



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

MARCUS VINÍCIUS DOS SANTOS ALVES FERREIRA

DA EXTRAÇÃO À CARACTERIZAÇÃO:
A Quitina a Partir das Cascas de Camarão

Recife
2025

MARCUS VINÍCIUS DOS SANTOS ALVES FERREIRA

DA EXTRAÇÃO À CARACTERIZAÇÃO: A Quitina a Partir das Cascas de Camarão

Monografia de conclusão de Curso apresentada à coordenação do Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientadora: Profa. Dra. Claudia Cristina Cardoso da Silva.

Recife

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Auxiliadora Cunha – CRB-4 1134

F383e Ferreira, Marcus Vinícius dos Santos Alves.
Da extração a caracterização: a Quitina a partir
das cascas de camarão / Marcus Vinícius dos Santos
Alves Ferreira. - Recife, 2025.
45 f.

Orientador(a): Claudia Cristina Cardoso da Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Licenciatura em Química, Recife, BR-PE, 2026.

Inclui referências.

1. Quitina. 2. Camarão. 3. Desmineralização. 4.
Desproteínização I. Silva, Claudia Cristina Cardoso
da, orient. II. Título

CDD 540

MARCUS VINÍCIUS DOS SANTOS ALVES FERREIRA

DA EXTRAÇÃO À CARACTERIZAÇÃO: A Quitina a Partir das Cascas de Camarão

Monografia de conclusão de Curso apresentada à coordenação do Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Química.

Aprovado em: 18/12/2025

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Claudia Cristina Cardoso da Silva (Orientadora)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Cristiano de Almeida Cardoso Marcelino Junior (Examinador Interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Mestre Arthur Luís Silva Araújo (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedico este trabalho à minha mãe e à minha avó, que com força, garra e afeto sempre lutaram muito e me mostraram o valor da perseverança e do amor.

AGRADECIMENTOS

Ao concluir esta monografia, não poderia deixar de expressar minha profunda gratidão a todos que estiveram presentes e me apoiaram ao longo desta trajetória acadêmica.

Aos meus amigos de curso, Carlos, Cibele, Débora, Felipe, Fernanda, Jade e Jonas, agradeço não apenas pela companhia nas aulas e nos trabalhos, mas sobretudo pela amizade sincera, pelas conversas que aliviaram os momentos de tensão e pelas risadas que tornaram essa caminhada mais leve. Um agradecimento especial a Carlos, que foi um verdadeiro parceiro e apoiador nesta etapa final, sempre disposto a ajudar e a me incentivar quando mais precisei.

Também sou imensamente grato aos meus amigos que, mesmo não fazendo parte do curso de Química, estiveram ao meu lado e me deram forças para seguir em frente: Anderson, Dafne, Gabriel C, Gabriel H, Júlia, Junior, Luana, Micaelly e Tais. Vocês foram fundamentais para que eu não desistisse nos momentos difíceis, e cada gesto de apoio de vocês ficará marcado em minha memória.

Registro minha gratidão aos integrantes e amigos do grupo PET (Programa de Educação Tutorial), que enriqueceram minha formação acadêmica e pessoal. Em especial, agradeço ao professor Otávio Santos, cuja dedicação ao programa e orientação foi essencial para que eu pudesse aproveitar ao máximo dessa experiência tão rica.

Ao Laboratório de Óleo e Biodiesel (LOB) e a minha orientadora a professora Claudia Cristina Cardoso, deixo um agradecimento cheio de carinho e admiração. Sua paciência, dedicação e confiança em meu trabalho foram decisivas para que eu chegasse até aqui. Mais do que uma orientadora, foi uma inspiração, mostrando que a educação é feita com afeto, cuidado e compromisso.

Por fim, agradeço de forma mais especial à minha mãe e à minha avó, mulheres guerreiras que sempre batalharam para que eu pudesse estar aqui hoje. Este trabalho é também fruto da força, do amor e da dedicação delas.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte desta trajetória, deixo meu mais profundo agradecimento.

“Eles combinaram de nos matar, mas nós combinamos de não morrer, de reinventar a vida, de transformar dor em resistência e afeto em força, porque nossa existência é também nossa maior vitória.” (EVARISTO, 2008).

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade da extração de quitina a partir de resíduos de camarão, utilizando diferentes rotas de processamento químico e analisando a eficiência das etapas de desmineralização e desproteíntização. A pesquisa fundamentou-se na relevância científica, tecnológica e ambiental da quitina, um biopolímero de grande potencial para aplicações em farmacologia, engenharia de tecidos, nanotecnologia e tratamento de efluentes, além de representar uma alternativa sustentável para a valorização de subprodutos da indústria pesqueira. Foram comparadas duas rotas distintas de extração: desmineralização seguida de desproteíntização (DMP) e a ordem inversa, desproteíntização seguida de desmineralização (DPM). A caracterização das amostras foi realizada por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), microscopia eletrônica de varredura acoplada à espectroscopia de dispersão de energia de raios-X (MEV/EDE) e análise gravimétrica do teor de cinzas. Os resultados demonstraram que a rota DPM apresentou maior eficiência, promovendo melhor preservação estrutural da quitina, maior clareamento do material e redução significativa de resíduos proteicos e minerais. Em conjunto, os resultados obtidos reforçam o potencial da utilização de resíduos da indústria do camarão como fonte sustentável de quitina, alinhando-se aos princípios da economia circular e da bioeconomia, ao mesmo tempo em que contribuem para a redução de impactos ambientais e para o desenvolvimento de protocolos reprodutíveis e ambientalmente responsáveis.

Palavras-chave: Quitina; Camarão; Desmineralização; Desproteíntização.

This study aimed to evaluate the feasibility of extracting chitin from shrimp waste, using different chemical processing routes and analyzing the efficiency of demineralization and deproteinization. The research was based on the scientific, technological, and environmental relevance of chitin, a biopolymer with great potential for applications in pharmacology, tissue engineering, nanotechnology, and wastewater treatment, in addition to representing a sustainable alternative for the valorization of fishery by-products. Two distinct extraction routes were compared: demineralization followed by deproteinization (DMP) and the inverse order, deproteinization followed by demineralization (DPM). After these steps, a study of different depigmentation routes was carried out. The samples were characterized by Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy coupled with energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM/EDE), and gravimetric ash content analysis. The results showed that the DMP route was more efficient, promoting better structural preservation of chitin, greater material whitening, and a significant reduction of protein and mineral residues. Overall, the results reinforce the potential of using shrimp industry waste as a sustainable source of chitin, aligned with the principles of circular economy and bioeconomy, while contributing to reducing environmental impacts and to the development of reproducible and environmentally responsible protocols.

Keywords: Chitin; Shrimp; Demineralization; Deproteinization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura molecular da quitina	05
Figura 2 – Estrutura das diferentes conformações da quitina	05
Figura 3 – Sequência de processamento das cascas de camarão	14
Figura 4 – Micrografia MEV (morfologia)	15
Figura 5 – Espectro EDE (composição elementar)	16
Figura 6 – Processo de desmineralização (rota DMP)	18
Figura 7 – Processo de desproteíntização (rota DMP).....	19
Figura 8 – Processo de desproteíntização (rota DPM)	20
Figura 9 – Processo de desmineralização (rota DPM)	21
Figura 10 – Comparação visual: após desproteíntização e desmineralização ...	21
Figura 11 – Espectro FTIR camarão bruto e após 1º ciclo DMP	23
Figura 12 – Espectro FTIR camarão bruto e após 1º ciclo DPM	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCC	Associação Brasileira de Criadores de Camarão
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATR	Attenuated Total Reflectance (Refletância Total Atenuada)
DMP	Rota de processamento: Desmineralização seguida de Desproteinização
DPM	Rota de processamento: Desproteinização seguida de Desmineralização
DRX	Difração de Raios-X
EDE	Energy Dispersive Spectroscopy (Espectroscopia de Energia Dispersiva)
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy (Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier)
LOB	Laboratório de Óleo e Biodiesel (UFRPE)
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivo Específicos	3
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
3.1 Quitina.....	4
3.2 Camarão.....	7
3.3 Desmineralização.....	8
3.4 Desproteínização	10
4 METODOLOGIA.....	10
4.1 Obtenção E Preparação Da Matéria-Prima	10
4.2 Extração Da Quitina	11
4.2.1 Desmineralização.....	11
4.2.2 Desproteínização.....	12
4.3 Análise Do Teor De Cinzas	12
4.4 Caracterização Por MEV/ EDE.....	12
4.5 Caracterização Por Ftir.....	13
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
5.1 Coleta E Secagem Do Camarão	14
5.2. Caracterização Por Microscopia Eletrônica De Varredura (MEV) Associada À Espectroscopia De Dispersão De Energia De Raios-X (EDE).....	14

5.3 Comparação Entre Os Processos De Desmineralização Por Ultrassom E Por Agitação Magnética	17
5.4 Desmineralização Seguida Da Desproteíntização (DMP).....	18
5.5 Desproteíntização Seguida Da Desmineralização (DPM).....	20
5.7 Caracterização Por FTIR da Quitina Após As Rotas De DMP E DPM Do Camarão	22
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	25
REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a sustentabilidade e a gestão adequada de resíduos sólidos tem impulsionado pesquisas voltadas ao reaproveitamento de subprodutos da indústria alimentícia (Pinheiro *et al.*, 2024). No Brasil, a atividade pesqueira representa uma importante fonte econômica, especialmente em regiões litorâneas como Pernambuco, onde a comercialização de camarões é significativa (Freitas; Barros, 2022; Embrapa, 2021). Segundo a Associação Brasileira de Criadores de Camarão (ABCC), a produção nacional de camarão cultivado ultrapassou 120 mil toneladas em 2023, com expectativa de crescimento contínuo nos próximos anos (ABCC, 2023; ABCC, 2024). Entretanto, o processamento e consumo desses crustáceos geram grandes volumes de resíduos sólidos, principalmente cascas e carapaças, frequentemente descartados de forma inadequada. Esse descarte pode ocasionar impactos ambientais e sanitários, como mau odor, proliferação de microrganismos e contaminação de corpos d'água, além de representar uma perda de matéria-prima com elevado potencial de valorização (Pinheiro *et al.*, 2024).

Entre os componentes presentes nas cascas de camarão, destaca-se a quitina, um polissacarídeo estrutural considerado o segundo biopolímero mais abundante na natureza, atrás apenas da celulose (Andrade; Ladchumananandasivam, 2010; Cardoso, 2024). Formada por unidades de *N*-acetil-*D*-glicosamina ligadas por ligações $\beta(1\rightarrow4)$, organizadas em microfibras altamente cristalinas, a quitina apresenta propriedades como alta resistência mecânica, insolubilidade e estabilidade térmica (Paz; Santos, 2024; Macedo, 2017). Esse biopolímero é encontrado em diversos organismos, incluindo crustáceos, insetos e fungos, desempenhando papel essencial na sustentação e proteção celular (Magalhães, 2024; Silva *et al.*, 2006).

O interesse científico e industrial pela quitina e seus derivados está relacionado às suas características únicas, como biodegradabilidade, biocompatibilidade, não toxicidade e capacidade de modificação química (Paz; Santos, 2024; Campana Filho; Signini; Cardoso, 2020). Essas propriedades tornam a quitina um recurso estratégico para o desenvolvimento de produtos inovadores, como membranas para filtração, sistemas de liberação controlada de fármacos, agentes floculantes para tratamento de águas residuais, revestimentos antimicrobianos e materiais para engenharia de tecidos (Matos; Lopes; Signini, 2020; Holanda, 2011; Fidelis *et al.*, 2013). A partir da quitina, também é possível obter quitosana, um derivado amplamente estudado e aplicado em áreas como farmacologia, agricultura, tratamento de

efluentes, produção de biomateriais e nanotecnologia (Stamford *et al.*, 2017; Felipe *et al.*, 2016). Além disso, a utilização de resíduos pesqueiros como fonte de quitina contribui para a economia circular, reduzindo impactos ambientais e agregando valor a subprodutos que, de outra forma, seriam descartados (Fiorese *et al.*, 2020; Resende; Custódio, 2024; Cahú, 2019).

A extração da quitina a partir das cascas de camarão envolve etapas físico-químicas que visam remover componentes indesejados, como sais minerais, proteínas e pigmentos. Tradicionalmente, esse processo é realizado por meio de desmineralização (remoção de carbonatos e fosfatos com ácidos) e desproteínização (remoção de proteínas com soluções alcalinas). A ordem dessas etapas e as condições de processamento influenciam diretamente a pureza, o rendimento e a integridade estrutural do biopolímero obtido (Corrêa *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2019). Nesse contexto, diferentes abordagens têm sido estudadas para otimizar a extração, incluindo variações na sequência das etapas (rotas direta e inversa) (Paz; Santos, 2024; Antonino, 2007) e no uso de tecnologias auxiliares, como ultrassom, que pode acelerar reações e melhorar a eficiência do processo (Sim, 2005; Campana-Filho; Delezuk; Cardoso, 2010; Melo; Magalhães, 2020).

Além dos métodos químicos convencionais, pesquisas recentes têm explorado alternativas mais sustentáveis, como processos enzimáticos e fermentação microbiana, que reduzem o uso de reagentes agressivos e minimizam a geração de efluentes (Paz; Santos, 2024; Fidelis *et al.*, 2013; Campana Filho; Signini; Cardoso, 2020). No entanto, esses métodos ainda apresentam desafios relacionados ao custo e à escalonamento industrial, o que mantém os processos químicos como a principal rota para obtenção de quitina em larga escala (Inoue *et al.*, 2021; Antonino, 2007).

Diante da relevância científica, tecnológica e ambiental do tema, este trabalho tem como objetivo otimizar a extração da quitina a partir de cascas de camarão, comparando diferentes rotas de processamento e métodos de desmineralização, além de caracterizar o produto obtido por técnicas analíticas, como espectroscopia no infravermelho (FTIR) e microscopia eletrônica de varredura (MEV/ EDE) (Inoue *et al.*, 2021; Antonino, 2007; Campana Filho; Signini; Cardoso, 2020). Espera-se que os resultados obtidos contribuam para o desenvolvimento de protocolos reprodutíveis, economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis, promovendo a valorização de resíduos da indústria alimentícia e fomentando a aplicação da quitina em diversos setores industriais (Fiorese *et al.*, 2020; Paz; Santos, 2024).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Otimizar a extração da quitina a partir de cascas de camarão, variando as seguintes rotas de processamento: desproteinização e desmineralização (Otimizar a extração da quitina a partir de cascas de camarão, variando as seguintes rotas de processamento, tais como desproteinização, desmineralização, bem como caracterizar o biopolímero obtido por técnicas analíticas).

2.2 Objetivo Específicos

- a) Coletar as cascas de camarão descartadas em feiras livres e estabelecimentos alimentícios e seguir com sua lavagem e secagem;
- b) Realizar a etapa de desmineralização das cascas de camarão seca, seguida da desproteinização, bem como a ordem inversa, seguindo condições otimizadas por outros integrantes do grupo do Laboratório de Óleo e Biodiesel (LOB/UFRPE).
- c) Investigar a melhor condição de desmineralização, escolhendo entre a agitação magnética e o banho de ultrassom. Essa resposta será coletada avaliando o teor de cinzas da amostra final.
- d) Caracterizar as cascas de camarão seca por teor de cinzas, por espectroscopia no infravermelho (FTIR) e microscopia eletrônica de varredura com análise por EDE (MEV/ EDE).

- e) Caracterizar a quitina obtida por ambas as rotas DPM e DMP, teor de cinzas, por espectroscopia no infravermelho (FTIR) a fim de escolher qual melhor rota a ser seguida a fim de obter a quitina mais pura.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

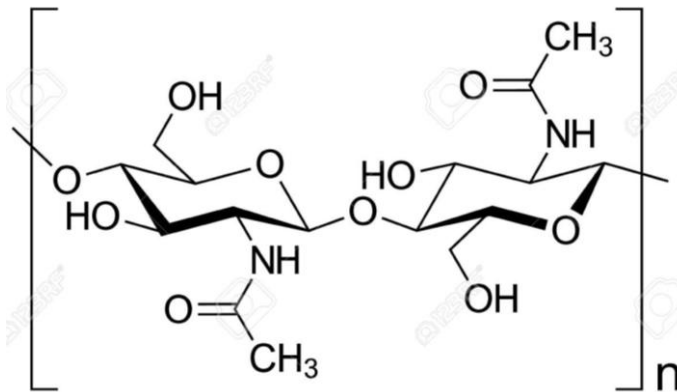
A presente fundamentação teórica busca reunir e discutir os principais conceitos e estudos que sustentam esta pesquisa, oferecendo uma base científica sólida para a compreensão do tema. Serão abordados aspectos relacionados à quitina e sua relevância biológica e tecnológica, bem como o papel do camarão como fonte de obtenção desse biopolímero. Além disso, serão detalhados os processos de desmineralização e desproteção, etapas fundamentais para a extração e purificação da quitina.

3.1 QUITINA

A quitina é um polissacarídeo estrutural amplamente distribuído na natureza, sendo considerado o segundo biopolímero mais abundante do planeta, atrás apenas da celulose (Canella E Garcia, 2001). Está presente em diversos organismos, como artrópodes (incluindo camarões, lulas, lagostas e caranguejo) por compor principalmente o exoesqueleto e estruturas de proteção (Casteleijn *et al.*, 2018). Além disso, é encontrada em fungos, algas, leveduras, microrganismos, moluscos e insetos, desempenhando papel essencial na sustentação e proteção celular (Bezerra, 2011).

Considerado o segundo biopolímero mais abundante é um homopolissacarídeo composto por unidades de *N*-acetil-*D*-glicosamina unidas por ligações β (1 \rightarrow 4) possuindo moléculas variáveis, cuja estrutura está representada na figura 1 (Bai *et al.*, 2022; Patel; Goyal, 2017). Formando cadeias lineares que se organizam em microfibras altamente cristalinas, a quitina é estabilizada por ligações de hidrogênio intra- e intermoleculares, conferindo ao polímero elevada rigidez e resistência térmica.

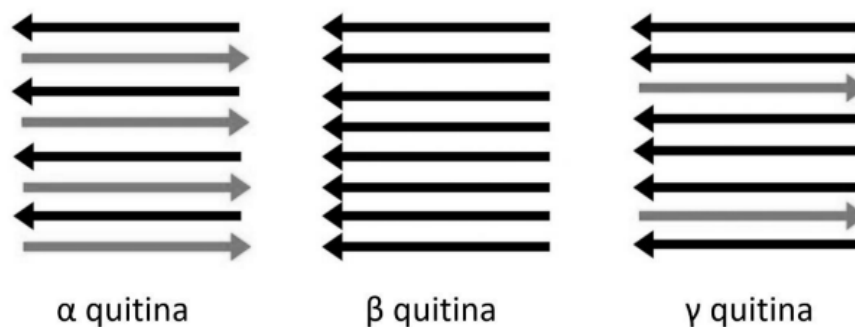
Figura 1 – Estrutura molecular da Quitina



Fonte: Bai et al., 2022.

A estrutura da quitina pode se apresentar em três formas alomórficas: (α), (β) e (γ), que diferem na orientação das cadeias e na polaridade das fibras adjacentes (Fig. 2). Essas variações estruturais influenciam diretamente as propriedades físico-químicas do material, como flexibilidade, reatividade e estabilidade (Poria *et al.*, 2021). A α -quitina é a forma mais comum e estável, encontrada principalmente em exoesqueletos de artrópodes e nas paredes celulares de fungos. Suas cadeias são organizadas de forma antiparalela, com forte interação por ligações de hidrogênio, o que resulta em uma estrutura compacta e resistente. A β -quitina, por outro lado, apresenta cadeias paralelas e ligações mais fracas, sendo mais flexível e reativa, encontrada em estruturas como o bico de lulas. Já a γ -quitina combina cadeias paralelas e antiparalelas, sendo a forma mais rara e menos estudada, com estabilidade superior devido à presença de dois tipos de ligações de hidrogênio que atuam em diferentes direções (Bai *et al.*, 2022; Brown; Esher; Alspaugh, 2020; Kaya *et al.*, 2017; Moussian, 2019). Essas características estruturais tornam a quitina um biopolímero versátil, com potencial para diversas aplicações industriais e biomédicas.

Figura 2 – Estrutura das diferentes conformações da quitina



Fonte: Adaptado de Pakizeh; Moradi; Ghassemi, 2021.

A biossíntese da quitina ocorre por meio da ação da enzima quitina-sintase, que catalisa a polimerização de unidades de UDP-*N*-acetil-*D*-glicosamina, formando cadeias lineares que se organizam em microfibras estruturais (Roncero; Vázquez de Aldana, 2020). Esse processo é essencial para a formação de estruturas como o exoesqueleto de artrópodes e a parede celular de fungos, conferindo resistência mecânica e proteção contra agentes externos. A síntese é regulada por fatores genéticos e ambientais, sendo ativada em momentos específicos do desenvolvimento, como a muda em insetos ou o crescimento de hifas em fungos (Moussian, 2019).

Além de sua relevância biológica, a quitina apresenta propriedades funcionais como biodegradabilidade, biocompatibilidade e capacidade de modificação química, características que a tornam um recurso estratégico para o desenvolvimento de soluções inovadoras em diferentes setores industriais (Bai *et al.*, 2022). Essas propriedades permitem sua aplicação em áreas como produção de biomateriais e membranas para filtração, garantindo eficiência e sustentabilidade (Hou; Aydemir; Dumanli, 2021). Também se destaca em sistemas de liberação controlada de fármacos, que contribuem para terapias mais seguras e eficazes (Kobayashi; Sagawa; Fukuoka, 2023), além de atuar como agente floculante no tratamento de águas residuais, promovendo a remoção de contaminantes (Shamshina; Berton; Rogers, 2019). Outras aplicações incluem revestimentos antimicrobianos e materiais para engenharia de tecidos, reforçando seu papel como insumo essencial para tecnologias avançadas (Younes; Rinaudo, 2015).

Devido à sua abundância e estrutura química composta por unidades de *N*-acetil-*D*-glicosamina, a quitina é a principal matéria-prima para a obtenção da quitosana, um polímero derivado obtido por desacetilação alcalina. Essa transformação é estratégica porque confere à quitosana propriedades adicionais, como solubilidade em meios ácidos, alta reatividade química e capacidade de formar filmes, géis e nanopartículas, ampliando significativamente suas aplicações (Younes; Rinaudo, 2015; Bai *et al.*, 2022). Atualmente, a quitosana é considerada um dos biopolímeros mais promissores para nanotecnologia, engenharia de tecidos, liberação controlada de fármacos e tratamento de efluentes, devido à sua biocompatibilidade, biodegradabilidade e atividade antimicrobiana (Hou; Aydemir; Dumanli, 2021; Kobayashi; Sagawa; Fukuoka, 2023). Pesquisas recentes também exploram sua

funcionalização para produção de nanocompósitos sustentáveis e sistemas inteligentes de cicatrização de feridas, alinhando-se aos princípios da bioeconomia e da economia circular (Verma *Et Al.*, 2023; Shamshina; Berton; Rogers, 2019). Esses avanços reforçam a relevância da quitosana como insumo de alto valor agregado, com impacto direto em áreas estratégicas como saúde, indústria farmacêutica e tecnologias ambientais.

Sob a perspectiva ambiental e econômica, a utilização de resíduos pesqueiros como fonte de quitina contribui para a economia circular, reduzindo impactos ambientais e agregando valor a subprodutos que, de outra forma, seriam descartados (Cahú, 2019). Essa abordagem sustentável tem sido apontada como uma alternativa promissora para minimizar desperdícios e promover práticas mais responsáveis na indústria alimentícia (Fiorese *et al.*, 2020).

Em síntese, a quitina não se limita à sua importância biológica; ela se consolida como um insumo estratégico para o desenvolvimento de materiais inovadores e soluções sustentáveis, com aplicações que abrangem desde a saúde até a preservação ambiental. Essa versatilidade reforça sua relevância científica e tecnológica, justificando o crescente interesse em pesquisas voltadas para sua extração, caracterização e aproveitamento.

3.2 CAMARÃO

O camarão é um dos crustáceos mais valorizados no mercado global, sendo considerado um recurso estratégico para a indústria pesqueira e aquícola. No Brasil, a carcinicultura (cultivo de camarão em viveiros) consolidou-se como uma atividade econômica de grande relevância, especialmente no Nordeste, onde as condições climáticas favorecem a produção em larga escala. Segundo dados da ABCC, a produção nacional atingiu 146,8 mil toneladas em 2024, com faturamento superior a R\$ 3,1 bilhões, sendo o Ceará responsável por 55% da produção nacional, seguido pelo Rio Grande do Norte e Paraíba (ABCC, 2024).

Além do impacto econômico, a carcinicultura desempenha papel social importante, gerando milhares de empregos diretos e indiretos e promovendo o desenvolvimento regional. Contudo, essa atividade também apresenta desafios ambientais significativos. Estima-se que 45 a 55% do peso do camarão processado seja descartado como resíduo, principalmente na forma de cabeças e cascas (Pinheiro *et al.*, 2024). O descarte inadequado desses resíduos pode causar

contaminação de corpos d'água, proliferação de microrganismos e degradação de ecossistemas costeiros, como manguezais (Silva *et al.*, 2025).

Do ponto de vista químico, esses resíduos representam uma fonte valiosa de biomateriais. As cascas são ricas em quitina, um polissacarídeo estrutural que, após desacetilação, origina a quitosana, um biopolímero com propriedades únicas: biodegradabilidade, biocompatibilidade e capacidade de modificação química (Bai *et al.*, 2022; Hou *et al.*, 2021). Esses atributos tornam a quitosana estratégica para aplicações em engenharia de tecidos, liberação controlada de fármacos, tratamento de efluentes e nanotecnologia (Kobayashi *et al.*, 2023; Verma *et al.*, 2023).

A valorização dos resíduos da indústria do camarão está alinhada aos princípios da economia circular, reduzindo impactos ambientais e agregando valor a subprodutos antes descartados. Pesquisas recentes indicam que a implementação de biorrefinarias e processos otimizados para extração de quitina e quitosana e pode transformar um passivo ambiental em insumo de alto valor agregado, promovendo sustentabilidade e inovação (Pinheiro *et al.*, 2024; Fiorese *et al.*, 2020).

3.3 DESMINERALIZAÇÃO

A desmineralização é uma etapa essencial no processo de extração da quitina a partir de resíduos de crustáceos, como carapaças de camarão, siri e lagosta. Essa fase tem como objetivo remover os sais minerais presentes no exoesqueleto, principalmente o carbonato de cálcio (CaCO_3), que pode representar até 40% da massa seca do material, além de fosfatos e outros minerais (Canella; Garcia, 2001). A presença desses compostos compromete a pureza da quitina e, consequentemente, a qualidade da quitosana obtida, tornando indispensável sua eliminação para aplicações industriais e biomédicas. A remoção adequada dos minerais é fundamental para garantir propriedades físico-químicas adequadas, como cristalinidade e grau de acetilação, que influenciam diretamente na reatividade e funcionalidade do polímero (Bai *et al.*, 2022).

O método mais utilizado para desmineralização é o tratamento ácido, geralmente com solução de ácido clorídrico (HCl), que promove a solubilização de sais minerais, tais qual o carbonato de cálcio.

A eficiência do processo depende de parâmetros como concentração do ácido, tempo de contato, temperatura e relação sólido/líquido (Hou; Aydemir; Dumanli, 2021). Condições mais brandas preservam a estrutura cristalina da quitina, enquanto tratamentos severos podem causar despolimerização parcial e perda de propriedades físico-químicas, como redução do grau de acetilação e alteração da morfologia (Shamshina; Berton; Rogers, 2019). Estudos recentes indicam que a melhor condição para desmineralização de carapaças de siri foi obtida com tempo de 14 horas, concentração de 7% HCl e relação 4:1 solução/casca, alcançando pureza de 99% e rendimento de 17%, confirmados por análise de difração de raios-X (DRX) (Moura *et al.*, 2024; Lima *et al.*, 2023).

Existem duas rotas principais para obtenção da quitina: a rota direta, que realiza a desmineralização antes da desproteinização (DMP), e a rota inversa (DPM), que inverte essa sequência. Sugere-se que a rota direta (DMP) reduz a degradação da quitina, pois a remoção dos minerais ocorre antes da exposição prolongada a soluções alcalinas, enquanto a rota inversa diminui a carga orgânica antes do tratamento ácido, embora possa exigir maior concentração de reagente para remoção completa dos minerais (Antonino, 2007; Andrade; Ladchumananandasivam, 2010). A escolha da rota depende do tipo de matéria-prima, influencia a integridade estrutural da quitina e a viabilidade econômica do processo (Andrade; Ladchumananandasivam, 2010). Estudos recentes aplicam planejamento experimental para otimizar essas variáveis, visando reduzir consumo de reagentes e minimizar degradação do polímero (Pinto, 2014).

Do ponto de vista ambiental, a desmineralização convencional gera efluentes ácidos ricos em sais, exigindo tratamento adequado para evitar impactos ambientais. Alternativas sustentáveis incluem o uso de ácidos orgânicos, como ácido acético, processos enzimáticos e tecnologias de biorrefinaria, que reduzem a carga poluente e permitem reaproveitamento do cálcio para uso agrícola, alinhando-se aos princípios da economia circular (Campana Filho *et al.*, 2024; Poria *et al.*, 2021). Essas abordagens representam uma tendência promissora para tornar a extração da quitina mais limpa e economicamente viável, sem comprometer a qualidade do produto. Apesar disso, nesse trabalho investigativo, iremos optar pela rota de desmineralização tradicional utilizando a solução aquosa do HCl.

3.4 DESPROTEINIZAÇÃO

A desproteínização é uma etapa essencial no processo de extração da quitina, responsável pela remoção das proteínas associadas ao exoesqueleto de crustáceos, garantindo maior pureza e qualidade do polímero obtido. Essa fase é fundamental porque proteínas residuais podem comprometer propriedades físico-químicas da quitina e da quitosana, como grau de acetilação e cristalinidade, influenciando diretamente suas aplicações industriais e biomédicas (Pinto, 2014).

O método a ser empregado nesse trabalho é o mais utilizado para desproteínização, que se trata do tratamento alcalino, geralmente com soluções de hidróxido de sódio (NaOH) em concentrações entre 1% e 5%(m/v), sob temperaturas de 60 a 90 °C, por períodos que variam de 1 a 6 horas. Esse processo promove a hidrólise das ligações peptídicas das proteínas, convertendo-as em peptídeos e aminoácidos solúveis. A eficiência depende de parâmetros como concentração, temperatura, tempo e relação sólido/líquido, sendo que condições mais severas podem causar despolimerização da quitina e redução do rendimento (Lacerda, 2019).

Do ponto de vista ambiental, a desproteínização convencional gera efluentes alcalinos ricos em nitrogênio, exigindo tratamento posterior adequado para evitar impactos ambientais. Alternativas sustentáveis incluem o uso de enzimas proteolíticas, como tripsina e *alcalase*, que reduzem a carga poluente e preservam a estrutura da quitina, alinhando-se aos princípios da economia circular (Moraitis, 2025; Campana-Filho *et al.*, 2024).

4 METODOLOGIA

4.1 OBTENÇÃO E PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

As cascas de camarão utilizadas como matéria-prima foram coletadas em diferentes pontos de descarte pós-consumo, incluindo restaurantes da orla de Boa Viagem, na cidade do Recife/PE, e na feira municipal de Paratibe, localizada em Paulista/PE. Após a coleta, as carapaças foram acondicionadas em recipientes plásticos e transportadas para o Laboratório de Óleo e Biodiesel (LOB) da UFRPE, onde se procedeu ao pré-tratamento. Inicialmente, os

resíduos foram submetidos à lavagem em água corrente para remoção de impurezas superficiais, seguida de secagem térmica em estufa de circulação forçada (MA 033 – Marconi) a 100 °C por 2 horas, conforme metodologia adaptada de Antonino (2007) e Moura *et al.* (2024). Após a secagem, as carapaças foram trituradas em liquidificador doméstico até obtenção de partículas finas, que foram submetidas à classificação granulométrica utilizando peneira de aço inoxidável (Latão Inox 304, abertura 212 µm, padrão ABNT/ASTM e TYLER-MESH 65 – Bertel). O material peneirado e o resíduo retido foram pesados em balança analítica e acondicionados separadamente em recipientes herméticos devidamente rotulados.

4.2 EXTRAÇÃO DA QUITINA

A extração da quitina foi realizada por meio de um procedimento químico sequencial, compreendendo as etapas de desmineralização e desproteíntização. Foram avaliadas duas rotas distintas: Desmineralização seguida de desproteíntização (DMP) e Desproteíntização seguida de desmineralização (DPM). Essas rotas foram escolhidas para avaliar o impacto da ordem das etapas na pureza e integridade da quitina (Antonino, 2007; Moura *et al.*, 2024).

Para assegurar a eficiência da extração da quitina de modo a garantir a remoção integral das proteínas e demais constituintes orgânicos associados e inorgânicos, utilizou-se condições brandas nas reações, no intuito de preservar a estrutura da quitina original. Independentemente da rota seguida, ou seja, tanto na DMP como na DPM, cada ciclo foi repetido três vezes (Lacerda, 2019; Pinto, 2014), ou seja, foram realizados três ciclos consecutivos de desmineralização seguida da desproteíntização, no caso da rota DMP, ou três ciclos consecutivos de desproteíntização seguida da desmineralização, no caso da rota DPM, assegurando a completa remoção dos minerais e proteína presentes nas cascas de camarão.

4.2.1 DESMINERALIZAÇÃO

A etapa de desmineralização foi realizada empregando 15 mL de solução de HCl 0,5 mol/L⁻¹ para cada 2 g de cascas, estabelecendo uma proporção sólido:líquido de 1:7,5. O processo foi conduzido por 2 h à temperatura ambiente, sob duas condições distintas: agitação magnética e banho de ultrassom, com o objetivo de comparar a eficiência dos métodos.

Ao término de cada reação, as amostras foram submetidas à filtração a vácuo, utilizando papel filtro e posteriormente lavadas com água destilada até sua água de lavagem atingir pH neutro. Em seguida, o material obtido foi seco em estufa por 2 h a 100 °C.

4.2.2 DESPROTEINIZAÇÃO

A etapa de desproteínização teve como objetivo reduzir o teor de nitrogênio proteico presente nas cascas previamente desmineralizadas. Para isso, utilizou-se solução de NaOH 3 mol/L⁻¹. O volume utilizado foi suficiente para cobrir completamente a amostra, sendo utilizados cerca de 5 ml para cada 1,0 g. O processo foi conduzido por 1 h em banho de óleo aquecido a 80 °C, sem agitação adicional, de modo a favorecer a remoção das proteínas estruturais.

Ao término da reação, o material foi submetido à filtração a vácuo em funil de placa sinterizada, seguido de lavagens sucessivas com água destilada até sua água de lavagem atingir pH 7, garantindo a completa eliminação dos resíduos alcalinos. Em seguida, o produto foi seco em estufa a 100 °C por 2 h.

4.3 ANÁLISE DO TEOR DE CINZAS

A eficiência da reação da desmineralização foi monitorada por análise do teor de cinzas das amostras calcinadas partindo do produto após 3 ciclos da rota DPM. Determinado pelo método gravimétrico, as amostras previamente secas foram pesadas e transferidas para cadinhos tarados, os quais, contendo as amostras, foram introduzidos em mufla e submetidos à incineração a 600 °C por 3 h, até a completa carbonização e conversão em cinzas inorgânicas (Moura *et al.*, 2024; Lima *et al.*, 2023). Após o resfriamento em dessecador, os cadinhos foram novamente pesados. O teor de cinzas (% m/m) foi então calculado pela razão entre a massa das cinzas obtidas e a massa inicial da amostra.

4.4 CARACTERIZAÇÃO POR MEV/ EDE

A caracterização morfológica e elementar das amostras foi realizada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplada à Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios-X (EDE). As análises foram conduzidas no Laboratório de Ciências dos Materiais da UFPE. O pó proveniente da casca camarão seco foi fixado em fitas de carbono e recoberto com uma fina camada de ouro por pulverização catódica, utilizando o equipamento Bal-Tec SCD 050. Em seguida, as amostras foram analisadas em um microscópio eletrônico de varredura MIRA3 TESCAN, acoplado ao sistema EDE, para determinação da composição elementar da superfície externa (Bai *et al.*, 2022).

4.5 CARACTERIZAÇÃO POR FTIR

As amostras, constituídas pelas cascas de camarão seco, pelo produto do primeiro ciclo das rotas DMP (desmineralização seguida de desproteíntização) e DPM (desproteíntização seguida de desmineralização) foram caracterizadas por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier, utilizando Refletância Total Atenuada (FTIR-ATR).

Os espectros foram adquiridos em espectrômetro FTIR Shimadzu, modelo IRSpirit, acoplado a acessório ATR. Cada espectro foi registrado a partir de 45 varreduras (scans), com resolução de 4 cm^{-1} , abrangendo a faixa espectral de 4000 a 400 cm^{-1} .

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos ao longo da pesquisa, relacionando-os com os objetivos propostos e com a literatura científica existente. Inicialmente, descrevem-se os procedimentos de coleta e secagem do camarão, seguidos das análises de caracterização estrutural e química por diferentes técnicas, como microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de dispersão de energia de raios-X (EDE) e espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). Em seguida, são comparados os processos de desmineralização realizados por ultrassom e agitação magnética, além da avaliação das rotas DPM e DMP. Essa organização permite compreender de forma integrada dos efeitos de cada etapa do processamento e sua relevância para a qualidade e aplicabilidade do biopolímero.

5.1 COLETA E SECAGEM DO CAMARÃO

Após o processo da coleta, secagem, trituração e peneiração das cascas dos camarões obtidos das feiras locais da cidade de Paulista e Recife, o rendimento foi calculado utilizando a Equação:

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{Massa Final}}{\text{Massa inicial}} \times 100$$

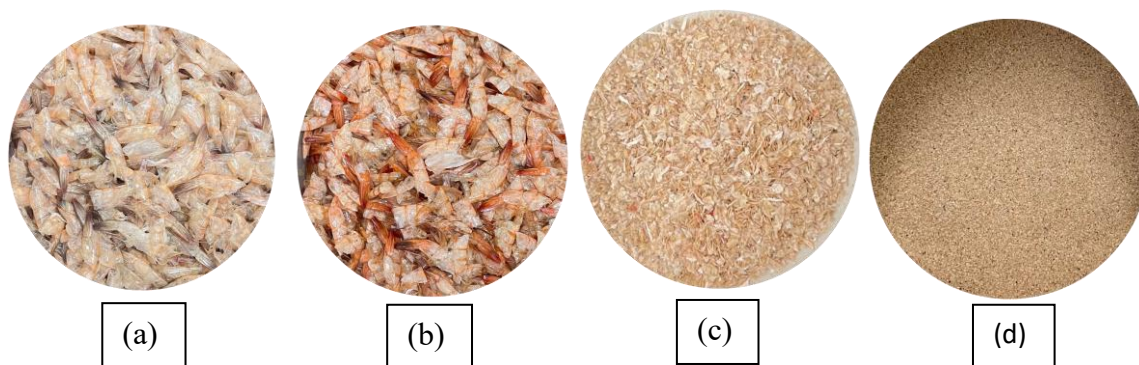
Tabela 1: Secagem da amostra de camarão.

Amostra	Massa Úmida (g)	Massa Seca (g)	Rendimento (%)
Camarão	142.557	59.420	41,68

Fonte: Autor, 2025.

A Figura 3 apresenta a sequência de processamento das cascas de camarão, evidenciando o material em seu estado inicial (3a), após o processo de secagem (3b), posteriormente à etapa de trituração (3c) e, por fim, o produto obtido após a peneiração (3d).

Figura 3: a) camarão bruto coletado; b) camarão após secagem; (c) camarão triturado; (d) camarão peneirado.

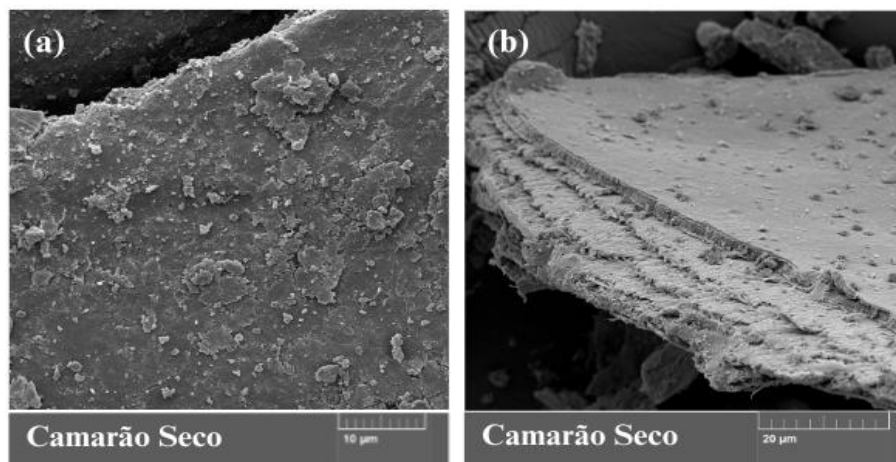


Fonte: Autor, 2025.

5.2. CARACTERIZAÇÃO POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) ASSOCIADA À ESPECTROSCOPIA DE DISPERSÃO DE ENERGIA DE RAIOS-X (EDE)

Ao analisar a micrografia obtida por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do camarão seco (Fig. 4), observa-se que a superfície das cascas apresenta morfologia predominantemente em camadas, com evidente ausência de uniformidade na espessura das camadas. Cada camada visível é constituída por uma rede de fibras de α -quitina associadas a proteínas, característica típica do exoesqueleto de crustáceos, cuja composição envolve tanto componentes minerais quanto proteicos.

Figura 4: Imagem de MEV– EDE mostrando a composição elementar do camarão



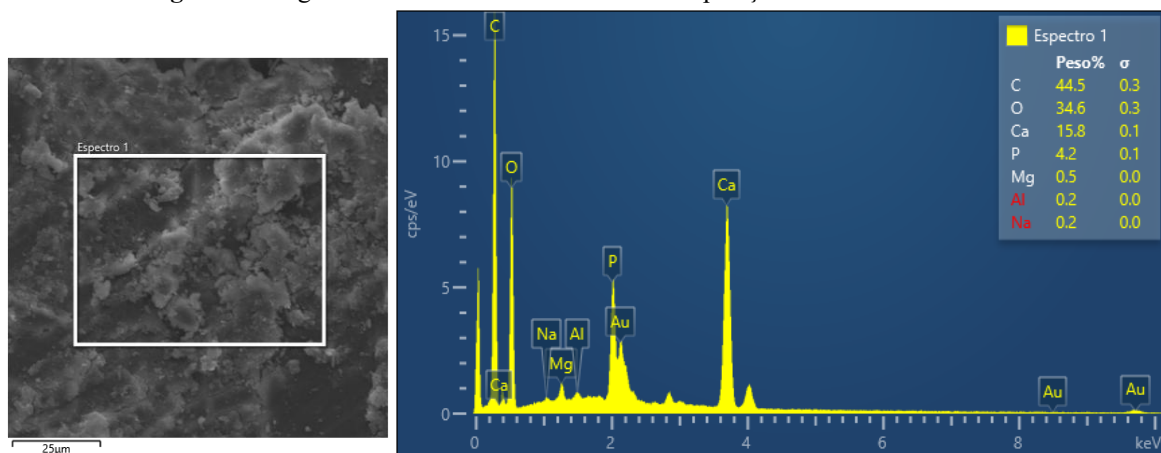
Fonte: Autor, 2025.

Essas observações estão em consonância com o estudo de Verma e Tomar (2014), que investigaram as propriedades nanomecânicas do exoesqueleto do camarão *Pandalus platyceros* (camarão *spot*). Os autores destacaram que o exoesqueleto apresenta uma organização hierárquica bem definida, denominada estrutura de Bouligand. Essa estrutura é formada por fibrilas de quitina recobertas por proteínas em escala nanométrica, que se agrupam para formar fibras. Estas, por sua vez, se entrelaçam e se organizam em camadas de quitina-proteína, empilhadas em uma configuração conhecida como “compensado torcido”.

A análise realizada por Verma e Tomar (2014) também evidenciou que a densidade de empilhamento e a espessura das camadas não são homogêneas ao longo da seção transversal do exoesqueleto. As camadas de α -quitina-proteína apresentam disposição helicoidal, sendo que as camadas inferiores se mostram mais compactadas em comparação às superiores. Além disso, os autores observaram que a espessura das camadas do exoesqueleto de camarão é inferior àquela encontrada em caranguejos e lagostas, reforçando a variabilidade estrutural entre diferentes espécies de crustáceos.

O espectro de Espectroscopia de Dispersão de Energia de Raios-X (EDE) obtido para o camarão seco (Fig. 5) revelou a presença de múltiplos elementos químicos, expressos em termos de porcentagem em massa (%). Os elementos mais abundantes, em ordem decrescente de concentração, foram carbono (44,5%), oxigênio (34,6%), cálcio (15,8%) e fósforo (4,2%). Além disso, foram detectadas concentrações vestigiais de magnésio (0,5%), sódio (0,2%) e alumínio (0,2%).

Figura 5: Imagem de MEV– EDE mostrando a composição elementar do camarão.



Fonte: Autor, 2025.

Resultados semelhantes foram reportados por Alsafy *et al.* (2024), ao caracterizarem estruturas cefalotorácicas do camarão *Marsupenaeus japonicus* (camarão japonês) por meio de análises de MEV-EDE. Nesse estudo, os autores identificaram predominantemente oxigênio, carbono, cálcio, fósforo e nitrogênio, além de elementos em menores proporções, como magnésio, sódio e alumínio. As concentrações médias registradas por esses autores foram: O (38,8%), C (29,37%), N (12,57%), Ca (11,77%), P (6,95%), Mg (0,73%), Na (0,41%) e Al (0,24%).

A comparação entre os resultados evidencia a consistência na composição elementar do exoesqueleto de diferentes espécies de camarão, confirmando a predominância de elementos estruturais como carbono, oxigênio, cálcio e fósforo, associados à matriz de α -quitina-proteína e aos minerais presentes no exoesqueleto.

5.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS DE DESMINERALIZAÇÃO POR ULTRASSOM E POR AGITAÇÃO MAGNÉTICA

A agitação magnética é um método convencional, amplamente utilizado em processos laboratoriais, caracterizado pela simplicidade operacional, baixo custo e eficiência na mistura contínua do material com o ácido, favorecendo a dissolução dos minerais indesejados. Em contraste, o ultrassom emprega ondas sonoras de alta frequência para gerar cavitação, fenômeno que promove a quebra de partículas, reduz o tamanho de proteínas, aumenta a área de contato e auxilia na remoção de impurezas, acelerando o processo de desmineralização. Dessa forma, considera-se que o ultrassom apresenta maior potencial de eficiência em materiais mais resistentes e em processos que demandam rapidez, embora o custo inicial do equipamento seja superior. Para grandes volumes de amostra, a agitação magnética tende a ser mais prática e econômica, enquanto o banho ultrassônico mostra-se mais adequado para lotes menores ou quando se busca maior eficiência (Vallejo-Domínguez *et al.*, 2021).

Com o intuito de selecionar o método mais apropriado para a continuidade do projeto, foi realizada a análise do teor de cinzas do produto final após 3 ciclos da rota DPM. Para cada um dos 3 ciclos, a etapa da desmineralização foi realizada usando forma de agitação diferente, ou seja, agitação magnética ou banho de ultrassom. O baixo de teor de cinzas observado como resultado (Tabela 2), indica que ambos os métodos foram eficazes na desmineralização da casca do camarão.

Tabela 2: Teor de cinzas obtido a partir da desmineralização sob agitação magnética e em banho ultrassônico.

Tipo de agitação	Massa amostra (g)	Massa cinzas (g)	Teor de Cinzas
Magnética	0,264	0,004	1,51%
Ultrassom	0,322	0,002	0,62%

Fonte: Autor, 2025.

O banho ultrassônico demonstrou o dobro da eficiência na remoção de minerais, com teor de cinzas de (0,62%) quando comparado ao método de agitação magnética (1,51%). Tal

resultado sugere que a cavitação gerada pelas ondas ultrassônicas favoreceu a penetração do HCl na matriz das cascas, acelerando a dissolução dos carbonatos e fosfatos insolúveis e promovendo uma desmineralização mais completa. No entanto, apesar do método de banho ultrassom apresentar a metade do teor e cinzas, comparado à agitação magnética, o baixo valor apresentado por ambos os métodos mostra que ambos foram eficientes. Dessa forma, uma vez que ambos os métodos resultaram em baixo teor de cinzas, ou seja, grande eficiência na remoção dos minerais, acredita-se que a escolha da etapa de desmineralização usando da agitação magnética nas etapas subsequentes do projeto seja a mais adequada devido à sua praticidade e baixo custo.

5.4 DESMINERALIZAÇÃO SEGUIDA DA DESPROTEINIZAÇÃO (DMP)

A adição da solução aquosa de HCl às cascas de camarão resultou na formação de espuma (Fig. 6c), fenômeno associado à liberação de dióxido de carbono (CO_2) durante a reação de desmineralização, decorrente da decomposição de carbonatos presentes no exoesqueleto. Entre os sais solúveis formados destaca-se o cloreto de cálcio (CaCl_2) (Eq.1), posteriormente removido por lavagens sucessivas com água destilada.

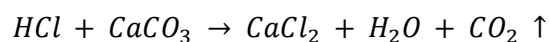
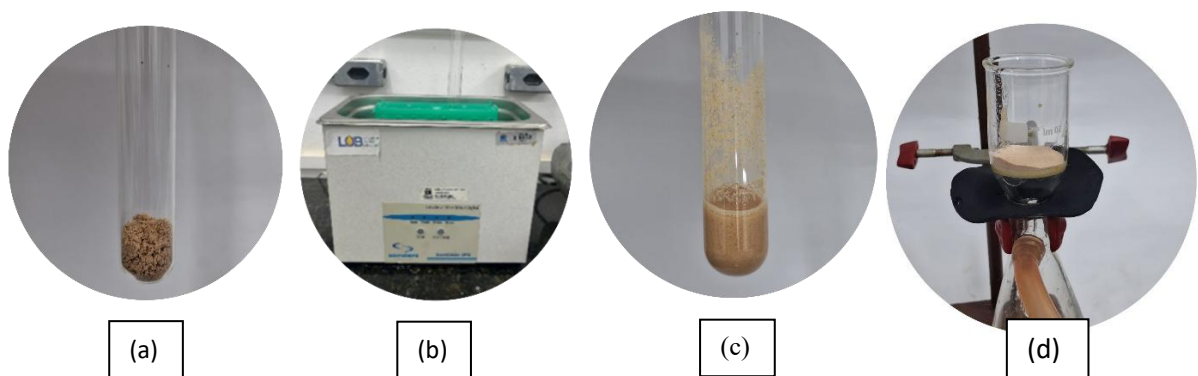


Figura 6: Processo de desmineralização: a) cascas do camarão seco e triturado; b) tubo de ensaio com camarão no ultrassom; c) cascas do camarão na presença da solução HCl na rota DMP; d) amostra na etapa de filtração de desmineralização.

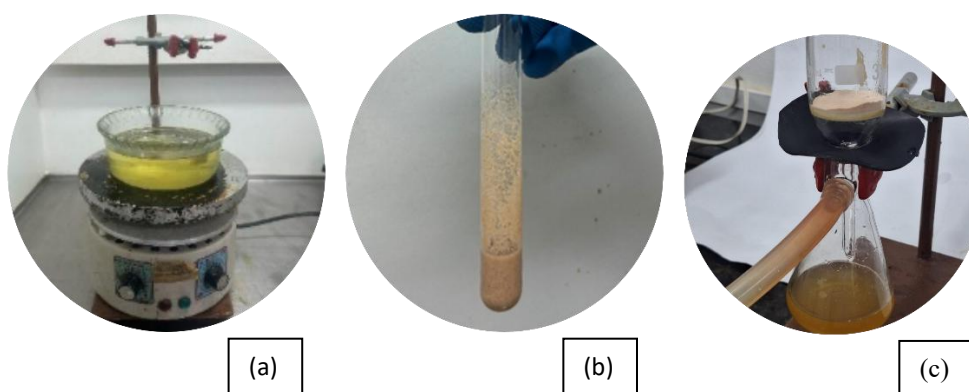


Fonte: Autor, 2025.

A presença de espuma no primeiro ciclo de desmineralização, seguida de sua ausência no segundo ciclo, sugere que a maior parte dos minerais foi removida já na primeira etapa, indicando elevada eficiência do processo. O material sólido recuperado após a desmineralização, lavagem e secagem em estufa apresentou aspecto granulado e coloração mais clara em comparação ao camarão bruto, resultado também observado por Pinto (2014) ao trabalhar com *Macrobrachium amazonicum*, e por Neu *et al.* (2019), que reportaram clareamento progressivo da quitina após remoção de carbonatos.

Na sequência, realizou-se a etapa de desproteínização utilizando o material previamente seco. Nessa reação, a temperatura exerce papel determinante, uma vez que sua elevação favorece a remoção de proteínas estruturais. Embora a temperatura ambiente represente uma condição mais branda, o processo conduzido nessas condições é demasiadamente lento e pouco eficiente (Assis *et al.*, 2008). Assim, o tratamento foi conduzido com solução de NaOH 3 mol/L⁻¹, por 1 h a 80 °C. O material obtido apresentou coloração mais clara em relação ao produto inicial (Fig. 7c), sugerindo a remoção de proteínas.

Figura 7: Processo de desproteínização: (a) banho de óleo; (b) cascas do camarão após a adição da solução de NaOH na rota DMP; (c) amostra na etapa de filtração de desproteínização.



Fonte: Autor, 2025.

Estudos recentes corroboram esses resultados, onde Kaur; Dhillon (2015) demonstrou que a sequência desmineralização para desproteínização é mais eficiente para obtenção de quitina de *Litopenaeus vannamei*, com teores de cinzas inferiores a 1% e remoção significativa de proteínas. Além disso, Neu *et al.* (2019) reportaram que o uso de NaOH em concentrações entre 5 e 10% (m/v) a temperaturas de 80 e 100 °C promoveu desproteínização completa,

resultando em quitina com coloração clara e adequada para posterior desacetilação em quitosana.

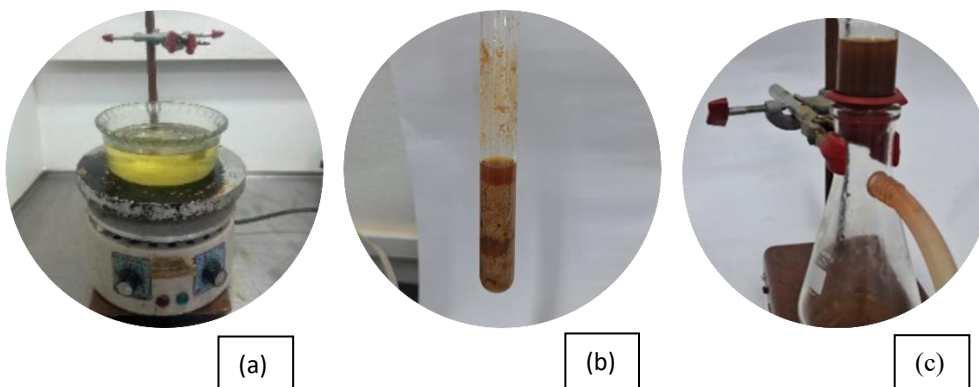
Portanto, os resultados obtidos neste trabalho estão em consonância com a literatura, confirmando que a rota de desmineralização seguida de desproteínização é eficaz para a purificação da quitina de cascas de camarão, garantindo remoção de carbonatos e proteínas e melhorando as características visuais e estruturais do biopolímero.

5.5 DESPROTEINIZAÇÃO SEGUIDA DA DESMINERALIZAÇÃO (DPM)

O propósito de iniciar a extração da quitina pela etapa de desproteínização seguida da desmineralização (DPM) é promover a remoção das proteínas antes da eliminação dos minerais. Essa inversão na ordem de processamento, em comparação ao método tradicional de desmineralização seguida de desproteínização (DMP, item 5.4), pode favorecer maior exposição da superfície mineral, facilitando a etapa subsequente de desmineralização. Entretanto, essa estratégia também aumenta o risco de degradação da quitina em função da ação do ácido, conforme destacado por Rasweefali *et al.* (2022).

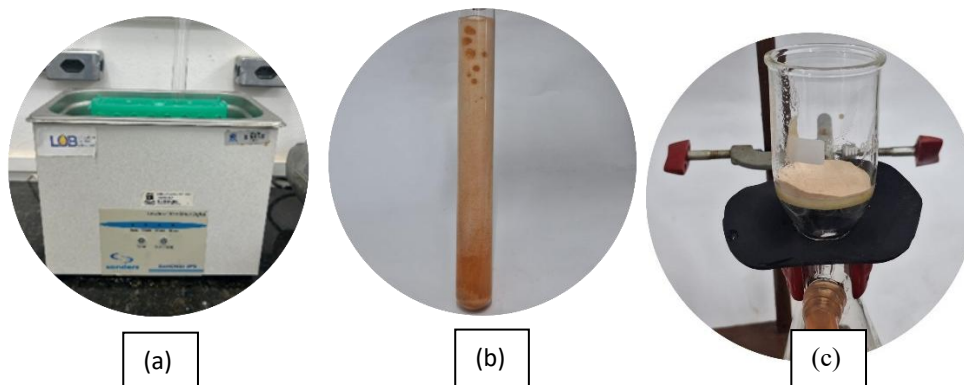
As figuras 9 e 10 mostram as imagens das etapas de desproteínização seguida da desmineralização da rota DPM.

Figura 8: Processo de desproteínização na rota DPM: (a) banho de óleo; (b) cascas do camarão após a adição da solução de NaOH ; (c) amostra na etapa de filtração de desproteínização.



Fonte: Autor, 2025.

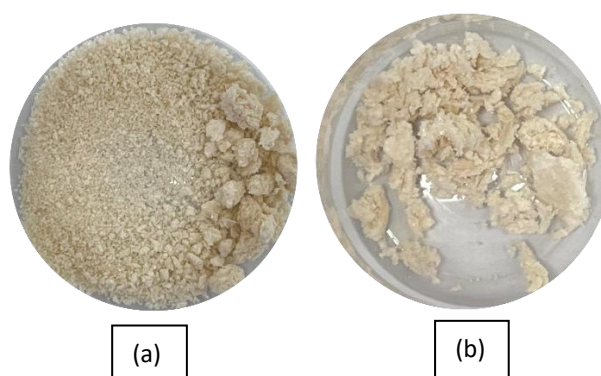
Figura 9: Processo de desmineralização na rota DPM: a) tubo de ensaio com camarão no ultrassom; b) cascas do camarão na presença da solução HCl ; c) amostra na etapa de filtração de desmineralização.



Fonte: Autor, 2025.

Para efeito de comparação, a Figura 10 mostra a foto das cascas de camarão processadas pela rota DPM. Após o 1o ciclo de tratamento com o NaOH (processo de desproteinização) temos a imagem do produto seco na Figura 10a. Esse produto foi então processado por 2 h em banho ultrassônico com HCl para promover a etapa de desmineralização nessa rota DPM e o produto seco final é apresentado na Figura 10b. Percebe-se nessa imagem um aspecto mais aglutinado e mais claro do produto final no final do ciclo.

Figura 10: (a) Cascas do camarão seco após o processo de desproteinização e (b) Cascas do camarão seco após o processo de desmineralização ao usar a rota DPM.



Fonte: Autor, 2025.

5.7 CARACTERIZAÇÃO POR FTIR DA QUITINA APÓS AS ROTAS DE DMP E DPM DO CAMARÃO

Para a obtenção da quitina, empregou-se um procedimento químico sequencial, compreendendo as etapas de desmineralização e desproteíntização. Avaliaram-se duas rotas distintas: a desmineralização seguida da desproteíntização (DMP) e a ordem inversa, desproteíntização seguida da desmineralização (DPM). A análise por FTIR das quitinas obtidas em ambas as rotas foi utilizada para determinar qual delas seria mais eficaz na remoção de minerais e proteínas, bem como na preservação da estrutura da quitina. Essa técnica auxiliou na identificação dos grupos funcionais das cascas de camarão secas após o primeiro ciclo da rota DMP (Figura 11) e da rota inversa DPM (Figura 12). Em ambos os casos, os espectros foram comparados ao da casca de camarão seca, utilizada como material de partida. O objetivo desta análise foi identificar as principais alterações nas características químicas do material em função dos processos aplicados, com base nos picos de absorção observados nos espectros.

No espectro do camarão bruto (Figuras 11 e 13), destacam-se as bandas características de seus componentes principais. Observou-se uma banda em 3274 cm^{-1} , atribuída ao estiramento da ligação -R-N-H , indicativa da presença de proteínas e quitina. Um pico em 2925 cm^{-1} corresponde à vibração de CH dos grupos metil (CH_3) e metileno (CH_2), presentes em lipídios e na estrutura da quitina. A banda em 1030 cm^{-1} sugere a presença de ligações C-O-C , típicas de carboidratos como a quitina. Adicionalmente, um pequeno pico em 871 cm^{-1} indica a vibração do íon carbonato (CO_3^{2-}), possivelmente relacionado a minerais presentes na casca do camarão (Gbenebor *et al.*, 2017).

5.7.1 Primeiro Ciclo de Desmineralização usando a rota DMP (Figura 11):

Na rota DMP, observou-se que, após o primeiro ciclo de desmineralização, houve apenas leve redução da banda em 871 cm^{-1} , atribuída ao íon carbonato (CO_3^{2-}), o que indica que a remoção de sais minerais foi parcial. Essa banda persistiu mesmo após o segundo ciclo, sugerindo que iniciar o processo pela desmineralização não foi eficiente para eliminar os sais presentes ou que seria necessária uma terceira etapa de desmineralização. As bandas características da quitina, como 1666 cm^{-1} (Amida I), 1397 cm^{-1} (Amida III), 1050 cm^{-1} (C-O e C-O-C), permanecem presentes no espectro do produto, porém com menor intensidade e definição. Isso sugere que a matriz orgânica ainda estava parcialmente mascarada por impurezas residuais (Percot *et al.*, 2003).

5.7.3 Primeiro Ciclo de Desproteíntização usando a rota DPM (Figura 12):

No espectro da amostra desproteíntizada no processo DPM (Figura 12), a presença de picos em 1401 cm^{-1} (alongamento assimétrico CO_3^{2-}), 871 cm^{-1} (deformação fora do plano CO_3^{2-}) e 712 cm^{-1} (deformação dentro do plano CO_3^{2-}) é característica da presença de carbonatos (Gbenebor *et al.*, 2017). Esses grupamentos minerais tornaram-se mais evidentes após a remoção das proteínas, tornando mais evidente a fração inorgânica na amostra.

5.7.4 Primeiro Ciclo de Desmineralização (DPM) (Figura 12):

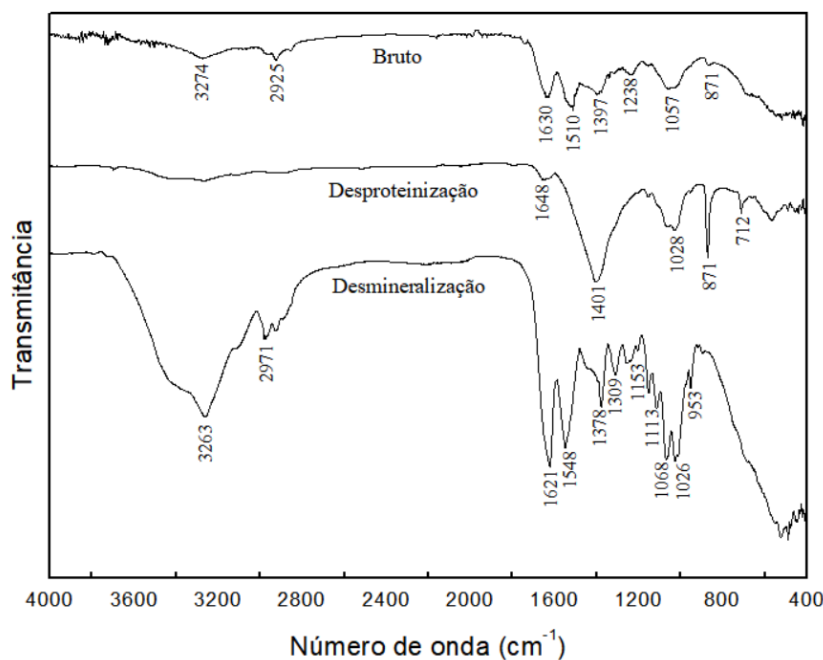
Após a etapa de desproteíntização da casca do camarão, seguida da desmineralização na rota DPM, o espectro apresenta banda em 3263 cm^{-1} (estiramento $-\text{NH}$) e pico em 2971 cm^{-1} (estiramento simétrico de CH_3 e estiramento assimétrico de CH_2) presentes na estrutura da quitina. As bandas em torno de 1621 cm^{-1} e 1548 cm^{-1} correspondem às Amidas I e II, respectivamente, também característico da quitina. Esse espectro mostra uma nítida diferença estrutural da amostra final após a etapa da desmineralização do produto, previamente desproteíntizado, na rota DPM (Fig. 13), evidenciando bastante os picos característicos da quitina, dantes não observado no FTIR do camarão bruto (Fig. 12 e 13), nem mesmo após os ciclos de desmineralização seguido por desproteíntização na rota DPM, sugerindo maior sucesso ao optar por essa rota DPM.

Apesar disso, a presença da banda em 1548 cm^{-1} , associada aos grupos $\text{C}=\text{O}$ terminais de COOH de proteínas, indica que ainda há resíduos protéicos, sugerindo a necessidade de um ciclo adicional de desproteíntização. Bandas características da estrutura sacarídica são observadas em torno de 1153 cm^{-1} (alongamento assimétrico da ponte $\text{C}-\text{O}-\text{C}$) e 1113 e 1068 cm^{-1} (alongamento $\text{C}-\text{O}$) (Rinaudo, 2006; El Knidri *et al.*, 2016).

A persistência das bandas de amida após o primeiro ciclo de desproteíntização em ambos os processos (DMP e DPM) evidenciou a necessidade de etapas adicionais para a remoção eficiente das proteínas. À medida que os demais constituintes foram parcialmente eliminados, as bandas características da quitina tornaram-se mais pronunciadas. Diante disso, optou-se pela realização de um novo ciclo utilizando a rota DPM, fundamentada em dados da literatura, e por isso realizamos 3 ciclos para cada rota. Rasweefali *et al.* (2022) observaram que, em comparação à sequência DMP, a quitina obtida pela rota DPM apresentou valores superiores de grau de acetilação, índice de cristalinidade, capacidade de ligação à gordura, capacidade de

retenção de água e índice de brançura. Além disso, a quitina isolada após os 3 ciclos da rota DPM apresentou coloração mais clara que o produto dos 3 ciclos da rota da rota DMP sugerindo a eliminação da necessidade de uma etapa adicional de descoloração no processo produtivo.

Figura 12: Espectro FTIR das cascas do camarão após o 1º ciclo de desproteinização seguida da desmineralização (DPM)



Fonte: Autor, 2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou de forma clara e consistente a viabilidade da extração de quitina a partir de resíduos de camarão, confirmando que processos químicos bem delineados podem transformar um subproduto de baixo valor em um insumo estratégico para diferentes áreas industriais e científicas. A aplicação sequencial das etapas de desmineralização e desproteinização, evidenciou a remoção progressiva de sais minerais, proteínas e pigmentos, de acordo com os espectros de FTIR, teor de cinzas e seu aspecto físico. Essas análises também evidenciaram que a sequência DPM mostrou-se superior à DMP. Quanto a etapa de desmineralização, o teor de cinzas evidenciou que a agitação por banho de ultrassom foi mais eficiente que a agitação magnética.

Esses resultados reforçam não apenas a relevância científica da pesquisa, mas também seu impacto ambiental e econômico, ao propor uma alternativa sustentável para o aproveitamento de resíduos da indústria do camarão. O processo estudado contribui para a economia circular e para a bioeconomia, reduzindo impactos ambientais e agregando valor a subprodutos pesqueiros. Apesar disso, apontamos para a necessidade de pesquisas futuras voltadas ao desenvolvimento de métodos mais limpos e sustentáveis, como rotas enzimáticas e fermentativas, capazes de substituir reagentes agressivos e ampliar a viabilidade ambiental do processo.

Assim, este trabalho não apenas confirma a viabilidade técnica da extração de quitina a partir de resíduos de camarão, mas também consolida sua relevância científica, tecnológica e econômica, posicionando-a como uma contribuição significativa para o avanço da bioeconomia e para a construção de soluções inovadoras e responsáveis que transformam resíduos em recursos estratégicos para o futuro.

Referências

ABCC. *Anuário Seafood Brasil 2024: perfil da produção brasileira de camarão marinho cultivado*. Natal: ABCC, 2024. Disponível em: https://abccam.com.br/wp-content/uploads/2024/10/ANUARIO2024-55_digital_CAMARAO.pdf. Acesso em: 10 out. 2024.

ABCC. *Panorama da carcinicultura brasileira: desafios e perspectivas*. Natal: ABCC, 2024. Disponível em: <https://abccam.com.br/panorama-caracterizacao-camarao-2024.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

ABCC. *Produção e processamento: metas alcançadas em 2023 e novos horizontes em 2024*. Natal: ABCC, 2023. Disponível em: <https://abccam.com.br/wp-content/uploads/2023/12/CARCINICULTURA-ITAMAR-ANUARIO-SEAFOOD.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2023.

ALSIFY, M. A. M. *et al.* Scanning electron microscopy, morphometric and energy dispersive X-Ray analysis of cephalothoracic structures exploring defensive and sensory features in kuruma shrimp (*Marsupenaeus japonicus* Spence Bate, 1888). **BMC Zoology**, v. 9, n. 29, 2024.

ANDRADE, Sânia Maria Belísio de; LADCHUMANANANDASIVAM, Rasiah. Extração e caracterização de quitina e quitosana e sua utilização na fabricação de nanofibras. In:

CONEM, 2010. Disponível em: <https://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-0644.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2010.

ANTONINO, Nilton de Andrade. *Otimização do processo de obtenção de quitina e quitosana de exoesqueletos de camarões oriundos da indústria pesqueira paraibana*. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007. Disponível em: https://www.ufpb.br/ppgq/contents/documentos/teses-e-dissertacoes/dissertacoes/2007/Dissertacao_Nilton_A_Antonino.pdf. Acesso em: 15 dez. 2007.

ASSIS, O. B. G.; BRITTO, D. Basic process for chitin extraction and chitosan production from carciniculture wastes. **R. Brás. Agrocência**, v. 14, p. 91–100, 2008.

ASSIS, T. M.; BRITTO, D. Reaproveitamento de cálcio proveniente da desmineralização para uso agrícola: uma abordagem sustentável. **Green Chemistry**, v. 26, p. 987–995, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C4GC00987K>. Acesso em: 28 fev. 2024.

AYE, K. N.; STEVENS, W. F. Improved chitin production by pretreatment of shrimp shells. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 79, n. 4, p. 421–425, 2004.

BAI, H. *et al.* Chitin and chitosan-based materials for biomedical applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 287, p. 119349, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119349>. Acesso em: 12 mar. 2022.

BEZERRA, Adriana Maia. *Síntese e avaliações físico-químicas e biológicas de derivados de quitosana de alta e baixa massa molecular*. 2011. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

BLACKWELL, J.; MINKE, A. The structure of α -chitin. **Journal of Molecular Biology**, v. 120, n. 2, p. 167–181, 1978. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0022-2836\(78\)90259-0](https://doi.org/10.1016/0022-2836(78)90259-0).

BROWN, H. E.; ESHER, S. K.; ALSPAUGH, J. A. Chitin: Structure, function, and roles in fungal biology. **Annual Review of Microbiology**, v. 74, p. 521–539, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-012420-091932>.

CAMPANA FILHO, S. P.; SIGNINI, R.; CARDOSO, M. B. Alternativas sustentáveis para desmineralização de quitina: ácidos orgânicos e processos enzimáticos. **Carbohydrate Polymers**, v. 310, p. 120456, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.120456>.

CAMPANA FILHO, Sergio Paulo; SIGNINI, Roberta; CARDOSO, Márcia Barreto. Propriedades e aplicações de quitosana. **Revista Pesquisa e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 1–15, 2020. Disponível em: https://ojs.rpqsenai.org.br/index.php/rpq_n1/article/download/41/30/.

CAMPANA-FILHO, S. P. *et al.* *Quitina e quitosana: biopolímeros funcionais para o desenvolvimento sustentável*. **Revista Pesquisa e Tecnologia**, 2024. Disponível em: https://ojs.rpqsenai.org.br/index.php/rpq_n1/article/download/731/650.

CAMPANA-FILHO, S. P.; BRITTO, D. de; CURTI, E.; ABREU, F. R. de; CARDOSO, M. B.; BATTISTI, M. V.; SIM, P. C. do; GOY, R. C.; SIGNINI, R.; LAVALL, R. L. Extração,

estruturas e propriedades de ‘gama’ e ‘beta’ quitina. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 644–650, 2007.

CANELLA, M. H. M.; GARCIA, R. H. L. Quitina e quitosana: obtenção, caracterização e aplicações. **Polímeros**, v. 11, n. 2, p. 96–101, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282001000200009>.

CASTELEIJN, M. G. *et al.* Chitin-based materials in marine organisms: structure and function. **Marine Biotechnology**, v. 20, n. 3, p. 345–360, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10126-018-9814-3>.

COELLO, N. & Bernal, Carolina & Bertsch, Annalisse & Estrada, Omar & Moccó, Y. & Hasegawa, M. (2003). *Feathers as agro industrial waste: Their biotechnological utilization to develop new added value products*. Revista de la Facultad de Ingenieria. 18. 119-126.

EL KNIDRI, H.; EL KHALFAOUI, R.; LAAJEB, A.; ADDAOU, A.; LAHSINI, A. Eco-friendly extraction and characterization of chitin and chitosan from the shrimp shell waste via microwave irradiation. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 104, p. 395–405, 2016.

EMBRAPA. *Pesca e aquicultura no território Mata Sul Pernambucana*. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/atividades-economicas/criacoes/pesca-e-aquicultura>.

EVARISTO, Conceição. *Poemas da recordação e outros movimentos*. Belo Horizonte: Nandyala, 2008.

FELIPE, Lorena O. *et al.* Quitosana: da química básica à bioengenharia. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 4, p. 45–52, 2016. Disponível em: https://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc39_4/03-QS-45-16.pdf.

FIGLIARESE, Caio Henrique Ungarato *et al.* Produção de quitosana a partir da quitina extraída de exoesqueletos de crustáceos para diversas aplicações humanas: uma proposta de sustentabilidade ambiental. **Multidisciplinary Reviews**, v. 3, p. e2020006, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/339523370>.

FREITAS, Maurício Assuero Lima de; BARROS, Arthur. O cenário econômico da pesca artesanal em Pernambuco. **Revista Mares**, v. 4, n. 2, p. 79–96, 2022. Disponível em: <https://revistamares.com.br/index.php/files/article/download/181/186/>.

GBENEBO, O. P.; ADEOSUN, S. O.; LAWAL, G. I.; JUN, S.; OLALEYE, S. A. Acetilação, propriedades cristalinas e morfológicas de polissacarídeos estruturais de exoesqueleto de camarão. **Ciência e Tecnologia de Engenharia**, v. 20, n. 3, p. 1155–1165, 2017.

HAMED, I.; ÖZOGUL, F.; REGENSTEIN, J. M. Aplicações industriais de subprodutos de crustáceos (quitina, quitosana e quitoooligosacarídeos): uma revisão. **Trends in Food Science & Technology**, v. 48, p. 40–50, 2016.

HOU, X.; AYDEMIR, D.; DUMANLI, A. G. Chitin-based sustainable materials for biomedical and industrial applications. **Advanced Functional Materials**, v. 31, n. 12, p. 2009380, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/adfm.202009380>.

IBGE. *Produção da carcinicultura no Brasil: dados estatísticos*. Brasília: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/indicadores/caracterizacao-caracteristicas-carne-camarao.html>.

KAUR, S.; DHILLON, G. S. The Chitin Industry: Sources, Production, and Applications. In: KIM, Se-Kwon (Ed.). *Springer Handbook of Marine Biotechnology*. Berlin: Springer, 2015. p. 543–574.

KAYA, M. *et al.* Structural diversity of chitin and chitosan in marine organisms. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 104, p. 1052–1061, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.097>.

KOBAYASHI, T.; SAGAWA, T.; FUKUOKA, T. Chitin and chitosan-based hydrogels for tissue engineering. **Materials Science and Engineering: C**, v. 134, p. 112596, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2022.112596>.

LANXIN MU; LIQIN WU; SHUANGQUAN WU; QIFA YE; ZIBIAO ZHONG. Progress in chitin/chitosan and their derivatives for biomedical applications: Where we stand. **Carbohydrate Polymers**, v. 343, 2024.

LACERDA, B. A. C. F. *Otimização e padronização de processos para obtenção de quitosana purificada para uso farmacêutico e alimentício*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2019. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002941699>.

LIMA, R. S. *et al.* Avaliação da eficiência da desmineralização por DRX e teor de cinzas em quitina obtida de resíduos de camarão. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 230, p. 1234–1242, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.1242>.

MACEDO, Jonathan Silva Teixeira de. *Caracterização físico-química de α -quitina em exoesqueletos de escarabeídeos e aproveitamento da biomassa residual para obtenção de quitosana*. UTFPR, 2017. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15359/1/PB_DAQUI_2017_2_4.pdf.

MAGALHÃES, Lana. *Quitina: o que é, onde é encontrada e funções*. Toda Matéria, 2024. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/quitina/>.

MATOS, Túlio Natalino de; LOPES, Flavio Marques; SIGNINI, Roberta. Uso de quitosana aplicada à liberação controlada de fármacos: uma revisão sistemática. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 3, p. 1–20, 2020. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/RVq190520-a2.pdf>.

MELO, Marcela Jorce de; MAGALHÃES, Vanessa da Costa. *Otimização da obtenção de quitosana proveniente da quitina de camarão-sete-barbas e sua aplicação em colunas de adsorção*. FATEC, 2020. Disponível em: <https://fatec.br/trabalhos/otimizacao-obtencao-quitosana.pdf>.

MORAITIS, M. *Métodos de síntese de quitosana: possibilidades de aplicação de uma metodologia enzimática*. TCC – UFCSPA, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufcspa.edu.br/bitstreams/da8acc30-96c7-4642-82efd03f71894fe2/download>.

MOURA, A. P. *et al.* Otimização da desmineralização de carapaças de siri para extração de quitina: estudo de planejamento experimental. **Journal of Applied Polymer Science**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/app.56789>.

MOUSSIAN, B. The role of chitin in insect cuticle structure and function. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 109, p. 1–10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2019.03.002>.

NEVES, A. C. *et al.* Otimização de processos de obtenção de quitosana a partir de resíduos da carcinicultura para aplicações ambientais. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, 2013.

OLIVEIRA, Aline Fernandes de *et al.* Obtenção de quitina a partir de gládios de lula. CERES/UEDESC, 2019. Disponível em: https://ceres.udesc.br/arquivos/id_submenu/2261/16.pdf.

OLIVEIRA, M.; ACHARYA, B.; BISSESSUR, R. Quitina, quitosana e nanoquitina: extração, síntese e aplicações. **Polímeros**, v. 14, n. 19, p. 3989, 2022.

PAKIZEH, M.; MORADI, A.; GHASSEMI, T. Extração química e modificação de quitina e quitosana de cascas de camarão. **European Polymer Journal**, v. 159, p. 110709, 2021.

PATEL, S.; GOYAL, A. Chitin and chitosan: Biopolymers for wound management. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 97, p. 822–836, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.086>.

PERCOT, A.; VITON, C.; DOMARD, A. Optimization of Chitin Extraction from Shrimp Shells. **Biomacromolecules**, v. 4, n. 1, p. 12–18, 2003.

PAKIZEH, M.; MORADI, A.; GHASSEMI, T. Chemical extraction and modification of chitin and chitosan from shrimp shells. **European Polymer Journal**. Elsevier Ltd, (2021).

PIGHINELLI, L. Methods of Chitin Production: a Short Review. **American Journal of Biomedical Science & Research**, v. 3, p. 307–314, 2019.

PINHEIRO, Carlos Daniel dos Santos *et al.* *Casca de camarão como recurso estratégico: inovação, sustentabilidade e bioeconomia na Agenda 2030*. UFF, 2024. Disponível em: <https://www.uff.br/noticias/casca-de-camarao-recurso-estrategico>.

PINTO, A. S. *Otimização de processos de obtenção de quitina e quitosana do exoesqueleto do camarão amazônico*. Dissertação (Mestrado) – UFPA, 2014. Disponível em: <https://www.ppgcta.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2014/Andrea%20Pinto.pdf>.

PORIA, D. *et al.* Recovery of astaxanthin from crustacean shells: applications and bioactive properties. **Marine Drugs**, v. 22, n. 1, p. 45–60, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/md22010045>.

PORIA, D. *et al.* Chitin and chitosan: Chemistry, biology and applications. **Carbohydrate Research**, v. 505, p. 108354, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2021.108354>.

RASWEEFALI, M. K.; SABU, S.; AZAD, K. S. M.; RAHMAN, M. K. R.; SUNOOJ, K. V. Influence of deproteinization and demineralization process sequences on the physicochemical and structural characteristics of chitin isolated from deep-sea mud shrimp (*Solenocera hextii*). **Advances in Biomarker Sciences and Technology**, v. 4, p. 12–27, 2022.

RESENDE, Alda Letícia da Silva Santos; CUSTÓDIO, Juliane Gabilan Medina. Aproveitamento sustentável de resíduos da piscicultura no Brasil: uma revisão de alternativas ambientais e econômicas. **Revista F&T**, v. 28, n. 138, p. 1–20, 2024. Disponível em: <https://revistaft.com.br/aproveitamento-sustentavel-de-residuos-da-piscicultura-no-brasil-uma-revisao-de-alternativas-ambientais-e-economicas/>.

RONCERO, C.; VÁZQUEZ DE ALDANA, C. R. Chitin synthesis and cell wall remodeling in fungi. **Fungal Biology Reviews**, v. 34, n. 1, p. 1–10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2019.12.001>.

ROSSI, N.; GROSSO, C.; DELERUE-MATOS, C. Shrimp Waste Upcycling: Unveiling the Potential of Polysaccharides, Proteins, Carotenoids, and Fatty Acids with Emphasis on Extraction Techniques and Bioactive Properties. **Marine Drugs**, v. 22, n. 4, p. 153, 2024.

SHAMSHINA, J. L.; BERTON, P.; ROGERS, R. D. Advances in chitin and chitosan science: Solubility, derivatives and applications. **Green Chemistry**, v. 21, p. 3974–3991, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C9GC01295K>.

SILVA, Davi Costa *et al.* Características químicas e atividades biológicas da quitina e quitosana. 2006. Disponível em: <https://1library.org/article/caracter%C3%ADsticas-qu%C3%ADmicas-e-atividades-biol%C3%B3gicas-da-quitina-e-q7rx2kky>.

SILVA, João Pedro *et al.* Impactos ambientais do descarte de resíduos da carcinicultura em ecossistemas costeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v. 29, n. 2, p. 45–60, 2025. Disponível em: <https://revistaengenhariaambiental.com.br/artigos/impactos-caracterizacao-camarao>.

SIM, Priscilla Costa do. *Efeitos do tratamento com ultra-som sobre a extração de quitina da biomassa e sobre a solubilidade do polissacarídeo*. USP, 2005. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001449630>.

STAMFORD, Thatiana Montenegro *et al.* Produção, propriedades e aplicações da quitosana na agricultura e em alimentos. Academia.edu, 2017. Disponível em: https://www.academia.edu/96330549/Produ%C3%A7%C3%A3o_propriedades_e_aplica%C3%A7%C3%B5es_da_quitosana_na_agricultura_e_em_alimentos.

TOLAIMATE, A.; DESBRIERES, J.; RHAZI, M.; ALAGUI, A. Contribution to the preparation of chitins and chitosans with controlled physico-chemical properties. **Polymer**, v. 44, n. 26, p. 7939–7952, 2003.

VALLEJO-DOMÍNGUEZ, D. *et al.* Ultrasound in the deproteinization process for chitin and chitosan production. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 72, p. 105417, 2021.

VERMA, D.; TOMAR, V. An investigation into environment dependent nanomechanical properties of shallow water shrimp (*Pandalus platyceros*) exoskeleton. **Materials Science and Engineering: C**, v. 44, p. 371–379, 2014.

VERMA, D. *et al.* Advances in sustainable chitosan-based nanocomposites for wound healing. **Environmental Research**, v. 216, p. 114674, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.114674>.

YOUNES, I.; RINAUDO, M. Chitin and chitosan preparation from marine sources: Structure, properties and applications. **Marine Drugs**, v. 13, n. 3, p. 1133–1174, 2015. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-3397/13/3/1133>.