gel strength. The degradation temperatures of the gelatins obtained were higher than 300 °C, similar to commercial gelatin. The residues after the sequential extractions showed a reduction of 30.62% in the amount of proteins, but still have significant amounts of this component in their composition. Through the characterization of the gelatins, it is possible to state that those from turkey feet have the potential to replace those from mammals, but complementary studies must be carried out mainly with regard to the amino acid profile, in order to verify which applications can be carried out with this material. The sequential extractions carried out demonstrated that it is possible to obtain gelatin at temperatures higher than that used in the initial hydrolysis, using only a chemical pre-treatment and extracting the remaining protein from the residue used after the first and

second hydrolysis. As for the residues remaining from the hydrolysis, for the viability of new extractions, complementary studies are necessary to verify the practicability.

Keywords: waste reuse, alternative sources, hydrolyzed protein, co-product, functional properties

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	3
1.1.1	Objetivo geral	3
1.1.2	Objetivos específicos	3
1.3.	Estrutura do trabalho	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	INDÚSTRIA DA PROTEÍNA ANIMAL	5
2.2	RESÍDUOS GERADOS NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA	7
2.2.1	Resíduos gerados na indústria de processamento de proteína animal.....	7
2.3	GELATINA	11
2.3.1	Colágeno.....	11
2.3.2	Gelatina.....	12
2.3.3	Extração da gelatina	14
2.3.4	Fontes de gelatina.....	16
2.3.5	Aplicações da gelatina	28
2.4	PERSPECTIVAS DA EXTRAÇÃO E APLICAÇÃO DE GELATINA A PARTIR DE SUBPRODUTOS DE AVES	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1	Material	34
3.1.1	Caracterização dos pés de peru <i>in natura</i>	35
3.2	Procedimentos experimentais para obtenção da gelatina a partir do processo de hidrólise	35
3.2.1	Preparação e limpeza e pré-tratamento dos resíduos	36
3.2.2	Primeira hidrólise	37
3.2.3	Segunda hidrólise	39
3.2.4	Terceira hidrólise.....	41
3.3	Análise de proteína das gelatinas para determinação do melhor tempo de hidrólise	42
3.4.1	Processo de hidrólise das gelatinas e Análise	42
3.4	Caracterização da Gelatina	43
3.4	Caracterização dos resíduos de pés de peru após a hidrólise	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47

4.1	CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE PÉ DE PERU	47
4.2	DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES ÓTIMAS DO PROCESSO DE HIDRÓLISE DE GELATINA	48
4.2.1	Determinação da melhor condição para a primeira extração de gelatina	48
4.2.2	Determinação da melhor condição para a segunda hidrólise de gelatina	51
4.2.3	Determinação da melhor condição para a terceira hidrólise de gelatina	52
4.3	CARACTERIZAÇÃO DA GELATINA	53
4.3.1	Gelatina.....	54
4.3.2	Resíduos de pé de peru hidrolisados (torta)	66
5	CONCLUSÕES.....	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Reciclagem animal: quantidade de resíduos gerados por espécie no Brasil – 2010/2020.....	9
Figura 2 - estruturas químicas de alguns dos aminoácidos formadores das cadeias de colágeno.....	12
Figura 3 – Representação da estrutura parcial básica da gelatina.....	13
Figura 4 - Etapas da produção industrial de gelatina.....	15
Figura 5 - Pés de peru in natura.....	34
Figura 6 - Processo de pré-tratamento dos resíduos in natura.....	37
Figura 7 - Esquema representativo da primeira hidrólise (temperatura de 55 °C) para extração de gelatina dos pés de peru.....	38
Figura 8 - Esquema representativo da segunda hidrólise (temperatura de 65 °C) para extração de gelatina dos pés de peru.....	40
Figura 9 - Esquema representativo do terceiro processo de hidrólise (temperatura de 72 °C) para extração de gelatina dos pés de peru.....	41
Figura 10 - Esquema representativo do processo de hidrólise sequencial nas temperaturas de 55, 65 e 72 °C.....	43
Figura 11 - Resultados de análise de proteína pelo método de Lowry para a primeira hidrólise conduzida a 55 °C.....	50
Figura 12 - Resultados de análise de proteína conforme método de Lowry para a segunda hidrólise conduzida a 65 °C.....	51
Figura 13 - Resultados de análise de proteína conforme método de Lowry para a terceira extração de proteína conduzida a 72 °C.....	53
Figura 14 - Gelatinas líquidas obtidas no processo de hidrólise G1 ⁺ (1), G2 ⁺ (2) e G3 ⁺ (3); gelatinas sólidas obtidas no processo de hidrólise G1 ⁺ (4), G2 ⁺ (5) e G3 ⁺ (6); gelatinas secas e moídas obtidas no processo de hidrólise G1 ⁺ (7), G2 ⁺ (8) e G3 ⁺ (9);.....	54
Figura 15 - FTIR para as amostras de gelatinas G1 ⁺ , G2 ⁺ , G3 ⁺ e GC.....	59
Figura 16 - Curvas de TGA as gelatinas G1 ⁺ , G2 ⁺ , G3 ⁺ e GC.....	61
Figura 17 - DTG para as amostras de GC (A), G1 ⁺ (B), G2 ⁺ (C) e G3 ⁺ (D).....	62
Figura 18 - Perfil de peso molecular das gelatinas G3 ⁺ (1), G2 ⁺ (2), G1 ⁺ (3) e o padrão de massa molar (P).....	64

Figura 19 – Mudança de coloração nos resíduos utilizados nas hidrólises, RA (1), RB (2), R1⁺ (3), R2⁺ (4) e R3⁺ (5).....66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção e exportação brasileira de proteína animal total no ano de 2020	6
Tabela 2 - Percentual de destinação de resíduos para o setor de reciclagem animal.....	8
Tabela 3 - Caracterização de resíduos de aves conforme diversos autores	21
Tabela 4 - Diferentes métodos utilizados para extração de gelatina de resíduos de aves	23
Tabela 5 - Funcionalidade da gelatina na indústria alimentícia	30
Tabela 6 - Aplicações de gelatinas obtidas a partir de resíduos de aves, conforme diversos autores.....	31
Tabela 7 - Testes de hidrólise na temperatura de 55 °C	39
Tabela 8 - Testes de hidrólise na temperatura de 65 °C	40
Tabela 9 - Testes de hidrólise na temperatura de 72 °C	41
Tabela 10 - Caracterização dos resíduos de pé de peru in natura	47
Tabela 11 - Resultados de análise de proteína pelo método de Lowry para a primeira hidrólise conduzida a 55 °C	49
Tabela 12 - Resultados de análise de proteína conforme método de Lowry para a segunda hidrólise conduzida a 65 °C	51
Tabela 13 - Resultados de análise de proteína conforme método de Lowry para a terceira extração de proteína conduzida a 72 °C.....	52
Tabela 14 - Caracterização de G1 ⁺ , G2 ⁺ , G3 ⁺ e GC.....	55
Tabela 15 - Parâmetros da análise termogravimétrica das GC, G1 ⁺ , G2 ⁺ e G3 ⁺	63
Tabela 16 - Caracterização das tortas de pé de peru após as hidrólises	66

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIEC: Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes

ABPA: Associação Brasileira de Proteína Animal

ABRA: Associação Brasileira de Reciclagem Animal

A.O.A.C: Association of Official Analytical Chemists

ASTM: American Society for Testing and Materials

ATR: Reflexão Total Atenuada

DEQUI: Departamento de Engenharia Química

DTG: Termogravimetria Derivada

FTIR: Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier

GVW: Grand View Research

ISO: International Organization for Standardization

LAPA: Laboratório de Análises e Pesquisas em Alimentos

MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl

OMS: Organização Mundial de Saúde

PIB: Produto Interno Bruto

SIF: Serviço de Inspeção Federal

SDA: Secretaria de Defesa Agropecuária

TEC: Tonelada de equivalente de carcaças

TGA: Análise de Termogravimetria

UCS: Universidade de Caxias do Sul

UPF: Universidade de Passo Fundo

USDA: Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

1 INTRODUÇÃO

A atividade de avicultura no Brasil desempenha um papel fundamental na matriz de suprimento global de proteína animal. O desenvolvimento tecnológico associado com a disponibilidade de recursos naturais são fatores que tornam o Brasil cada vez mais competitivo e permite a evolução contínua deste segmento (Ferreira *et al.*, 2018).

De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), no ano de 2021 foram produzidas 14,5 milhões de toneladas de carnes de aves no Brasil, incluindo o abate de frango, peru, patos e outros tipos de aves. Juntamente com os elevados volumes de produção, a quantidade de resíduos gerados pela indústria frigorífica também é crescente. Caso estes resíduos não sejam corretamente manejados podem causar problemas na saúde humana e na qualidade ambiental (solo, água, ar e paisagens).

Os resíduos de abate de animais são partes que não são destinadas para consumo humano, seja por hábitos alimentares ou culturais da população, ou por serem impróprios para consumo humano. Os resíduos gerados por este setor incluem vísceras, ossos, penas, sangue, escamas, aparas de carne e gordura e partes do animal. Diversos benefícios podem ser obtidos quando os subprodutos gerados no setor são reutilizados, tais como a redução de custos na disposição de resíduos e a geração de receita com a produção de produtos de valor agregado.

No ano de 2020, no Brasil, a quantidade total de matéria-prima oriunda de resíduos de aves reciclada foi superior a 1 milhão de toneladas, representando um montante de 28% do total do peso vivo abatido de aves (ABRA, 2021). Para o correto tratamento e disposição dos resíduos frigoríficos, processos físicos, químicos e biológicos são necessários para reduzir seu potencial poluidor e garantir a qualidade sanitária do material. No Brasil, dos resíduos destinados à reciclagem animal, os principais mercados consumidores são a produção animal (compreendem a produção de farinhas e óleos animais), biodiesel, produtos destinados para *pet food*, produtos destinados para higiene e limpeza e demais destinos, que incluem a produção de gelatina e hemoderivados.

A utilização de gelatina é crescente, tanto para fins alimentícios quanto em aplicações mais técnicas. Pesquisas reportam que, no ano de 2027, estima-se um consumo global de 915,9 milhões de toneladas deste produto (GVW, 2020). A gelatina é amplamente

utilizada na indústria na produção de alimentos, cosméticos, nutracêuticos e fármacos (Schrieber e Gareis, 2007). Na produção de alimentos pode ser utilizada como aditivo, estabilizante, espessante, agente clarificante, entre outros.

A gelatina é uma proteína solúvel obtida pela hidrólise parcial do colágeno sendo este a proteína fibrosa constituinte de ossos, cartilagens e peles. As fontes de extração, a idade dos animais e o tipo de colágeno são fatores que influenciam na qualidade da gelatina (Johnston-Banks, 1990). Os processos de manufatura de produção de gelatina incluem pré-tratamento, condições de extração, filtração e secagem. Todas estas etapas irão impactar na qualidade da gelatina. A variação das propriedades moleculares e funcionais dos diferentes tipos de gelatina são aplicados com propósitos particulares para diferentes tipos de aplicação (Benjakul e Kittiphattanabawon, 2019).

A gelatina comercial geralmente é produzida de pele de porco e de ossos e pele bovina (Montero e Gómez-Guillen, 2000). A pesquisa por fontes alternativas de gelatina é crescente, principalmente devido à valorização econômica de subprodutos, gestão ambientalmente correta dos resíduos industriais e a procura por processos inovadores como potencial para novas aplicações (Gómez-Guillen *et al.*, 2011). Subprodutos de peixes e aves tem recebido atenção especial recentemente em processos de extração de gelatina.

Quanto à gelatina de aves, diversos estudos vem sendo realizados para a obtenção de gelatina de subprodutos de aves: pés de frango (Almeida, 2016), pés de pato (Abedinia *et al.*, 2017), carne mecanicamente separada de peru (Du *et al.*, 2014), carne mecanicamente separada de frango (Rammaya, Qi Ying e Babji, 2014; Rafieian, Keramat e Kadivar, 2013), pele de frango (Bichukale *et al.*, 2018), ossos de frango (Bichukale *et al.*, 2018), cabeças de frango (Du *et al.*, 2013) e cabeças de peru (Du *et al.*, 2013).

Dessa forma, o presente trabalho pretende realizar extrações de gelatina de resíduos de pés de peru e realizar a sua caracterização a fim de verificar potenciais aplicações deste material em substituição a fontes tradicionais de gelatina.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver a extração sequencial de gelatina a partir da hidrólise de resíduos de pés de peru *in natura*.

1.1.2 Objetivos específicos

- 1) Testar a extração sequencial de gelatina dos pés de peru em temperaturas diferentes;
- 2) Definir a condição ideal de extração com base na concentração de proteína extraída;
- 3) Caracterizar as gelatinas obtidas a fim de verificar potenciais aplicações para o material obtido.

1.2. Metodologia

Este trabalho propõe, realizar a extração sequencial, em três diferentes temperaturas, de gelatina a partir da hidrólise de resíduos de pés de peru *in natura* utilizando somente um pré-tratamento ácido, e após realizar a caracterização das três gelatinas obtidas.

Os resíduos utilizados para a hidrólise foram caracterizados quanto a sua composição centesimal. Para o pré-tratamento dos resíduos foi utilizado ácido acético 3 M por um período de 16 h e após foram realizadas três extrações de gelatina, através de processo de hidrólise, nas temperaturas de 55, 65 e 72 °C. Para a primeira hidrólise, foram utilizados os resíduos pré-tratados quimicamente. Para avaliar o melhor tempo de extração das gelatinas. Para a primeira temperatura de hidrólise foram testados diversos tempos, realizada análise de proteína nas gelatinas pelo método de Lowry e análise estatística para definir qual o tempo ótimo de hidrólise. Para a segunda hidrólise, foram utilizados os resíduos oriundos da primeira extração cujo tempo de experimento foi considerado ótimo. A segunda hidrólise ocorreu a 65 °C em diversos períodos. Para definição do melhor tempo

de hidrólise da segunda extração de gelatina, foi realizada análise de proteína das gelatinas pelo método de Lowry e após análise estatística. Para a terceira hidrólise, foram utilizados os resíduos da hidrólise cujo tempo foi ótimo da segunda extração, e utilizada a temperatura de 72 °C, utilizando diversos tempos. Foi realizada análise de proteína pelo método de Lowry para as gelatinas obtidas e análise estatística para definir o tempo ótimo de hidrólise.

As três gelatinas obtidas nos tempos ótimos foram analisadas quanto a sua composição centesimal, FTIR, análise de termogravimetria, perfil de peso molecular e força de gel. Os resíduos gerados após as hidrólises cujos tempos foram ótimos, passaram por análise de teor de proteínas, umidade e cinzas.

1.3. Estrutura do trabalho

O presente trabalho é dividido em cinco capítulos. Neste primeiro Capítulo, uma breve introdução do presente estudo apresenta o objetivo principal da pesquisa realizada, bem como os objetivos específicos que se busca alcançar.

No Capítulo 2, o foco de análise é a revisão bibliográfica sobre o tema estudado, com a descrição dos conteúdos necessários para a compreensão desse trabalho, incluindo o mercado de processamento de proteína animal, a geração de resíduos no setor e as alternativas para disposição dos resíduos gerados. Também, é realizada uma apresentação sobre a produção de gelatina e as suas características, fontes alternativas de produção de gelatina e suas aplicações.

Ao longo do Capítulo 3, são descritos os Materiais e Métodos de todos os procedimentos experimentais utilizados para extração sequenciada, em três diferentes temperaturas, de gelatina a partir de resíduos de pés de peru. Além disso, são detalhadas as técnicas analíticas empregadas para a sua caracterização.

Os resultados dos experimentos obtidos a partir das análises realizadas serão apresentados no Capítulo 4 do presente trabalho. Por meio de comparativos, eles são relacionados com resultados já encontrados por outros autores que se dedicaram ao estudo da obtenção de gelatina.

Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões obtidas a partir deste estudo e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será realizada uma revisão dos conteúdos necessários para a compreensão deste trabalho. Primeiramente, é apresentado o mercado de processamento de proteína animal, a geração de resíduos no setor e as alternativas para disposição dos resíduos gerados. Após, é realizada uma apresentação sobre a produção de gelatina e as suas características, dissertando também sobre fontes alternativas e aplicações.

2.1 INDÚSTRIA DA PROTEÍNA ANIMAL

Globalmente, um dos mais importantes setores da economia é a indústria alimentícia. O processamento e a manufatura de alimentos são atividades essenciais que resultam na criação de diversos produtos, abastecendo os mercados internos dos países e estando também entre os principais itens de exportação. O setor alimentício é bastante amplo, podendo ser dividido em diversos subsetores, sendo um deles a indústria de proteína animal (YU e BROOKS, 2016).

Nos últimos 50 anos, o consumo de carne no mundo aumentou rapidamente, e a produção atual é quase cinco vezes maior que no início dos anos 1960. Uma das razões para esse aumento é o aumento da população mundial: na década de 1960 era de 3 bilhões (OUR WORD IN DATA, 2021); hoje a população é de mais de 7 bilhões.

No Brasil, o consumo de proteína animal faz parte dos hábitos alimentares de sua população. De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) (2021), 98,5% dos lares brasileiros consomem algum tipo de proteína animal de maneira regular. No ano de 2020, o consumo per capita de carne de frango, suína e bovina brasileiro é de respectivamente 45,3, 16,0 e 36,4 kg de carne/habitante/ano (ABPA E ABIEC, 2021).

A indústria de processamento de proteína animal está presente em diversos países do mundo. De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) (2021), estima-se que no ano de 2020 foram produzidas 97,8 milhões de toneladas de carne

suína, 100,4 milhões de toneladas de carne de frango e 71,1 milhões de toneladas de equivalente de carcaças¹ (TEC) bovinas.

De acordo com a ABPA (2021), o Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do mundo, possuindo uma grande aptidão para a produção agropecuária. Esse elevado volume de produção só é possível devido o Brasil possuir características naturais de ordem climática, territorial e culturais que lhe confere importantes vantagens em termos de sustentabilidade. No ano de 2020, o Brasil foi considerado o segundo maior produtor mundial de carne bovina e o terceiro maior produtor de carne de frango, segundo as associações brasileiras das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC, 2021) e de Proteína Animal (ABPA, 2021), respectivamente. A Tabela 1 mostra um panorama geral da produção brasileira de carne bovina, suína, de frango e de peru produzidas bem como a quantidade exportada no ano de 2020.

Tabela 1 – Produção e exportação brasileira de proteína animal total no ano de 2020

Espécie animal	Produção (milhões de toneladas)	Quantidade exportada (%)
Carne bovina	10,320 ¹	26
Carne suína	4,436	23
Carne de frango	13,845	31
Carne de peru	0,016	26

¹ Milhões de toneladas de equivalente de carcaças

Fonte: adaptado de ABIEC (2021) e ABPA (2021)

Conforme Ferreira *et al.* (2018), a indústria avícola se consolidou com uma das atividades mais importantes para o fornecimento de proteína animal no mundo, sendo que o fenômeno é mais evidente no Brasil. De acordo com informações da USDA (2020), o comércio de carnes de aves tem a tendência de se expandir mais do que os produtos de gado, devido ao menor custo de compra para o consumidor final. Neste mesmo relatório emitido pelo órgão estadunidense, há a estimativa de um crescimento de exportação de aves produzidas pelos principais países fornecedores, entre eles o Brasil, de 29,2% atingindo aproximadamente 17,2 milhões de toneladas até o ano de 2029.

¹ Tonelada de equivalente de carcaças é o indicador utilizado para padronizar a quantidade negociada com a quantidade de carcaças. A partir do peso de carne in natura ou industrial, estima-se a perda de peso decorrente da desossa e do processamento. O cálculo é obtido a partir das seguintes relações: Equivalente de carcaça (a cada 1 Kg): x 1 = carne in natura com osso; x 1,3 = carne *in natura* sem osso; x 2,5 = carne industrializada.

A indústria de proteína animal tem um papel importante no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, gerando renda e empregos para a população. Em contrapartida, com a elevada produção oriunda desse setor, aumenta também a geração de resíduos nessa atividade. A principal preocupação relacionada à geração de resíduos é o impacto que ele gera na saúde humana e no meio ambiente.

2.2 RESÍDUOS GERADOS NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

A indústria alimentícia, além de ser responsável pela produção de um elevado volume de alimentos, gera também uma grande quantidade de resíduos. Conforme a Lei 12.305 (Brasil, 2010, p. 3), que dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos, “podem ser considerados resíduos sólidos todos os materiais, substâncias, objetos ou bens descartados, resultantes de atividades humanas em sociedade [...]”. Os resíduos gerados variam conforme as etapas dos processos produtivos adotadas.

As elevadas quantidades de resíduos da indústria alimentícia geram um grande impacto na sociedade, devido ao custo associado ao manejo, descarte e tratamento, destacando-se também os possíveis riscos associados ao meio ambiente (YU E BROOKS, 2016). De acordo com Ferreira *et al.* (2018), o maior problema relacionado à geração de resíduos no mundo é a repercussão que esse resíduo pode gerar na saúde humana e na qualidade do meio ambiente (solo, ar, água e nas paisagens).

Dessa forma, visto que os resíduos são parte do processo produtivo, há duas formas de proceder: minimizar a quantidade desses resíduos, ou maximizar o seu retorno em subprodutos úteis e com valor agregado.

2.2.1 Resíduos gerados na indústria de processamento de proteína animal

Todas as atividades agropecuárias enfrentam frequentes desafios para a manutenção do equilíbrio entre o uso dos recursos naturais e a produção de alimentos acessíveis. Dessa forma é necessário o aprimoramento contínuo que permita sua produção mais limpa, eficiente e ao mesmo tempo competitiva (ABPA, 2021).

A indústria da carne gera uma grande quantidade de subprodutos, sendo a maioria deles gerados durante o processo de abate. Os resíduos de abate de animais são partes

que não são destinadas para o consumo humano, seja por hábitos alimentares e culturais da população, ou por serem impróprios para o consumo humano, conforme determinado pelos setores de fiscalização do Ministério da Agricultura (ABRA, 2021).

Os subprodutos da indústria de proteína animal compreendem ossos, pele, vísceras, fragmentos, músculos, gordura e sangue, variando a sua quantidade e característica conforme o tipo de animal processado. Conforme a Associação Brasileira de Reciclagem Animal (ABRA, 2017), de acordo com a literatura e dados obtidos junto aos associados e autoridades, cada animal gera um quantitativo de resíduos destinados a reciclagem animal em relação ao seu peso abatido. Os valores destinados estão contidos na Tabela 2.

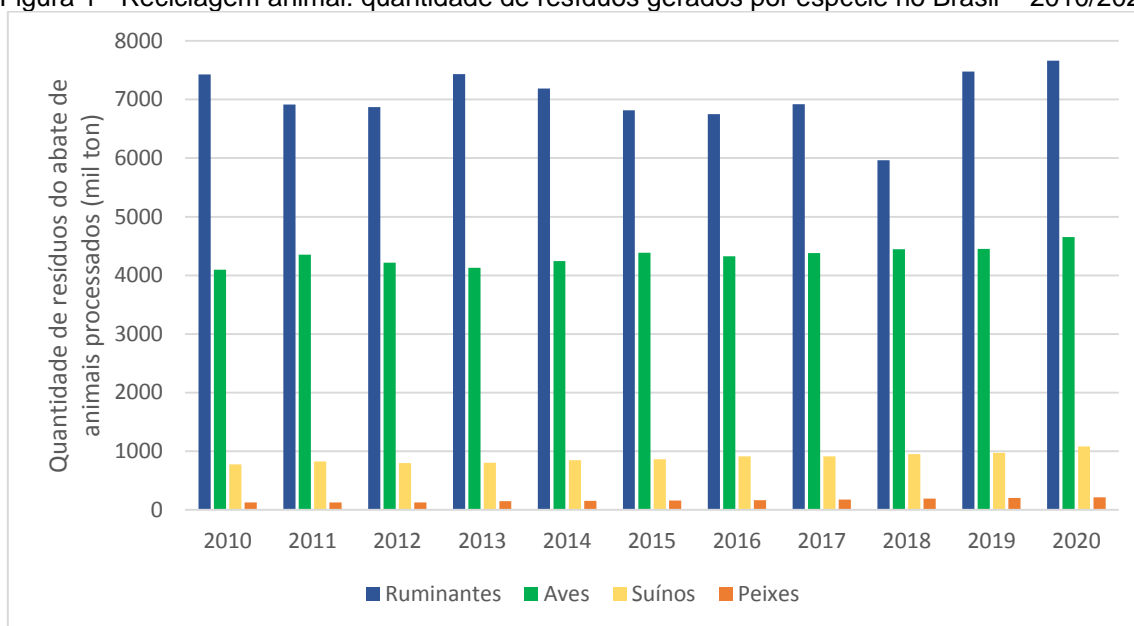
Tabela 2 - Percentual de destinação de resíduos para o setor de reciclagem animal

Espécie animal	Tipo de matéria-prima	Em relação ao peso vivo (%)
Bovinos e bubalinos	Vísceras	35%
	Sangue	3%
Suínos	Vísceras	17%
	Sangue	3%
Ovinos e caprinos	Vísceras	21%
	Sangue	4%
Frangos de corte	Vísceras	16%
	Penas	9%
	Sangue	3%
Perus	Vísceras	13%
	Penas	7%
	Sangue	3%
Demais aves	Vísceras	26%
	Penas	9%
	Sangue	3%
Pescado industrializado	Vísceras	45%

Fonte: Adaptação ABRA a partir de (COWI, 1999), (IPPC, 2005), (Pacheco, 2006), (Midwest Research Institute, 1995), (UNEP, 2002), (Verheijen, 1996), (Souza, 2011), (Kiepper, 2009), (Stringhini, 2003), (Bochno, 2006), (Sellers, 2002), (Nunes, 1994), (Pilar, 2005), (Silveira, 1988), (Rodrigues, 2003), (Okanović, 2009), (Blakely, 2005), (ABPA, 2015), (ABIEC, 2015) e Coleta de dados em empresas associadas à ABRA.

De acordo com a ABRA (2021), no ano de 2020 foram geradas mais de 13 milhões de toneladas de resíduos provenientes do processamento de ruminantes (compreende bovinos, caprinos e ovinos), aves, suínos e peixes. Conforme informações desta Associação, deste montante, estima-se que da quantidade total abatida de ruminantes, aves, suínos e peixes, o percentual destinado para o setor de reciclagem animal em relação ao peso abatido de cada espécie foi de 38, 28, 20 e 45%, respectivamente. Na Figura 1 é apresentada a quantidade de resíduos gerados por espécie no Brasil destinada para o setor de reciclagem animal no período de 2010 a 2020.

Figura 1 - Reciclagem animal: quantidade de resíduos gerados por espécie no Brasil – 2010/2020



Fonte: ABRA (2021)

Os resíduos sólidos gerados nos processos de abate e processamento de carnes, que compreendem os frigoríficos e abatedouros, e os estabelecimentos de varejo, que incluem açougues, supermercados e mercados municipais, devem ser tratados de acordo com a legislação aplicável e processados ou dispostos, conforme as suas características. No Brasil, no ano de 2020, 263 estabelecimentos estavam registrados junto ao Serviço de Inspeção Federal (SIF) como dependência anexa ao estabelecimento de abate ou como unidade de beneficiamento de produtos não comestíveis para realizar o processamento de resíduos de origem animal gerados no país.

Os resíduos gerados no setor de processamento de proteína animal geralmente são destinados para a indústria de reciclagem animal. Esse setor é indispensável para a sustentabilidade dessa indústria, tendo em vista a série de legislações e normativas relacionadas ao correto manejo e destinação adequada de resíduos (ABRA, 2021).

A indústria de reciclagem animal é uma atividade realizada mundialmente, que gera ganhos econômicos e benefícios ambientais, já que, destinando adequadamente os materiais gerados no setor de processamento de proteína animal, o impacto no meio ambiente é reduzido. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), a reciclagem animal é uma atividade de significativa importância para o desenvolvimento sustentável, classificada como uma atividade de interesse público e de relevância ambiental.

Esta indústria está em constante expansão, influenciada diretamente pela quantidade de proteína animal processada nas indústrias. O objetivo da reciclagem animal é a transformação de resíduos gerados na indústria de processamento de proteína animal em coprodutos úteis e de valor agregado.

De acordo com a ABRA (2021), diversos setores se beneficiam da indústria de reciclagem animal. Entre eles, estão os setores de alimentação animal, agricultura, indústria farmacêutica, indústria química e petroquímica e construção civil. A indústria de reciclagem animal, além de ser importante para a economia, no ano de 2020 gerou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 18,05 bilhões, e produz uma elevada quantidade de coprodutos para utilização no mercado interno e destinado também para exportação.

As matérias-primas do setor de reciclagem animal apresentam composições diferentes e podem apresentar grandes variações, conforme a espécie abatida. Dessa forma, cada material, dependendo das suas características, possui uma aplicabilidade diferente na produção de outros produtos gerados nesta indústria. Pode-se destacar a produção de farinhas e gorduras de origem animal e gelatinas e hemoderivados. No ano de 2020, o mercado consumidor de produtos obtidos a partir de resíduos de origem animal destinou 58,6% de sua produção para fabricação de componentes para alimentação animal, 13,1% para a produção de biodiesel, 13% para insumos para *pet foods*, 10,9% para fabricação de produtos de higiene e limpeza e 4,4% para outros destinos (ABRA, 2021).

2.2.1.1 Produção de gelatinas e hemoderivados

O setor de reciclagem animal, além da produção de farinhas e óleos de origem animal, compreende a produção de gelatinas e hemoderivados. Estes compostos são beneficiados do processo de reciclagem animal pela utilização de matéria-prima para a sua produção, porém os produtos são destinados para aplicação de setores industriais finais, tais como fármacos e cosméticos.

A complexidade industrial no processo de produção de gelatina e hemoderivados agrega valor, tornando estes produtos mais rentáveis para a indústria. Devido ao elevado valor agregado, os valores arrecadados pelo comércio internacional desses produtos são superiores aos gerados pelas farinhas e gorduras de origem animal juntos (ABRA, 2021).

De acordo com Jayathilakan *et al.* (2012), quando observado o subproduto sangue, o plasma é a parte de maior interesse, devido as suas propriedades funcionais e ausência de cor. A hemoglobina e o plasma em pó são utilizados como fontes proteicas e palatabilizantes em dietas de diversos animais.

Os subprodutos de pele e ossos geralmente contém uma grande quantidade de colágeno. Dessa forma, utilizando esses materiais, é possível produzir gelatina através de um processo de hidrólise controlada. De acordo com o relatório emitido pela Grand View Research (GVW) (GVW, 2020), no ano de 2019, a demanda global de gelatina foi de 625,5 milhões de toneladas, com estimativa de demanda de 915,9 milhões de toneladas para o ano de 2027.

2.3 GELATINA

Nesta etapa serão apresentadas informações pertinentes às características relacionadas a gelatina tais como a sua estrutura química e propriedades físico-químicas, detalhamento das etapas de extração de gelatina e aplicações diversas desse coproduto. Também, será dissertado sobre fontes alternativas, incluindo extração de gelatina a partir de resíduos de aves, para produção de gelatina e os desafios e perspectivas futuras como alternativa sustentável para substituição da gelatina de mamíferos.

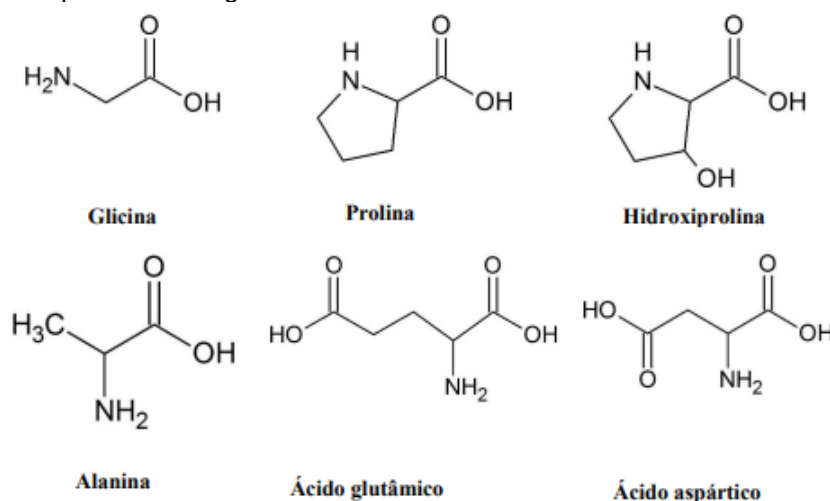
2.3.1 Colágeno

O colágeno é a proteína estrutural mais abundante em vertebrados e invertebrados e constitui aproximadamente 30% das proteínas totais dos mamíferos. A principal função do colágeno é estrutural e cada tipo de colágeno, varia em sequência, estrutura e função, sendo distribuído de formas diferentes nas peles, ossos, tendões, sistemas vasculares ou tecidos conjuntivos intramusculares, onde atuam para manter a estabilidade e a integridade estrutural dos tecidos e órgãos correspondentes. Estão classificados 27 tipos diferentes de colágeno, sendo mais abundantes os colágenos dos tipos I, II e III. O colágeno do tipo I é o mais abundante e pode ser encontrado nos ossos, ligamentos, peles e tendões. O colágeno do tipo II está presente em cartilagens e o tipo III em pele e músculos. Os demais tipos de colágenos estão presentes principalmente em órgãos específicos e em

quantidades muito baixas (LIU *et al.*, 2015, GOMÉZ-GUILLÉN *et al.*, 2011, SCHRIEBER e GAREIS, 2007).

A molécula de colágeno consiste em três cadeias α , possuindo aproximadamente 1000 aminoácidos e peso molecular aproximado de 100 kDa. As três cadeias α formadas por aminoácidos e estruturadas na forma de uma tripla hélice conferem a estrutura do colágeno. Os aminoácidos constituintes da estrutura do colágeno presentes em maior proporção são a glicina, a prolina, a hidroxiprolina e a alanina. A prolina, a hidroxiprolina e são aminoácidos mais frequentes no colágeno depois da glicina, sendo estes os responsáveis pela estrutura secundária do colágeno e pela estabilidade da tripla hélice. A presença de ácido glutâmico e aspártico na composição da cadeia do colágeno ocasiona a presença de grupos carboxilas livres. A partir do colágeno nativo pode ser obtida a gelatina através da desnaturação térmica de material colagenoso e da hidrólise parcial do colágeno (LIU *et al.*, 2015). Na Figura 2 são apresentadas as estruturas químicas de alguns dos aminoácidos formadores das cadeias de colágeno

Figura 2 - estruturas químicas de alguns dos aminoácidos formadores das cadeias de colágeno



Fonte: Scopel (2016)

2.3.2 Gelatina

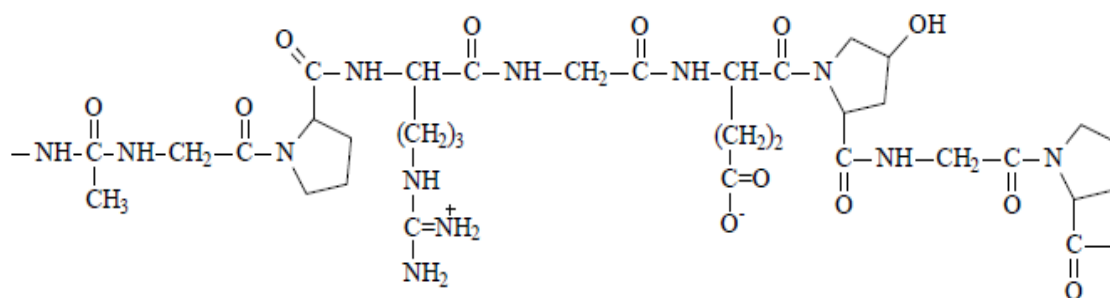
A composição de aminoácidos da gelatina pode variar dependendo da espécie do animal, pré-tratamento e processo de extração utilizado. De maneira geral, a gelatina apresenta composição de aminoácidos similar ao colágeno (BENJAKUL E KITTIPHATTANABAWON, 2019). A gelatina contém como aminoácidos majoritários

aproximadamente 33% de glicina, 12% de prolina, 11% de alanina e 10% de hidroxiprolina, contendo menores quantidades de histidina, metionina e tirosina (KARAYANNAKIDIS E ZOTOS, 2016). A prolina e a hidroxiprolina são responsáveis pela estrutura secundária do colágeno e pela estabilidade da tripla hélice.

A qualidade dos aminoácidos da gelatina determina as propriedades únicas e funcionais da gelatina. Este parâmetro garante algumas propriedades físico-químicas e faz com que as diferenças entre as gelatinas sejam principalmente devidas às diferentes composições de aminoácidos, bem como ao conteúdo de prolina e hidroxiprolina (ABEDINIA *et al.*, 2020).

A gelatina é composta por 25,2% de oxigênio, 6,8% de hidrogênio, 50,5% de carbono e 17% de nitrogênio (Smith, 1921). Na Figura 3 é apresentada um recorte da estrutura básica da gelatina.

Figura 3 – Representação da estrutura parcial básica da gelatina



Fonte: Mattos (2011)

A gelatina é composta por uma mistura de fragmentos polipeptídicos constituído de uma estrutura fundamental, baseado nas cadeias alfa, com um peso molecular estimado de 95.000 a 100.000 Daltons. As cadeias denominadas beta e gama, que também são combinações da unidade básica alfa em duas ou três cadeias respectivamente, também são constituintes da gelatina. A proporção relativa de todas as suas frações e peptídeos, ou constituintes de baixo peso molecular, influenciam diretamente na sua funcionalidade (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2013).

De acordo com Schrieber e Gareis (2007) *apud* Gómez-Guillén (2011), as mais importantes propriedades da gelatina e do colágeno podem ser divididas em dois grupos, sendo o primeiro relacionado a propriedades associadas com o comportamento de gelificação, formação de gel, texturização, capacidade de ligação com a água e capacidade

de “inchamento” e a segunda relacionada ao seu comportamento superficial, que inclui a capacidade de emulsificação, formação de espumas e estabilização, adesão e coesão, funções protetivas de colóides e capacidade de formação de gel.

A capacidade de formação de gel, viscosidade e textura são propriedades relacionadas à estrutura, ao peso molecular e à temperatura do sistema. As propriedades superficiais da gelatina são baseadas na presença de grupos nas cadeias laterais de proteínas, e, em certas partes, da sequência de colágeno contendo grupos de aminoácidos hidrofílicos.

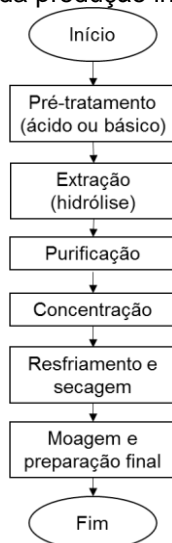
2.3.3 Extração da gelatina

A gelatina é o produto obtido por meio de hidrólise térmica, química ou enzimática, ou a combinação desses processos, da proteína colagênica presente nas cartilagens, tendões, peles, aparas ou nos ossos das diferentes espécies animais. A produção consiste em diversas etapas, que consistem em pré-tratamento, extração com água quente em altas temperaturas, purificação, concentração, secagem, moagem, peneiramento e mistura (GELITA, 2022). De acordo com Benjakul e Kittiphattanabawon (2019), dependendo do tipo de material utilizado para a extração e o tipo de aplicação da gelatina, outras etapas, como desodorização e esterilização, podem ser aplicadas.

De acordo com Abedinia *et al.* (2020), as matérias-primas oriundas de peixes e aves não são comumente utilizadas no processo de extração de gelatina. Dessa forma, os parâmetros do processo de extração devem ser ajustados com precisão para obtenção de gelatinas com as propriedades máximas desejadas que podem variar conforme a aplicação a ser empregada para a gelatina.

O processo de produção industrial de gelatina é composto de diversas etapas, sendo estas apresentadas na Figura 4.

Figura 4 - Etapas da produção industrial de gelatina



Fonte: adaptado de GELITA pela autora (2023)

O pré-tratamento químico, que pode ser conduzido em meio ácido ou básico, irá promover a quebra das ligações não covalentes e desorganizar a estrutura da proteína, produzindo a adequada solubilização do colágeno (Stainsby, 1987). Dois tipos de gelatina podem ser obtidos, dependendo do procedimento de pré-tratamento, e são conhecidas comercialmente como tipos A e B. A gelatina do tipo A é obtida por pré-tratamento ácido e a do tipo B por pré-tratamento básico.

Para a extração de gelatina a partir de resíduos de aves, geralmente são utilizados pré-tratamentos ácidos. A utilização deste pré-tratamento apresenta uma maior qualidade nesta gelatina, comparada a outros tipos de pré-tratamento (Abedinia *et al.*, 2020).

Subsequente ao pré-tratamento, é realizada a extração da gelatina. A hidrólise pode ser definida como a quebra de cadeias polipeptídicas em pequenos fragmentos peptídicos ou em aminoácidos, podendo ser alcançada pelo aquecimento da proteína em soluções ácidas ou básicas. A partir das reações de hidrólise, os monômeros constituintes de um polímero podem separar-se uns dos outros, através da reação de alteração, envolvendo fluido aquoso de hidrogênio (H^+) ou de hidroxila (OH^-), substituindo os íons que são liberados para a solução (AMARAL, 2008).

A substância quebra-se em dois ou mais fragmentos, e então as novas moléculas complementam suas ligações químicas com grupamentos de íons hidroxila e hidrogênio. Estes são provenientes e resultantes da quebra de ligação química que ocorre em diversas moléculas de água. Para que ocorra uma reação rápida e completa, é necessária a

utilização de agentes aceleradores, sendo os mais importantes os álcalis, ácidos ou enzimas hidrolisantes (AMARAL, 2008).

O grau de conversão de colágeno em gelatina está relacionado com a severidade do pré-tratamento e do processo de extração de água quente em função do pH, temperatura e tempo de extração (JOHNSTON-BANKS 1990 APUD GOMÉZ-GUILLÉN *et al.* 2011). A solubilização da gelatina é facilmente realizada em temperaturas na faixa de 50 a 60 °C, não havendo alterações em suas características. Se a gelatina for submetida a temperaturas superiores a 80 °C por um período prolongado, haverá desnaturação da proteína e perda do poder de gelificação e redução da viscosidade.

Após a hidrólise da gelatina é realizado o processo de filtração, onde a solução passa por filtros para remoção de resíduos de gordura e partículas insolúveis. Para a remoção de sais da gelatina é empregado o processo de ionização. Para a gelatina comercial, após o processo de purificação, são empregadas as etapas de concentração, secagem, moagem, peneiramento e mistura.

2.3.4 Fontes de gelatina

A pele suína foi o primeiro material utilizado para produção de gelatina e continua sendo o material mais importante para produção de gelatina em larga escala (GÓMEZ-GUILLÉN *et al.*, 2011). Os principais materiais utilizados para a produção de gelatina são a pele de porco, pele bovina e ossos suínos e bovinos, que são matérias-primas ricas em colágeno. No ano de 2019, a matéria-prima mais utilizada para extração de gelatina foi a pele de porco, representando 39% do total de gelatina extraída (GVW, 2020).

Para a produção de gelatina a partir de subprodutos suínos e bovinos, as matérias-primas utilizadas são preparadas por diferentes processos de pré-tratamento, podendo ser ácidos ou alcalinos para a extração do colágeno. O processo de extração pode levar várias semanas e as diferenças em tais processos têm grandes efeitos nas propriedades da gelatina final obtida (MEKY *et al.*, 2019).

Para subprodutos de origem suína, o pré-tratamento utilizado geralmente é ácido, onde o material é submetido a uma lavagem com ácido por um período de 24 horas e após é submetido ao processo de extração de gelatina. Para subprodutos de pele bovina ou osseína, a matéria-prima é submetida a um pré-tratamento alcalino que pode demorar

semanas. Este pré-tratamento é necessário para romper a estrutura colagênica do material, fazendo com que o colágeno contido no subproduto possa ser extraído com água quente. Após a etapa de pré-tratamento, é adicionada água quente nas matérias-primas pré-tratadas e a gelatina é extraída em diversas etapas. As primeiras gelatinas são obtidas em temperaturas mais baixas, possuindo um maior poder de gelificação e cores mais claras. Após a retirada dos primeiros caldos, são adicionados volumes de água com temperaturas mais elevadas e a extração segue até que toda a gelatina seja retirada da matéria-prima pré-tratada. As propriedades da gelatina são reguladas de acordo com a especificação, por meio de ajustes de temperatura e pH. Após a etapa de extração são empregadas as etapas de purificação, concentração, secagem, moagem, peneiramento e mistura (GELITA, 2022).

A extração de gelatina de fontes alternativas se faz necessária devido a questões sanitárias, religiosas e sociais. A ocorrência de zoonoses, tais como a Encefalopatia Espongiforme Bovina (EEB) e a febre aftosa, podem limitar a produção de gelatina a partir de matéria-prima oriunda de mamíferos. Quanto ao consumo de produtos provenientes de alguns mamíferos, religiões como o judaísmo e o islamismo, proíbem o seu consumo sendo necessária a busca de fontes alternativas para a produção de gelatina (SARBON, BADI E HOWELL, 2012; BADI E HOWELL, 2006).

Além desses fatores, estudos indicam um aumento de 30% na demanda global de produtos alimentícios, contendo ou não gelatina. Dessa forma, a fim de suprir essa demanda, é necessária a busca por novas fontes alternativas de gelatina, visto a sua larga aplicabilidade em alimentos (Abedinia *et al.*, 2020).

De acordo com Gómez-Guillén *et al.* (2011), a produção de gelatina a partir de espécies que não sejam mamíferas cresceu em importância como um caminho para valorizar os subprodutos de peixes e aves nos processos industriais. Abedinia *et al.* (2020) afirmam que gelatina produzida a partir de resíduos de aves e subprodutos de peixes estão ganhando importância na indústria alimentícia, e que gelatinas obtidas a partir de resíduos de aves possuem um bom potencial para substituição de gelatinas obtidas através de matérias-primas de mamíferos. Além da gelatina de peixe e de aves, alternativas de extração de outros mamíferos (Hassan (2020); Ahmed *et al.* (2020); Zhang *et al.* (2019)) e até mesmo anfíbios (Karnjanapratum e Benjakul (2020); Tumerkan *et al.* (2019); Jin *et al.* (2019)) estão sendo analisadas.

2.3.4.1 Mamíferos

Alguns estudos estão sendo realizados referentes a extração de gelatina a partir de resíduos alternativos de mamíferos, entre eles encontra-se a extração de gelatina a partir de resíduos de pele de camelo e peles de coelho. Esta gelatina pode ser uma alternativa de consumo relacionada a questões religiosas que não permitem o consumo de carne suína e bovina (AHMED *et al.* 2020). Hassan (2020) e Ahmed *et al.* 2020 realizaram a extração de gelatina a partir de pele de camelo concluindo, em ambos os estudos, que essa gelatina pode ser utilizada como substituta à gelatina oriunda de fontes tradicionais. Zhang *et al.* (2019) realizaram a extração de gelatina a partir de resíduos de pele de coelho. Através de seus estudos verificaram que é possível fazer a aplicação da gelatina de pele de coelho na produção de biofilmes.

2.3.4.1.1 Resíduos de couro curtido ao cromo

A conversão da pele animal em couro é realizada por processos de curtimento utilizando agentes curtentes diversos, sendo, os mais comuns, sais a base de cromo (III). O couro, diferentemente da pele, é um material imputrescível, e mais resistente a agentes como umidade, calor e microrganismos. Nas etapas de processamento do couro são gerados diversos resíduos, entre eles as aparas de couro. Scopel (2020) realizou a extração de gelatina a partir da hidrólise alcalina de resíduos de couro curtido ao cromo utilizando um processo de explosão a vapor com diferentes temperaturas e tempos de residência. Através dos seus estudos, a autora concluiu que o processo de extração utilizado pode ser considerado inovador e provou-se viável a aplicação da gelatina na produção de filmes poliméricos empregados na agricultura.

Rigueto *et al.* (2021) utilizou gelatina obtida a partir de resíduos de couro para a produção de compósitos adsorventes para remoção de diclofenaco de sódio em águas residuais. Através de suas análises, verificaram que o compósito a base de gelatina recuperada de resíduos de couro apresenta capacidade de adsorção similar a adsorventes elaborados com gelatina comercial.

Matos, Scopel e Dettmer (2018) utilizaram gelatina a partir de resíduos de couro combinado a alginato de sódio para preparação de microcápsulas de óleo essencial de

citronela. O efeito de concentração de gelatina e de óleo essencial de citronela na eficiência do encapsulamento foi investigada comparando com gelatina comercial. Através de suas análises os autores verificaram que o microencapsulamento com gelatina recuperada de resíduos de couro contendo cromo mostrou-se um método eficaz que permitirá a liberação controlada de óleo essencial de citronela.

2.3.4.2 Anfíbios

Em alguns lugares, como o sudeste da Ásia, o consumo de carne de anfíbios é popular. Karnjanapratum e Benjakul (2020) afirmam que a pele de sapo pode ser considerada uma fonte alternativa para extração de gelatina em locais onde há uma grande produção deste tipo de proteína, visto que o seu custo é baixo e pelas dificuldades de destinação deles. Tumerkan *et al.* (2019) e Karnjanapratum e Benjakul (2020) realizaram a extração de gelatina a partir de resíduos de pele de sapo. Em ambos os estudos foi verificada a viabilidade da extração de gelatina, podendo esta ser aplicada para usos alternativos. Jin *et al.* (2019) realizaram a extração de gelatina a partir de resíduos de pele de salamandra. Os autores concluíram que a gelatina obtida possui boas propriedades interfaciais, podendo ser aplicada como ingrediente emulsificante em alimentos.

2.3.4.3 Peixes

Blanco *et al.* (2007) afirmam que o peixe é uma excelente fonte de proteína, devido a sua composição ser constituída de proteína de elevado valor nutricional com elevadas quantidades de aminoácidos essenciais. Com o rápido desenvolvimento da indústria de processamento de pescado, grandes quantidades de subprodutos são produzidas. Estima-se que no processamento de pescados, a quantidade de resíduos após a etapa de filetagem pode ser de até 75% do peso total do animal. Desse montante uma grande parte consiste em pele e ossos com uma elevada quantidade de proteína (GÓMEZ-GUILLÉN *et al.*, 2002).

A fim de evitar problemas ambientais, produzir produtos com valor agregado, e, conseqüentemente, gerar receitas e diminuir perdas para a indústria de processamento de pescado, deve ser realizada a utilização desses novos subprodutos, sendo a produção da

gelatina uma das alternativas. São utilizados como resíduos para obtenção de gelatina a partir de pescados as escamas, peles, ossos e bexigas natatórias (LIU *et al.*, 2015).

Lin *et al.* (2017) realizaram uma pesquisa com uma visão global quanto às propriedades de gelatinas obtidas de animais aquáticos e concluíram que a principal limitação para o uso destas gelatinas é a verificação de propriedades reológicas inferiores quando comparadas às gelatinas de mamíferos. No entanto, é possível melhorar as propriedades de gelatinas de animais aquáticos utilizando agentes de reticulação físicos, enzimáticos e naturais. Dessa forma, gelatinas derivadas de animais aquáticos serão mais amplamente utilizadas em aplicações diversas, utilizando métodos de modificação. Para atender a maioria das necessidades dos consumidores e complementar a crescente demanda global por gelatina, devem ser realizadas mais pesquisas e estudos explorando a capacidade de substituir a gelatina de peixe como alternativa à de mamíferos.

Nitsuwat *et al.* (2021) realizaram uma análise da utilização de gelatina de pescado como fonte alternativa à gelatina de mamíferos. Para os seus estudos, os autores compilaram dados relativos à extração de gelatina de pescados, incluindo o método de pré-tratamento e condições de extração, tais como temperatura e tempo. Os autores concluíram que estudos futuros devem ser realizados para avaliar a diferença entre a gelatina obtida a partir de resíduos de peixes e de resíduos de mamíferos, pois, dependendo da espécie utilizada, as características das gelatinas obtidas podem variar. A aplicação de gelatina de peixes na indústria alimentícia ainda é limitada devido ao desempenho inferior na capacidade de gelificação.

Dentre as limitações da aplicação da gelatina de pescados, Haug, Draget e Smidsrød (2004) afirmam que estudos têm mostrado o colágeno de peixes como um alérgeno potencial, que poderia possivelmente tornar-se um problema na aplicação da gelatina obtida de resíduos de pescado. Tumerkan *et al.* (2019) afirmam que o aroma de peixe presente nas gelatinas extraídas de pescado pode limitar a aplicação dela, sendo necessária uma etapa adicional de desodorização para o seu uso.

2.3.4.4 Aves

Materiais utilizados para produção de gelatina a partir de resíduos de aves ainda são novos no mercado, dessa forma, a produção de gelatina a partir destes resíduos precisam

ser ajustados a fim de se obter um produto com as qualidades máximas requeridas (Abedinia *et al.*, 2020). A composição dos resíduos utilizados nos processos de extração de gelatina é importante para a determinação de qual pré-tratamento será empregado. Na Tabela 3 é apresentada a caracterização de resíduos de aves conforme diversos autores.

Tabela 3 - Caracterização de resíduos de aves conforme diversos autores

Autor	Material	Proteína (%)	Gordura (%)	Umidade (%)	Cinzas (%)
Almeida (2016)	Pés de frango	22,31	11,75	65,32	0,62
Abedinia <i>et al.</i> (2017)	Pés de pato	20,28	10,42	59,58	9,54
Du <i>et al.</i> (2014)	Carne mecanicamente separada de peru	16,08	21,38	59,29	3,69
Rammaya, Qi Ying e Babji (2014)	Carne mecanicamente separada de frango	17,77	9,06	62,26	10,10
Rafieian, Keramat e Kadivar (2013)	Carne mecanicamente separada de frango	20,98	6,87	55,87	14,32
Bichukale <i>et al.</i> (2018)	Pele de frango	12,94	12,00	70,01	4,50
Bichukale <i>et al.</i> (2018)	Ossos de frango	10,30	5,70	58,60	6,65
Du <i>et al.</i> (2013)	Cabeças de frango	10,58	5,66	78,32	4,64
Du <i>et al.</i> (2013)	Cabeças de peru	8,67	9,37	82,91	5,28

Fonte: a autora (2023)

As peles de aves contêm uma grande quantidade de gordura e baixa concentração de colágeno, dessa forma, é preferível a utilização de outros órgãos, tais como os pés, para a extração de gelatina. Para resíduos de ossos de aves, o osso não é desmineralizado antes do condicionamento, então durante a extração de gelatina a concentração de sais é alta e uma etapa de precipitação é necessária após a extração (ABEDINIA *et al.*, 2020).

Os subprodutos de aves têm um bom potencial para substituir fontes de mamíferos para extração de gelatina. Gelatina de pele de frango pode ser uma alternativa para substituir gelatina de mamíferos, visto que apresenta características físico-químicas similares à gelatina de bovinos e características melhores que as reportadas para gelatinas de pescado (SARBON, BADI E HOWELL, 2019). Outra fonte alternativa para a produção

de gelatina são os pés de aves, visto que são gerados em grandes volumes e não são aproveitados pelas indústrias (UDDIN *et al.*, 2021).

De acordo com Abedinia *et al.* (2020), geralmente em processos de abates de aves, os animais são abatidos jovens, ou seja, com ciclo de produção mais enxuto, dessa forma para a extração de gelatina a partir de resíduos de aves, pode ser utilizado o pré-tratamento ácido. O tratamento ácido faz com que o inchaço do colágeno aumente a eficiência da extração da gelatina ao longo da hidrólise térmica (DAMRONGSAKKUL *et al.*, 2008). Os atributos relacionados ao inchaço e maior solubilização do colágeno são intensamente afetados pelo tipo e concentração do ácido usado de acordo com a durabilidade de algumas interrelações entre as cadeias de colágeno que causam a variação na distribuição do peso molecular na gelatina resultante (ABEDINIA *et al.*, 2020).

Os ácidos fosfóricos e orgânicos são frequentemente utilizados para a etapa de pré-tratamento, porém estes são cada vez mais caros e influenciam negativamente no cheiro e no sabor do produto final (ABEDINIA *et al.*, 2020). Quanto ao rendimento das extrações, Abedinia *et al.* (2017) apud Widyasari e Rawdkven (2014) e Comfort e Howell (2002) afirmam que a espécie, a idade do animal, composição do material, teor de colágeno e método de extração causam diferenças entre as porcentagens de rendimento obtidas de gelatina. Também, Jamilah e Harvinder (2002) afirmam que o baixo rendimento de extração de gelatina pode ser afetado pela hidrólise incompleta do colágeno. Na Tabela 4 são apresentados os diferentes métodos utilizados para extração de gelatina a partir de resíduos de aves.

Tabela 4 - Diferentes métodos utilizados para extração de gelatina de resíduos de aves

Autor	Material	Pré-tratamento	Procedimento de extração
Almeida (2016)	Pés de frango	Ácido acético 4% por um período de 16 h	Água destilada 1:2 (m/v), 55 °C, 6 h
Abedinia <i>et al.</i> (2017)	Pés de pato	Tratamento ácido: 0,05 M de ácido acético (1:6 m/v) por um período de 3 h; Tratamento básico: 0,1 M de hidróxido de sódio (1:6 m/v) por um período de 3 h; Tratamento enzimático: 0,2 M de ácido acético (1:10 m/v) e 15 unidades de pepsina/ g de pé. Misturado por 3h a 4 °C. Após o pH da mistura foi aumentado para 7,5 com 10 M de NaOH e misturada por 1 h a 4 °C para encerrar a atividade da pepsina.	Água destilada 1:2 (m/v), 65 °C, 12 h.
Du <i>et al.</i> (2014)	Carne mecanicamente separada de peru	Hidróxido de sódio 0,25 M a uma razão 1:10 (m/v) por 6 h com trocas regulares a cada 2 horas. Após centrifugado, o resíduo foi tratado com 2,5% de butanol a uma razão 1:10 (m/v) por 24 h com troca da solução a cada 3 h. Ácido acético 0,05 M 1:10 (m/v) por 4 h sob agitação.	1ª extração: Água destilada 1:10 (m/v) a 50 °C por 18 h. 2ª extração: resíduos remanescentes da primeira etapa com água na proporção 1:10 (m/v) a 60 °C por 6 h.
Rammaya, Qi Ying e Babji (2014)	Carne mecanicamente separada de frango	Solução de ácido clorídrico 3% por 24 h a 10 °C. Material foi lavado e submetido a um pré-tratamento com hidróxido de sódio 4% na proporção 1:5 (m/v) por 72 h a temperatura ambiente.	A extração ocorreu em pH 4 por um período de 120 minutos a temperatura ambiente. O pH foi mantido com solução de ácido fosfórico na proporção 2,5:1 (solução/massa de resíduo)
Rafieian, Keramat e Kadivar (2013)	Carne mecanicamente separada de frango	500 g de amostra foram pré-tratadas com 2 L de solução de cloreto de sódio 1% (p/v). O pH da solução foi ajustado para manter-se na faixa de 10,5 a 10,7 com solução de 1 N de hidróxido de sódio. A mistura foi misturada por 30 minutos até atingir. Após o resíduo foi lavado e embebido em diferentes concentrações de ácido clorídrico, na proporção 1:2 (m/v) por 24 h a temperatura ambiente.	A extração ocorreu em água na proporção 1:3 (m/v) em diferentes temperaturas (60, 70 e 80 °C) e diferentes períodos de tempo (4, 7 e 10 h).

Bichukale <i>et al.</i> (2018)	Pele de frango	<p>100g de pele foi misturado com 300mL de hidróxido de sódio (0,15% p/v). Por 40 min a temperatura ambiente.</p> <p>Procedimento foi repetido por 3x com troca da solução. A solução foi lavada e tratada com 300mL de ácido sulfúrico 0,15% (v/v).</p> <p>Procedimento repetido 3x com troca de solução. A solução foi lavada e misturada com 300mL de ácido cítrico 0,7 (p/v) por 3x com troca de solução.</p>	<p>A extração ocorreu em água destilada na proporção 1:3 (m/v) em temperatura controlada de 40, 45, 50, 55 e 60 °C por um período de uma noite.</p>
Choe e Kim (2018)	Pés de frango	<p>Solução de ácido clorídrico 0,1 N na proporção 1:10 (m/v) a 18 °C por 24 h. O resíduo foi neutralizado com água por um período de 48h.</p>	<p>As amostras foram acondicionadas em saco de polietileno e aquecidas em banho maria por um período de 2 h nas temperaturas de 65, 75 e 85 °C.</p>
Chakka <i>et al.</i> (2016)	Pés de frango	<p>Hidróxido de sódio 0,5 M por 20 h, limpeza com água.</p> <p>1, 2 e 3° solução 1,5, 3 e 4,5% (v/v) de ácido acético por 18 h na proporção 1:1 (m/v)</p> <p>4, 5 e 6° solução 1,5, 3 e 4,5% (v/v) de ácido cítrico por 18 h na proporção 1:1 (m/v)</p> <p>7, 8 e 9° solução 1,5, 3 e 4,5% (v/v) de ácido láctico por 18 h na proporção 1:1 (m/v)</p>	<p>55 °C por 20 minutos na própria solução de ácido acético, cítrico e láctico conforme definidas as proporções no pré-tratamento</p>
Bichukale <i>et al.</i> (2018)	Ossos de frango	<p>Solução de ácido clorídrico 4% na proporção 1:6 (m/v) a temperatura ambiente por um período de 12 dias, com troca da solução a cada 3 dias. O material foi imerso em hidróxido de sódio 0,2 M (1:10 m/v) por 20 dias com troca de solução a cada 3 dias. A solução foi neutralizada com ácido clorídrico ou ácido sulfúrico até obtenção de pH 5 - 7.</p>	<p>A extração ocorreu em água destilada na proporção 1:3 (m/v) em temperatura controlada de 40, 45, 50, 55 e 60 °C por um período de uma noite.</p>
Fonkwe e Singh (1997)	Carne mecanicamente separada de peru	<p>O resíduo foi colocado em uma solução de cloreto de sódio 1% em pH 10,7 por 30 minutos e posteriormente pré-tratado com ácido sulfúrico 5% por um período de 24 horas</p>	<p>1ª extração: água destilada 1:3 (m/v) a 55 °C por 5 h;</p> <p>2ª extração: resíduo remanescente da primeira extração com água destilada 1:3 (m/v) a 70 °C;</p> <p>3ª extração: resíduo remanescente da segunda extração com água destilada 1:3 (m/v) a 85 °C.</p>

Du <i>et al.</i> (2013) Cabeças de frango	<p>A limpeza do material foi realizada com bicarbonato de sódio 15 mM na proporção 1:4 (m/v) por 1 h a 4 °C. A amostra foi tratada com hidróxido de sódio 0,1 M na proporção 1:10 (m/v) por 6 h a 4 °C, com troca de solução a cada 2 horas. A amostra foi lavada e acondicionada em solução de ácido acético 0,05 M na proporção 1:10 (m/v) por 18 h a 4 °C.</p>	<p>1ª extração: água destilada na proporção 1:10 (m/v) com ajuste de pH para 7 com solução de hidróxido de sódio, por um período de 18 h a 55 °C. 2ª extração: água destilada na proporção 1:10 (m/v) por um período de 6 h a 60 °C.</p>
Du <i>et al.</i> (2013) Cabeças de peru	<p>A limpeza do material foi realizada com bicarbonato de sódio 15 mM na proporção 1:4 (m/v) por 1 h a 4°C. A amostra foi tratada com hidróxido de sódio 0,1 M na proporção 1:10 (m/v) por 6 h a 4 °C, com troca de solução a cada 2 horas. A amostra foi lavada e acondicionada em solução de ácido acético 0,05 M na proporção 1:10 (m/v) por 18 h a 4 °C.</p>	<p>1ª extração: água destilada na proporção 1:10 (m/v) com ajuste de pH para 7 com solução de hidróxido de sódio, por um período de 18 h a 55 °C. 2ª extração: água destilada na proporção 1:10 (m/v) por um período de 6h a 60 °C.</p>

Fonte: a autora (2023)

Du *et al.* (2013) realizaram a extração de gelatina a partir de resíduos de cabeças de peru e de frango e avaliaram as propriedades físico-químicas e funcionais das gelatinas obtidas. Foi realizado um pré-tratamento com ácido acético e extrações sequenciais nas temperaturas de 50 e 60 °C. Os autores concluíram que as condições de extração e as características dos materiais afetaram significativamente a qualidade do produto final. Também, que as gelatinas obtidas de cabeças de peru possuíam melhores propriedades reológicas e funcionais do que a gelatina obtida de cabeças de frango. Dessa forma, concluíram que gelatina obtida a partir de cabeças de peru pode ser uma alternativa à gelatina obtida de matérias-primas oriundas de mamíferos.

Abedinia *et al.* (2017) realizaram a extração e a caracterização de gelatinas obtidas a partir de pé de pato da espécie *Anas platyrhynchos domestica* em pré-tratamento ácido alcalino e enzimático. O pré-tratamento ácido foi realizado com ácido acético 0,5 M. O pré-tratamento básico com hidróxido de sódio 0,1 M e o pré-tratamento enzimático foi conduzido com ácido acético e pepsina. Em todos os experimentos, o período de pré-tratamento foi de 3 horas. A hidrólise foi conduzida em temperatura de 65 °C por um período de 12 horas. Para as extrações, os autores obtiveram valores de rendimento de 4,09%, 3,65% e 5,25% para extração de gelatina de pés de pato em pré-tratamento ácido, básico e enzimático, respectivamente. Os autores concluíram que é possível obter gelatinas com diferentes

características a partir dos pré-tratamentos utilizados. Também, que o tipo de pré-tratamento pode afetar as características físico-químicas e reológicas das gelatinas e que o pé de pato pode ser utilizado como matéria-prima para produção de gelatinas, quando empregado um pré-tratamento ácido apropriado. Posteriormente, Abedinia *et al.* (2018) realizaram a preparação e a caracterização de um novo biocompósito com a utilização da gelatina obtida de pés de pato em meio ácido.

Almeida (2016) realizou a extração de gelatina a partir de resíduos de pés de frango em pré-tratamento ácido, utilizando solução de ácido acético a 4% por um período de 16 horas. A extração de gelatina foi conduzida a 55 °C por um período de 6 horas. A autora obteve rendimentos de extração de gelatina entre 5,97 e 7,83%. A autora utilizou a gelatina obtida como substituto de gordura para aplicação em spreads de chocolate, observando que a aplicação desta gelatina pode ser vantajosa, visto as propriedades físico-químicas e sensoriais que foram atribuídas ao produto.

Choe e Kim (2018) avaliaram os efeitos da temperatura em diferentes extrações de gelatina. Para isso, realizaram a extração de gelatina a partir de pés de frango em pré-tratamento ácido com 0,1 N de ácido clorídrico por um período de 24 horas. Depois do pré-tratamento, houve a neutralização do pH na solução com água destilada por um período de 24 horas. As extrações de gelatina foram conduzidas nas temperaturas de 65, 75, 85 e 95 °C. Os resultados indicaram que o rendimento da extração e o conteúdo de proteína aumentaram significativamente conforme aumentou a temperatura, enquanto os valores de viscosidade e ponto de fusão diminuíram.

Rammaya, QiYing e Babji (2012) realizaram a extração de gelatina a partir de carne mecanicamente separada de aves e avaliaram as propriedades físico-químicas da gelatina obtida. O material foi primeiramente desmineralizado com uma solução de ácido clorídrico a 3% por um período de 24 horas. Após, foi lavado e submetido a um pré-tratamento alcalino com hidróxido de sódio 4% por um período de 72 horas. A extração foi conduzida por 120 minutos, mantendo o pH da solução em 4 com adição de ácido fosfórico, em temperaturas de 60, 70 e 80 °C. Os autores observaram que os teores de proteína e rendimento de extração aumentam conforme aumenta a temperatura de extração, porém com redução na força de gel. Os valores de umidade, lipídios e cinzas apresentaram diferença entre as amostras.

Fonkwe e Singh (1997) realizaram a extração e a caracterização de gelatina a partir de resíduos de carne mecanicamente separada de peru. O resíduo foi inicialmente colocado em uma solução de cloreto de sódio 1% em pH 10,7 por 30 minutos e posteriormente pré-tratado com ácido sulfúrico 5% por um período de 24 horas. Foram realizadas extrações sequenciais a 55 °C por 5 horas, depois a 70 °C por 5 horas e a 85 °C por 5 horas. Os autores observaram que todos os extratos proteicos eram ricos em proteínas e nos aminoácidos prolina, glicina e alanina e peso molecular semelhante. As gelatinas obtidas a 55 e 70 °C obtiveram uma maior força de gel do que da gelatina produzida a 85 °C, porém todas apresentaram força de gel menor que a gelatina comercial de origem bovina.

Bichukale *et al.* (2018) realizaram a extração de gelatina a partir de resíduos de pele e ossos de frango. Através dos seus estudos concluíram que a pele e o osso de aves são uma fonte prospectiva para a produção de gelatina de bom rendimento e qualidade, com propriedades reológicas e funcionais desejáveis em hidrólise conduzida a 45 °C. Os autores afirmam que o uso da gelatina de frango pode ser considerado como uma fonte alternativa para as gelatinas de peixe e bovina.

Chakka *et al.* (2016) realizou a extração de gelatina de pés de frango utilizando diferentes ácidos de grau alimentício (ácido acético, cítrico e láctico) em diferentes concentrações. As gelatinas obtidas foram avaliadas quanto as suas propriedades físico-químicas. Os autores concluíram que independente dos ácidos utilizados nas extrações as gelatinas obtidas apresentaram capacidades emulsificantes e espumantes. Com os resultados obtidos, concluíram que as gelatinas obtidas podem ser alternativas eficazes na substituição de gelatinas obtidas a partir de matérias-primas de mamíferos.

A fim de otimizar processos, diversos estudos estão sendo realizados com métodos alternativos para produção de gelatina de resíduos de aves. Entre eles podem ser citados os métodos de ultrassom, extração sob pressão e extração com micro-ondas. Widyarari e Rawdkuen (2014) realizaram a extração de gelatina de resíduos de pés de frango pelo método de ultrassom e extração ácida a fim de verificar como afetariam as propriedades da gelatina. Eles verificaram que ambos os métodos não apresentaram diferenças significativas na composição da gelatina em comparação com as propriedades de gelatina bovina comercial. Porém, observaram que, em ambas as extrações, houve um baixo rendimento. Park *et al.* (2013) realizaram a extração de gelatina de pé de pato através de três métodos de hidrólise, sendo eles em banho maria, micro-ondas e sob pressão. Os

autores concluíram que a qualidade da gelatina foi afetada pelos métodos de extração utilizados, e o método de micro-ondas pode ser um método efetivo para a extração de gelatina a partir de resíduos de pés de pato.

Apesar das diversas pesquisas relacionadas à extração de gelatina a partir de resíduos de aves, alguns fatores limitantes estão relacionados a indústria de gelatina de resíduos de frango. Abedinia *et al.* (2020) avaliaram que a disponibilidade de resíduos de aves, o preço, a variação da qualidade da gelatina e alguns riscos relacionados à saúde humana devem ser considerados para a produção de gelatina de resíduos de aves. Os autores apontam que o volume de subprodutos de aves é menor que os gerados no processamento de carne bovina e suína. Quanto ao preço, avaliam que alguns tipos de aves possuem valor superior e dependendo do resíduo da espécie utilizada, o subproduto tende a ser mais oneroso, aumentando o custo do processamento. Também associam alguns riscos relacionados à transmissão de doenças, como a influenza H5N1. Quanto à variedade de gelatina, os autores apresentam que a qualidade da gelatina irá depender do método utilizado para a extração, sendo necessária a padronização dos processos para adequar a qualidade da gelatina almejada.

2.3.5 Aplicações da gelatina

As propriedades reológicas da gelatina definem as suas aplicações. Também as propriedades físico-químicas tais como composição, solubilidade, transparência, cor, sabor e odor são atributos que irão definir comercialmente as aplicações da gelatina, juntamente com a sua força de gel e a estabilidade térmica (GOMÉZ-GUILLÉN *et al.*, 2011).

A gelatina tem sido amplamente utilizada em diferentes indústrias devido às suas características funcionais, abundância e seu valor econômico. Conforme Huang *et al.* (2019), as crescentes aplicações de gelatina nos processos produtivos de alimentos e bebidas, farmacêuticos e nutracêuticos são fatores responsáveis pela crescente demanda de consumo deste biopolímero. Estima-se que no ano de 2019 o ramo de alimentos e bebidas foi o que mais consumiu gelatina (30,39%), seguido do uso em nutracêuticos (25,02%), farmacêuticos (19,95%), indústria fotográfica (13,96%), cuidados pessoais (6,45%) e outros usos (4,24%) (GMW, 2020).

A gelatina pode ser destinada para aplicações diversas, podendo ser para uso comestível, ou não comestível. A produção de gelatinas comestíveis é realizada seguindo normas regulamentadoras governamentais. De acordo com a Portaria 384 da Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que fixa os padrões de identidade e qualidade para gelatina, gelatina hidrolisada e colágeno comestíveis, os níveis de contaminantes presentes nas gelatinas devem atender às legislações específicas de órgãos de saúde competentes. A gelatina destinada para uso comestível deve ser livre de metais tóxicos e possuir propriedades organolépticas satisfatórias (JOHNSTON-BANKS, 1990). Já as gelatinas não comestíveis, possuem aplicações mais técnicas, tais como na produção de adesivos, abrasivos revestidos, processos de impressão, microencapsulamento, filmes de gelatinas, entre outros.

A gelatina é um hidrocoloide alimentar comumente utilizado na indústria alimentícia devido as suas propriedades funcionais. Em termos de aplicação da gelatina na indústria alimentícia, as propriedades mais importantes da gelatina são a força de gel, viscosidade e temperatura de gelificação e de fusão (Abedinia *et al.*, 2020). Este importante biopolímero funcional é amplamente utilizado em alimentos para melhorar a elasticidade, consistência e estabilidade (MARIOD E ADAM, 2013). Na indústria alimentícia, a gelatina pode ser aplicada como agente espessante, estabilizante, emulsificante, formador de gel e agente clarificante. De acordo com Benjakul e Kittiphattanabawon (2019), as aplicações da gelatina na indústria alimentícia são diversas e podem ser divididas em cinco grupos:

- a) Confeção de sobremesas a base de gelatina, tais como gomas *marshmallows* e sobremesas geladas;
- b) Produtos lácteos, tais como iogurtes, sorvetes e queijos;
- c) Produtos à base de carne, tais como salsichas e carnes enlatadas;
- d) Bebidas, tais como cerveja, vinho e suco;
- e) E outras aplicações, tais como espessante de sopas e molhos e formadores de filmes para frutas e carnes.

Na produção de sobremesas, a gelatina atua como agente gelificante, sendo empregadas as gelatinas de elevado Bloom (força de gel) que gelificam mais rápido e possuem maior resistência à fusão. Nos produtos lácteos são aplicadas como estabilizantes, como no caso do iogurte, por exemplo, e em sorvetes é associada a outros estabilizantes para aumentar a resistência térmica. Em produtos à base de carne, são

aplicados como agentes ligantes de água e como melhorador de textura, fornecendo também elasticidade. Na produção de bebidas, é utilizada como agente clarificante para precipitação de taninos e impurezas (Karim e Bhat, 2008; Abedinia *et al.*, 2020). A Tabela 5 mostra os usos da gelatina em diferentes categorias de alimentos com seus níveis de concentração geralmente utilizados para cada aplicação e força de Bloom.

Tabela 5 - Funcionalidade da gelatina na indústria alimentícia

Aplicação	Concentração e função	Força de Bloom (g)
Sobremesas de gelatinas e balas de goma	7 a 9% como formador de gel	175-275
Produtos de carne, salsichas, caldos e carnes enlatadas	1 a 5% como estabilizador de emulsão e agente ligante	175-275
Laticínios	0,2 a 1% como estabilizante de sinérese	150-250
Comidas congeladas	0,1 a 0,5% como agente de redução de perda de água	200-250
Indústria de bebidas	0,002 a 0,015% como agente clarificante	100-200

Fonte: Abedinia *et al.* (2020)

As gelatinas de Bloom mais elevadas são recomendadas para muitas aplicações, pois suas vantagens incluem ponto de fusão e gelificação mais altos, tempo de gelificação mais curto, menor quantidade necessária para a formulação e sabor e odor mais neutros (GELITA, 2022).

A utilização de gelatina na indústria farmacêutica se dá na fabricação de cápsulas de medicamentos e como agentes ligantes em comprimidos. Alguns tipos de gelatina especiais podem ser aplicados em expansores plasmáticos, vacinas e esponjas cirúrgicas. O uso da gelatina para estas aplicações ocorre devido a sua capacidade de formação de películas protetoras, suas propriedades de gelificação termo-reversíveis e características adesivas únicas, sendo a gelatina um ingrediente essencial e versátil para utilização neste segmento de mercado (GELITA, 2022).

O colágeno pode ser utilizado como um ingrediente funcional na produção de produtos de beleza e cuidados pessoais, sendo incorporados em cremes faciais, loções corporais, preparação de xampus e condicionadores e tintas de cabelo.

Um filme comestível pode ser definido como uma camada fina de material e que pode ser consumido, fornecendo uma barreira para a transferência de massa para dentro do alimento ou entre o alimento e o meio ambiente (BERTUZZI E SLAVUSTSKY, 2017).

Proteínas, mais especificamente gelatina, são comumente usadas como principais ingredientes no desenvolvimento de filmes comestíveis, devido às suas propriedades formadoras de filme serem superiores a outras fontes não proteicas. A gelatina forma uma rede tridimensional com zonas de junções microcristalinas intermoleculares e a desidratação do sistema pode produzir filmes quebradiços. Assim, para produzir um filme comestível e/ou biodegradável a base de gelatina, é necessário combinar um agente plastificante para aumentar a sua flexibilidade (ALIAS E SARBON, 2019 e ABEDINIA *et al.*, 2018).

2.3.5.1 Aplicações da gelatina de aves

Na Tabela 6 são apresentadas algumas aplicações encontradas na literatura de gelatinas obtidas a partir de resíduos de aves.

Tabela 6 - Aplicações de gelatinas obtidas a partir de resíduos de aves, conforme diversos autores

Autor	Material	Aplicação
Soo e Sarbon (2018)	Gelatina de pele de galinha	Filme comestível de gelatina incorporado com farinha de arroz
Loo e Sarbon (2020)	Gelatina de pele de galinha	Filme de gelatina incorporado com farinha de tapioca
Abedinia <i>et al.</i> (2018)	Gelatina de pé de pato	Biocompósito de gelatina a base de glicerol
Araújo <i>et al.</i> (2019)	Gelatina de pé de frango	Substituição de gordura em salsichas de frango
Rather <i>et al.</i> (2022)	Gelatina de pé de frango	Filme de gelatina incorporado a farinha de caule de lotus
Almeida (2016)	Gelatina de pés de frango	Substituição de gordura em pastas de chocolate

Fonte: a autora (2023)

Abedinia *et al.* (2020), através dos seus estudos, concluíram que gelatinas obtidas a partir de resíduos de aves e extraídas em meio ácido possuem propriedades reológicas favoráveis, podem atuar como substitutos de gorduras alimentares, e apresentam propriedades formadoras de filmes, formação de espumas, emulsificantes, e possuem boas propriedades sensoriais e boa qualidade nutricional.

Chakka *et al.* (2017) sugerem que gelatinas obtidas de pés de frango tem potencial para aplicação em sobremesas alimentícias devido a sua capacidade de formação de espumas, podendo ser usada também na indústria de panificação como estabilizante. Almeida (2016) aplicou a gelatina extraída de pés de frango como substituto de gordura em misturas cremosas de chocolate, denominadas *spreads* de chocolate. Gal *et al.* (2020) afirma que a gelatina obtida de resíduos de cabeças de frango podem ser uma alternativa potencial para diversas aplicações na indústria alimentícia, farmacêutica e de cosméticos.

Abedinia *et al.* (2018) utilizaram gelatina de pé de pato para formação de filmes comestíveis. De acordo com os autores, as propriedades de filmes produzidos com gelatina oriunda de pé de pato, quando avaliada quanto à formação de barreiras de vapor de água e oxigênio, são adequadas para uso como uma fonte alternativa para filmes produzidos de gelatina bovina. Alias e Sarbon (2019) utilizaram gelatina de pele de frango para formação de filmes comestíveis. Os autores concluíram que o filme de gelatina de pele de frango com incorporação de 6% de concentração de amido de batata foi o filme composto mais promissor, uma vez que exibiu um desempenho ideal em termos de propriedades físicas.

Araújo *et al.* (2019) estudaram a substituição de gordura em salsichas de frango cozidas por colágeno hidrolisado comercial em pó e gelatina de pés de frango, a fim de avaliar as qualidades subjacentes aos parâmetros físico-químicos e sensoriais. Os autores concluíram que a utilização de 50% de gelatina foi viável, devido ter um aumento de estabilidade da emulsão e a retenção de água, além de utilizar subproduto para o preparo de linguiças mais saudáveis, principalmente no que diz respeito à redução de gordura.

Rather *et al.* (2022) desenvolveu um material de revestimento comestível à base de gelatina de resíduos de aves (pés de frango) e amido de caule de lótus para prolongar a vida de prateleira de tomate cereja. O estudo revelou que este material de revestimento pode ter grande potencial na extensão da vida útil de frutas e vegetais frescos.

2.4 PERSPECTIVAS DA EXTRAÇÃO E APLICAÇÃO DE GELATINA A PARTIR DE SUBPRODUTOS DE AVES

O Brasil é um dos maiores produtores de proteína animal no mundo. Associações, tais como a ABPA e a ABRA atuam nacionalmente para organizar as atividades referentes a produção de proteína e a reciclagem dos resíduos gerados no setor, respectivamente. A

principal utilização dos resíduos animais destinados para reciclagem são a produção de farinhas e óleos de origem animal. A produção de gelatina e hemoderivados também é relevante, porém acaba sendo mais complexa, apesar destes produtos serem mais rentáveis para o setor.

Atualmente, as principais matérias-primas para produção de gelatina comercial são resíduos de suínos e bovinos. Porém, devido a questões religiosas e culturais e com o aumento da população mundial, estão sendo estudadas fontes alternativas de extração de gelatina, destacando-se a produção de gelatina a partir de resíduos de peixes e aves.

Nesse sentido, diversos estudos estão sendo realizados buscando otimizar os processos de extração de gelatina a partir de resíduos de aves e obter as melhores características do produto para determinadas aplicações. As pesquisas, na sua grande maioria, indicam que os subprodutos de aves, como peles e pés, têm um bom potencial para substituir fontes de mamíferos para extração de gelatina, para aplicações diversas (SOO E SARBON (2018); LOO E SARBON (2020); ABEDINIA *et al.* (2018); ARAUJO *et al.* (2019); RATHER *et al.* (2022); ALMEIDA (2016)). Outro fator relevante para a utilização destes resíduos é o elevado volume gerado destes no processamento de proteína animal, sendo necessário um correto processamento, para garantir a sustentabilidade desta cadeia produtiva (ABRA (2020); ABRA (2021)).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais utilizados na realização deste estudo, bem como os métodos de caracterização da composição centesimal dos resíduos de pés de peru *in natura*. Também serão descritos os procedimentos adotados para a determinação do tempo ótimo para obtenção de três gelatinas, a partir da extração sequenciada em três diferentes temperaturas de hidrólise dos resíduos de pés de peru, utilizando um pré-tratamento químico ácido. Além disso serão apresentados os testes de bancada realizados para a caracterização das três gelatinas obtidas e os procedimentos utilizados para a caracterização dos resíduos remanescentes da primeira, segunda e terceira hidrólises na condição consideradas melhores.

3.1 Material

Os resíduos de pés de peru foram obtidos de um frigorífico localizado na Serra Gaúcha, logo após o processo de abate. Os animais abatidos que geraram os resíduos de pés de peru possuíam uma média de 4,5 kg e são da espécie *Meleagris gallopavo*. Conforme informações da unidade produtiva fornecedora do material, os resíduos de pé de peru representam 3,5% do peso total do animal. Na Figura 5 são apresentados os resíduos de pé de peru utilizados para a execução do presente trabalho.

Figura 5 - Pés de peru in natura



Fonte: a autora (2023)

Os resíduos de pés de peru foram armazenados por um período de 24 horas mantidos sob refrigeração constante variando entre 4 e 7 °C. Para a extração de gelatina foi utilizado ácido acético glacial (Dinâmica). Os reagentes utilizados para a realização de análises de caracterização da gelatina são de grau analítico.

Gelatina comercial incolor em pó sem sabor (Dr. Oetker, Brasil) foi testada para fins de comparação com as gelatina extraídas a partir de resíduos de pés de peru.

3.1.1 Caracterização dos pés de peru *in natura*

Para a determinação do percentual de proteína bruta total dos resíduos de pés de peru *in natura*, foi utilizado o método de Kjeldahl de análise de nitrogênio orgânico (A.O.A.C., 1998), com um fator de conversão 6,25 para converter os valores de nitrogênio em proteína (Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal, 2017).

A análise de gordura total foi realizada por gravimetria conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz.

O teor de matéria volátil dos resíduos *in natura* de pé de peru foi analisado conforme procedimento padronizado pela Association of Official Analytical Chemists A.O.A.C (2000). As amostras foram secas na temperatura de 105 °C pelo período de 16 horas.

O ensaio de cinzas foi realizado conforme adaptação da norma ASTM D2617-12. Para tal, foi utilizada a amostra seca, transferida para cadinhos de porcelana e colocada em mufla na temperatura de 600 °C pelo período de 2 horas. A amostra foi colocada em um dessecador até o resfriamento e, depois, pesada (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1996, 2012).

3.2 Procedimentos experimentais para obtenção da gelatina a partir do processo de hidrólise

As extrações das gelatinas foram realizadas a partir da hidrólise parcial do colágeno presente nos resíduos de pés de peru. Primeiramente o resíduo *in natura* passou por um processo de limpeza e pré-tratamento ácido. Após, foram realizadas três extrações aquosas sequenciais para a obtenção de gelatinas, nas temperaturas de 55, 65 e 72 °C para a primeira, segunda e terceira extração respectivamente.

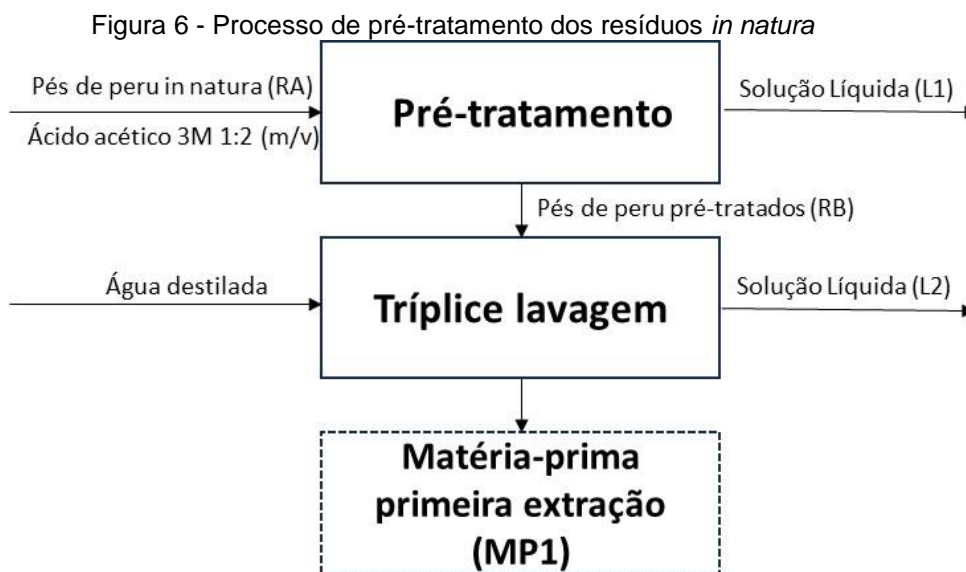
O método utilizado para a primeira extração de gelatina foi adaptado da metodologia desenvolvida por Almeida (2012), utilizando a temperatura de 55 °C. A segunda hidrólise na temperatura de 65 °C foi realizada com o objetivo de extrair a gelatina remanescente do resíduo obtido na condição cujo tempo foi considerado ótimo da primeira extração. A terceira hidrólise na temperatura de 72 °C. foi realizada com o objetivo de extrair o colágeno remanescente do resíduo obtido na condição cujo tempo foi considerado ótimo da segunda extração.

A fim de determinar a melhor condição de extração para cada hidrólise, a concentração de proteínas de cada gelatina foi determinada a partir do método de Lowry. A seguir serão apresentados os procedimentos utilizados para a obtenção de gelatina a partir do processo de hidrólise em três diferentes temperaturas e os procedimentos experimentais utilizados para a análise de determinação de proteína pelo método de Lowry.

3.2.1 Preparação e limpeza e pré-tratamento dos resíduos

Os pés de peru foram lavados com água corrente a temperatura ambiente, para remoção das sujidades, tais como fezes e pedaços de penas. As unhas e gorduras superficiais dos resíduos foram removidas manualmente. Após a limpeza do material, o pé de peru foi cortado em pedaços de aproximadamente 2 cm e unitariamente colocados em *erlenmeyers*.

O pré-tratamento dos resíduos de pé de peru foi realizado por imersão destes em ácido acético na concentração de 3 M na proporção 1:2 (m/v) por um período de 16 horas em temperatura ambiente. Após esse período, o ácido acético foi descartado e o material foi lavado com água destilada por três vezes. Na Figura 6 é apresentado o processo de pré-tratamento dos resíduos *in natura*.



Fonte: a autora (2023)

Os resíduos de pé de peru *in natura* (RA), após passarem pelo pré-tratamento ácido, geram os resíduos pré-tratados (RB) que foram submetidos a uma tríplex lavagem com água destilada, gerando a matéria-prima utilizada para a primeira extração (MP1) a ser submetida à primeira hidrólise. As soluções líquidas (L1 e L2) foram descartadas.

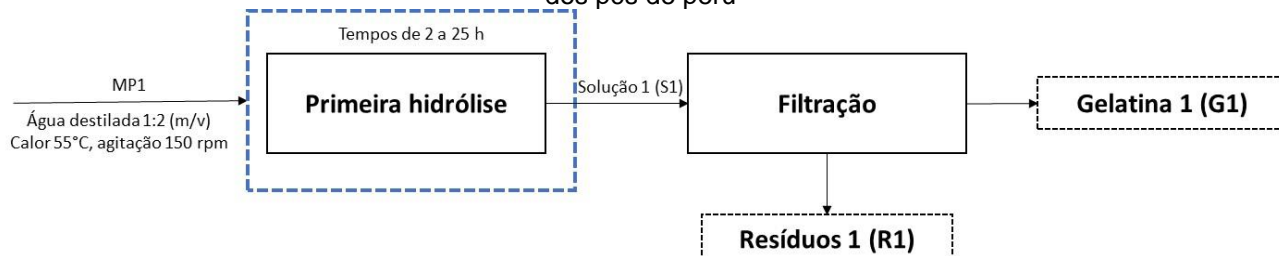
3.2.2 Primeira hidrólise

A primeira hidrólise foi realizada com MP1 utilizando uma temperatura de extração de 55°C. O objetivo desta primeira série de experimentos de hidrólise foi a determinação do tempo ótimo para a obtenção de gelatina com maior teor de proteína.

A Figura 7 mostra o esquema representativo da primeira hidrólise, que contempla as etapas de hidrólise e filtração. Para MP1 foi adicionada água destilada na proporção 1:2 (m/v) para ser realizada a primeira hidrólise, sendo que o pH resultante da solução utilizada para a primeira extração era 4,0. A primeira extração por hidrólise foi conduzida em tempos que foram finalizados de hora em hora desde 2 horas até 25 horas para cada experimento. A extração foi realizada em *erlenmeyers* de 250 mL, utilizando aproximadamente 100 g de resíduos, colocados em agitador orbital, *shaker*, em uma temperatura de 55 °C sob agitação constante de 150 rpm. Os experimentos foram realizados em duplicata e são independentes, gerando 48 gelatinas e 48 resíduos, conforme os tempos testados. No

esquema a seguir, quando referidas as 24 gelatinas são representadas pela denominação G1 e os 24 resíduos gerados na primeira extração pela denominação R1.

Figura 7 - Esquema representativo da primeira hidrólise (temperatura de 55 °C) para extração de gelatina dos pés de peru



Fonte: a autora (2023)

Após o tempo de hidrólise fixado para cada experimento, as suspensões denominadas S1 contidas nos *erlemeyers* foram filtradas em um sistema de filtração à vácuo. Foram obtidas 48 gelatinas e 48 resíduos. Na Tabela 7 estão apresentados os tempos dos testes e a denominação das gelatinas e resíduos após cada hidrólise.

Tabela 7 - Testes de hidrólise na temperatura de 55 °C

Tempo de extração (h)	Denominação gelatina	Denominação resíduo
2	G1-2	R1-2
3	G1-3	R1-3
4	G1-4	R1-4
5	G1-5	R1-5
6	G1-6	R1-6
7	G1-7	R1-7
8	G1-8	R1-8
9	G1-9	R1-9
10	G1-10	R1-10
11	G1-11	R1-11
12	G1-12	R1-12
13	G1-13	R1-13
14	G1-14	R1-14
15	G1-15	R1-15
16	G1-16	R1-16
17	G1-17	R1-17
18	G1-18	R1-18
19	G1-19	R1-19
20	G1-20	R1-20
21	G1-21	R1-21
22	G1-22	R1-22
23	G1-23	R1-23
24	G1-24	R1-24
25	G1-25	R1-25

Fonte: a autora (2023)

Todas as gelatinas (G1) foram submetidas a análise de proteína pelo método de Lowry, onde foi verificado qual filtrado apresentava a maior concentração de proteína. A gelatina que apresentou maior concentração de proteína neste experimento foi denominada G1⁺. A gelatina G1⁺ foi armazenada em um refrigerador sob temperatura constante de 4 °C. O resíduo sólido resultante da hidrólise que gerou G1⁺ foi denominado R1⁺ e na sequência foi submetido a segunda hidrólise.

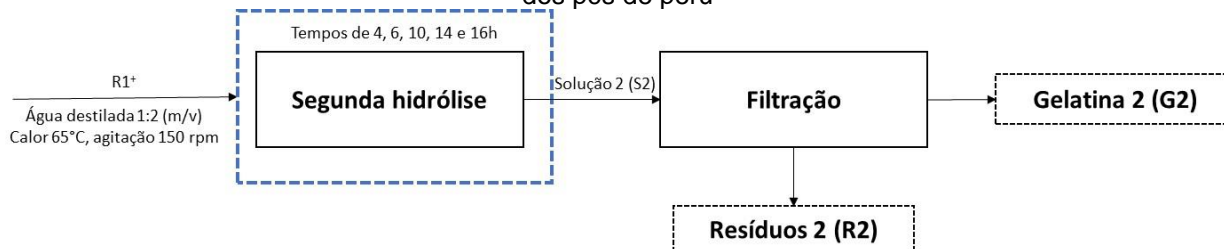
3.2.3 Segunda hidrólise

O material resultante da segunda hidrólise (melhor tempo) R1⁺, foi submetido a uma segunda hidrólise para obtenção de gelatina. O material foi transferido para um *erlenmeyer*

sem passar por qualquer tipo de pré-tratamento. Foi adicionada água na proporção 1:2 (m/v) para a hidrólise da gelatina, e a mistura foi submetida a segunda extração na temperatura de 65 °C sob agitação constante de 150 rpm em um agitador orbital, em cinco tempos totais de extração de 4 horas, 6 horas, 10 horas, 14 horas e 16 horas. Os experimentos foram realizados em duplicata.

A Figura 8 mostra o esquema representativo da segunda hidrólise, que contempla as etapas de hidrólise e filtração. O pH da solução utilizada para a segunda hidrólise, foi de 4,3. Após os tempos pré-estabelecidos, a solução, denominada S2, foi filtrada em um sistema de filtração à vácuo. Na Tabela 8 estão apresentados os tempos dos testes e a denominação das gelatinas e resíduos após cada hidrólise.

Figura 8 - Esquema representativo da segunda hidrólise (temperatura de 65 °C) para extração de gelatina dos pés de peru



Fonte: a autora (2023)

Tabela 8 - Testes de hidrólise na temperatura de 65 °C

Tempo de extração (h)	Denominação gelatina	Denominação resíduo
4	G2-4	R2-4
6	G2-6	R2-6
10	G2-10	R2-10
14	G2-14	R2-14
16	G2-16	R2-16

Fonte: a autora (2023)

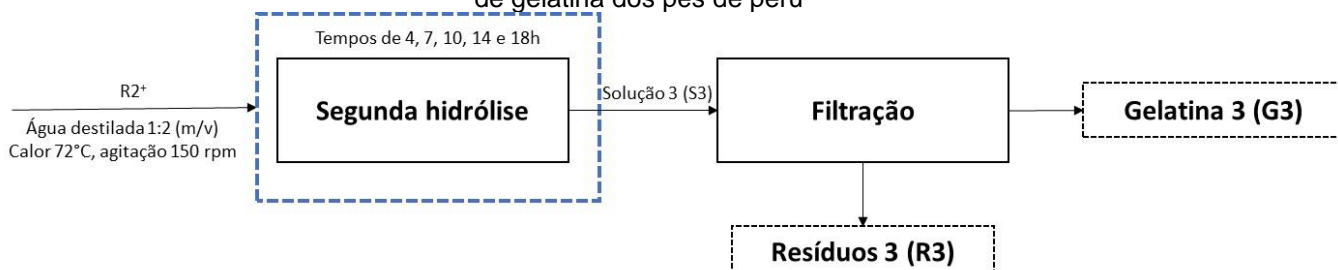
Os líquidos, denominados G2, foram submetidos a análise de proteína pelo método de Lowry e o resíduo do filtrado, denominado R2+, que apresentou maior concentração de proteína foi submetido à terceira hidrólise. O líquido denominado G2+, foi acondicionado em um refrigerador sob temperatura constante de 4 °C.

3.2.4 Terceira hidrólise

O material resultante da segunda hidrólise (melhor tempo) R2⁺, foi submetido a uma terceira hidrólise para obtenção de gelatina. O material foi transferido para um *erlenmeyer* sem passar por qualquer tipo de pré-tratamento. Foi adicionada água na proporção 1:2 (m/v) para a hidrólise da gelatina, e a mistura foi submetida a terceira extração na temperatura de 72 °C sob agitação constante de 150 rpm em um agitador orbital, em cinco tempos totais de extração de 4 horas, 7 horas, 10 horas, 14 horas e 18 horas. Os experimentos foram realizados em duplicata.

A Figura 9 mostra o esquema representativo da terceira hidrólise, que contempla as etapas de hidrólise e filtração. O pH da solução utilizada para a segunda hidrólise, foi de 4,4. Após os tempos pré-estabelecidos, a solução, denominada S3, foi filtrada em um sistema de filtração à vácuo. Na Tabela 9 estão apresentados os tempos dos testes e a denominação das gelatinas e resíduos após cada hidrólise.

Figura 9 - Esquema representativo do terceiro processo de hidrólise (temperatura de 72 °C) para extração de gelatina dos pés de peru



Fonte: a autora (2023)

Tabela 9 - Testes de hidrólise na temperatura de 72 °C

Tempo de extração (h)	Denominação gelatina	Denominação resíduo
4	G3-4	R3-4
7	G3-7	R3-7
10	G3-10	R3-10
14	G3-14	R3-14
18	G3-18	R3-18

Fonte: a autora (2023)

Os líquidos, denominados G3, foram submetidos a análise de proteína pelo método de Lowry e o resíduo do filtrado, denominado R3⁺, que apresentou maior concentração de proteína foi submetido à terceira hidrólise. O líquido denominado G3⁺, foi acondicionado em um refrigerador sob temperatura constante de 4 °C.

3.3 Análise de proteína das gelatinas para determinação do melhor tempo de hidrólise

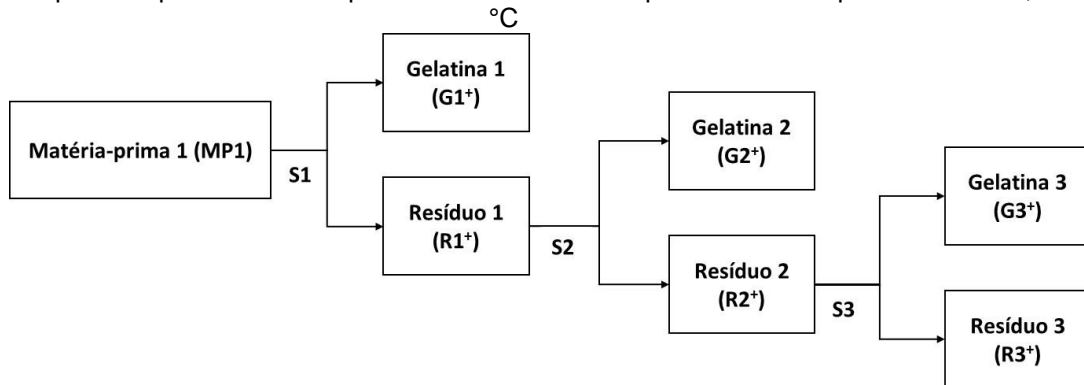
A análise de proteína das gelatinas extraídas foi realizada conforme o método Lowry (LOWRY, ROSEBROUGH E FAR, 1951), que compreende a utilização de um reagente a base de molibdato, tungstato e ácido fosfórico (Folin- Ciocalteu), que sofre uma redução quando reage com proteínas na presença do catalisador cobre, e produz um composto com absorção máxima em 750 nm. Para a análise, foi utilizado um equipamento de espectrofotometria modelo Genesys 30. Esta análise foi realizada em triplicata.

Os resultados obtidos foram submetidos a tratamento estatístico. As diferenças significativas entre as análises de proteínas pelo método de Lowry em cada extração de gelatina foram analisadas estatisticamente pelo teste de Tukey, com o auxílio do software Statistica 8.0. Foi adotado um nível de significância de 0,05 para determinar as diferentes significâncias entre as amostras de gelatina em cada extração.

3.4.1 Processo de hidrólise das gelatinas e Análise

Na Figura é apresentado o processo final de hidrólise das gelatinas obtidas em três diferentes temperaturas. As gelatinas G1⁺, G2⁺ e G3⁺ obtidas nos melhores tempos foram caracterizadas. E as respectivas tortas R1⁺, R2⁺ e R3⁺ foram analisadas.

Figura 10 - Esquema representativo do processo de hidrólise sequencial nas temperaturas de 55, 65 e 72



Fonte: a autora (2023)

Após a hidrólise, G1⁺, G2⁺ e G3⁺ foram submetidas a um processo de secagem a 105 °C por um período de 6 h em estufa e após seu resfriamento moídas manualmente com o auxílio de um almofariz e pistilo.

Para o cálculo do rendimento da extração de gelatina de G1⁺, G2⁺ e G3⁺, foi considerada a massa seca da gelatina obtida e a massa úmida do resíduo utilizado (ALMEIDA, 2016; ABEDINIA *et al.*, 2017), conforme a Equação (1):

$$R (\%) = \frac{\text{Massa da gelatina seca (g)}}{\text{Massa do resíduo úmido (g)}} \times 100 \quad (1)$$

3.4 Caracterização da Gelatina

Para a determinação da proteína bruta total das gelatinas (G1⁺, G2⁺ e G3⁺) foi utilizado o método de Kjeldahl, e usado um fator multiplicador de 5,55 para converter os valores de nitrogênio em proteína na gelatina (Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal, 2017). A fim de verificar a quantidade de proteína total em gelatinas comerciais, foi realizada esta mesma análise para a gelatina comercial bovina. A análise de gordura total foi realizada pelo Laboratório de Análises e Pesquisas em Alimentos (LAPA) da Universidade de Caxias do Sul (UCS) conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz.

A determinação do teor de matéria volátil das gelatinas (G1⁺, G2⁺ e G3⁺) foi realizada conforme procedimento padronizado pela *Association of Official Analytical Chemists*

(A.O.A.C., 2000). As amostras de gelatinas foram secas na temperatura de 105 °C, pelo período de 6 horas. As análises foram conduzidas em triplicata.

Para a determinação das cinzas das gelatinas (G1⁺, G2⁺ e G3⁺), o ensaio foi realizado conforme adaptação da norma ASTM D2617-12. Para tal, foi utilizada a amostra seca, conforme procedimento descrito anteriormente, transferida para cadinhos de porcelana e colocada em mufla na temperatura de 600 °C pelo período de 2 h. A amostra foi colocada em um dessecador até resfriamento e pesada (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1996, 2012). Para a leitura do pH das gelatinas (G1⁺, G2⁺ e G3⁺) obtidas, utilizou-se pHmetro (Digimed, modelo DM-22), o eletrodo foi submerso em 50 mL de amostra e a leitura foi realizada no visor do equipamento. A fim de verificar a quantidade de cinzas em gelatinas comerciais, foi realizada esta mesma análise para a gelatina comercial bovina.

3.3.1.1 Análise de Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Para a determinação de quais grupos químicos estão presentes nas gelatinas (G1⁺, G2⁺ e G3⁺) obtidas nas extrações, foram realizadas as análises de FTIR. As gelatinas foram submetidas ao ensaio de FTIR, em uma resolução de 4 cm⁻¹ com uma variação entre 4000 e 400 cm⁻¹. O equipamento foi operado no modo de Reflexão Total Atenuada (ATR) utilizando cristais de diamante. Esta análise foi realizada na Central Analítica do DEQUI que dispõe do equipamento modelo Frontier da marca Perkin Elmer. Para esta análise, as gelatinas foram secas em estufa a 105 °C por um período de 12 h e após moídas manualmente com o auxílio de um almofariz e pistilo.

3.3.1.2 Análise de Termogravimetria (TGA)

As curvas de TGA permitem conhecer as alterações que o aquecimento pode provocar na massa dos resíduos *in natura* e das gelatinas obtidas (G1⁺, G2⁺ e G3⁺). Através da análise de termogravimetria derivada (DTG) é possível observar a temperatura máxima de decomposição do material. A avaliação da estabilidade térmica das gelatinas foi realizada em uma balança termogravimétrica modelo SDT Q600, marca TA Instruments-

Waters. Esta análise foi realizada na Central Analítica do DEQUI. A análise foi conduzida em atmosfera de N₂ em amostras previamente secas. A amostra foi aquecida desde a temperatura ambiente (25 °C) até 800 °C a uma taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹. Para esta análise, as gelatinas foram secas em estufa a 105 °C por um período de 12 h e após moídas manualmente com o auxílio de um almofariz e pistilo.

3.3.1.3 Análise de Eletroforese em gel de poliacrílamida (SDS PAGE)

Através do perfil dos pesos moleculares das gelatinas é possível identificar uma diferença na degradação das mesmas. O padrão proteico das gelatinas foi determinado por eletroforese através de gel de poliacrilamida. As amostras de gelatina G1⁺, G2⁺ e G3⁺ foram dissolvidas em água destilada e misturadas em um “Stacking gel” 0,5 M contendo poliacrilamida, Tris-HCl (pH 6,8), dodecil sulfato de sódio (SDS), persulfato de amônio (APS) e Tetrametiletilenodiamina (TEMED). A eletroforese foi conduzida em gel de 12%. Marcadores de peso molecular Dual Color da Bio Rad® foram utilizados para estimar o peso molecular das proteínas. A análise de SDS PAGE foi realizada no Laboratório de Migração Celular (LAMOC) da UFRGS.

3.3.1.4 Análise de força de gel (força de Bloom)

A força de Bloom foi determinada em um texturômetro (TA.XTplus Texture Analyser) seguindo a metodologia proposta pela *International Organization for Standardization (ISO). 9665: Adhesives Animal glues - Methods of sampling and testing: 1998*. As amostras de gelatina (G1⁺, G2⁺ e G3⁺), previamente preparadas, foram colocadas no centro do equipamento e a sonda penetrou no gel até uma profundidade de 4 mm, sendo realizada a leitura da força máxima e expressa em força de Bloom por gramas de gel. A análise foi realizada no Laboratório de Cereais da Universidade de Passo Fundo (UPF).

3.4 Caracterização dos resíduos de pés de peru após a hidrólise

Para a determinação do percentual de proteína bruta total dos resíduos de pés de peru após as hidrólises R1⁺, R2⁺ e R3⁺ (tortas após filtração), foi utilizado o método de

Kjeldahl (A.O.A.C., 1998), com um fator de conversão 6,25 para converter os valores de nitrogênio em proteína (Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal, 2017).

O teor de matéria volátil dos resíduos *in natura* de pé de peru e de R1⁺, R2⁺ e R3⁺ foi realizada conforme procedimento padronizado pela Association of Official Analytical Chemists A.O.A.C (2000). As amostras foram secas na temperatura de 105 °C, pelo período de 16 horas.

O ensaio de cinzas foi realizado conforme adaptação da norma ASTM D2617-12. Para tal, foi utilizada a amostra seca, transferida para cadinhos de porcelana e colocada em mufla na temperatura de 600 °C pelo período de 2 h. A amostra foi colocada em um dessecador até resfriamento e pesada (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1996, 2012).

Para o cálculo da quantidade de proteína extraída dos resíduos de pés de peru após as extrações, foi considerada a diferença da quantidade de proteína mensurada pelo método Kjeldahl presente nos resíduos antes e após a hidrólise. Foram analisadas as amostras R1⁺, R2⁺ e R3⁺, conforme a Equação (2):

$$P_{rem} (\%) = \frac{(PI-PF)}{PI} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

P_{rem}: quantidade de proteína extraída dos resíduos de pés de peru (%);

PI: proteína mensurada pelo método Kjeldahl contida no resíduo antes da hidrólise (g/100g);

PF: proteína mensurada pelo método Kjeldahl contida no resíduo após a hidrólise (g/100g).

Para o rendimento global, foi considerada a quantidade de proteína mensurada pelo método Kjeldahl do resíduo *in natura* e a quantidade de proteína no resíduo após a última hidrólise.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos de acordo com a metodologia adotada e descrita anteriormente. Primeiramente, serão apresentados os resultados referentes à caracterização dos resíduos pé de peru utilizados no processo de hidrólise. Após, estão apresentados os resultados estatísticos referentes à extração sequencial de gelatina, que aconteceu através da hidrólise química dos resíduos de pés de peru, respectivamente nas condições de 55 °C, 65 °C e 72 °C. Finalmente serão apresentadas as análises referentes à caracterização das gelatinas G1⁺, G2⁺ e G3⁺ (filtrado) e dos resíduos de pé de peru R1⁺, R2⁺ e R3⁺ (torta) após cada hidrólise.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE PÉ DE PERU

A caracterização dos resíduos de pé de peru *in natura* é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 - Caracterização dos resíduos de pé de peru *in natura*

Parâmetro	Resultado
Umidade (%)	59,62 ± 1,81
Cinzas (%)	13,25 ± 0,20
Proteína (%)	24,49 ± 1,37
Gordura (%)	1,03±0,58

Fonte: a autora (2023)

Não foram encontradas na literatura caracterizações de resíduos de pés de peru, porém outros autores realizaram a caracterização de resíduos de aves utilizados para a extração de gelatina. Na Tabela 3 (p. 21) foram apresentados os valores encontrados para

os resíduos dessas aves quanto ao teor de proteína, gordura, umidade e cinzas dos resíduos.

Comparando os resultados, observou-se que os pés de peru apresentam uma quantidade similar de proteína em relação aos resíduos de aves que estão apresentados na Tabela 3. O teor de proteína dos pés de frango, caracterizado por Almeida (2016), é o que mais se assemelha à quantidade de proteína do resíduo de pé de peru. Referente à umidade, a água é o principal componente presente no resíduo de pé de peru. O teor de umidade presente nos resíduos apresentados pelos autores varia entre 55,87 e 82,91%. Verifica-se que a umidade contida nos pés de peru possui um valor similar ao encontrado nos resíduos de pés de pato. Quanto ao teor de cinzas, os valores encontrados pelos autores variaram entre 0,62 e 14,32%. Os resíduos de pés de peru apresentaram um valor de resíduo mineral elevado comparado aos resíduos de pé de frango e pé de pato, com valores de cinzas similares a carne mecanicamente separada de frango. Quanto a quantidade de lipídeos, os resíduos de pé de peru apresentaram uma quantidade menor de gordura comparado aos resíduos apresentados na Tabela 3.

As diferenças encontradas entre os resíduos de pés de pato, pés de peru e pés de frango, além da diferente natureza, possivelmente são devidas às diferenças de morfologia nas diferentes espécies estudadas. De acordo com Bichukale *et al.* (2018), a composição centesimal dos resíduos animais varia consideravelmente dependendo do tamanho, peso, água, temperatura e hábitos alimentares das espécies. As características dos resíduos utilizados nos experimentos irão depender das características morfológicas do animal e etapas de processamento nas quais são coletados os resíduos e armazenamento deles.

4.2 DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES ÓTIMAS DO PROCESSO DE HIDRÓLISE DE GELATINA

Na sequência são apresentados os resultados da análise de Lowry para determinação da condição de melhores tempos de extrações para obtenção de G1⁺, G2⁺ e G3⁺.

4.2.1 Determinação da melhor condição para a primeira extração de gelatina

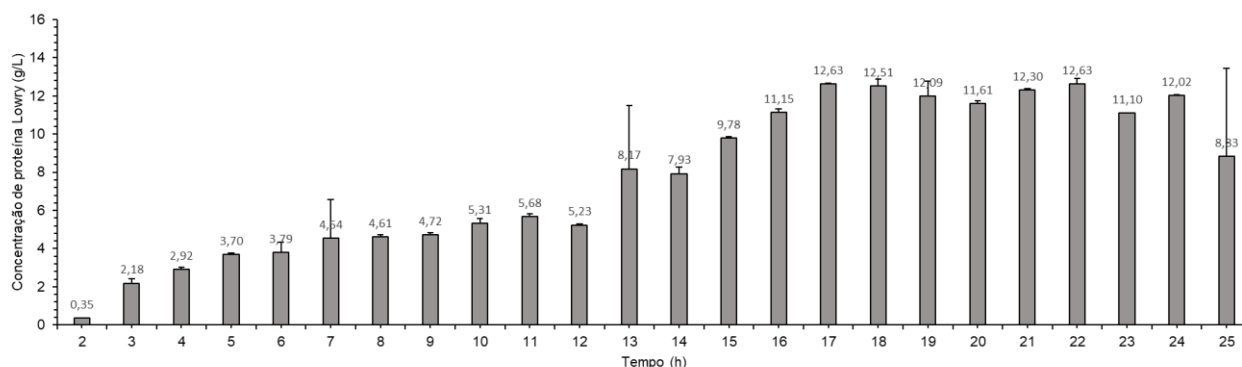
Os resultados de análise de proteína, pelo método de Lowry, para a primeira extração de gelatina, que foi conduzida a 55 °C, são apresentados na Tabela 11 e na Figura 11.

Tabela 11 - Resultados de análise de proteína pelo método de Lowry para a primeira hidrólise conduzida a 55 °C

Denominação gelatina	Tempo de extração (h)	Concentração de proteína (g/L)
G1-2	2	0,356 ^J ± 0,091
G1-3	3	2,175 ^I ± 0,462
G1-4	4	2,911 ^{HI} ± 0,317
G1-5	5	3,700 ^{GH} ± 0,234
G1-6	6	3,793 ^{GH} ± 0,667
G1-7	7	4,560 ^{FG} ± 1,301
G1-8	8	4,609 ^{EFG} ± 0,289
G1-9	9	4,722 ^{EFG} ± 0,277
G1-10	10	5,340 ^{EF} ± 0,452
G1-11	11	5,692 ^E ± 0,345
G1-12	12	5,234 ^{EF} ± 0,248
G1-13	13	8,228 ^D ± 1,671
G1-14	14	7,915 ^D ± 0,542
G1-15	15	9,786 ^C ± 0,254
G1-16	16	11,138 ^B ± 0,377
G1-17	17	12,619 ^A ± 0,170
G1-18	18	12,529 ^A ± 0,541
G1-19	19	11,978 ^{AB} ± 0,814
G1-20	20	11,626 ^{AB} ± 0,329
G1-21	21	12,292 ^A ± 0,266
G1-22	22	12,638 ^A ± 0,485
G1-23	23	11,098 ^B ± 0,177
G1-24	24	12,031 ^{AB} ± 0,142
G1-25	25	9,225 ^C ± 0,140

Nota: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey (p<0,05)
Fonte: a autora (2023)

Figura 11 - Resultados de análise de proteína pelo método de Lowry para a primeira hidrólise conduzida a 55 °C



Fonte: a autora (2023)

Observa-se que o experimento de hidrólise com duração de 17 h obteve maior concentração de proteína pelo método de Lowry, comparado às demais amostras. Nos tempos de 2 a 17 horas verifica-se um aumento gradativo da concentração de proteína das amostras. Nos tempos de 17 a 24 horas de extração de proteína, verifica-se uma tendência de estabilidade na concentração de proteína das amostras. No tempo de 25 h há uma queda na quantidade de proteína provavelmente devido à degradação da mesma no meio. O método de análise de proteína por Lowry mede a combinação das ligações peptídicas e de dois aminoácidos, o triptofano e a tirosina. O triptofano não está presente na gelatina e a tirosina representa em torno de 0,2% de sua composição (SMITH, 2010). Se há a quebra dessas ligações peptídicas, ocorre a degradação da proteína que não é detectada pelo método de Lowry.

Na Tabela 11, as médias de concentração de proteína com índices de letras iguais não diferem entre si, já letras diferentes indicam diferenças estatísticas em relação ao tempo. Realizando a análise estatística e comparando os diferentes grupos, verifica-se que entre 16 e 17 h, houve uma diferença estatística significativa entre as amostras, onde a concentração de proteína na amostra de 17 h foi superior à de 16 h. Observando a variação entre as amostras de 17 e 18 h, verifica-se que não há uma diferença estatística na concentração de proteína entre as amostras. Dessa forma, o processo de hidrólise realizado por 17 h é considerado como a melhor condição, visto que foi a gelatina que apresentou maior concentração de proteína.

4.2.2 Determinação da melhor condição para a segunda hidrólise de gelatina

Para a segunda extração de gelatina, os resíduos utilizados foram os oriundos da condição ótima da primeira extração (R1⁺), ou seja, em que o experimento foi conduzido pelo período de 17 h. Os resultados de análise de proteína, pelo método de Lowry, para a segunda extração de gelatina, que foi conduzida a 65 °C, nos tempos de 4, 6, 10, 14 e 16 h são apresentados na Tabela 12 e na Figura 12.

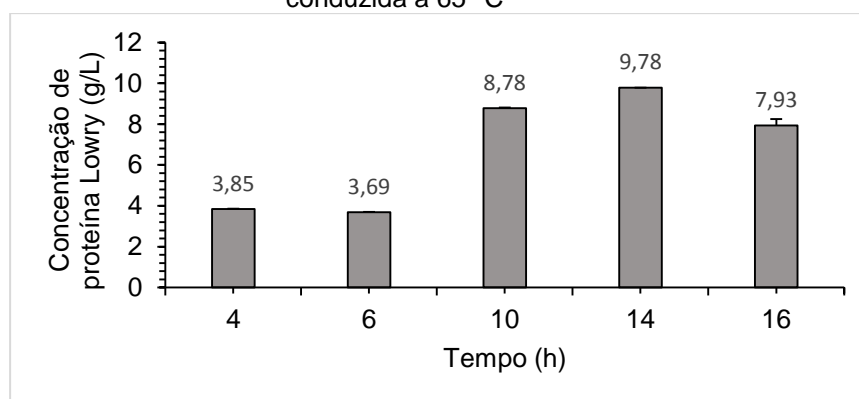
Tabela 12 - Resultados de análise de proteína conforme método de Lowry para a segunda hidrólise conduzida a 65 °C

Denominação gelatina	Tempo de extração (h)	Concentração de proteína (g/L)
G2-4	4	3,85 ^D ± 0,07
G2-6	6	3,69 ^D ± 0,11
G2-10	10	8,90 ^B ± 0,11
G2-14	14	9,78 ^A ± 0,06
G2-16	16	7,93 ^C ± 0,56

Nota: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

Fonte: a autora (2023)

Figura 12 - Resultados de análise de proteína conforme método de Lowry para a segunda hidrólise conduzida a 65 °C



Fonte: a autora (2023)

Através da Tabela 12, é possível observar que a concentração de proteína do experimento cujo tempo foi de 14 h é superior às demais amostras. Observa-se um

comportamento similar ao obtido para variação na concentração de proteína referente à primeira hidrólise, com aumento da concentração de proteína até o período de $14 \pm 2 - 4$ h e após a queda da concentração de proteína devido à possível degradação dela. Na Tabela 12, as médias de concentração de proteína com índices de letras iguais não diferem entre si, já letras diferentes indicam diferenças estatísticas para a concentração de proteína nos diferentes tempos. Observando a Tabela 12, verifica-se que há uma diferença estatisticamente significativa entre a concentração de proteína obtida nas amostras de 10 e 14 horas e 14 e 16 h. Entretanto, a amostra obtida com 16 h de processo apresentou menor concentração de proteína medida pelo método de Lowry do que aquela obtida com 14 h devido à possível degradação, indicando uma diferença significativa na concentração de proteína para menores valores. Assim, define-se que a condição ótima para este experimento foi com o tempo de $14 \pm 2 - 4$ h.

4.2.3 Determinação da melhor condição para a terceira hidrólise de gelatina

Os experimentos da terceira hidrólise de gelatina foram conduzidos com os resíduos obtidos na condição ótima da segunda extração ($R2^+$), ou seja, tempo de $14 \pm 2 - 4$ h. Os experimentos foram realizados na temperatura de 72 °C e tempos de 4, 7, 10, 14 e 18 horas. Os resultados de concentração de proteína, conforme o método de Lowry para as hidrólises, são apresentados na Tabela 13 e na Figura 13.

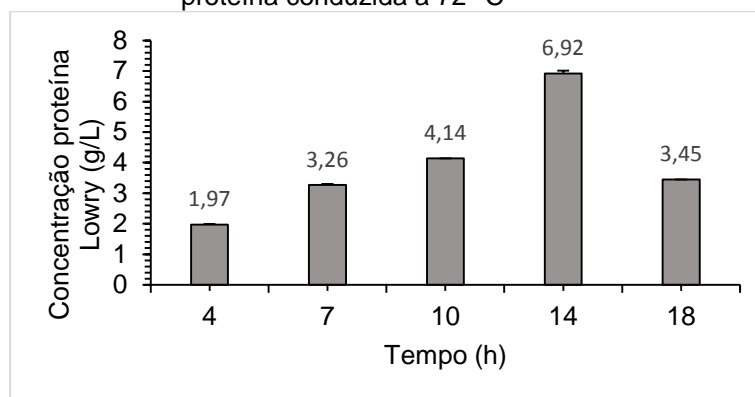
Tabela 13 - Resultados de análise de proteína conforme método de Lowry para a terceira extração de proteína conduzida a 72 °C

Denominação gelatina	Tempo (h)	Concentração (g/L)
G3-4	4	$1,97^D \pm 0,18$
G3-7	7	$3,27^C \pm 0,18$
G3-10	10	$4,14^B \pm 0,09$
G3-14	14	$6,91^A \pm 0,32$
G3-18	18	$3,45^C \pm 0,04$

Nota: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

Fonte: a autora (2023)

Figura 13 - Resultados de análise de proteína conforme método de Lowry para a terceira extração de proteína conduzida a 72 °C



Fonte: a autora (2023)

Na Tabela 13, as médias de concentração de proteína seguidas de letras iguais não diferem entre si, já letras diferentes indicam diferenças estatísticas em relação ao tempo. Comparando as concentrações de proteína entre grupos, observa-se que somente os pontos de 7 e 18 h são estatisticamente iguais. O experimento que apresentou maior concentração de proteína, ou seja, o com duração de 14 ± 4 h, foi determinado como condição ótima (R3⁺). Observa-se, na terceira hidrólise, que o comportamento de concentração de proteína é similar aos da primeira e da segunda hidrólises, com aumento até o período de 14 h e queda no período de extração de 18 h.

Os valores de proteína medidos através do método de Lowry para as condições de primeira hidrólise a 55 °C (17 h), segunda hidrólise (sequenciada) a 65 °C (14 h) e terceira hidrólise (sequenciada) a 72 °C (14 h) são respectivamente 12,62 g/L, 9,78 g/L e 6,91 g/L, sendo estas respectivamente, G1⁺, G2⁺ e G3⁺.

Verifica-se que houve um decaimento na quantidade de proteína nas hidrólises sequenciais, possivelmente devido as extrações serem sequenciadas a fim de ser extraída a proteína remanescente do resíduo da hidrólise anterior. Através da análise de proteína dos resíduos (R1⁺, R2⁺ e R3⁺), que será apresentada no item 4.3.2, pode ser verificada uma redução na quantidade de proteína remanescente nos resíduos após as extrações.

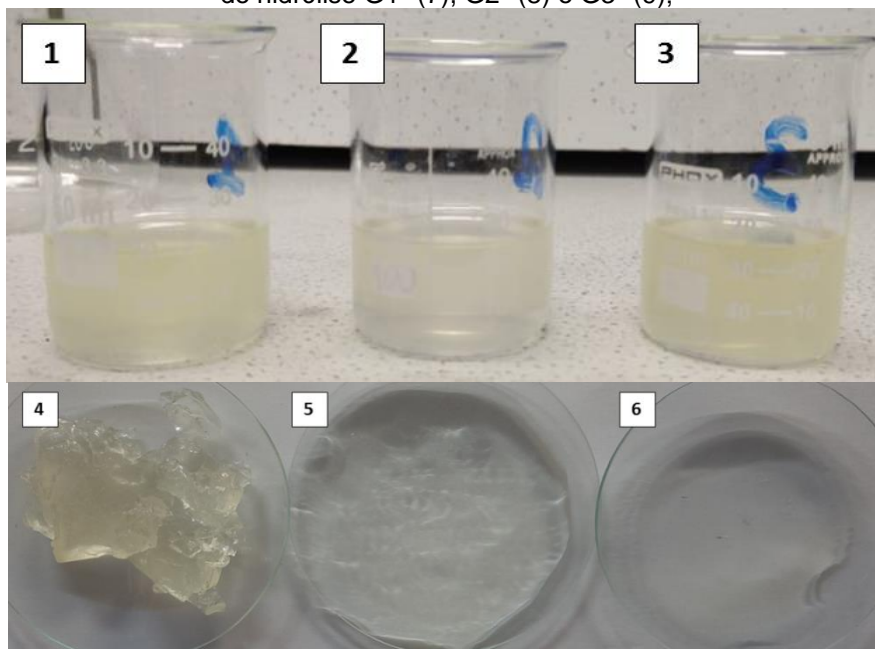
4.3 CARACTERIZAÇÃO DA GELATINA

Os produtos obtidos na hidrólise foram um líquido gelatinoso (filtrado) e resíduos de pé de peru processados (torta). A seguir, serão descritas as características e análises realizadas para estes.

4.3.1 Gelatina

O líquido obtido em cada experimento possuía característica gelatinosa e uma coloração que variava de incolor a levemente amarelada. Esta coloração é característica do colágeno, principal proteína presente nos resíduos utilizados na extração das gelatinas. A Figura 14 apresenta as gelatinas obtidas nas fases líquidas, após a refrigeração e após o processo de secagem e moagem.

Figura 14 - Gelatinas líquidas obtidas no processo de hidrólise G1⁺ (1), G2⁺ (2) e G3⁺ (3); gelatinas sólidas obtidas no processo de hidrólise G1⁺ (4), G2⁺ (5) e G3⁺ (6); gelatinas secas e moídas obtidas no processo de hidrólise G1⁺ (7), G2⁺ (8) e G3⁺ (9);





Fonte: a autora (2023)

4.3.1.1 Caracterização das gelatinas obtidas em diferentes condições

A Tabela 14 apresenta a caracterização quanto ao teor de proteínas pelo método Kjeldahl, lipídeos, análise de cinzas, umidade e pH de G1⁺, G2⁺ e G3⁺ e da gelatina comercial bovina (GC) analisada.

Tabela 14 - Caracterização de G1⁺, G2⁺, G3⁺ e GC

Gelatina	Proteína total da gelatina (g/L) (Lowry)	Proteína total da gelatina (% b.s.)	Teor de lipídeos (% b.s.)	Cinzas (% b.s.)	Umidade (%)	pH	Rendimento (%)
G1 ⁺	12,62	77,58±1,73	<0,142±0,27	15,13±2,43	95,97±0,10	4,3	10,41
G2 ⁺	9,78	42,82±0,51	<0,142±0,33	45,73±3,75	97,54±2,46	4,5	4,71
G3 ⁺	6,91	28,08±2,82	<0,142±0,31	67,64±2,32	99,09±0,07	4,8	0,02
GC	-	85,73±1,87	0 ¹	<0,01±0,02	-	-	-

Fonte: a autora (2023)

Notas: ¹ Valor informado pelo fabricante

A quantidade de proteína presente nas amostras G1⁺, G2⁺ e G3⁺, foram de respectivamente 77,58, 42,82 e 28,08 g de proteína /100 g de gelatina. Verifica-se um decréscimo na quantidade de proteína nas gelatinas das hidrólises sequenciais. Essa redução pode ser justificada devido às hidrólises subsequentes que objetivarem remover a proteína dos resíduos de aves utilizados, ou seja, após a primeira hidrólise haverá uma redução na quantidade de proteína do resíduo após a hidrólise comparado a quantidade de

proteína do resíduo *in natura*. Na segunda hidrólise por se tratar de uma hidrólise sequenciada, cujo objetivo é remover a proteína remanescente do material obtido após a primeira hidrólise, houve uma redução na quantidade de proteína do resíduo comparado ao resíduo inicial utilizado na segunda hidrólise e assim sucessivamente.

Comparando o teor de proteína das gelatinas G1⁺, G2⁺ e G3⁺, com GC, verifica-se que o teor de proteína da GC é superior as obtidas de resíduos de pés de peru. A maioria das gelatinas comerciais é produzida a partir da hidrólise do colágeno presente em grande quantidade na pele e ossos de animais (GELITA, 2022). As etapas de produção da gelatina comercial compreendem o pré-tratamento químico, que pode ser ácido ou básico, a hidrólise, a purificação, a concentração, a moagem. A variação da quantidade de proteína das gelatinas depende da fonte de matéria-prima, do pré-tratamento utilizado e da intensidade da hidrólise, podendo ser obtidas gelatinas com propriedades diferentes (SCHOTT, 2001).

Abedinia *et al.* (2017) obtiveram valores de proteína total de 81,89, 79,41 e 82,55 g/100 g para gelatinas extraídas em pré-tratamento ácido, básico e enzimático respectivamente. A quantidade de proteína obtida por Almeida (2016) em gelatinas de pé de frango foi de 84,96 g/100 g. Du *et al.* (2013) obtiveram valores de proteína total de 88,69, 90,13, 90,30 e 90,94 g/100g, respectivamente, em gelatinas extraídas de cabeças de frango a 50 °C e extração sequenciada a 60 °C e gelatinas extraídas de cabeças de peru a 50 °C e extração sequenciada a 60 °C. A diferença na variação da concentração de proteína pode ser atribuída aos diferentes tratamentos químicos utilizados na extração (Abedinia *et al.* (2017).

Quanto à quantidade de gordura de G1⁺, G2⁺ e G3⁺, obtiveram resultados abaixo do limite de detecção, ou seja, menor que 0,142%. A GC analisada possui teor de lipídeos menor que 0,01%. A quantidade de lipídeos em gelatina de pé de frango obtida por Almeida (2016) foi de 2,71 g/100g. Para gelatina de pés de pato, os valores de gordura obtidos por Abedinia *et al.* (2017) foram de 0,22; 0,19; e 0,28% para gelatinas extraídas em pré-tratamento ácido, básico e enzimático. Du *et al.* (2013) obtiveram valores de lipídeos totais de 0,54, 0,60, 0,24 e 0,26 g/100g respectivamente, em gelatinas extraídas de cabeças de frango a 50 °C e extração sequenciada a 60 °C e gelatinas extraídas de cabeças de peru a 50 °C e extração sequenciada a 60 °C. Os valores obtidos para as gelatinas de pé de peru foram menores que os reportados por estes autores, possivelmente devido a matéria-prima

utilizada nas extrações apresentar um baixo teor de lipídeos comparado às matérias-primas usadas pelos demais autores.

A quantidade de água contida nas gelatinas obtidas foi similar entre elas. Quanto à umidade, Schrieber e Gareis (2007) afirmaram que a umidade ideal da gelatina deve variar entre 8 e 12%, e que teores de umidade superiores a 16% não são desejáveis, pois há o risco de formação de grumos e crescimento microbiológico. Dessa forma, caso a gelatina fosse utilizada para comercialização seria necessário o processo de secagem e liofilização.

A quantidade de cinzas remanescente nas gelatinas de G1⁺, G2⁺ e G3⁺ foi de 15,13; 45,73 e 67,64%, respectivamente. Rammaya, Ying e Babji (2012) obtiveram valores de cinzas para gelatinas extraídas de carne mecanicamente separada de frango variando entre 39,82 e 52,48%. Os autores afirmam que a elevada quantidade de cinzas é devido ao material utilizado conter ossos. Almeida (2016) obteve um teor de resíduos minerais de 12,28% em gelatina obtida de metatarso de frango. A autora afirma que a elevada quantidade de cinzas dessa amostra ocorre devido a grande quantidade de cálcio e outros sais presentes nos ossos. De acordo com Muyonga *et al.* (2004), para a redução da quantidade de mineral fixo das gelatinas pode ser aplicado um processo de troca iônica para remoção do excesso de cinza.

As gelatinas G1⁺, G2⁺ e G3⁺ apresentaram valores de pH de 4,3; 4,5 e 4,8, respectivamente. A gelatina obtida de pés de frango por Almeida (2016) apresentou pH de 5,48. Já as gelatinas obtidas por Abedinia *et al.* (2017) apresentaram valores de 5,52 para pré-tratamento ácido, 7,45 para pré-tratamento alcalino e 6,94 para pré-tratamento enzimático. De acordo com Abedinia *et al.* (2017) os diferentes procedimentos de preparação da matéria-prima causam diferenças nos valores de pH. Bandeira (2019) verificou em seus estudos que valores de pH entre 3,8 e 5 são reportados para gelatinas obtidas processadas por pré-tratamento ácido e pH na faixa de 4,7 a 7,5 são reportados por pré-tratamento básico.

De acordo com Abedinia *et al.* (2017), um processo eficiente de extração de gelatina, é aquele que produz uma gelatina com alto teor de proteína e pobre em teor de cinzas e gordura. Quando verificada a quantidade de proteína presente em G1⁺, G2⁺ e G3⁺, verifica-se que a concentração é maior na amostra correspondente à primeira hidrólise. Quanto ao teor de umidade, verifica-se que a água é o componente majoritário das amostras. Quanto ao teor de cinzas das gelatinas, a elevada quantidade de resíduo mineral fixo, que pode ser

observado também no resíduo *in natura*, ocasionou o aumento da concentração de cinzas nas gelatinas. Observa-se que a G3⁺ apresenta uma maior quantidade de cinzas, possivelmente devido ao arraste de resíduo mineral fixo aumentar no decorrer das extrações. Quanto a quantidade de gordura, os valores encontrados em G1⁺, G2⁺ e G3⁺ são menores que os reportados para gelatinas obtidas de resíduos de aves, possivelmente devido a matéria-prima utilizada apresentar um menor valor de lipídeos comparado as demais matérias-primas, conforme apresentado na Tabela 3.

Os rendimentos obtidos foram calculados pela razão entre a massa da gelatina seca pela massa do resíduo úmido de pé peru resultante das extrações nas condições ótimas. Os rendimentos obtidos para as extrações conduzidas a 55, 65 e 72 °C foram de respectivamente 10,41%, 4,71% e 0,02%. O rendimento total da extração, considerando a soma dos rendimentos obtidos nas três hidrólises, foi de 15,14%.

Abedinia *et al.* (2017) obtiveram valores de rendimento de 4,09%, 3,65% e 5,25% para extração de gelatina de pés de pato em pré-tratamento ácido, básico e enzimático, respectivamente. Almeida (2016) realizou a extração de gelatina de diferentes cortes oriundos de pés de frango, e obteve rendimentos entre 5,97 e 7,83%.

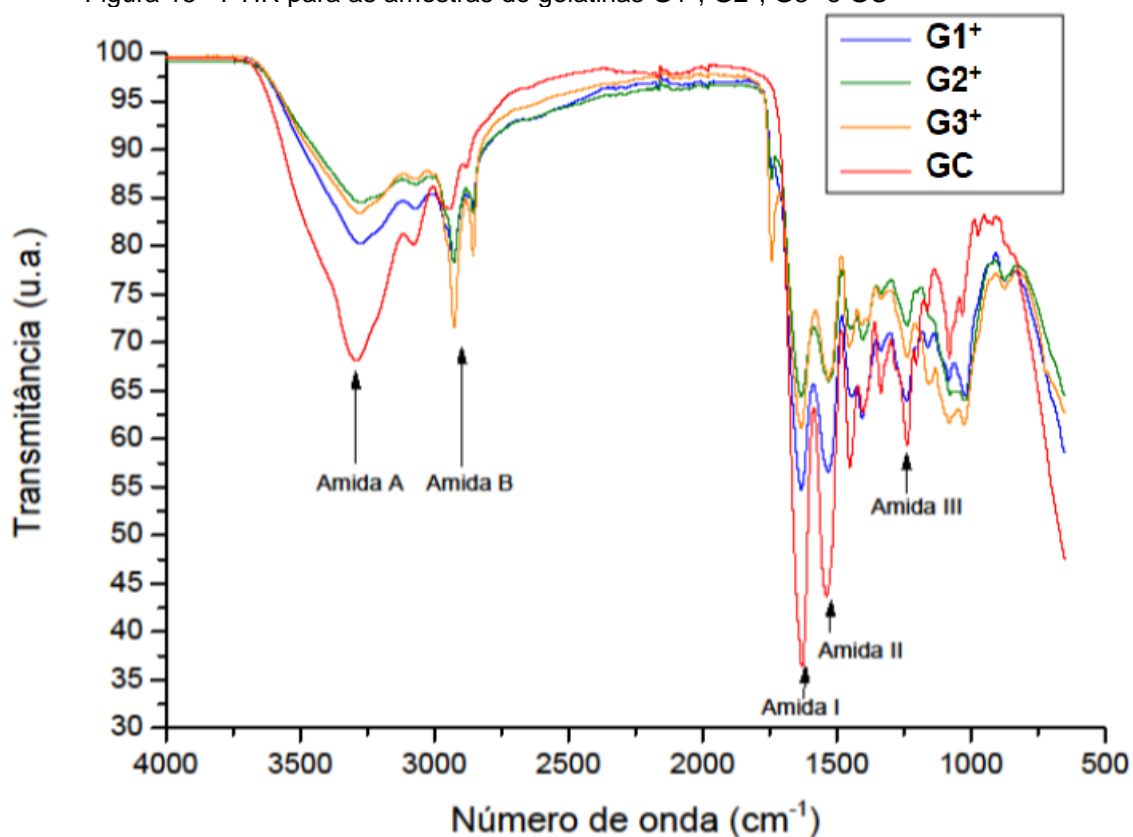
Entre os fatores que podem interferir no rendimento das extrações de gelatina encontra-se a temperatura. De acordo com Tavakolipour (2011) as temperaturas ótimas para extrações de gelatina devem variar entre 50 e 70 °C. O autor afirma que processos que ocorrem em baixas temperaturas tendem a gerar um menor rendimento e em temperaturas elevadas a qualidade da gelatina obtida pode ser afetada.

Observando os rendimentos obtidos, verifica-se que o maior rendimento foi obtido na extração que ocorreu na temperatura de 55 °C. Os rendimentos individuais de cada processo de extração foram semelhantes aos obtidos pelos autores supracitados. A soma dos rendimentos, por sua vez, foi pelo menos duas vezes maior que os rendimentos encontrados pelos autores, mostrando a viabilidade do processo de extrações sequenciais.

4.3.1.2 FTIR

A Figura 15 apresenta o FTIR das gelatinas GC, G1⁺, G2⁺ e G3⁺.

Figura 15 - FTIR para as amostras de gelatinas G1⁺, G2⁺, G3⁺ e GC



Fonte: a autora (2023)

As gelatinas G1⁺, G2⁺, G3⁺ e GC apresentaram espectros semelhantes entre si, com as principais bandas características em regiões do grupo Amida, sendo elas: Amida A (em 3288 cm⁻¹ para GC, em 3278 cm⁻¹ para G1⁺, 3276 cm⁻¹ para G2⁺ e 3280 cm⁻¹ para G3⁺), Amida B (em 2940 cm⁻¹ para GC, em 2927 cm⁻¹ para G1⁺, e 2925 cm⁻¹ para G2⁺ e G3⁺), Amida I (em 1628 cm⁻¹ para GC, em 1630 cm⁻¹ para G1⁺, 1631 cm⁻¹ para G2⁺ e 1634 cm⁻¹ para G3⁺), Amida II (em 1536 cm⁻¹ para GC, em 1532 cm⁻¹ para G1⁺, G2⁺, G3⁺) e Amida III (em 1237 cm⁻¹ para GC, em 1240 cm⁻¹ para G1⁺, 1239 cm⁻¹ para G2⁺ e 1236 cm⁻¹ para G3⁺).

De acordo com Arrondo *et al.* (1993), a banda de Amida I representa principalmente o estiramento da ligação C=O e da ligação C-N. A Amida II está relacionada à deformação angular no plano de ligação N-H e estiramento da ligação C-N. Já a Amida III é resultado de uma sobreposição de diversas deformações sendo elas o estiramento de ligação C-N, a vibração angular no plano da ligação N-H, o estiramento da ligação C-C, e a vibração

angular no plano da ligação C-O. As bandas de Amida A e Amida B representam o estiramento da ligação N-H.

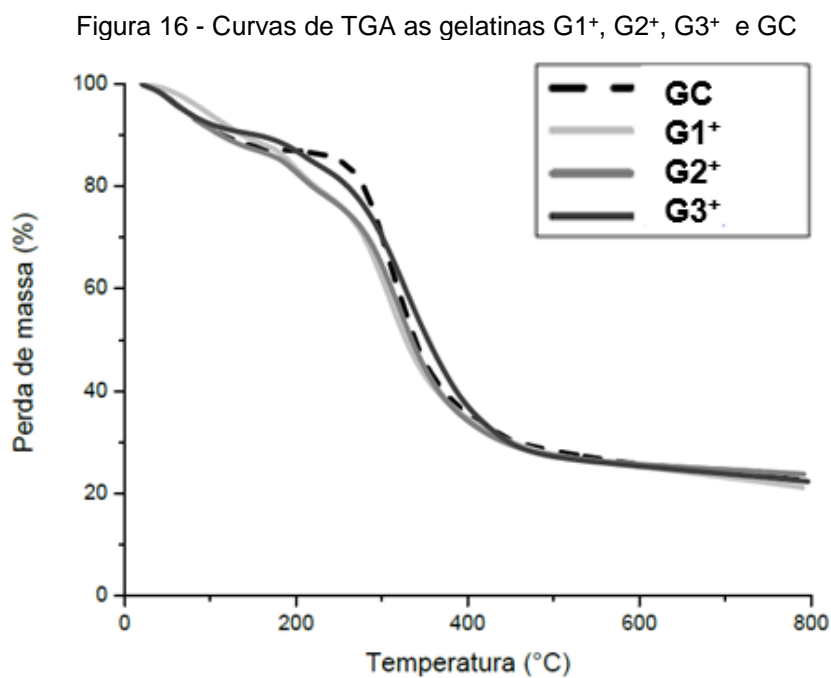
Em um estudo realizado por Almeida *et al.* (2012), gelatinas de frango mostraram bandas de vibração em 1652 cm^{-1} para amida I, de $1539,87\text{ cm}^{-1}$ para amida II, de $1241,29\text{ cm}^{-1}$ para amida III, de $2923,72\text{ cm}^{-1}$ para amida B e de $3399,56\text{ cm}^{-1}$ para amida A. Almeida *et al.* (2012) realizaram a comparação das gelatinas obtidas de pés de frango com gelatina comercial, encontrando para a gelatina comercial bandas em $1556,53\text{ cm}^{-1}$ referente a amida II, $1651,32\text{ cm}^{-1}$ referente a amida I, $2921,49\text{ cm}^{-1}$ referente a amida B, intervalo de $3391,84$ a $3467,09\text{ cm}^{-1}$ que compreende a região de amida A e não encontrou bandas para Amida III. Para a gelatina comercial e gelatinas obtidas a 65 e 72°C foram observadas a presença de uma pequena banda na frequência de onda de 1000 cm^{-1} . Estas bandas são características de peptídeos de baixo peso molecular formados durante a extração. Almeida *et al.* (2012) observaram estes picos na gelatina comercial bovina analisada, porém nas gelatinas de pés de frango, não houve a presença de bandas nessa região. Isso significa que o processo utilizado para a extração da gelatina resultante da primeira hidrólise utilizada nesse trabalho não afetou a qualidade da gelatina.

Abedinia *et al.* (2017) realizaram análise de FTIR nas gelatinas obtidas de pés de pato obtidas de pré-tratamento ácido, básico e enzimático. Os autores identificaram quatro regiões principais de interesse: $3600-2300$ (amida A), 1656 a 1644 (amida I), $1560-1335$ (amida II) e $1240-670\text{ cm}^{-1}$ (amida III). Os autores afirmam que os espectros relacionados as gelatinas obtidas por pré-tratamento básico e ácido possuem comportamento similar, diferente do espectro obtido na gelatina obtida com pré-tratamento enzimático, que possui bandas em regiões distintas. A gelatina obtida por meio enzimático apresentou regiões com bandas intensificadas que mudaram para números de ondas menores, o que indicou alterações na estrutura secundária do colágeno.

Observando os estudos de FTIR realizados em gelatina obtidas de pés de frango conduzidos por Almeida *et al.* (2012) e análises de FTIR de gelatinas de pés de pato em pré-tratamento ácido realizados por Abedinia *et al.* (2017), verifica-se que em ambos os estudos as bandas de amida foram predominantes quando analisados os resultados de FTIR, similar as bandas encontradas na caracterização das gelatinas $G1^{+}$, $G2^{+}$ e $G3^{+}$.

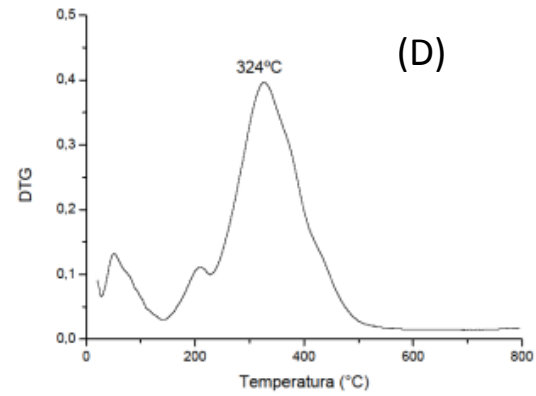
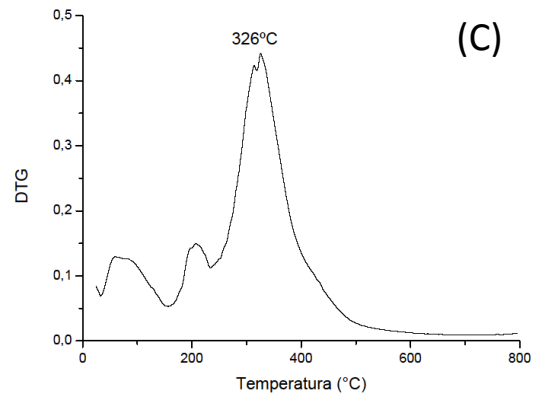
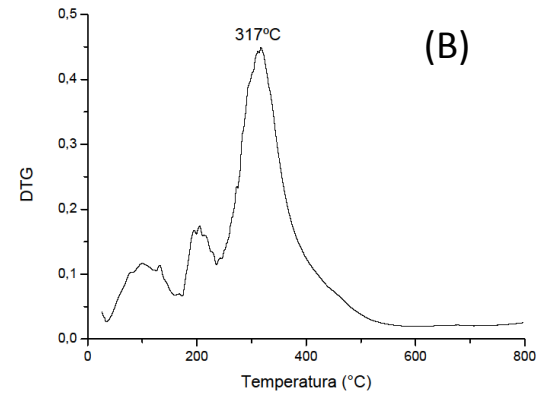
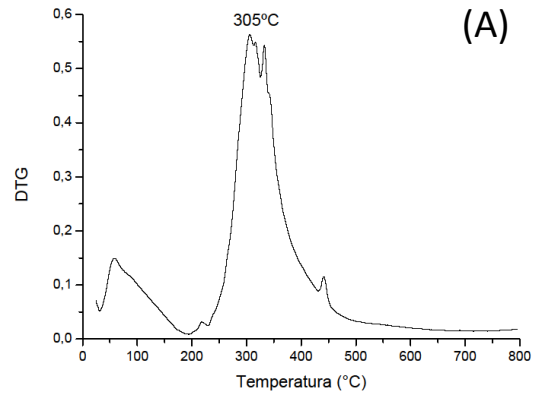
4.3.1.3 Análise termogravimétrica

As Figuras 16 e 17 apresentam respectivamente as curvas de TGA e DTG, obtidas a partir da análise térmica de G1⁺, G2⁺, G3⁺ e GC.



Fonte: a autora (2023)

Figura 17 - DTG para as amostras de GC (A), G1+ (B), G2+ (C) e G3+ (D)



Fonte: a autora (2023)

A Tabela 15 apresenta os principais parâmetros analisados na termogravimetria das gelatinas analisadas.

Tabela 15 - Parâmetros da análise termogravimétrica das GC, G1⁺, G2⁺ e G3⁺

Amostra	Varição de massa intervalo 1 (25 a 150 °C) (%)	Varição de massa intervalo 2 (25 a 150 °C) (%)	Temperatura máxima de degradação (°C)	Resíduo (%)
GC	12,4	49,5	305	22,8
G1 ⁺	11,9	39,2	317	21,5
G2 ⁺	13,2	43,9	326	23,6
G3 ⁺	10,4	45,5	324	24,6

Fonte: a autora (2023)

Duas diferentes etapas podem ser distinguidas na curva de termogravimetria das gelatinas, uma delas correspondente a perda de água, que varia no intervalo de 25 a 150 °C, e a segunda que ocorre entre 250 e 400 °C, relacionada a quebra de cadeia de proteínas relacionadas à estrutura helicoidal e à ruptura das ligações peptídicas (Barreto, Pires e Soldi, 2003).

Através da análise de termogravimetria, nota-se um mesmo comportamento no perfil de curva para G1⁺, G2⁺ e G3⁺, porém verifica-se uma pequena variação no intervalo de perda de água e na quantidade. Na primeira faixa de temperatura, que compreende a perda de água da estrutura da gelatina, verifica-se uma perda de massa de 11,9% para G1⁺, de 13,2% para G2⁺ e 10,40% para G3⁺. Para GC, a quantidade de variação de massa nesta etapa foi de 12,4%. Já na etapa que compreende a quebra de cadeia de proteínas, verificam-se perdas de massa de 39,2, 43,9 e 45,5% para a G1⁺, G2⁺ e G3⁺ respectivamente. Para GC, a variação de perda de massa foi de 45,5%.

A quantidade de massa residual das gelatinas G1⁺, G2⁺, G3⁺ e GC, em temperaturas acima de 400 °C foi superior a 20%. A quantidade de massa residual de G3⁺ foi superior as demais, possivelmente pela elevada quantidade de resíduo mineral fixo. Os valores de massa residual encontrados em gelatinas comerciais reportados pelos autores Barreto Pires e Soldi (2003), Peña *et al.* (2010) e Silva *et al.* (2018), variaram entre 19 e 21,85%. As gelatinas comerciais passam por processos de purificação que contemplam filtros de alta performance e processos de deionização, reduzindo a quantidade de partículas

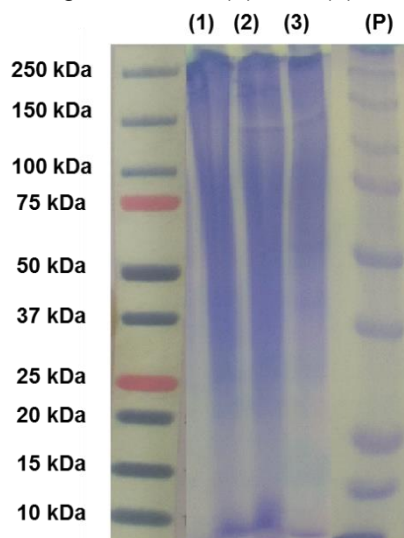
insolúveis e sais, provavelmente reduzindo a quantidade de resíduo remanescente desses compostos (GELITA, 2022).

Através da análise de DTG observa-se que a região onde a taxa de decomposição é máxima ocorre em 317 °C, 326 °C e 324 °C para G1⁺, G2⁺ e G3⁺, respectivamente. Para a gelatina GC, a temperatura onde ocorre a máxima degradação é a 305 °C Os valores obtidos quando verificada a temperatura de degradação de gelatina comercial estão de acordo com valores reportados por outros autores (Barreto, Pires e Soldi (2003), Peña *et al.* (2010), Liu *et al* (2013) e Silva *et al.* (2018)).

4.3.1.4 Perfil de peso molecular das gelatinas

Os perfis de peso molecular das gelatinas obtidas estão apresentados na Figura 18.

Figura 18 - Perfil de peso molecular das gelatinas G3⁺(1), G2⁺ (2), G1⁺ (3) e o padrão de massa molar (P)



Fonte: a autora (2023)

Através dos perfis de peso molecular obtidos, observa-se uma diferença entre G1⁺, G2⁺ e G3⁺. Essa diferença pode ser explicada devido os perfis de proteína da gelatina serem influenciados pelas condições de extração utilizadas (Abedinia *et al.*, 2017).

Observa-se, através do perfil de peso molecular das gelatinas, que a banda da G1⁺ é mais intensa próximo a região de 250 e 100 kDa e na região de 10 kDa tem menor intensidade de coloração comparada à G2⁺ e G3⁺. Essa variação pode ser explicada devido ao peso molecular da gelatina extraída ser afetado pelo processo de hidrólise utilizado, o

que contribui para a divisão das ligações peptídicas e também ligações intramoleculares entre cadeias de peptídeos (Sarbon, Baddi e Howell, 2013).

4.3.1.5 Análise de força de gel

Os valores de Bloom obtidos para as gelatinas obtidas G1⁺, G2⁺ e G3⁺ foram respectivamente 17,2; 9,7 e 6,8 g. O Bloom para gelatinas comerciais bovinas varia de 60 a 300 g (GELITA, 2022), enquanto o intervalo entre 200 e 250 é o mais favorável visto a ampla aplicação na indústria alimentícia de gelatinas nesta faixa de força de gel. De acordo com Abedinia *et al.* (2020), valores de Bloom para gelatinas obtidas a partir de resíduos de aves variam entre 120 a 831 g, porém valores menores podem ser encontrados na literatura, tais como para a gelatina de pele de pé de frango (75 g) e de gelatina obtidas de cabeça de frango (38,6 g) (EE *et al.* (2019); SOMPIE *et al.*, 2019).

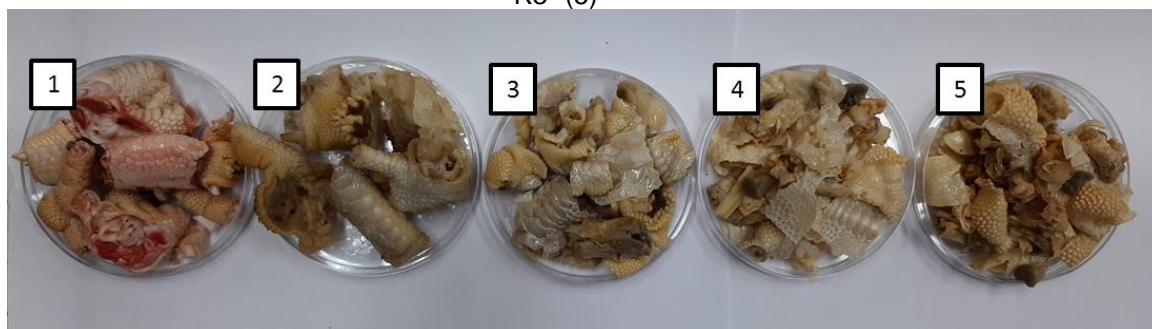
De acordo com Abedinia *et al.* (2020), as diferenças nos valores obtidos a partir dos resultados de força de Bloom dependem da temperatura e do tempo de extração, da força do tratamento químico utilizado na extração da textura da qual a gelatina é extraída, o que pode afetar a quantidade de aminoácidos do produto, sendo este o fator que mais influencia na força de Bloom. Estudos mostraram que a diferença mais importante na força de gel de diferentes gelatinas é a diversidade na quantidade de aminoácidos que são influenciados por sua quantidade de colágeno presente em diferentes espécies, bem como pelas condições de extração. Estas podem afetar a composição e distribuição dos aminoácidos hidrofóbicos (alanina, leucina, valina, prolina, isoleucina, metionanina e fenilalanina), que influenciam nas propriedades físicas da gelatina (MONTERO E GOMÉZ-GUILLÉN, 2000). Abedinia *et al.* (2020) afirmam que a aplicação de maiores tempos de extração afeta o grau de reticulação do colágeno, posteriormente tendo um efeito notável na capacidade de formação de gel.

Os valores de Bloom obtidos para as gelatinas G1⁺, G2⁺ e G3⁺ são menores do que de gelatinas comerciais e gelatinas a base de resíduos de aves.

4.3.2 Resíduos de pé de peru hidrolisados (torta)

Os materiais utilizados sofreram uma visível mudança de coloração durante as extrações de gelatina. O resíduo *in natura* possui a cor avermelhada devido ao sangue presente no resíduo, que foi obtido após o processo de abate. O resíduo após o pré-tratamento ácido apresenta a cor levemente amarelada. Os resíduos após a primeira e segunda extração apresentam coloração amarelada e o resíduo após a terceira extração apresentam uma coloração mais escura. Na Figura 19 são apresentados os resíduos *in natura*, os resíduos que sofreram pré-tratamento ácido, e os resíduos após a primeira, segunda e terceira hidrólise.

Figura 19 – Mudança de coloração nos resíduos utilizados nas hidrólises, RA (1), RB (2), R1+ (3), R2+ (4) e R3+ (5)



Fonte: a autora (2023)

Para os resíduos de pé de peru após a hidrólise, foram analisados os parâmetros de proteína total pelo método Kjeldahl, umidade e teor de cinzas e mensurada a massa média. A Tabela 16 apresenta os valores obtidos na caracterização das tortas de pé de peru.

Tabela 16 - Caracterização das tortas de pé de peru após as hidrólises

Resíduo	Massa (g)	Cinzas (% b.s.)	Umidade (%)	Proteína total (g/100g)	Redução de proteína (%)
RA	91,66 ± 12,94	13,25 ± 0,20	59,62 ± 1,81	24,49 ± 1,37	-
RB	103,73 ± 15,91	9,55 ± 0,77	62,38 ± 2,01	20,67 ± 1,92	15,59
R1+	64,50 ± 12,64	15,70 ± 2,07	60,03 ± 1,59	18,55 ± 0,50	10,25
R2+	47,79 ± 8,51	17,07 ± 3,87	59,97 ± 2,26	17,08 ± 0,97	7,92
R3+	46,77 ± 9,91	16,58 ± 3,25	59,95 ± 1,98	16,99 ± 2,16	0,52

Fonte: a autora (2023)

Os resíduos RA, tiveram um ganho médio de massa de 12,07 g, representando 13,16% de aumento de massa, possivelmente devido ao inchaço da matriz colagênica ocasionado pelo pré-tratamento ácido. Após a primeira e a segunda hidrólise, verifica-se uma significativa redução na massa média dos resíduos de respectivamente 39,23 e 16,71 gramas, representando uma redução de 37,82% e 25,90% na massa dos resíduos R1⁺ e R2⁺. Na terceira hidrólise não houve uma diferença significativa de perda de massa.

Referente ao teor de cinzas, verifica-se uma redução na quantidade de cinzas após o pré-tratamento ácido, possivelmente devido a desmineralização causada pelo ácido utilizado ficando na solução líquida que foi descartada. Após a primeira hidrólise verifica-se um incremento na quantidade de cinzas do resíduo, possivelmente devido a solubilização da proteína do resíduo após a primeira hidrólise e redução desta no material, com uma pequena variação para a segunda e terceira hidrólise.

Quanto à umidade, verifica-se um aumento de 14,02% de quantidade de água entre o resíduo RA e o resíduo RB. Essa diferença é ocasionada pelo inchaço da matriz colagênica ocasionado pelo pré-tratamento ácido aplicado nos resíduos. Quanto à umidade dos resíduos após as hidrólises, a água continua sendo o componente majoritário e se mantém em quantidade similar em R1⁺, R2⁺ e R3⁺.

Verifica-se uma redução de 15,59% na quantidade de proteína do resíduo RA comparado ao resíduo RB, possivelmente devido a solubilização da proteína na solução de ácido acético utilizada para o pré-tratamento. Referente à quantidade de proteína do resíduo RA e do resíduo R3⁺, verifica-se uma redução de 30,62%. As quantidades de conversões de proteína foram calculadas pela razão entre a diferença de concentração de proteína antes e após e a hidrólise e a quantidade proteína total antes da hidrólise. A partir da quantidade de proteína presente nos resíduos RB e nos resíduos R1⁺, R2⁺ e R3⁺, verifica-se que a conversão de proteína para as hidrólises sequenciais foi de 10,25 % para a primeira extração, de 7,92% e 0,52% para a segunda e terceira hidrólise, respectivamente. Quanto à quantidade de cinzas dos resíduos R1⁺, R2⁺ e R3⁺, verifica-se um aumento na quantidade comparada ao resíduo RB. Esse aumento acontece possivelmente devido à redução no teor de proteína presente nos resíduos após as extrações, aumentando a quantidade de cinzas dos materiais.

Nos trabalhos analisados referentes à extração de gelatina a partir de resíduos de aves, não foram encontradas análises quanto ao teor de proteína remanescente nos resíduos utilizados nas extrações, bem como a quantidade de proteína extraída nas hidrólises. Através dos resultados contidos na tabela 16, verifica-se que para R3⁺, a quantidade de proteína remanescente foi de 16,99 g/100 g. Quando observada somente a quantidade de proteína, verifica-se que a quantidade contida nestes resíduos é superior às de resíduos *in natura* de cabeças de peru, ossos, pele e cabeças de frango (resultados contidos na Tabela 3).

Se analisada somente a quantidade de proteína dos resíduos gerados em R3⁺, verifica-se que os resíduos podem ser submetidos a novas extrações de gelatina, porém estudos devem ser realizados para o sequenciamento de novas extrações. Também, deve ser verificada a quantidade de cinzas remanescente, visto que é superior a quantidade encontrada por autores que realizaram a extração de gelatina de resíduos de aves (comparado a Tabela 3, p. 21).

5 CONCLUSÕES

Os estudos de extração sequencial de gelatina a partir de resíduos de pé de peru por hidrólise ácida e a sua caracterização permitiram as conclusões que serão apresentadas a seguir.

Verificou-se que é possível realizar extrações sequenciais de gelatina, fazendo um único pré-tratamento químico, e aumentando a temperatura a cada extração. As condições de hidrólise que produziram gelatina com maior teor de proteína utilizando um pré-tratamento dos resíduos *in natura* com ácido acético 3 M foram: primeira extração tempo de 17 h, temperatura de 55 °C; segunda extração 14 h, temperatura de 65 °C; e terceira extração com 14 h e temperatura de 72 °C.

O método de extração sequencial de gelatina de resíduos de pé de peru apresentou um bom rendimento de extração, comparado a outros autores, de 15,14%. Quanto à composição centesimal, a gelatina obtida na primeira hidrólise foi a que teve maior quantidade de proteína e menor residual de mineral fixo. As três gelatinas obtidas possuem baixo teor de gordura e pH ácido.

Na análise de FTIR, as gelatinas obtidas de pé de peru comparadas com gelatina comercial bovina apresentaram espectros semelhantes entre si. Na análise termogravimétrica as três gelatinas apresentaram um mesmo comportamento de perfil de curva com variações no intervalo de perda de água e quantidade. As temperaturas máximas de degradação foram superiores a 300 °C. Quanto ao perfil de peso molecular verifica-se uma menor degradação na gelatina obtida na primeira extração.

Quanto à análise da força de gel, as gelatinas obtidas apresentaram um baixo valor de Bloom comparado a gelatinas comerciais e de gelatinas a base de outros resíduos de aves.

Os resíduos de pés de peru após as extrações sequenciais apresentaram uma redução de 30,62% na quantidade de proteína comparado aos resíduos *in natura*. Apesar da redução verifica-se uma elevada quantidade de proteína remanescente presente no material após as hidrólises, comparado a outros resíduos utilizados para a produção de gelatina de fontes alternativas de aves obtidos na literatura.

Este trabalho demonstrou que é possível produzir gelatinas de resíduos de pés de peru de maneira sequencial, sendo uma fonte alternativa às extraídas de mamíferos, e uma possibilidade quanto a problemas socioculturais de segurança alimentar e saúde humana, ocasionado pela utilização de gelatinas de fontes bovinas e suínas. Quanto aos resíduos utilizados, a produção de gelatina a partir de subprodutos de aves pode ser considerada uma boa opção para o aproveitamento destes, contribuindo com a sustentabilidade da cadeia produtiva da avicultura e gerando um novo produto de maior valor agregado.

Para trabalhos futuros sugere-se realizar análise do perfil de aminoácidos das gelatinas, verificando quais são os aminoácidos em maior quantidade e confirmar a relação direta entre a quantidade de aminoácidos hidrofóbicos e a força de gel, a fim de se definir quais aplicações podem ser feitas com o material obtido; verificar a viabilidade econômica do processo produtivo de gelatina a partir de resíduos de pés de peru; e testar novas condições de extração de gelatina para remoção da proteína remanescente dos resíduos gerados na última hidrólise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEDINIA, A. *et al.* Extraction and characterization of gelatin from the feet of Pekin duck (*Anas platyrhynchos domestica*) as affected by acid, alkaline, and enzyme pretreatment. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 98, p. 586-594, 2017.

ABEDINIA, A. *et al.* Poultry gelatin: Characteristics, developments, challenges, and future outlooks as a sustainable alternative for mammalian gelatin. **Trends in Food Science & Technology**, v. 104, p. 14-26, 2020.

ABEDINIA, A. *et al.* Preparation and characterization of a novel biocomposite based on duck feet gelatin as alternative to bovine gelatin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 855-862, 2018.

AHMED, M.A. *et al.* Extraction and characterization of gelatin from camel skin (potential halal gelatin) and production of gelatin nanoparticles. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 27, p. 1596-1601, 2020.

ALIAS, S.A.; SARBON, N.M. Rheological, physical, and mechanical properties of chicken skin gelatin films incorporated with potato starch. **Npj Science of Food**, v. 3, p. 1-9, 2019.

ALMEIDA, P.F. **Aplicação de gelatina obtida de subproduto animal como substituto parcial de gordura em spread de chocolate**. 2016. 238f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: < https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9133/tde-04052016-105826/publico/Poliana_Fernandes_de_Almeida_corrigida.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2022.

ALMEIDA, P.F. **Análise da qualidade de gelatina obtida de tarsos de frango e aspectos envolvidos no processo produtivo**. 2012. 121F. Mestrado (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2012. Disponível em: < <https://bibliotecatede.uninove.br/handle/tede/168>>. Acesso em: 05 abr. 2022.

ALMEIDA, P.F., *et al.* FTIR characterization of gelatin from chicken feet, *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, v. 6, p. 1029-1032, 2012.

AL-HASSAN, A.A. Gelatin from camel skins: Extraction and characterizations. **Food Hydrocolloids**, v. 101, 2020.

AMARAL, L. A. **Alternativas para o tratamento de resíduos de couro curtido ao cromo: hidrólise enzimática e ação bacteriana**. 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/21255>>. Acesso em: 03 mar. 2022.

ARAUJO, I. B.S. *et al.* Quality of low-fat chicken sausages with added chicken feet collagen. **Poultry Science**, v. 98, p. 1064-1074, 2019.

ARRONDO, J.L. *et al.* Quantitative studies of the structure of proteins in solution by Fourier-transform infrared spectroscopy. **Progress in Biophysics & Molecular Biology**, p. 23-56, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES (ABIEC). **Beef Report Perfil da Pecuária no Brasil 2021**. Disponível em: <<https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2021/>>. Acesso em 01 nov. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). **Relatório anual ABPA 2021**. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2021/04/ABPA_Relatorio_Anual_2021_web.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECICLAGEM ANIMAL (ABRA). **Anuário ABRA Setor de Reciclagem Animal 2020**. Disponível em: <<https://abra.ind.br/publicacoes/>>. Acesso em: 9 nov. 2021.

_____. **I Diagnóstico da Indústria Brasileira de Reciclagem Animal**. Disponível em: <<https://abra.ind.br/publicacoes/>>. Acesso em: 9 nov. 2021.

BADII, F.; HOWELL, N.K. Fish gelatin: Structure, gelling properties and interaction with egg albumen proteins, **Food Hydrocolloids**, v. 20, p. 630-640, 2006.

BARRETO, P.L.M.; PIRES, A.T.N.; SOLDI, V. Thermal degradation of edible films based on milk proteins and gelatin in inert atmosphere. **Polymer Degradation and Stability**, v. 79, p. 147-152, 2003.

BENJAKUL, S; KITTIPHATTANABAWON, P. Gelatin. **Reference Module in Food**, p.7, 2018.

BICHUKALE, A. Functional properties of gelatin extracted from poultry skin and bone waste. **International Journal of Pure & Applied Bioscience**, v. 6, p. 87-101, 2018.

BLANCO, M. *et al.* Towards sustainable and eficiente use of fichery resources: presente and future trends. **Trends in Food Science & Technology**, v. 18, p. 29-36, 2007.

BRASIL. Lei nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. In: SENADO FEDERAL. **Legislação Republicana Brasileira**. DF, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 9 nov. 2021.

BRASIL. **Portaria SDA nº 384, de 25 de agosto de 2021**. Aprova os Regulamentos Técnicos que fixam os padrões de identidade e qualidade para gelatina, gelatina hidrolisada e colágeno comestíveis. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, DF, 2021. Disponível em: <<https://portal.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-384-de-25-de-agosto-de-2021-341025382>>. Acesso em: 9 nov. 2021.

CHAKKA, A.K. *et al.* Poultry processing waste as an alternative source for mammalian gelatin: Extraction and characterization of gelatin from chicken feet using food grade acids. **Waste and Biomass Valorization**, v. 8, p. 2583-2593, 2017.

CHOE, J.; KIM, H. Effects of chicken feet gelatin extracted at diferente temperatures and wheat fiber with different particle sizes on the physicochemical properties of gels. **Poultry Science**, v. 97, p. 1082-1088, 2018.

DAMRONSAKKUL, S. *et al.* Enzymatic hydrolysis of rawhide using papain and neutrase. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 14, p. 202-206, 2008.

DU, L.; *et al.* Physicochemical and functional properties of gelatins extracted from turkey and chicken heads. **Poultry Science**, v. 92, p. 2463-2474, 2013.

DU, L.; *et al.* Preparation and characterization of gelatin from collagen biomass obtained through a pH-shifting process of mechanically separated turkey meat. **Poultry Science**, v. 93, p. 989-1000, 2014.

EE, S. *et al.* Properties of chicken head gelatins as affected by extraction method. **International Food Research Journal**, v. 26, 2019.

FERREIRA, A. *et al.* Brazilian poultry activity waste: Destinations and energetic potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 3081-3089, 2018.

FONKWE, L.G., SINGH, R.K. Singh. Production and characterization of gelatinous protein extracts from Turkey deboner residue. **Process Biochemistry**, v. 32, p. 309-318, 1997.

FOOD INGREDIENTS BRASIL (FIB). Gelatina um agente gelificante único e natural. **Food Ingredients Brasil**, v. 27, p. 43-47, 2013. Disponível em: <https://revista-fi.com/upload_arquivos/201606/2016060031938001467051128.pdf>. Acesso em 20 ago. 2023.

GELITA. Visão geral conhecimento. Disponível em: <<https://www.gelita.com/pt-pt>>. Acesso em 05 abr. 2022.

GRAND VIEW RESEARCH (GVW), 2020. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/>>. Acesso em 05 abr. 2022.

GÓMEZ-GUILLÉN, M.C. *et al.* Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. **Food Science and Technology**, [S.l.], v. 25, p. 1813-1827, 2011.

HAUG, I.J.; DRAGET, K.I.; SMIDRROD, O. Physical and rheological properties of fish gelatin compared to mammalian gelatin. **Food Hydrocolloids**, v.18, p. 203-213, 2004.

KARNAJANAPRATUM, S., BENJAKUL, S. Asian bullfrog (*Rana tigerina*) skin gelatin extracted by ultrasound-assisted process: Characteristics and in-vitro cytotoxicity. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 148, p. 391-400, 2020.

HUANG, T. *et al.* Glycosylated fish gelatin emulsion: Rheological, tribological properties and its application as model coffee creamers. **Food Hydrocolloids**, v. 102, 2020.

ISO. 9665: Adhesives Animal glues - Methods of sampling and testing: 1998.

JAMILAH, B.; HARVINDER, K. Properties of gelatins from skins of fish—black tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and red tilapia (*Oreochromis nilotica*). **Food Chemistry**, v. 77, p. 81-84, 2002.

JAYATHILAKAN, K. *et al.* Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. **Journal of Food Science and Technology**, p. 278-293, 2012.

JIN, W.G. *et al.* Characterization and functional properties of gelatina extracted from Chinese Giant Salamander (*Andrias Davidianus*) Skin. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 28, p. 861-876, 2019.

JOHNSTON-BANKS, F. A. Gelatin: Food gels. **Food Science Series**, p. 233-289, 1990.

- KARAYANNAKIDIS, P.D.; ZOTOS, A. Fish Processing By-products as a Potential Source of Gelatin: A Review. **Journal of aquatic food product technology**, v. 25, p. 65-92, 2016.
- KARIM, A.; BHAT, R. Fish gelatin: Properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. **Food Hydrocolloids**, v. 23, p. 563-576, 2009.
- LIN, L.; *et al.* An overview of gelatin derived from aquatic animals: Properties and modification. **Trends in Food Science & Technology**, v. 68, p. 102-112, 2017.
- LIU, J.; *et al.* Study on the grafting of chitosan–gelatina microcapsules onto cotton fabrics and its antibacterial effect. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 109, p. 103-108, 2013.
- LIU, D.; *et al.* Collagen and gelatin. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 6, p. 527-557, 2015.
- LOO, C.P.Y.; SARBON, N.M. Chicken skin gelatin films with tapioca starch. **Food Bioscience**, v. 35, 2020.
- LOWRY, O. H.; ROSEBROUGH, N. J.; A.L. FARR, a. R. J. R. Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent. **Journal of Biological Chemistry**, 193, p. 265-275, 1951.
- MARIOD, A.A., Adam H.F. Review: gelatin, source, extraction and industrial applications. **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 12(2), p. 135-147, 2013.
- MATOS, E. F.; SCOPEL, B.; DETTMER, A. Citronella essential oil microencapsulation by complex coacervation with leather waste gelatin and sodium alginate. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, p. 1989-1994, 2018.
- MATTOS, R. I. **Estudo de condutores protônicos a base de macromoléculas naturais**. 2011. 183f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Carlos, São Carlos, 2011.
- MEKY, N. *et al.* Biological hydrogen gas production from gelatinaceous wastewater via stand-alone circular dark/photo baffled fermenter. **Energy Procedia**, v. 157, p. 670-675, 2019.
- MONTERO, P.; GÓMEZ-GUILLÉN, M.C. Extracting conditions for megrim (*Iepidorhombus boschii*) skin collagen affect functional properties of the resulting gelatina. **Journal of Food Science**, v. 65, p. 434-438, 2000.
- MUYONGA, J.H; COLE, C.G.B, DUODU, K.G. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopic study of acid soluble collagen and gelatin from skins and bones of young and adult Nile perch (*Lates niloticus*). **Food Chemistry**, v. 86, p. 325-332, 2004.
- PARK, J.H. *et al.* Effects of various extraction methods on quality characteristics of duck feet gelatina. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, v. 33, p. 162-169, 2013.
- PEÑA, C. *et al.* Enhancing water repellence and mechanical properties of gelatin films by tannin addition. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 6836-6842, 2010.

RAFIEIAN, F., KERAMAT, J., SHAHEDI, M. Physicochemical properties of gelatin extracted from chicken deboner residue. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie- Food Science and Technology**, v. 64, p. 1370-1375, 2015.

RAMMAYA, K.; YING, V.Q.; BABJI, A.S. Physicochemical analysis of gelatin extracted from mechanically deboned chicken meat (MDCM) residue. **Health**, v. 5, p. 3, 2012.

RATHER, J.A. *et al.* Recovery of gelatin from poultry waste: Characteristics of the gelatin and lotus starch-based coating material and its application in shelf-life enhancement of fresh cherry tomato. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 31, 2022.

RIGUETO, C.V.T. *et al.* Adsorption of diclofenac sodium by composite beads prepared from tannery wastes-derived gelatin and carbon nanotubes. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, 2021,

SARBON, N.M.; BADI, F.; HOWELL, N.K. Preparation and characterization of chicken skin gelatin as an alternative to mammalian gelatin. **Food Hydrocolloids**, v. 30, p. 143-151, 2013.

SARBON, N.M.; BADI, F.; HOWELL, N.K. Purification and characterization of antioxidative peptides derived from chicken skin gelatin hydrolysate. **Food Hydrocolloids**, v. 85, p. 311-320, 2018.

SCHRIEBER, R., GAREIS, H. **Gelatin handbook. Theory and industrial practice.** 2007.

SCHOTT, A. Functions of gelatin in food applications. *Cereal Food World*, v.46, p. 414-416, 2001.

SCOPEL, B.S. **Gelatina extraída de resíduo de couro curtido ao cromo por meio de hidrólise alcalina assistida por explosão a vapor e sua aplicação em filmes poliméricos aplicados na agroindústria.** 2020. 211 F. Doutorado (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/212955>>. Acesso em: 05 abr. 2022.

SCOPEL, B.S. **Obtenção e caracterização de filmes poliméricos a partir de amido de milho e gelatina recuperada de resíduos de couro curtido ao cromo (III).** 2016. 109 F. Mestrado (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologias) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/1173?locale-attribute=es>>. Acesso em: 20 ago. 2022.

SILVA, N.M.C.; *et al.* Starch–recycled gelatin composite films produced by extrusion: Physical and mechanical properties. **Journal of Applied Polymer Science**, 2018.

SMITH, C.R. **Osmosis and swelling of gelatin.** *Journal of the American Chemical Society*, p. 1350-1366, 1921.

SOMPIE, M. *et al.* Effect of different types of acid solvent on functional and microbiological properties of chicken leg skin gelatin, **IOP conference series: Earth and environmental science**, v. 387, 2019.

SOO, P.Y.; SARBON, N.M. Preparation and characterization of edible chicken skin gelatin film incorporated with rice flour. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 15, p. 1-8, 2018.

TAVAKOLIPOUR, H. Extraction and Evaluation of Gelatin from Silver Carp Waste. **World Journal of Fish and Marine Sciences**, v. 3, p. 10-15, 2011.

TUMERKAN, E.T.A, *et al.* Physiochemical and functional properties of gelatin obtained from tuna, frog and chicken skins. **Food Chemistry**, v. 287, p. 273-279, 2019.

UDDIN, S.M.K. *et al.* Halal and Kosher gelatin: Applications as well as detection approaches with challenges and prospects. **Food Bioscience**, v. 44, 2021.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **USDA Agricultural Projections to 2029**. 2020. Disponível em: <<https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=95911>>. Acesso em: 15 maio 2021.

WIDYASARI, R., RAWDKUEN, S. Extraction and characterization of gelatin from chicken feet by acid and ultrasound assisted extraction. **Food and Applied Bioscience Journal**, v. 2, p. 85-97, 2014.

YU, L.J., BROOKS, M.S.-L. Chapter 7 - Food Industry Protein By-Products and Their Applications. **Protein Byproducts**, p. 120-132, 2016.

ZHANG, X. *et al.* Physico-mechanical and antioxidant properties of gelatin film from rabbit skin incorporated with rosemary acid. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 19, p. 121-130, 2019.