

Métodos de extração e aplicações biotecnológicas de colágeno de resíduos de peixes: uma revisão sistemática da literatura

Extraction methods and biotechnological applications of collagen from fish waste: a systematic literature review

Franscristhiany Silva Souza¹, Arthur Saminez Franco¹, Luana Falcão Gonçalves², Pâmela Danielle Cavalcante Barreto³, Priscila Bernardes Silva¹, Mikele Cândida Sousa de Sant'Anna¹, Hilton Costa Louzeiro¹

¹ Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís/MA, Brasil

² Departamento de Farmácia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão/SE, Brasil

³ Coordenação do Curso de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Maranhão, Pinheiro/MA, Brasil

Contato: hilton.louzeiro@ufma.br

Keyword

colágeno
resíduos de peixes
extração
biotecnologia
saúde pública

RESUMO

A indústria pesqueira gera grandes volumes de resíduos que podem ser aproveitados como fonte valiosa de colágeno, proteína estrutural de ampla relevância para a saúde e a biotecnologia. Este estudo teve como objetivo revisar sistematicamente os métodos de extração e as aplicações do colágeno obtido de resíduos de peixes, considerando artigos publicados entre 2020 e 2024. A pesquisa, conduzida segundo o protocolo PRISMA nas bases PubMed, Embase, Scopus e Web of Science, utilizou os descritores MeSH "fish" e "collagen". Foram incluídos apenas estudos originais que abordassem métodos de extração e aplicação do colágeno de peixes, excluindo trabalhos sobre gelatina ou espécies não marinhas. Dos 1649 artigos identificados, 19 atenderam aos critérios de elegibilidade. Os resultados mostraram que os métodos mais empregados foram os ácidos e enzimáticos, isolados ou combinados com ultrassom, com destaque para a obtenção de colágeno tipo I, majoritariamente da pele. O colágeno marinho demonstrou grande potencial de uso nas indústrias cosmética, farmacêutica, alimentícia e biomédica, com vantagens em relação ao colágeno bovino ou suíno, como alta biocompatibilidade, menor risco de transmissão de doenças e maior aceitação religiosa e cultural. Assim, o aproveitamento de resíduos da indústria pesqueira para extração de colágeno configura alternativa sustentável e promissora, sendo que a integração de técnicas tradicionais com abordagens inovadoras otimiza rendimento e pureza do bioproduto, ampliando suas aplicações em diferentes áreas da saúde.

Palavras-Chave

collagen
fish waste
extraction
biotechnology
public health

ABSTRACT

The fishing industry generates large volumes of waste that can be used as a valuable source of collagen, a structural protein of broad relevance for health and biotechnology. This study aimed to systematically review the extraction methods and applications of collagen obtained from fish waste, considering articles published between 2020 and 2024. The research, conducted according to the PRISMA protocol in PubMed, Embase, Scopus, and Web of Science databases, used the MeSH descriptors "fish" and "collagen." Only original studies addressing methods of extracting and applying collagen from fish were included, excluding studies on gelatin or non-marine species. Of the 1,649 articles identified, 19 met the eligibility criteria. The results showed that the most commonly used methods were acid and enzymatic, either alone or combined with ultrasound, with emphasis on obtaining type I collagen, primarily from skin. Marine collagen has demonstrated significant potential for use in the cosmetic, pharmaceutical, food, and biomedical industries, offering advantages over bovine or porcine collagen, such as high biocompatibility, a lower risk of disease transmission, and greater religious and cultural acceptance. Thus, the use of fishing waste for collagen extraction represents a sustainable and promising alternative. The integration of traditional techniques with innovative approaches optimizes the yield and purity of the bioproduct, expanding its applications in various healthcare fields.

Informações do artigo

Recebido: 10 de setembro, 2025

Aceito: 27 de novembro, 2025

Publicado: 30 de dezembro, 2025

Introdução

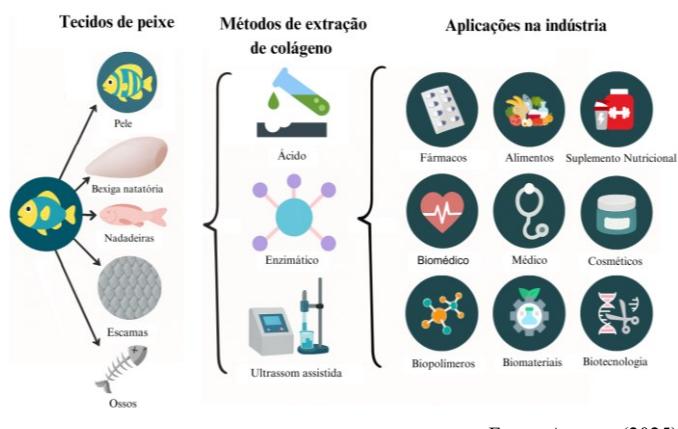
A indústria de processamento de pescado tem gerado quantidades significativas de resíduos, tais como cabeça, cauda, escamas, barbatanas, bexiga natatória, cartilagens, vísceras e pele, que representam mais de 40% do peso total do pescado (NURILMALA *et al.*, 2021). Com isso, o colágeno obtido de peixe é uma fonte sustentável, pois pode ser extraído a partir dos resíduos da indústria pesqueira, contribuindo para a redução do desperdício e impacto ambiental (RAJABIMASHHADI *et al.*, 2023).

O colágeno é uma proteína estrutural fibrosa de vital importância, essencial para o organismo, encontrando-se predominantemente na matriz extracelular e no tecido conjuntivo. Ele desempenha um papel importante na manutenção da integridade e funcionalidade de diversos tecidos, incluindo ossos, tendões, pele, cabelos, unhas, cartilagens e articulações (JAFARI *et al.*, 2020; CRUZ *et al.*, 2021).

Nos últimos anos, o colágeno extraído de resíduos de peixe tem despertado grande interesse entre pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento. Esse colágeno apresenta-se como um biomaterial cada vez mais valioso, devido às suas melhores propriedades físico-químicas, estabilidade e resistência mecânica, além de biocompatibilidade e biodegradabilidade (GAIKWAD *et al.*, 2024).

A extração do colágeno de peixes utilizando subprodutos, como peles, escamas, ossos e bexiga natatória tem se destacado como uma área promissora de pesquisa devido ao alto teor de colágeno presentes nesses resíduos, além de suas possíveis aplicações nas indústrias farmacêuticas, cosméticas e de alimentos (Figura 1). Diversos métodos de extração têm sido explorados para otimizar o rendimento e a qualidade do colágeno, incluindo os métodos ácidos (ASC), enzimáticos (ESC), por ultrassom (UAE), como ilustrado na Figura 1, com fluido supercrítico (SFE) e o uso de solvente eutético (DES). Estes métodos geralmente envolvem a otimização dos parâmetros como tempo, temperatura e concentração de solvente, visando maximizar o rendimento e a pureza do colágeno obtido a partir dos tecidos de peixe (JAFARI *et al.*, 2020; CRUZ *et al.*, 2021; SUBHAN *et al.*, 2021; GAIKWAD *et al.*, 2024).

Figura 1. Ilustração com fontes, técnicas de extração e aplicações industriais do colágeno de origem marinha



Estudos recentes indicam que o colágeno de peixe, normalmente o colágeno tipo I, é uma alternativa promissora ao colágeno derivado de mamíferos para uso nas indústrias. Este tipo de colágeno apresenta alta compatibilidade biológica, excelente capacidade de adsorção e segurança, além de propriedades antimicrobianas que promovem a cicatrização de feridas e possui uma estrutura de fibrila, tornando-o adequado para diversas aplicações em saúde e biotecnologia (AL-NIMRY *et al.*, 2021; GEAHCHAN *et al.*, 2022).

No entanto, a extração de colágeno de peixe ainda enfrenta desafios significativos relacionados ao processamento, caracterização e inserção no mercado. Assim, há necessidade de pesquisas adicionais para aprimorar a eficiência dos métodos de extração, melhorar a qualidade do produto final e aumentar a competitividade da indústria de colágeno de peixe. Diante desse cenário, o objetivo deste estudo foi conduzir uma revisão sistemática para avaliar os métodos de extração e as aplicações biotecnológicas do colágeno obtido a partir de resíduos de peixe, considerando os trabalhos publicados entre janeiro de 2020 e junho de 2024.

Material e métodos

Esta revisão sistemática foi conduzida em conformidade com as recomendações do Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA) (Moher *et al.*, 2009), de modo a garantir padronização e rigor metodológico em todas as etapas. A busca foi realizada no mês de junho de 2024, sem restrição de idioma ou região, abrangendo estudos publicados entre janeiro de 2020 e abril de 2024. Para tanto, foram utilizadas as bases de dados PubMed, Web of Science, Embase e Scopus. A formulação da estratégia de busca foi baseada em descritores controlados do Medical Subject Headings (MeSH), aplicados aos campos de título e resumo, empregando-se os termos “collagen”, “fishes” e “extraction” em diferentes combinações com operadores booleanos, a fim de assegurar a recuperação do maior número possível de estudos relevantes.

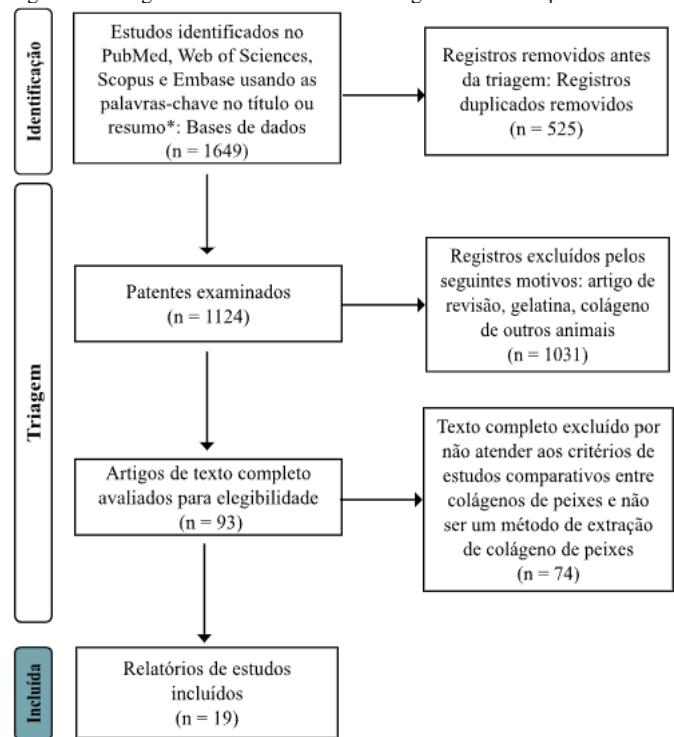
O processo de seleção foi realizado de forma independente por dois revisores (LG e AS), que analisaram títulos e resumos dos artigos identificados, identificando aqueles que atendiam aos critérios de inclusão e exclusão, enquanto um terceiro revisor (FS) verificou a precisão dos dados e atuou como mediador em caso de divergências. Para otimizar a triagem e aumentar a confiabilidade da análise, foi utilizado o aplicativo Rayyan, ferramenta frequentemente aplicada em revisões sistemáticas. A leitura completa dos textos permitiu a aplicação rigorosa dos critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos. Foram considerados elegíveis apenas os artigos originais que descrevessem métodos de extração e aplicações de colágeno de peixes de origem marinha, publicados no período de 2020 a abril de 2024 e disponíveis em sua versão integral, independentemente do idioma. Foram excluídos artigos duplicados, revisões, metanálises, capítulos de livros, anais de congresso, editoriais, cartas, relatos de caso e patentes, bem como estudos que envolvessem exclusivamente gelatina ou peptídeos derivados, pesquisas que não detalhassem os métodos de extração e aqueles que abordassem colágeno de espécies não marinhas ou comparações diretas com colágeno de origem bovina ou suína.

Após a aplicação dos critérios, os estudos selecionados foram analisados integralmente e os dados extraídos de maneira padronizada. As informações coletadas contemplaram a espécie de peixe utilizada, o tecido de origem do colágeno, o tipo de colágeno identificado, os métodos de extração empregados, as condições experimentais descritas e os percentuais de rendimento obtidos. Os dados extraídos foram organizados em planilhas, agrupados segundo categorias temáticas e posteriormente sistematizados de forma a possibilitar a análise comparativa entre os diferentes métodos empregados e suas respectivas aplicações.

Resultados e discussão

A estratégia de busca utilizada nesta revisão sistemática identificou 1649 artigos publicados entre 2020 e junho de 2024 nas bases PubMed (n=12), Web of Science (n=7), Embase (n=531) e Scopus (n=1099). Após a remoção de 525 duplicatas, restaram 1124 artigos, dos quais 1031 foram excluídos por não descreverem métodos de extração de colágeno de peixe. Também foram desconsiderados artigos de revisão, metanálises, capítulos de livro, anais de congresso, editoriais, cartas, relatos de caso e patentes. Na leitura completa, outros 74 artigos foram excluídos por tratarem de colágeno de espécies não marinhas ou de comparações com espécies não marinhas. Assim, 19 estudos foram incluídos e analisados (Figura 2).

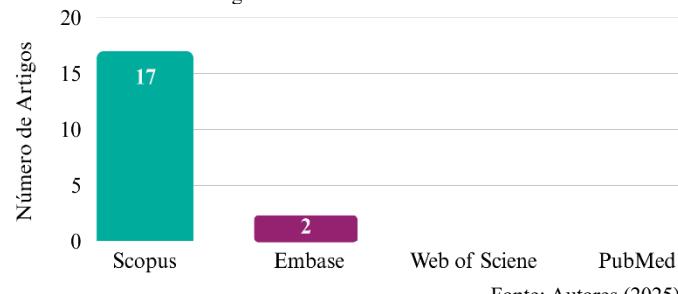
Figura 2. Fluxograma da revisão sistemática segundo a declaração PRISMA.



Os dados evidenciam que a Scopus e a Embase se destacaram como as bases de maior representatividade, totalizando 17 e 2 artigos, respectivamente, em comparação ao menor número de artigos recuperados no PubMed e na Web of Science, como indicado no Gráfico 1. Essa predominância pode ser atribuída ao escopo multidisciplinar da Scopus e à ênfase biomédica e farmacológica da Embase,

que incluem literatura cinzenta e artigos em idiomas não ingleses, aumentando a abrangência dos estudos recuperados (PAEZ, 2017; BIAN *et al.*, 2017; THELWALL, 2018; MASSARRAT, 2019).

Gráfico 1. Número de artigos incluídos nas bases de dados



Ademais os 19 estudos incluídos nesta revisão sistemática foram apresentados de forma resumida na Tabela 1, onde estão organizados de acordo com algumas informações relevantes, incluindo a referência, o ano de publicação, a espécie de peixe, a fonte de colágeno, o tipo de colágeno, além do rendimento, métodos e condições de extração do colágeno.

Vale ressaltar que as bases de dados Scopus e Embase se distinguem por seu amplo escopo multidisciplinar e ênfase especializada na literatura biomédica e farmacológica, respectivamente, proporcionando assim uma vantagem significativa na identificação de estudos pertinentes dentro desses domínios específicos. Além disso, ambas as bases de dados incluem “literatura cinzenta” e artigos em idiomas não ingleses, o que aumenta a probabilidade de encontrar estudos relevantes (PAEZ, 2017). Em contrapartida, Pubmed e Web of Science têm um foco mais restrito, o que pode limitar a diversidade dos artigos recuperados, tornando Scopus e Embase mais eficazes na identificação de artigos pertinentes (BIAN *et al.*, 2017; THELWALL, 2018; MASSARRAT, 2019).

Aplicações do colágeno de peixe

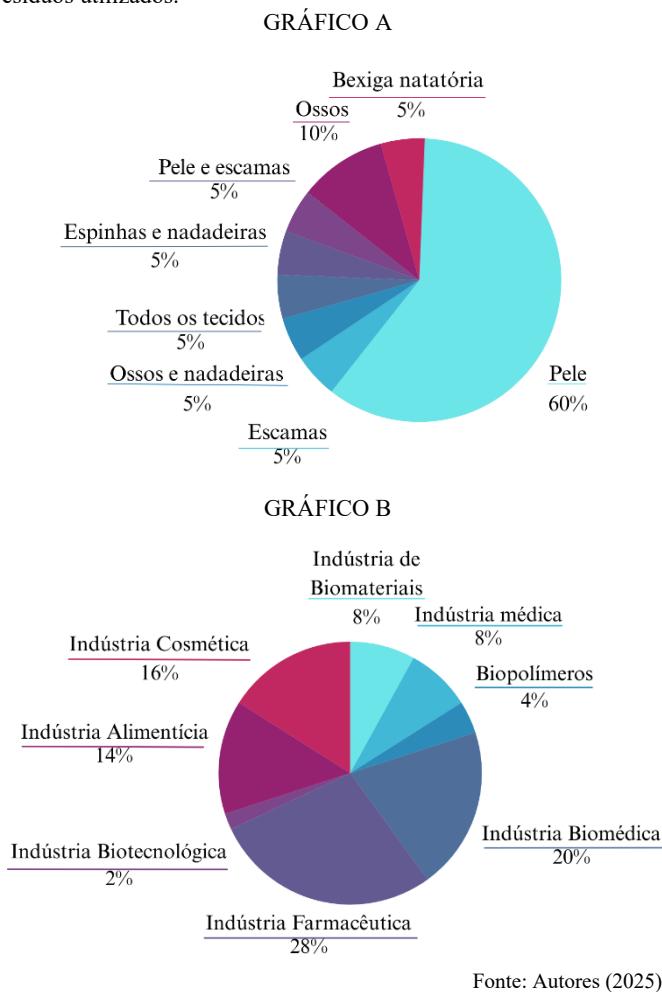
A análise dos estudos demonstrou a ampla aplicabilidade do colágeno marinho nas indústrias cosmética, alimentícia, farmacêutica e biomédica (JAFARI *et al.*, 2020). A Figura 3, a seguir, apresenta a distribuição de estudos envolvendo a aplicação de colágeno marinho dentro do âmbito industrial (Gráfico A) e percentual de estudos estudos conforme resíduos utilizados (Gráfico B).

Na indústria cosmética, Jaziri *et al.* (2023) mostraram que o colágeno tipo I da pele do peixe *Saurida tumbil* melhora a textura e hidratação da pele, sendo utilizado em cremes anti-envelhecimento e máscaras faciais. No setor alimentício, Razali *et al.* (2023) relataram que o colágeno do *Lates calcarifer*, extraído por métodos de ultrassom e ácido, contribui para estabilidade e consistência de bebidas e suplementos proteicos.

Na indústria farmacêutica, Jaziri *et al.* (2022) documentaram o uso do colágeno dos ossos do peixe lagarto em cápsulas, comprimidos e biomateriais para reparação tecidual, enquanto Lino-Sánchez *et al.* (2023) evidenciaram o potencial do colágeno hidrolisado das escamas do peixe Biajaiba em suplementos nutricionais, associado à melhora da elasticidade da pele e fortalecimento de cabelos e unhas.

Esses achados confirmam a relevância científica e tecnológica do colágeno de peixe, conforme destacado em revisões anteriores (JAFARI *et al.*, 2020; CRUZ *et al.*, 2021; GAIKWAD *et al.*, 2024).

Figura 3. Gráfico A – Distribuição dos estudos segundo a aplicação do colágeno de peixe. Gráfico B – Percentual de estudos conforme resíduos utilizados.



Fontes de colágeno de peixe

O colágeno é amplamente utilizado em biomateriais, alimentos e aplicações farmacêuticas (JAFARI *et al.*, 2020). Historicamente, sua extração concentrou-se em fontes bovinas, devido à disponibilidade e biocompatibilidade (RAJABIMASHHADI *et al.*, 2023; SALVATORE *et al.*, 2020). No entanto, preocupações com agentes patogênicos, reações alérgicas e barreiras éticas e religiosas relacionadas ao colágeno bovino têm impulsionado a busca por alternativas mais seguras e sustentáveis, como o colágeno de origem marinha (CRUZ *et al.*, 2021; GAIKWAD *et al.*, 2024). Nesse cenário, o colágeno tipo I de peixes destaca-se como promissor, não apenas por sua menor probabilidade de transmissão de doenças, mas também pela elevada compatibilidade biológica e estrutura fibrilar favorável, o que o torna adequado para aplicações em saúde e biotecnologia (AL-NIMRY *et al.*, 2021; GEAHCHAN *et al.*, 2022; MARTINEZ *et al.*, 2023).

Nesta revisão sistemática, o colágeno tipo I foi identificado em todas as fontes e espécies avaliadas (Tabela 1). A Figura 3 – Gráfico 2 – apresenta a distribuição

percentual dos estudos segundo os resíduos utilizados: pele, ossos, escamas, espinhas, barbatanas e bexiga natatória. Entre esses tecidos, a pele foi a principal fonte utilizada, presente em 60% dos estudos analisados (RUI ZHOU *et al.*, 2020; SOUSA *et al.*, 2020; SUKERI *et al.*, 2021; NURJANAH *et al.*, 2021; PETCHARAT *et al.*, 2021; GALLO *et al.*, 2022; ZHANG *et al.*, 2022; JAZIRI *et al.*, 2023; CARPIO *et al.*, 2023; AMPITIYA *et al.*, 2023; ANBUSELVAN *et al.*, 2024). Essa preferência pode ser atribuída à maior concentração de colágeno nesse tecido, além da facilidade de extração e purificação e da sua ampla disponibilidade, principalmente nas indústrias de processamento de pescado. Adicionalmente, o colágeno de pele de peixe apresenta menor teor de aminoácidos como prolina e hidroxiprolina, o que reduz sua estabilidade térmica — característica que facilita o manuseio em formulações biológicas (CRUZ *et al.*, 2021).

Outras fontes também foram exploradas, embora em menor frequência. Ossos representaram 10% dos estudos (JAZIRI *et al.*, 2022; HASANUDDIN *et al.*, 2024), enquanto escamas, barbatanas, nadadeiras e bexiga natatória foram utilizados em 5% dos artigos cada (LINO-SÁNCHEZ *et al.*, 2023; HASANUDDIN *et al.*, 2024; UTAMI *et al.*, 2024). A subutilização de resíduos como barbatanas e bexiga natatória pode estar relacionada à menor disponibilidade desses tecidos ou à maior complexidade envolvida na extração e análise de colágeno. Apenas um estudo foi encontrado para cada um desses tecidos, apontando uma lacuna na literatura (HASANUDDIN *et al.*, 2024; UTAMI *et al.*, 2024). No entanto, avanços nas técnicas de extração podem tornar esses resíduos fontes viáveis e valiosas para produção sustentável de colágeno tipo I (AHMED; VERMA, 2020; JAFARI *et al.*, 2020; CRUZ *et al.*, 2021;).

Métodos de extração e rendimento

Diversos métodos de extração são aplicados ao colágeno de peixes, cada um com vantagens específicas em termos de pureza, rendimento e viabilidade industrial. Entre os métodos mais comuns estão a extração ácida (ASC), enzimática (ESC), assistida por ultrassom (UAE), além das técnicas emergentes como extração com fluido supercrítico (SFE) e solventes eutéticos profundos (DES) (GAIKWAD *et al.*, 2024).

A ASC, geralmente realizada com ácido acético entre 0,5 M e 1 M, é amplamente empregada por sua eficácia na solubilização do colágeno. Produz um colágeno de qualidade elevada, com aplicações reconhecidas nas áreas alimentícia e biomédica (CRUZ *et al.*, 2021). A ESC, por sua vez, utiliza enzimas como pepsina para remover proteínas não colágenas, promovendo maior pureza e melhor aplicabilidade em cosméticos e fármacos (GAIKWAD *et al.*, 2024).

As técnicas mais recentes, como UAE, potencializam as anteriores ao empregar ondas ultrassônicas que rompem estruturas celulares e facilitam a liberação de colágeno. Embora métodos como SFE e DES ainda não tenham sido encontrados nos estudos desta revisão, são descritos na literatura como promissores para processos limpos e eficientes (CRUZ *et al.*, 2021; ZHANG *et al.*, 2022; GAIKWAD *et al.*, 2024).

A Tabela 1 detalha os métodos utilizados e os respectivos rendimentos. O método ácido foi o mais frequente, sendo usado isoladamente (SOUSA *et al.*, 2020; SUKERI *et al.*, 2021; JAZIRI *et al.*, 2022; GALLO *et al.*,

2022; CARPIO *et al.*, 2023; AMPITIYA *et al.*, 2023; NURJANAH *et al.*, 2021; ZHANG *et al.*, 2022; GE *et al.*, IBRAHIM *et al.*, 2023; FATIROI *et al.*, 2023; 2022JAZIRI *et al.*, 2023; LINO-SÁNCHEZ *et al.*, 2023; ANBUSELVAR *et al.*, 2024; HASANUDDIN *et al.*, 2024;) UTAMI *et al.*, 2024). ou em combinação com a pepsina (RUI ZHOU *et al.*, 2020;

Tabela 1. Características dos estudos selecionados

Autor / ano	Espécie	Fonte / Tecido	Tipo de colágeno	Método de extração	Solvente (s) e/ou enzima (s) utilizados	Condições de extração	Rendimento (%)
Jaziri <i>et al.</i> (2023)	Peixe lagarto (<i>Saurida tumbil</i>)	Pele	Tipo I	Método enzimático com hidrólise	Pepsina, álcool butílico, AcOH	Pepsina: 2.34% AcOH: 0.5 M NaOH: 0.1 M Álcool butílico: 10% Proporção líquido-sólido: 25 mL/g Tempo de hidrólise: 36 h pH 7.0 Temperatura: 4°C	21,23%
Jaziri <i>et al.</i> (2022)	Lizardfish (<i>Saurida tumbil</i>)	Osso	Tipo I	Método ácido	AcOH, LAC, CAC, NaOH	AcOH: 0.5 M LAC: 0.5 M CAC: 0.5 M NaOH: 0.1 M pH 7 Temperatura: 4°C	ASC: 1.73 ± 0.08% LAC: 1.88 ± 0.03% CAC: 2.59 ± 0.52%
Razali <i>et al.</i> (2023)	Barramundi (<i>Lates calcarifer</i>)	Pele	Tipo I	Método de ultrassom e método ácido	AcOH	AcOH: 0.5 M (1:10 w/v) Tempo de tratamento: 20 min Níveis de amplitude: 40%. 60%, 80% Tempo de extração: 48h Temperatura: 4°C	UAE + AcOH: 20.1 - 56.6% ASC: 8.32%
Lino-Sánchez <i>et al.</i> (2023)	Biajaiba (<i>Lutjanus synagris</i>)	Escamas	Tipo I	Método ácido e método enzimático	AcOH, Pepsina, NaOH, EDTA	Temperatura: 4-8 °C NaOH: 0.1 M Tempo de hidrólise: 36 h pH da hidrólise: entre 7 e 9 EDTA: 0.5 M (1:10 w/v) por 72 h Pepsina: 0.1%	PSC: 0.51 – 1.11%. ASC: 0.57%
Carpio <i>et al.</i> (2023)	Pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>)	Pele	Tipo I	Método ácido	NaOH, álcool butílico, AcOH	Temperatura: 20°C NaOH: 0.05 M (1:20 w/v) por 12 h pH: 7 Alcool butílico: 10% AcOH: 0.5 M (1:40 w/v) por 72 h, 0.1 M Temperatura (centrifugação): 4 °C por 40 min	27,74%
Ampitiya <i>et al.</i> (2023)	Yellowfin tuna (YT); Seer fish (SF); Asian sea bass (ASB)	Pele	Tipo I	Método ácido	AcOH	AcOH: 0.5 mol/L (1:30 w/v) por 3 dias Baixa velocidade de centrifugação: 1,896×g por 30 min em 4 °C Temperatura (estoque): -20 °C	YT: 61.26 ± 0.63% SC: 58.21 ± 0.27% ASB: 59.31 ± 2.87%
Fatiroi <i>et al.</i> (2023)	<i>Naso reticulatus</i>	Ossos	Tipo I	Método ácido	AcOH, LAC, CAC, EDTA	Temperatura: 4 °C pH: 7.0 EDTA: 0.5 M (10 volumes) AcOH: 0.5 M LAC: 0.5 M CAC: 0.5 M Centrifugação: 15,000× g for 15 min Temperatura (estoque): - 20 °C	CAC: 1.36% LAC: 1.08% ASC: 0.40%
Ibrahim <i>et al.</i> (2023)	Barracuda (<i>Sphyraena spp.</i>)	Espinhas e nadadeiras	Tipo I	Método ácido	AcOH, LAC e CAC	Tempo: 72 horas Temperatura: 4 °C TRAM: 0.05 M pH: 7.0 Centrifugação: 15,000 x g por 30 min AcOH: 0.5 M Temperatura (estoque): 4 °C	ASC: 1.99 ± 0.01% LAC: 2.36 ± 0.01% CAC: 3.26 ± 0.02%
Oslan <i>et al.</i> (2022)	Olho-de-boi Roxo (<i>Priacanthus tayenus</i>)	Pele	Tipo I	Método ácido e método enzimático	AcOH, LAC, CAC, pepsina	Temperatura: 4 °C Tris-HCl: 0.05 M Centrifugação: 18,000× g por 30 min AcOH: 0.5 M Pepsina: 1%	PSC: 6.65% AAC: 5.79% CAC: 4.15% LAC: 3.19%

Sukeri <i>et al.</i> (2021)	Cobia (<i>Rachycentron canadum</i>)	Pele	N/A	Método ácido (Ácido lático)	LAC	Temperatura: 4 °C pH: 7 NaOH: 0.1 M LAC: 0.5 M e 1.0 M Centrifugação: 10,000x g por 30 min	LAC (0.5 M): 36.70% LAC (1.0 M): 22.23%
Zhou <i>et al.</i> (2020)	<i>Tetronotifor mes fasciatus</i>	Pele	Tipo I	Método ácido, método enzimático e método térmico	Água, AcOH, enzimas (pepsina, ficina, papaína)	Térmico: 80°C por 6h; Ácido: 0.5 mol/L ácido acético por 48h; Enzimático: 0.5 mol/L ácido acético com enzimas por 48h	-
Nurjanah <i>et al.</i> (2021)	<i>Thunnus albacares</i>	Pele	Tipo I	Método enzimático	NaOH, AcOH, Enzimas (pepsina e papaína)	NaOH por 12h, ácido acético por 72h	Pepsina 0,8%; Papaína 2,13%
Ge <i>et al.</i> (2022)	Blacktip Reef Shark (<i>Carcharhinus melanopterus</i>)	Pele	Tipo I	Método ácido e método enzimático	AcOH, pepsina	Temperatura: 4 °C AcOH: 0.5 M Tempo (AcOH): 48 h Centrifuga: 20,000x g por 30 min NaCl: 1.0 M pH: 7 Pepsina: 1% Temperatura (estoque): -80 °C	ASC: 15.46% ± 0.42% PSC: 17.78% ± 0.64%
Petcharat <i>et al.</i> (2021)	Clown Featherback (<i>Chitala ornata</i>)	Pele	Tipo I	Método ácido e ultrassom	AcOH	Processo típico: AcOH: 0.5 mol/L Tempo: 48 h Temperatura: 4 °C Centrifuga: 10,000x g por 1 h Processo assistido de ultrassom: AcOH: 0.5 mol/L Diâmetro da sonda: 25 mm Amplitude: 20%, 40%, 60%, 80% Frequência: 20 kHz Tempo: 30 minutos	ASC: 23.46% UAE: 27,18 - 57.35%
Gallo <i>et al.</i> (2022)	Tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Pele	Tipo I	Método ácido	AcOH	AcOH: 0.2 M Tempo: 3 h Temperatura: 4 °C	N/A
Anbuselvan <i>et al.</i> (2024)	<i>Naucrates ductor</i> (ND), <i>Oreochromis mossambicus</i> (OM), <i>Cyprinus carpio</i> (CC)	Pele e escamas	Tipo I	Método ácido	AcOH	AcOH: 0.5 M Tempo: 72 h Centrifuga: 10,000 rpm NaCl: 2.6 M	Pele: 51.55±1.02% (ND); 32.03±0.25% (CC); Escama: 41.02±0.02% (ND); 15.11±0.39% (CC)
Huda <i>et al.</i> (2024)	Biguá (<i>Priacanthus tayenus</i>)	Ossos e nadadeiras	Tipo I	Método ácido	AcOH, LAC, CAC	Temperatura: 4 °C Tempo: 72 h pH: 7 EDTA-2Na: 0.5 M AcOH: 0.5 M LAC: 0.5 M CAC: 0.5 M NaCl: 2.5 M Centrifuga: 15,000x g Temperatura (estoque): -20 °C	AcOH: 0,83 ± 0,18% LAC: 1,43 ± 0,42% CAC: 1,93 ± 0,57%
Sousa <i>et al.</i> (2020)	<i>Gadus morhua</i>	Pele	Tipo I	Método ácido	Água acidificada com CO ₂	Temperatura: 37 °C Pressão: 50 bars Tempo: 3 horas	13.8 ± 0.013%
Utami <i>et al.</i> (2024)	<i>Arius thalassinus</i>	Bexiga natatória	Tipo I	Método enzimático	Ácido acético, KOH, NaOH	Pré-tratamento com NaOH 0,05 M por 6 horas, razão amostra: extratante de 1:20 (p/v),	35,31±0,65 %

Abreviações: Ácido acético (AcOH); Ácido lático (LAC); Ácido cítrico (CAC); Hidróxido de sódio (NaOH); Hidróxido de potássio (KOH); Ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA); Sal dissódico do EDTA (EDTA-2Na); Colágeno solúvel por pepsina (PSC); Colágeno solúvel por ácido (ASC); Extração assistida por ultrassom (UAE); Solução tampão Tris-HCl (TRAM); Rotações por minuto (rpm); Peso por volume (w/v); Graus Celsius (°C); Horas (h); Minutos (min); Força gravitacional (g); Informação não aplicável ou não informada (N/A).

Fonte: Autores (2025)

O uso do ultrassom combinado com extração ácida (ASC + UAE) foi explorado em estudos que destacam sua eficiência. Razali *et al.* (2023) relataram rendimento de 56,6% com UAE, comparado a 8,32% com ASC isolado. Petcharat *et al.* (2021) encontrou rendimentos variando entre 27,18% e 57,35% (UAE) e 23,46% (ASC).

Os reagentes mais recorrentes foram o ácido acético (ASC) e a pepsina (PSC), devido à comprovada eficácia na solubilização e remoção de impurezas (AHMED; VERMA, 2020; CRUZ *et al.*, 2021; GAIKWAD *et al.*, 2024). Entretanto, Nurjanah *et al.* (2021) evidenciaram maior rendimento ao utilizar papaína como enzima alternativa, indicando a viabilidade de testar novos agentes proteolíticos em diferentes tecidos.

Além disso, alguns autores observaram que o ácido cítrico apresentou rendimentos superiores ao ácido acético em ossos, espinhas e nadadeiras (JAZIRI *et al.*, 2022; HASANUDDIN *et al.*, 2024; FATIROI *et al.*, 2023; IBRAHIM *et al.*, 2023). Em outro estudo, Sukeri *et al.* (2021) testou ácido lático (LAC) em concentrações de 0,5 M e 1 M, com rendimentos de 36,70% e 22,23%, respectivamente.

No geral, as combinações entre os métodos ácido e enzimático mostraram-se mais eficazes, aumentando a solubilidade das moléculas e, consequentemente, o rendimento do colágeno (RAJABIMASHHADI *et al.*, 2023). Por exemplo, Lino-Sánchez *et al.* (2023) observaram rendimento médio de 0,51–1,11% com PSC e 0,57% com ASC. Oslan *et al.* (2022) relataram 6,65% (PSC) e 5,79% (ASC), enquanto Ge *et al.* (2022) obteve 17,78% (PSC) e 15,46% (ASC). Estudos de Jaziri *et al.* (2023) e Utami *et al.* (2024) reportaram apenas PSC, com valores entre 21,82% e 35,31%.

Apesar disso, o método ácido isolado também mostrou rendimento elevado em peles de peixes, com valores de até $61,26 \pm 0,63\%$ (AMPITIYA *et al.*, 2023) e $51,55 \pm 1,02\%$ (ANBUSELVAN *et al.*, 2024). Razali *et al.* (2023) também confirmaram que a combinação entre ácido, enzima e ultrassom pode alcançar rendimentos de até 56,61%.

Esses dados indicam que a técnica mais apropriada depende do tipo de tecido, da espécie e da aplicação pretendida. O método ácido é eficiente, especialmente para peles, mas o método enzimático demonstra-se mais versátil para diferentes tecidos, com menor custo ambiental. A adição do ultrassom otimiza a eficiência, embora possa elevar os custos.

O aperfeiçoamento de variáveis como tempo, temperatura e concentração dos solventes também é decisivo para maximizar os rendimentos (SUBHAN *et al.*, 2021). Por isso, a escolha do método deve considerar não apenas a eficiência, mas também a sustentabilidade e os objetivos industriais.

Limitações do estudo

Apesar da abrangência da busca em diferentes bases de dados e do uso do protocolo metodológico rigoroso (PRISMA), esta revisão apresenta limitações, como a exclusão de estudos com espécies não marinhas e

comparações com colágeno bovino ou suíno, o que reduziu o escopo comparativo. Portanto, pesquisas futuras devem incluir maior diversidade de espécies aquáticas e comparações interespécies para ampliar a compreensão sobre eficácia, sustentabilidade e aplicabilidade do colágeno marinho.

Conclusão

Conclui-se, a partir de estudos analisados nesta revisão sistemática, que a escolha do método de extração de colágeno de resíduos de peixes deve considerar tanto o rendimento quanto a pureza do colágeno e a viabilidade econômica do processo, com foco na redução de custos, sejam em reagentes ou equipamentos, além de minimizar a degradação do colágeno. Assim, a integração de métodos avançados, como o ultrassom, com métodos tradicionais, como ASC e ESA, pode otimizar diversos parâmetros essenciais, promovendo um processo de extração mais eficiente e sustentável.

Dessa forma, a contínua pesquisa e otimização dos métodos de extração são essenciais para ampliar as aplicações do colágeno de peixes, especialmente nas indústrias farmacêutica, cosmética e biomédica. No entanto, apesar de convergências na literatura quanto à eficácia do colágeno derivado da pele de peixe, surgem divergências e lacunas em relação ao potencial de outras fontes, como, barbatanas e bexigas natatórias. Portanto, é necessário realizar investigações que explorem o potencial dessas fontes subexploradas, contribuindo para a produção sustentável de colágeno, além da utilização de ácido cítrico, ácido lático e papaína como alternativas nos processos de extração ácida e enzimática, respectivamente, deste bioproduto.

Agradecimentos

Agradecemos à Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf) e ao Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA) pelo apoio institucional prestado ao desenvolvimento deste trabalho. Reconhecemos também a colaboração de todos os profissionais e pesquisadores envolvidos nas etapas de execução do projeto, cuja contribuição foi essencial para a realização desta Pesquisa.

Referências

- AHMED, M.; VERMA, A. K.; PATEL, R. Collagen extraction and recent biological activities of collagen peptides derived from sea-food waste: A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, v. 18, p. 100315, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100315>.
- AL-NIMRY, S.; DAYAH, A. A.; HASAN, I.; DAGHMASH, R. Cosmetic, biomedical and pharmaceutical applications of fish gelatin/hydrolysates. *Marine Drugs*, v. 19, n. 3, p. 145, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/md19030145>.
- ANBUSELVAN, V. A. et al. Extraction and characterization of fish collagen for enhanced wound healing activity on A549 cell lines. *Current Applied Science and Technology*, v. 24, n. 3, e0258572, 2024. DOI: <https://doi.org/10.14456/cast.2024.16>.

- AMPITIYA, A. G. D. M. et al. Extraction and characterisation of type I collagen from the skin offcuts generated at the commercial fish processing centres. *Journal of Food Science and Technology*, v. 60, n. 2, p. 484–493, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05630-x>.
- BIAN, J. et al. Automatic identification of high impact articles in PubMed to support clinical decision making. *Journal of Biomedical Informatics*, v. 73, p. 95–103, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2017.07.018>.
- CARPIO, K. C. R. et al. Extraction and characterization of collagen from the skin of Amazonian freshwater fish pirarucu. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, v. 56, e12564, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1414-431X2023e12564>.
- CRUZ, M. A. et al. Collagen from marine sources and skin wound healing in animal experimental studies: a systematic review. *Marine Biotechnology*, v. 23, n. 1, p. 1–11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10126-020-10011-6>.
- FATIROI, N. S. et al. Biochemical and microstructural characteristics of collagen biopolymer from Unicornfish (*Naso reticulatus* Randall, 2001) bone prepared with various acid types. *Polymers*, v. 15, n. 4, p. 1054, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym15041054>.
- GAIKWAD, S.; KIM, M. J. Fish by-product collagen extraction using different methods and their application. *Marine Drugs*, v. 22, n. 2, p. 60, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/mdl22020060>.
- GALLO, N. et al. Aquaponics-derived tilapia skin collagen for biomaterials development. *Polymers*, v. 14, n. 9, p. 1865, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14091865>.
- GE, B. et al. Comparison of physicochemical and structural properties of acid-soluble and pepsin-soluble collagens from blacktip reef shark skin. *Marine Drugs*, v. 20, n. 6, p. 376, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/mdl20060376>.
- GEAHCHAN, S.; BAHARLOUEI, P.; RAHMAN, M. A. Marine collagen: a promising biomaterial for wound healing, skin anti-aging, and bone regeneration. *Marine Drugs*, v. 20, n. 1, p. 61, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/mdl20010061>.
- HASANUDDIN, H. et al. Effect of different acids during collagen extraction the bone and fins from purple-spotted bigeye (*Priacanthus tayenus* Richardson, 1846) and their physicochemical properties. *Food Research*, v. 8, n. 1, p. 326–335, 2024. DOI: [https://doi.org/10.26656/fr.2017.8\(1\).165](https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(1).165).
- IBRAHIM, N. I. et al. Isolation and characterization of acid-soluble collagens from the bone and fins of the barracuda (*Sphyraena* spp.) as marine collagen sources. *International Journal of Advanced Science, Engineering and Information Technology*, v. 13, n. 2, p. 553–563, 2023. DOI: <https://doi.org/10.18517/ijasait.13.2.18008>.
- JAFARI, H. et al. Fish collagen: extraction, characterization, and applications for biomaterials engineering. *Polymers*, v. 12, n. 10, p. 2230, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12102230>.
- JAZIRI, A. A. et al. Biochemical analysis of collagens from the bone of lizardfish (*Saurida tumbil* Bloch, 1795) extracted with different acids. *PeerJ*, v. 10, e13103, 2022. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.13103>.
- JAZIRI, A. A. et al. Optimization process of the pepsin-solubilized collagen from lizardfish (*Saurida tumbil* Bloch, 1795) skins by-product. *Indonesian Food Science and Technology Journal*, v. 7, n. 1, p. 1–8, 2023. DOI: <https://doi.org/10.22437/iftstj.v7i1.30797>.
- LINO-SÁNCHEZ, A. et al. Extraction and characterization of type I collagen from scales of Mexican baiabá fish. *Open Chemistry*, v. 21, n. 1, p. 202300134, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1515/chem-2023-0134>.
- MARTINEZ, A. T. T.; SIERRA, R. B.; APONTE, A. G. Collagen: a promising molecule in biomedical applications. *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering*, v. 60, p. 11–28, 2023. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JBBBE.60.11>.
- MASSARRAT, S. Evaluation of the relevance of research articles published 50 years ago in key scientific journals in the USA, England and Germany: introduction of 50 years impact index in addition to impact factor. *Archives of Iranian Medicine*, v. 22, n. 10, p. 606–611, 2019. DOI: <https://doi.org/10.34172/aim.2019.092>.
- NURIJANAH; BAHARUDDIN, T. I.; NURHAYATI, T. Ekstraksi kolagen kulit ikan tuna sirip kuning (*Thunnus albacares*) menggunakan enzim pepsin dan papain. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, v. 24, n. 2, p. 174–187, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17844/jphpi.v24i2.35410>.
- NURILMALA, M. et al. Fish skin as a biomaterial for halal collagen and gelatin. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 29, n. 2, p. 1100–1110, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.10.068>.
- PAEZ, A. Gray literature: an important resource in systematic reviews. *Journal of Evidence-Based Medicine*, v. 10, n. 3, p. 233–240, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/jebm.12266>.
- PETCHARAT, T. et al. Ultrasound-assisted extraction of collagen from clown featherback (*Chitala ornata*) skin: yield and molecular characteristics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 101, n. 2, p. 648–658, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.10677>.
- RAJABIMASHHADI, Z. et al. Collagen derived from fish industry waste: progresses and challenges. *Polymers*, v. 15, n. 3, p. 544, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym15030544>.
- SALVATORE, L. et al. Marine collagen and its derivatives: versatile and sustainable bio-resources for healthcare. *Materials Science and Engineering: C*, v. 113, p. 110963, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110963>.
- SOUZA, R. O. et al. Collagen from Atlantic cod (*Gadus morhua*) skins extracted using CO₂ acidified water with potential application in healthcare. *Journal of Polymer Research*, v. 27, n. 3, p. 1–9, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10965-020-02048-x>.
- SUBHAN, F. et al. A review on recent advances and applications of fish collagen. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 61, n. 6, p. 1027–1037, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1751585>.
- SUKERI, N. et al. Extractability and physicochemical properties of cobia (*Rachycentron canadum*) skin collagen as influenced by lactic acid concentration. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 45, n. 1, e15080, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.15080>.
- THELWALL, M. Do females create higher impact research? Scopus citations and Mendeley readers for articles from five countries. *Journal of Informetrics*, v. 12, n. 4, p. 1031–1041, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2018.08.002>.
- UTAMI, R.; TRILAKSANI, W.; HARDININGTYAS, S. D. Karakteristik papain soluble collagen gelembung renang ikan manyung dengan variasi praperlakuan alkali dan rasio ekstraktan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, v. 27, n. 3, p. 223–241, 2024. DOI: <https://doi.org/10.17844/jphpi.v27i3.49968>.
- ZHANG, B. et al. Characterization of acid- and pepsin-soluble collagen extracted from the skin of purple-spotted bigeye snapper. *Gels*, v. 8, n. 10, p. 665, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/gels8100665>.
- ZHOU, R. et al. Extraction and characteristics of collagens from the skin of puffer fish (*Tetraodontiformes fasciatus*). *CAB Abstracts*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5555/20219838412>.