



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PESCA

FRANCISCO IKARO XAVIER DE SOUSA

**ESTUDO COMPARATIVO DA QUALIDADE DE AMOSTRAS DE CAMARÃO-
BRANCO-DO-PACÍFICO (*PENAEUS VANNAMEI*), PRÉ-COZIDAS PELO MÉTODO
DE AQUECIMENTO CONVENCIONAL E ÔHMICO.**

FORTALEZA
2025

FRANCISCO IKARO XAVIER DE SOUSA

ESTUDO COMPARATIVO DA QUALIDADE DE AMOSTRAS DE CAMARÃO-
BRANCO-DO-PACÍFICO (*PENAEUS VANNAMEI*), PRÉ-COZIDAS PELO MÉTODO DE
AQUECIMENTO CONVENCIONAL E ÔHMICO.

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para o título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Bartolomeu Warlene Silva de Souza

FORTALEZA
2025

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

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

- S696e Sousa, Francisco Ikaro Xavier de.
 Estudo comparativo da qualidade de amostras de camarão-branco-do-pacífico (*Penaeus vannamei*), pré-cozidas pelo método de aquecimento convencional e ôhmico. / Francisco Ikaro Xavier de Sousa. – 2025.
 82 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2025.
 Orientação: Prof. Dr. Bartolomeu Warlene Silva de Souza.
1. camarão. 2. qualidade do pescado. 3. conservação de alimentos.. 4. pré-cozimento. 5. congelamento rápido. I. Título.

CDD 639.2

FRANCISCO IKARO XAVIER DE SOUSA

ESTUDO COMPARATIVO DA QUALIDADE DE AMOSTRAS DE CAMARÃO-
BRANCO-DO-PACÍFICO (*PENAEUS VANNAMEI*), PRÉ-COZIDAS PELO MÉTODO DE
AQUECIMENTO CONVENCIONAL E ÔHMICO.

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para o título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Bartolomeu Warlene Silva de Souza

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Bartolomeu Warlene Silva de Souza
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Francisca Gleire Rodrigues de Menezes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Sara Monaliza Sousa Nogueira
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

A Deus, ao universo e a todas as energias.
Aos meus pais, Kássio e Ivaneide pelo apoio.
Aos responsáveis por eu ser quem sou.

AGRADECIMENTOS

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

Primeiramente, agradeço ao apoio incondicional de meus pais Francisco Kassio e Ivaneide, por toda a paciência, incentivo e palavras de motivação na conclusão deste trabalho, além da dedicação em minha formação. Grato por tudo.

Gostaria também de fazer um agradecimento especial ao meu orientador Prof. Dr. Bartolomeu Warlene Silva de Souza, responsável pelo apoio intelectual e instrumental na montagem deste trabalho e por sua contribuição na tirada das principais dúvidas e questões que apareceram ao longo do tempo.

Agradeço as técnicas laboratoriais Cláudia Brandão e Cláudia Cinthia por serem peças essenciais no dia a dia de nosso laboratório e pelas contribuições tão importantes nas análises microbiológicas e físico-químicas presentes neste experimento.

Não poderia deixar de agradecer também aos colegas e amigos pertencentes ao Laboratório de Tecnologia do Pescado (LATEPE) da Universidade Federal do Ceará, Davi, Kamila, Karolina, Jaqueline, Edmar, Mateus e outros que eventualmente ajudaram nos momentos de tensão e na execução deste trabalho. Vocês foram partes importantíssimas na conclusão deste projeto. Muito grato.

Faço um agradecimento especial aos meus amigos de longa jornada, Cynthia, Hermeson, Bruna e Naylson, que tanto me falaram palavras de alívio e incentivo, além de contribuírem nos períodos de descontração tão necessários para a manutenção da saúde mental. As melhores pessoas do mundo.

Agradeço as considerações e a atenção da banca examinadora para que esse trabalho possa mostrar todo seu potencial.

Faço um agradecimento especial a EMBRAPA, pela ajuda e disponibilidade de pessoal e equipamentos para a realização de algumas análises deste trabalho.

Meu último agradecimento vai para mim mesmo, por ter continuado, nunca ter desistido, por saber o que quero para o futuro, por tentar tirar motivação para alcançar meus objetivos e nesse caminho tão difícil, ainda ter empatia e proatividade para contribuir com a trajetória dos que estão ao meu redor. As vezes nós mesmos somos nossos maiores algozes e esquecemos de reconhecer nossa contribuição.

Passos ecoam na memória
Ao longo do corredor que nunca seguimos
Em direção à porta que nunca abrimos
Para o roseiral. (Burnt Norton Interlude - Lana Del Rey).

RESUMO

O Brasil é atualmente um dos países que mais crescem em termos de produção aquícola, ocupando a 13ª posição mundial em produção de organismos aquáticos. Dentre as espécies mais produzidas em território brasileiro e mais exportadas para outros países, se destaca o camarão-branco-do-pacífico (*Penaeus vannamei*). Os métodos utilizados para cozimento deste alimento já difundidos na indústria podem conferir mudanças no perfil constitucional do alimento, impactando diretamente no perfil de lipídios e ácidos graxos por exemplo, ou acarretando maiores perdas através do cozimento. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é aplicar a técnica de aquecimento ôhmico em amostras de camarão, avaliando sua qualidade com um período de armazenamento prolongado. Neste trabalho foi avaliado a rapidez de progressão de temperatura em um tratamento com aquecimento convencional e um tratamento com aquecimento ôhmico, além do congelamento rápido das amostras de camarão a -30 °C, para avaliar diferenças entre as duas técnicas e mudanças no produto durante 6 meses de armazenamento. Para isso foram empregadas análises físico-químicas, microbiológicas, além de avaliada a composição centesimal e textura das amostras. Os resultados das curvas de progressão de temperatura demonstram maior rapidez de distribuição de temperatura para o aquecimento ôhmico, que também apresentou as menores médias de perdas por cozimento (7,86%). Em relação aos parâmetros de qualidade, as maiores médias de oxidação, N-BVT e pH foram observadas no tratamento com aquecimento ôhmico (0,29 mg de MDA/kg de pescado, 7,35 e 23,8 mg de N/100 g de pescado), mas dentro dos limites aceitáveis. A análise da composição centesimal demonstrou diminuição de umidade das amostras e concentração de proteínas ao final do experimento para os dois tratamentos, sugerindo alterações com a estocagem. A análise de cor sugeriu aumento da luminosidade (L^*) das amostras e pequena modificação nos padrões de cores (a^* e b^*). Na avaliação da qualidade microbiológica das amostras, os dois tratamentos foram eficazes na redução da quantidade de unidades formadoras de colônia no camarão (de 4,88 UFC/g no camarão fresco para 2,71 e 3,25 UFC/g respectivamente para o aquecimento convencional e ôhmico ao final de 6 meses). Mudanças nos parâmetros de textura foram observados nos dois tratamentos, com pequenas variações na dureza, mastigabilidade e manutenção da elasticidade do produto. Novos testes devem ser feitos para aprimorar ainda mais a utilização do aquecimento ôhmico em amostras de pescado.

Palavras-chave: camarão; pré-cozimento; congelamento rápido; qualidade do pescado; conservação de alimentos.

ABSTRACT

Brazil is currently one of the fastest-growing countries in terms of aquaculture production, ranking 13th in the world in the production of aquatic organisms, according to FAO in 2022. Among the species most produced in Brazil and most exported to other countries is the Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). The methods used to cook this food that are already widespread in the industry, such as steam heating, boiling or the use of scalding water, can lead to changes in the constitutional profile of the food, directly impacting on the profile of lipids and fatty acids, for example, or causing greater losses through cooking. In this context, the aim of this work is to apply the ohmic heating technique to shrimp samples, assessing their quality over a period of prolonged storage. This work evaluated the speed of temperature progression in a conventional heating treatment and an ohmic heating treatment, as well as the rapid freezing of shrimp samples at -30 °C, in order to assess differences between the two techniques and changes in the product during 6 months of storage. For this purpose, physicochemical and microbiological analyses were used, as well as evaluating the centesimal composition and texture of the samples. The results of the temperature progression curves show faster temperature distribution for ohmic heating, which also showed the lowest average cooking losses (7.86%). With regard to quality parameters, the highest averages for oxidation, N-BVT and pH were observed in the treatment with ohmic heating (0.29 mg of MDA/kg of fish, 7.35 and 23.8 mg of N/100 g of fish), but within acceptable limits. Analysis of the centesimal composition showed a decrease in the moisture content of the samples and protein concentration at the end of the experiment for both treatments, suggesting changes with storage. The color analysis suggested an increase in the brightness (L^*) of the samples and a slight change in the color patterns (a^* and b^*). In assessing the microbiological quality of the samples, the two treatments were effective in reducing the amount of colony-forming units in the shrimp (from 4.88 CFU/g in fresh shrimp to 2.71 and 3.25 CFU/g respectively for conventional and ohmic heating at the end of 6 months). Changes in texture parameters were observed in both treatments, with small variations in hardness, chewiness and maintenance of product elasticity. Further tests should be carried out to improve the use of ohmic heating in fish samples.

Keywords: shrimp; pre-cooking; rapid freezing; fish quality; food preservation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Modelo esquematizado de uma célula ôhmica de bancada.....	27
Figura 2	– Célula ôhmica experimental em uso.....	28
Figura 3	– Processo tratamento de camarões e posterior cálculo de rendimento e perdas por cozimento.....	29
Figura 4	– Amostras de camarão pré-cozidas e preparadas para o processo de congelamento rápido.....	30
Figura 5	– Processo esquematizado de produção de placas para análise de bactérias psicotróficas para cada um dos tratamentos.....	37
Figura 6	– Delineamento experimental com as principais etapas desenvolvidas.....	38
Figura 7	– Progressão de temperatura no centro dos camarões até 63 °C, para cada um dos tratamentos utilizados.....	41
Figura 8	– Progressão de temperatura de congelamento rápido no centro do alimento para os dois tratamentos utilizados.....	46
Figura 9	– Valores médios de oxidação lipídica para as amostras de camarão nos dois tratamentos utilizados.....	48
Figura 10	– Valores médios de pH para as amostras de camarão nos dois tratamentos utilizados.....	51
Figura 11	– Valores médios de N-BVT para as amostras de camarão nos dois tratamentos utilizados.....	53
Figura 12	– Comparação entre as propriedades de textura de amostras de camarão frescas e amostras submetidas ao pré-cozimento dos dois tratamentos utilizados	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Perdas por cozimento acarretadas em cada tratamento.....	43
Tabela 2 – Valores comparativos de oxidação lipídica entre os tratamentos.....	49
Tabela 3 – Valores comparativos de N-BVT entre os tratamentos.....	53
Tabela 4 – Mudança nos parâmetros de coloração de camarões para os dois tratamentos.....	55
Tabela 5 – Médias de perdas por gotejamento para cada tratamento ao longo de 6 meses.....	60
Tabela 6 – Médias de perdas por centrifugação para cada tratamento ao longo de 6 meses.....	62
Tabela 7 – Composição centesimal de amostras de camarão submetidas a aquecimento convencional e ôhmico, congeladas por 6 meses.....	64
Tabela 8 – Logaritmo da Média dos valores das Unidades Formadoras de Colônias das bactérias psicotrópicas totais detectadas na carne de camarão-branco-do-pacífico para cada tratamento, armazenada durante 6 meses.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura
LATEPE	Laboratório de tecnologia do pescado
N-BVT	Nitrogênio das bases voláteis totais
PUFA	Ácidos graxos de cadeia poli-insaturada
SRATB	Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico
TBA	Ácido tiobarbitúrico
TCA	Ácido tricloroacético
UFC	Unidades formadoras de colônias

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo geral.....	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1	Camarão-branco-do-pacífico (<i>Penaeus vannamei</i>).....	18
3.2	Avaliação da qualidade do pescado.....	18
3.3	Técnicas de conservação do pescado.....	20
3.3.1	Aquecimento convencional.....	20
3.3.2	Aquecimento ôhmico.....	21
3.4	Emprego do frio na conservação do pescado.....	23
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1	Preparo de amostras.....	26
4.2	Cálculo do rendimento da amostra obtida.....	26
4.3	Processo de cozimento das amostras.....	26
4.3.1	Aquecimento ôhmico.....	27
4.3.2	Aquecimento convencional.....	28
4.4	Parâmetros elétricos.....	29
4.5	Cálculo de perdas por cozimento.....	29
4.6	Processo de congelamento rápido.....	30
4.7	Parâmetros de qualidade.....	31
4.7.1	Oxidação Lipídica (Avaliação das substâncias reativas ao Ácido Tiobarbitúrico-SRATB).....	31
4.7.2	Potencial hidrogeniônico (pH).....	31
4.7.3	Nitrogênio das bases voláteis totais N-BVT.....	32
4.7.4	Cor.....	32
4.7.5	Textura.....	33
4.7.6	Perdas por gotejamento (Thawing loss).....	33
4.7.7	Perdas por centrifugação.....	33
4.8	Composição centesimal das amostras de camarão.....	34
4.8.1	Análise do teor de proteína bruta.....	34
4.8.2	Análise da quantidade de lipídios (extrato etéreo).....	35

4.8.3	Análise do teor de umidade.....	35
4.8.4	Análise do teor de cinzas.....	36
4.9	Análises microbiológicas.....	36
4.9.1	Contagem de bactérias Psicotróficas.....	36
4.10	Análise estatísticas.....	38
4.11	Delineamento experimental.....	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1	Rendimento da amostra obtida.....	39
5.2	Progressão de temperatura nos tratamentos com aplicação de calor.....	40
5.3	Perdas por cozimento.....	43
5.4	Progressão de temperatura no congelamento rápido.....	47
5.5	Parâmetros de qualidade.....	48
5.5.1	Oxidação Lipídica (Avaliação das substâncias reativas ao Ácido Tiobarbitúrico SRATB).....	48
5.5.2	Potencial hidrogeniônico (pH).....	51
5.5.3	Nitrogênio de bases voláteis totais (N-BVT).....	52
5.5.4	Cor das amostras após cozimento e armazenamento.....	55
5.5.5	Mudanças nas propriedades de textura das amostras após cozimento e armazenamento.....	57
5.5.6	Perdas por gotejamento após armazenamento (Thawing loss).....	60
5.5.7	Perdas por centrifugação após armazenamento.....	62
5.5.8	Composição centesimal das amostras.....	63
5.5.9	Análises microbiológicas – Bactérias Psicotróficas.....	67
6	CONCLUSÃO.....	71
	REFERÊNCIAS.....	72

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura é um dos setores que mais se desenvolveu nas últimas décadas, principalmente quando existe uma demanda mundial crescente por produção de alimentos de qualidade que vise atender as necessidades dos consumidores (FAO, 2024). Hoje, além do aspecto nutricional e da necessidade de segurança alimentar das populações, o setor aquícola foi responsável por movimentar no ano de 2022 cerca de US\$ 472 bilhões em arrecadações ao longo do globo e por fornecer 15% do total de proteína oferecida em forma de carne animal e outras fontes às mais variadas partes do mundo (FAO, 2024).

Boa parte desse sucesso comercial advém do desenvolvimento de tecnologias voltadas a melhor conservação dos produtos oriundos de pescado, que além de manterem a qualidade sensorial e nutricional do produto por muito mais tempo, auxiliam também na praticidade de sua preparação, fazendo com que o consumidor possa economizar tempo e recursos no preparo de uma refeição, além de ter certeza de que adquiriu um produto que não vai causar prejuízo a sua saúde (VASEEHARAN; JESUDHASAN, 2025).

No Brasil, várias são as espécies cultivadas ou que possuem interesse comercial considerável e dependem de atrativos relacionados a sua distribuição, comercialização e apreciação para conseguirem por exemplo, chegar até os centros consumidores mantendo suas características sensoriais, tão importantes para fazer com que o consumidor decida por fim obter o produto (OLIVEIRA; SOUZA, 2024; WAGNER *et al.*, 2023). Isso ocorre tanto pela capacidade da carne de pescado de sofrer com alterações intrínsecas do próprio produto quanto por fatores externos relacionados ao modo de conservação, armazenamento e manipulação do alimento, que podem levá-lo a deterioração acentuada (SOARES; GONÇALVES, 2012).

O camarão-branco-do-pacífico (*Penaeus vannamei*), se consagra como um dos mais importantes produtos oriundos da aquicultura brasileira, mais precisamente da carcinicultura, ciência responsável por estudar todos os aspectos relacionados ao crescimento, maturação, alimentação, sanidade e cultivo das espécies de camarão (MONSALVE; QUIROGA, 2022). Hoje é a espécie de crustáceo mais produzida no país, sendo responsável por fornecer cerca de 127,5 mil toneladas de alimento ao mercado interno e principalmente ao mercado de exportação (IBGE, 2023).

Podemos encontrar o *Penaeus vannamei* facilmente em supermercados, restaurantes e até sendo comercializado por vendedores ambulantes ou atravessadores devido a sua apreciação, resultado principalmente de características como o seu sabor e preparo rápido

(COSTA; ZACARDI; BARBOSA, 2019). Antes de chegar no consumidor final, costuma passar por processamento na indústria como forma de se agregar valor a este produto.

Normalmente pode ser comercializado inteiro congelado ou fresco, descabeçado e descascado, apenas a cauda congelada, camarão congelado cozido ou na maioria das vezes, pré-cozido e congelado. Tais formas de processamento veem justamente para gerar a praticidade no preparo e conservar o produto por mais tempo (FELIX, 2014). Mas é necessário avaliar o correto emprego da cadeia de frio e dos diferentes processos de cozimento como forma de evitar perdas nutricionais e econômicas relacionadas a carne do camarão-branco-do-pacífico (WANG *et al.*, 2022; ZHANG *et al.*, 2024; LI *et al.*, 2024).

As técnicas de emprego do calor na conservação de alimentos são muito antigas e passaram por inúmeros processos de aperfeiçoamento nas últimas décadas (CHEW *et al.*, 2024). Atualmente, as formas mais comuns de emprego de calor em camarões são a utilização de cozimento a vapor e cozimento em imersão (LASCORZ *et al.* 2016). O problema dessas técnicas é que podem ocasionar maiores perdas por cozimento, afetar a constituição química do produto através da quebra de ácidos graxos e lipídios e favorecer o processo de oxidação lipídica ao longo de armazenamentos prolongados (LASCORZ *et al.* 2016, SARDENNE *et al.* 2021, WANG *et al.* 2025).

Neste contexto, novas tecnologias como o aquecimento ôhmico podem ser aplicadas na carne de camarão como forma de contornar os gargalos existentes na indústria. Esse tipo de emprego do calor tem como principal ação a formação de calor através da utilização de energia elétrica ao longo do alimento, que por sua vez garante em teoria uma distribuição do calor no centro do produto de forma mais ágil e uniforme, evitado assim os principais problemas relacionados ao cozimento (GAVAHIAN *et al.* 2019; BALTHAZAR *et al.* 2024). O aquecimento ôhmico pode ser utilizado para o cozimento de produtos, inativação de enzimas, descongelamento controlado de carnes e no auxílio da redução de microrganismos presentes no alimento, por exemplo (BALTHAZAR *et al.*, 2024; DÖNER *et al.*, 2020; KUDO *et al.*, 2020).

Ademais, é preciso também avaliar o correto uso da cadeia de frio aplicada a produtos derivados de pescado, já que se trata também de uma das principais técnicas empregadas para conservação desse produto, principalmente após o seu abate. Mesmo podendo garantir um armazenamento correto, o uso de gelo pode causar queimaduras nos alimentos com seu uso prolongado, perda das características sensoriais em alguns tipos de pescado, degradação de proteínas e perda de textura do produto (JHA *et al.* 2024, LIU *et al.* 2023).

Recomenda-se fortemente a utilização de equipamentos de congelamento cada vez mais rápidos como forma de evitar os principais entraves do congelamento lento em relação as

características do produto e evitar a formação de gelo de morfologia anormal no interior das células que pode causar danos estruturais na carne (ZHU; ZHOU; SUN, 2019, LIU *et al.* 2023).

Além disso, o emprego desses equipamentos de congelamento rápido pode ser mais recomendado no futuro como forma de se ter maior eficiência energética nos processamentos de alimentos e maior velocidade de obtenção de produtos congelados em temperatura ideal (LIU *et al.* 2023).

O aquecimento ôhmico se destaca nesse sentido como uma alternativa de aquecimento mais veloz que, por sua vez, promete uma distribuição de temperatura mais uniforme ao longo de toda a amostra através da aplicação de corrente elétrica no produto, que acaba ocasionando um aquecimento no mesmo. Logo após o processo de cozimento, a matéria-prima costuma passar por acondicionamento em gelo, como um dos métodos mais empregados na manutenção de suas características originais. Assim, acredita-se que haja um efeito benéfico em combinar técnicas de cozimento e congelamento mais modernas principalmente no armazenamento prologando da carne de pescado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- O objetivo geral desta pesquisa é comparar os efeitos do aquecimento ôhmico e do aquecimento convencional em amostras de camarão *Penaeus vannamei*, seguido do processo de congelamento rápido.

2.2 Objetivos específicos

- Construção de unidade própria para aquecimento ôhmico;
- Realizar um comparativo entre as curvas de aquecimento convencional e ôhmico;
- Checar a uniformidade de distribuição de temperatura nas amostras nos dois tratamentos;
- Realizar o congelamento de forma rápida e uniforme;
- Proceder com análises físico-químicas para avaliação de mudanças nas características do produto;
- Analisar a manutenção do aspecto do produto durante o armazenamento congelado por 6 meses;
- Avaliar o perfil microbiológico do produto durante o período de estocagem.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Camarão-branco-do-pacífico (*Penaeus vannamei*)

Países como o Brasil se destacam no cenário mundial da crescente produção de alimentos oriunda da aquicultura. O fato de possuir uma grande bacia hidrográfica, o desenvolvimento de incentivos à produção e regulamentação da atividade, fizeram o país entrar para a lista dos maiores produtores aquícolas do mundo (COSTA, 2022; FABRIS, 2022; FAO, 2024). Esse sucesso de produção está atrelado ao cultivo de espécies como a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) e o camarão-branco-do-pacífico (*Penaeus vannamei*), que apresentaram ao longo das décadas excelente adaptabilidade ao clima brasileiro, além dos investimentos em sistemas de produção intensivos e de recirculação, visando aumento da produção nacional (FAO, 2024; PEIXE BR, 2022).

Segundo dados da FAO, Organização das Nações Unidas para agricultura e alimentação, atualmente o Brasil se encontra na 13ª posição do ranking mundial dos maiores produtores de animais aquáticos, tendo chegado em 2022 na marca de cerca de 738 mil toneladas produzidas (FAO, 2024). Desse montante, cerca de 113 mil toneladas advêm da produção de crustáceos, colocando o país entre o top 10 maiores produtores deste tipo de animal (FAO, 2024).

A espécie de crustáceo mais produzida no Brasil é o camarão-branco-do pacífico (*Penaeus vannamei*), antigamente chamado de *Litopenaeus vannamei*, uma espécie de camarão que foi introduzida no país em meados da década de 1980, primeiramente na região Nordeste (ORMOND *et al.* 2004; IBGE, 2023). Somente através de incentivos públicos e privados e do desenvolvimento de tecnologia de cultivo que foi possível chegar a uma produção lucrativa e ao desenvolvimento da carcinicultura no Brasil (MELO, 2018). Hoje, o *Penaeus vannamei* é a espécie de crustáceo mais produzida no mundo com 6,8 milhões de toneladas registradas em 2022 (FAO, 2024). O Brasil produziu em 2023 cerca de 127,5 mil toneladas, o que equivale a um aumento de 13% em relação ao ano anterior (IBGE, 2023).

Dentre as principais características do camarão-branco-do-pacífico pode-se salientar sua origem vinda de áreas costeiras do oceano pacífico, mais precisamente de países como Equador e Peru. É uma espécie eurialina, com adaptabilidade a diferentes faixas de salinidade, apresenta hábito alimentar onívoro, crescimento rápido e no ambiente natural desenvolve sua fase larval em áreas estuarinas migrando para áreas marinhas quando adulto (MOTA, 2021).

A espécie é fortemente apreciada tanto no mercado interno brasileiro quanto no setor de exportação. Segundo dados disponibilizados pelo Anuário Seafood Brasil - Carcinicultura, a produção de camarão figura entre os 10 produtos que mais geraram receita em exportações do setor da aquicultura no ano de 2022 (janeiro a agosto), sendo vendidos cerca de 291.517 kg de camarão que renderam US\$ 2.626.215 em receita (SEAFOOD-BRASIL, 2022).

Com a demanda pelo produto aumentando cada vez mais é necessário o adequamento da produção por parte das indústrias, que visam sempre beneficiar o camarão atendendo a critérios de qualidade e manutenção das características sensoriais. O camarão pode ser tanto comercializado inteiro quanto processado, congelado ou pré-cozido, sem cabeça e descascado (SILVA, 2018; GOMES, 2022; AMARAL, 2019).

O camarão-branco-do-pacífico apresenta em sua composição valores consideráveis de proteínas de fácil digestibilidade, minerais e vitaminas, além de um sabor suave e levemente adocicado que tornam fácil a escolha pelo consumo do produto (XI *et al.* 2025). Porém, pode entrar em processo de deterioração rapidamente apresentando como indicativo de queda no seu frescor a separação facilitada e sem esforço dos segmentos do corpo e a presença de manchas características do processo de melanose (polifenoloxidase do aminoácido tirosina), prejudicando seu aspecto visual (AHMAD *et al.* 2025). Assim, técnicas que visam retardar os processos de deterioração desse alimento são de grande importância para que a indústria de beneficiamento possa ofertar um produto que seja sinônimo de qualidade.

Uma série de pontos críticos de controle e boas práticas de fabricação precisam ser monitoradas com o objetivo de fornecer um produto que não atente contra a vida do consumidor (SILVA, 2018; AMARAL, 2019).

Congelamento e cozimento são duas das técnicas mais utilizadas para conservação do pescado, todavia podem acarretar perdas de rendimento e mudanças na aparência do produto, sendo assim necessário o emprego de novas ferramentas que ajudem a preservação da qualidade do alimento (LIU *et al.* 2023; ZHANG *et al.* 2024).

3.2 Avaliação da qualidade do pescado

Atualmente, a produção de pescado oriundo da aquicultura atingiu níveis consideráveis, ultrapassando as capturas que ocorriam no ambiente natural (FAO, 2024). Dados da Organização das Nações Unidas para agricultura e alimentação (FAO), destacam a produção mundial de pescado destinado a alimentação humano, chegando à marca de 164,6 milhões de toneladas (FAO, 2024). É estimado que um ser humano comum consuma em média 20,7 kg de

pescado por ano, chegando a valores bem mais elevados em regiões como a Ásia (FAO, 2024). Portanto, é indispensável a procura por novas ferramentas que garantam que o consumidor adquirirá um alimento com inocuidade e que não ocasionará perigo a sua saúde.

Muito se fala sobre perecibilidade de certos tipos de alimento e como a indústria está focada em resolver os principais entraves relacionados a redução de sua qualidade. A carne de pescado se enquadra nesse cenário, sendo um alimento bastante perecível principalmente devido a suas próprias características inatas, como sua composição química, pH próximo de 7, quantidade de água na carne e sensibilidade a variações do meio e da temperatura (PRABHAKAR *et al.* 2020).

A preocupação com a manutenção de seu frescor está relacionada diretamente com a tentativa de prolongar seu tempo de prateleira, tornando assim o produto disponível para o consumidor por mais tempo (AN *et al.* 2023). O que ocorre é que dependendo da estocagem e armazenamento o produto pode sofrer com danos a sua estrutura ou mudanças indesejáveis nas suas características sensoriais que fazem com que perca apelo visual ou tenha redução em seu conteúdo nutricional (MISHRA *et al.* 2023). Assim, o objetivo principal do setor é buscar novas alternativas que possibilitem a correta manutenção de características como textura, sabor, odor e qualidade nutricional, empregando novas tecnologias para alcançar esse fim (MISHRA *et al.* 2023).

As reações que ocorrem logo após a morte do pescado costumam variar dependendo do tipo de animal avaliado. Porém, normalmente o processo possui lógica que se perpetua em diferentes espécies, iniciando muitas vezes com a ação de enzimas endógenas que hidrolisam proteínas e lipídios a compostos com menor peso molecular que, por sua vez, são utilizados por micro-organismos como nutrientes, ocasionando queda na qualidade do produto até a sua definitiva deterioração (PRABHAKAR *et al.* 2020).

As alterações mais perceptíveis estão relacionadas com o aspecto visual, perda de textura e desenvolvimento de odor pútrido, decorrente do aumento de bases voláteis totais produzidas pela ação dos micro-organismos. Como exemplo de mudanças no pescado pode-se citar o aspecto rançoso em peixes, melanose aparente em crustáceos estocados em gelo e remoção facilitada de partes do corpo de alguns moluscos (ŠIMAT; MEKINIĆ; GENERALIĆ, 2019; ZAVADLAV *et al.* 2019; FRISCHER *et al.* 2022).

3.3 Técnicas de conservação do pescado

3.3.1 Aquecimento convencional

A aplicação de calor em alimentos é um dos métodos mais utilizados para conservação de produtos cárneos. O chamando cozimento nada mais é do que a aplicação de tratamento de calor em alimentos, muitas vezes com o objetivo de reduzir a quantidade de patógenos que porventura poderiam causar algum risco a saúde do consumidor (BIANDOLINO *et al.* 2023; TENYANG *et al.* 2022). Dentre outras vantagens do uso do cozimento estaria o aumento de palatabilidade do produto (WANG *et al.* 2020).

Existem métodos comumente utilizados para cozimento de alimentos, inclusive pescado, como a aplicação de cozimento por vapor, onde o calor é transferido até o centro do alimento através do processo de condução térmica (SARDENNE *et al.* 2021; LI *et al.* 2017). Outro método convencional é a utilização da fervura (boiling) onde o alimento é colocado em recipientes industriais e aquecido através da utilização de gás ou outro combustível ou técnica (BIANDOLINO *et al.* 2023; HOSSEINI *et al.* 2014; GHRIBI *et al.* 2017).

Ao passar das décadas várias outras técnicas foram sendo desenvolvidas para a aplicação de calor em produtos alimentícios como a irradiação por micro-ondas, aplicação do sous-vide (cozimento de produtos embalados a vácuo em baixas temperaturas), secadores solares entre outros. (LIU *et al.* 2014; ZAKRZEWSKI *et al.* 2023; MEHTA *et al.* 2018). Por mais que a utilização de métodos de aquecimento e cozimento convencionais tenha suas vantagens, vários trabalhos relatam características negativas nos produtos que passaram por esses processos (SARDENNE *et al.* 2021; GLADYSHEV; SUSHCHIK, 2019; TENYANG *et al.* 2022). Por exemplo, cozimento realizado a baixas temperaturas pode ocasionar mudanças no sabor do alimento e desnaturação de mioglobinas e ácidos graxos (TAN *et al.* 2023).

O cozimento em conjunto com acondicionamento de produtos em temperaturas baixas por longos períodos pode ocasionar mudança no perfil de lipídeos (LIAN *et al.* 2022; BIANDOLINO *et al.* 2023). Processos de fritura, fervura, vapor e defumação por sua vez, podem ocasionar modificações na composição centesimal de produtos (TAN *et al.* 2023; TENYANG *et al.* 2022; GOLGOLIPOUR; KHODANAZARY; GHANEMI, 2019).

A variação no perfil de ácidos graxos nos alimentos merece atenção especial, devido ao crescente interesse nutricional atrelado. Estudos avaliaram a redução no perfil de ácidos graxos de cadeia poli-insaturada em pescado já que o processo de cozimento pode influenciar na oxidação de tais compostos (BIANDOLINO *et al.* 2023; BIANDOLINO *et al.* 2021). Peycheva *et al.* (2022), observaram redução no perfil de ácidos graxos poli-insaturados na carne

de mexilhão *Mytilus galloprovincialis*, depois da aplicação de cozimento a vapor e fervura quando comparado ao produto fresco. Contudo, Wright, Fan e Baker (2018) observaram o aumento de deste tipo de ácido graxo em moluscos que passaram por tratamento a vapor. O mesmo pode ser observado por Wang *et al.* (2022), que obtiveram maiores valores de PUFA na carne de camarão *Penaeus vannamei* cozida por fervura, grelhada e através de micro-ondas (PEYCHEVA *et al.* 2022; WRIGHT; FAN; BAKER, 2018; WANG *et al.* 2022).

A oxidação lipídica associada ao uso desses métodos de cocção convencional com o armazenamento de produtos em temperatura de congelamento pode por sua vez justificar a utilização de outros métodos de cocção que prometem reduzir as perdas e mudanças atreladas ao processamento de produtos oriundos de pescado. Nesse cenário, técnicas como o aquecimento ôhmico podem ser uma alternativa a mudança na composição do alimento, mas pesquisas ainda precisam ser feitas nesse sentido.

3.3.2 Aquecimento ôhmico

A aplicação de energia térmica na forma de aquecimento ou cozimento constitui uma das técnicas mais difundidas na preservação de produtos alimentícios. Ao longo das décadas, novos maquinários e processos de transferência de calor mais precisos possibilitaram o beneficiamento e manutenção de características desejáveis em alimentos que antes possuíam tempo de perecimento bem curto. Esse tipo de aquecimento convencional é aplicado por vários propósitos, uma vez que sua eficácia já foi comprovada, por exemplo, na capacidade de inativação de microrganismos e ação de enzimas (PANKAJ, 2015).

Entretanto, um dos problemas mais comuns enfrentados na aplicação do aquecimento convencional está relacionado ao gasto excessivo de tempo e energia para se atingir a temperatura ideal no centro do alimento e a distribuição desproporcional de temperatura dependendo do alimento e seu tamanho, que por sua vez pode causar superaquecimento levando a perdas de rendimento e sensoriais (WANG *et al.*, 2025). Neste contexto, uma alternativa ao aquecimento convencional que vem ganhando cada vez mais espaço a nível industrial é a aplicação do aquecimento ôhmico.

A técnica do aquecimento ôhmico consiste na passagem de corrente alternada através do alimento imerso em uma solução específica, fazendo com que a temperatura seja distribuída muito mais uniforme ao longo do produto (GAVAHIAN; CHU, 2019; KUBO *et al.* 2020; ENGCHUAN; JITTANIT; GARNJANAGOONCHORN, 2014). Para tal, é possível

utilizar qualquer alimento que possua uma condutividade elétrica suficiente para que o efeito Joule causado possibilite a transferência de calor. Entre as vantagens desse procedimento, pode-se destacar a velocidade muito maior de transferência de calor e uniformidade no produto, reduzindo as chances de superaquecimento e possíveis alterações indesejáveis (GAVAHIAN; CHU, 2019; KUBO *et al.* 2020; ENGCHUAN; JITTANIT; GARNJANAGOONCHORN, 2014).

Vários fatores precisam ser avaliados com o objetivo de garantir a eficácia do uso do aquecimento ôhmico. Gavahian e Chu (2019), relatam uma série de especificidades que precisam ser atendidas no processo, como checagem da voltagem e frequências ideais ao aquecimento, distância entre os eletrodos transmissores de corrente, características específicas do produto utilizado, como sua composição química, distribuição do produto no aquecedor ôhmico, entre outros.

Vários cientistas têm aplicado o aquecimento ôhmico em alimentos variados, não apenas cárneos. Como exemplo, pode-se citar a comparação entre o aquecimento convencional e o ôhmico na velocidade da destilação do óleo de lavanda (GAVAHIAN; CHU, 2018), aplicação do aquecimento ôhmico no leite para posterior fabricação de doce de leite (SILVA *et al.* 2020), aplicação em sobremesas (KURIYA *et al.* 2020), uso da técnica em almôndegas de carne (ENGCHUAN; JITTANIT; GARNJANAGOONCHORN, 2014), uso na extração de gelatina da pele de frango (IŞIK *et al.*, 2024), o que poderia também ser aplicado na extração de gelatina da pele de peixes, por teoria, e também na comparação entre cozimento convencional e ôhmico de camarão (LASCORZ *et al.*, 2016).

Outro ponto de bastante relevância em relação a utilização do aquecimento ôhmico está diretamente relacionado a eficácia energética de sua aplicação (BALTHAZAR *et al.*, 2024; HASSAN *et al.*, 2024). Boa parte das indústrias que utilizam, por exemplo, o vapor para aumentar a temperatura do alimento, muitas vezes dependem de fontes de energia não renováveis, como combustíveis, para alimentar sua produção. Isso resulta em maiores impactos ambientais e muitas vezes maiores gastos e produção de dejetos oriundos da fabricação de alimentos. A fonte de energia utilizada para o aquecimento ôhmico, por sua vez, está ligada totalmente a produção de energia elétrica, que pode ser obtida através da energia dos ventos e da utilização das hidroelétricas. Portanto, seria possível empregar o aquecimento ôhmico como alternativa mais sustentável ao cozimento de ampla gama de produtos, causando impactos reduzidos ao ambiente (BALTHAZAR *et al.*, 2024; HASSAN *et al.*, 2024).

Uma das vantagens da aplicação desse tipo de aquecimento está relacionada a preservação do alimento por meio da redução da proliferação de bactérias que podem levar a

uma deterioração acentuada (AGUIAR *et al.*, 2021). Na teoria, a inserção de corrente elétrica no meio onde um alimento será cozido pode provocar um efeito de eletroporação, que consiste basicamente na formação de traumas nas membranas celulares de bactérias que, posteriormente, viriam a não sobreviver. Esse fato por si só já provocaria uma mudança considerável na forma de processar alimentos, uma vez que existira uma maior garantia do consumidor estar adquirindo um produto seguro para o consumo, com contagens microbiológicas bastante reduzidas (PEREIRA *et al.*, 2024).

Além de serem usados para o aquecimento/cozimento de produtos alimentícios, tratamentos que empregam um sistema ôhmico podem muito bem ser utilizados para promover o correto descongelamento de alimentos (DÖNER *et al.*, 2020). Fattahi e Zamindar (2019), utilizaram diferentes voltagens e soluções salinas no tratamento ôhmico onde observaram redução nas perdas por cozimento e um processo de descongelamento mais baixo da carne de atum. Outras vantagens já foram observadas com o emprego de aquecimento ôhmico, como maior maciez e textura da carne (ÁNGEL-RENDÓN *et al.*, 2020).

É necessário desenvolver estudos mais aprofundados para avaliar os possíveis impactos causados nos alimentos com o uso do aquecimento ôhmico, principalmente em relação a mudanças na coloração, textura, composição química e aspecto microbiológico.

3.4 Emprego do frio na conservação do pescado

A carne de pescado, por se tratar de um alimento com perecibilidade acentuada, necessita rapidamente de acondicionamento em baixas temperaturas assim que o animal é abatido (JHA *et al.*, 2024; DIAO *et al.*, 2021). Na grande maioria das vezes é utilizado o gelo para preservar o alimento, que deve ser fabricado com água potável e limpa, com o objetivo de impedir ou retardar contaminações que podem causar aceleração do processo deteriorante (GIAMPIETRO; REZENDE-LAGO, 2021).

Em relação ao armazenamento, o pescado processado destinado a comercialização e consumo costuma passar por processos de congelamento a temperaturas variando entre -18° C e -30 °C ou até menores, que fazem com que o produto consiga ser mantido estocado por um longo período, preservando suas características sensoriais na medida do possível (DIAO *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2023).

O curto tempo de prateleira de produtos oriundos de pescado e seu consumo cada vez maior ao redor do globo incentivou o desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas aos processos de congelamento, conservação e distribuição. Hoje, além do congelamento

tradicional, pode-se citar o congelamento criogênico, o uso de nitrogênio líquido, congelamento mecânico, nano congelamento, congelamento de ar forçado, congelamento rápido e ultrarrápido como ferramentas importantes na conservação do pescado (LIU *et al.*, 2023; JHA *et al.*, 2024; DIAO *et al.*, 2021; BOZIARIS; PARLAPANI; DEWITT, 2021; WANG *et al.*, 2024).

Todavia, por mais que a técnica de congelamento seja provavelmente o meio mais aplicado na conservação, já foram observadas por outros autores desvantagens relacionadas ao seu uso frequente. O congelamento pode ocasionar na carne do pescado problemas como a degradação de proteínas e mudanças na textura e cor, aspecto e umidade do alimento (LIU *et al.*, 2023; JHA *et al.*, 2024; DIAO *et al.*, 2021). Um ponto bastante crítico diz respeito a quantidade de umidade e água presente na carne do pescado. Dependendo do tipo e da espécie, essa quantidade pode chegar a aproximadamente 80% de sua constituição, e se distribui em diferentes partes do animal, podendo inclusive estar presente nos tecidos (DIAO *et al.*, 2021).

Essa quantidade de umidade é fator determinante também no processo de formação de cristais decorrentes do congelamento. Tais cristais de gelo têm seu aspecto resultante do tipo de congelamento empregado e na velocidade com que o congelamento é realizado. Acredita-se que o congelamento lento produza cristais de gelo de tamanho muito maior e pior distribuídos que no congelamento rápido, que, por sua vez, podem resultar em danos estruturais e celulares na carne de pescado (YANG *et al.*, 2023; Shi *et al.*, 2018; ZHU; ZHOU; SUN, 2019).

O processo de congelamento em si possui certas etapas que também necessitam ser conhecidas e estudadas como forma de avaliar as reações que ocorrem dentro do alimento. Através da redução da temperatura do alimento a níveis bem baixos, várias etapas ocorrem, não separadamente, mas ao mesmo tempo, como a cristalização de solutos presentes na amostra e os processos de mudança de fase da água. A primeira fase do congelamento consiste na redução da temperatura até um ponto abaixo a temperatura de congelamento, mesmo sem haver inicialmente a mudança de estado da água. Essa etapa é chamada de superresfriamento e pode fazer com que as temperaturas caiam a até 10 °C além do ponto de congelamento, dependendo do alimento escolhido (COLLA; PRENTICE-HERNÁNDEZ, 2008).

A segunda etapa compreende a cristalização que consiste na formação dos cristais de gelo nos tecidos da amostra através da concentração de água e de solutos no meio. Para que a cristalização ocorra de modo a formar cristais de gelo de tamanhos menores é necessário que ocorra uma boa nucleação, que por sua vez está relacionada com a formação de um núcleo de moléculas de água que podem se combinar ou se agrupar em volta de partículas suspensas, sendo a nucleação em si a adição dessas moléculas de água agrupadas dentro dos cristais (GOFF *et al.*, 1995; COLLA, PRENTICE-HERNÁNDEZ, 2008).

Congelamentos mais rápidos formam cristais de gelo menores devido a uma maior nucleação e agrupamento de moléculas de água em núcleos já formados rapidamente. Alguns fatores podem influenciar nessa etapa, como a aplicação de pré-congelamento ou outros tratamentos na amostra antes do congelamento rápido (COLLA; PRENTICE-HERNÁNDEZ, 2008).

Assim, para um congelamento eficaz é necessário avaliar o tipo de técnica utilizada, a velocidade de congelamento, características do próprio produto e as etapas de congelamento. É recomendada a utilização do congelamento rápido pois favorece a formação de cristais de gelo menores e uniformes, resultando em menos danos ao alimento. Porém, vale ressaltar que mesmo no congelamento rápido podem ocorrer danos na superfície do pescado (LIU *et al.*, 2020). A redução abrupta de temperatura, por exemplo, pode ocasionar danos celulares mesmo que haja um efeito positivo de formação de cristais (SHI *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2023).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Preparo de amostras

Exemplares de camarão-branco-do-pacífico frescos (*Penaeus vannamei*), foram obtidos através de um estabelecimento local situado na cidade de Fortaleza-CE, onde foram transportados para o laboratório de tecnologia do pescado (LATEPE), localizado na Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus do Pici, posteriormente armazenados em recipientes de polietileno e mantidos refrigerados até a sua utilização. Para início do experimento, os exemplares foram então separados, pesados e descascados para realizar as medições de rendimento. O material utilizado neste estudo foi cadastrado na plataforma SISGEN com o código A058F53.

4.2 Cálculo do rendimento da amostra obtida

Para a análise de rendimento de peso dos camarões, a amostra total foi pesada fresca inteira (com cabeça e cauda) utilizando-se uma balança digital (marca Shimadzu/modelo ATX224) anotando-se o valor obtido. Posteriormente foi realizada nova pesagem, dessa vez após o processo de retirada de carapaças e cabeças, sendo em seguida anotado o novo peso obtido. Os valores de rendimento foram obtidos através da equação 1:

$$R\% = (PP/Pt) * 100 \quad (1)$$

Onde, PP é o peso após o processamento das amostras e

Pt é o peso total obtido da amostra fresca recém adquirida.

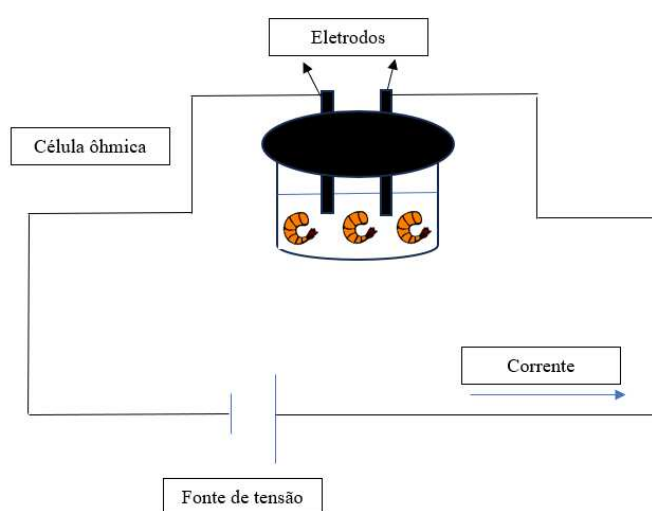
4.3 Processo de cozimento das amostras

Foram utilizados dois métodos de aquecimento nas amostras de camarão. O primeiro consiste em um método de cozimento convencional utilizando aparelho de banho-maria específico para elevação da temperatura. O segundo método consiste na utilização de aquecimento ôhmico realizado através de uma célula ôhmica confeccionada. Em ambos os métodos, o objetivo foi atingir a temperatura no centro dos camarões pré-estabelecida em 63 °C, já que a legislação brasileira estipula uma temperatura média de até 65 °C para o camarão ser considerado cozido. Essa temperatura foi estipulada para os parâmetros microbiológicos da legislação vigente (BRASIL, 2019).

4.3.1 Aquecimento ôhmico

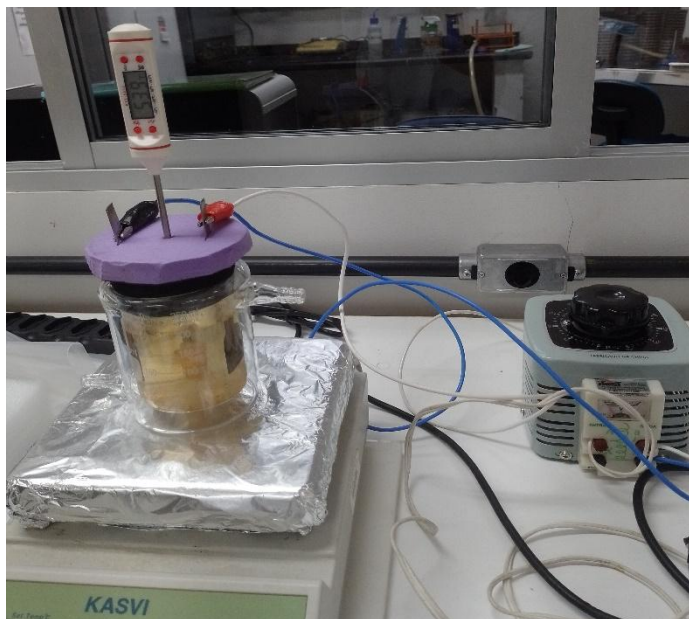
Um protótipo de aquecedor ôhmico foi construído utilizando-se um recipiente de vidro com diâmetro interno de 7cm e volume de 250 ml, onde foi acoplada uma tampa construída com material emborrachado, como mostrado na figura 2. Na tampa foram feitos furos de tamanho suficiente para passagem de duas hastes de metal de aproximadamente 6 cm cada, alocadas em paralelo e equidistantes 7cm entre si, que serviram como eletrodos condutores. Nos eletrodos foram conectados fios condutores oriundos de uma fonte de tensão de até 250 V, que foi utilizada como alimentação do sistema. A tensão escolhida para proceder com o pré-cozimento dos camarões foi de aproximadamente 30 V. A metodologia de Lascorz *et al.*, (2016) foi seguida, com modificações, para estabelecer alguns parâmetros necessários ao funcionamento da célula ôhmica, como por exemplo a utilização de solução salina com concentração de 1% w/v de NaCl que foi introduzida no interior do sistema como forma de facilitar a condução elétrica. Os camarões então foram alocados no interior da célula ôhmica para a realização do cozimento ôhmico. Nessa etapa, cerca de 5 camarões entraram por vez, onde foi inserida uma sonda de data logger (DOSTMANN/LOG 100) no centro do alimento para acompanhar a progressão de temperatura até 63 °C. O mesmo processo foi repetido até toda a amostra relativa ao aquecimento ôhmico ser pré-cozida (aproximadamente 2,2 kg). Nesse tratamento, a voltagem e a corrente da célula ôhmica foram medidas através de multímetro (Minipa/ modelo ET-2507B) como forma de acompanhar o fornecimento de tensão. O modelo esquematizado de funcionamento da célula ôhmica construída está representado na figura 1.

Figura 1. Modelo esquematizado de uma célula ôhmica de bancada.



Fonte: Autor (2025)

Figura 2. Célula ôhmica experimental em uso



Fonte: Autor (2025)

4.3.2 Aquecimento convencional

Para proceder com o pré-cozimento das amostras de camarão em modo convencional foi utilizado um equipamento de Banho-maria, (marca Quimis/ modelo Q215M2), que foi preenchido com água destilada e então ligado para pré-aquecer a uma temperatura de aproximadamente 63 °C. Dentro do banho-maria foi colocado um recipiente de vidro preenchido com água destilada (volume de aproximadamente 250 ml), que então foi aquecida também até a temperatura de aproximadamente 63 °C. Os camarões então foram colocados dentro do recipiente para se realizar o pré-cozimento, onde foi acoplado no centro do alimento uma sonda de data logger (DOSTMANN/LOG 100) para acompanhar a progressão de temperatura até os 63 °C. O processo foi repetido várias vezes a fim de proceder com o pré-cozimento de toda a amostra relativa ao tratamento de aquecimento convencional (Aproximadamente 2,2 kg) e retirar valores para a construção de uma curva de progressão de temperatura no centro do alimento, relativa ao tratamento em questão.

4.4 Parâmetros elétricos

Os dados de voltagem e corrente foram medidos através de multímetro (Minimpa/ET-2507B) no tratamento ôhmico através dos eletrodos da célula ôhmica de bancada. Foram observados aproximadamente 30 V de tensão aplicados e uma corrente de cerca de 4,2 ampéres.

4.5 Cálculo de perdas por cozimento

A avaliação das perdas de peso acarretadas pelos processos de cozimento foi feita em conjunto com as análises de rendimento das amostras de camarão-branco-do-pacífico obtidas, como esquematizado na figura 3. As amostras foram pesadas antes e logo após os dois processos de cozimentos com o auxílio de balança digital (marca Shimadzu/modelo ATX224), sendo anotado os pesos observados. O valor final das perdas por cozimento foi obtido através da equação 2:

$$PC: (PósC/PréC)) \times 100 \quad (2)$$

Onde:

PC = perdas por cozimento;

PósC = Peso pós cozimento;

PréC = Peso pré-cozimento.

Figura 3. Processo de tratamento de camarões e posterior cálculo de rendimento e perdas por cozimento.



Fonte: Autor (2025)

4.6 Processo de congelamento rápido

O congelamento rápido das amostras de camarão-branco-do-pacífico dos dois tratamentos foi realizado em freezer de congelamento rápido (marca Ageon) com controlador de temperatura A102 a até $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, onde foram colocados cerca de 2,2 quilogramas de amostra por tratamento logo após os processos de pré-cozimento. Os camarões foram organizados em formas de plástico cobertas com filme de polietileno de modo a não ficarem muito próximos um do outro para evitar danos e passaram por processo de congelamento rápido, um tratamento por vez, até que a temperatura no centro das amostras atingisse $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. A temperatura no centro de alguns exemplares foi medida com data logger (DOSTMANN/LOG 100) para acompanhamento do congelamento e para construção de curva de congelamento rápido com dados de temperatura ao longo do tempo. Logo após esse processo, os camarões foram acondicionados em recipientes apropriados e estocados em expositor a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ onde passaram por 6 meses, com múltiplas análises de qualidade realizadas mensalmente.

Figura 4. Amostras de camarão pré-cozidas e preparadas para o processo de congelamento rápido.



Fonte: Autor (2025)

4.7 Parâmetros de qualidade

4.7.1 Oxidação Lipídica (Avaliação das substâncias reativas ao Ácido Tiobarbitúrico – SRATB)

A análise de oxidação lipídica foi feita a partir da pesagem de 10 g da amostra de camarão para cada tratamento, por mês, que foram posteriormente maceradas para facilitar a extração de componentes lipídicos, seguindo a metodologia de Fogaça *et al.* (2009). Em seguida, foram adicionados 50 mL de ácido tricloroacético (TCA) a 7,5% de concentração na carne de camarão macerada e homogeneizada. Foi realizada a filtração do extrato formado através de papel filtro com o auxílio de um funil de vidro e um erlenmyer de 500 mL. Para o procedimento de análise da oxidação, foram preparados tubos de ensaio contendo 5 mL do extrato filtrado, adicionando-se 5 mL de ácido tiobarbitúrico (TBA) a 0,02 M. Com o auxílio de um agitador, o conteúdo dos tubos foi homogeneizado e replicado em triplicata.

Os tubos preparados para cada tratamento então foram colocados em estante de ferro e levados a um banho-maria (marca Quimis/modelo Q215M2) com temperatura pré-estabelecida de 90 °C por 10 minutos para que ocorra a reação de oxidação. Logo após, a reação foi interrompida com a aplicação de banho de gelo nos tubos. A leitura dos tubos ocorreu em um espectrofotômetro com um comprimento de onda de 532 nm, permitindo a avaliação da intensidade da cor gerada pela reação de oxidação, onde foram preparados tubos de calibração contendo 5mL de filtrado e 5mL de água destilada para cada tratamento. A partir dos valores obtidos, foi construída uma curva de calibração de oxidação e os valores foram aplicados na equação 3:

$$SRATB = \frac{ABS - 0,032 \text{ mg/Kg}}{0,0789} \quad (3)$$

Onde:

ABS é o valor da absorbância encontrado.

4.7.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

Foi utilizada a metodologia adaptada de Fogaça *et al.* (2009) para realizar as análises relativas ao potencial hidrogeniônico. 5 g de amostra de camarão foram pesadas em bécker de vidro com o auxílio de uma balança digital (marca Shimadzu/modelo ATX224) que foram posteriormente homogeneizadas com auxílio de um bastão de vidro em 50 ml de água destilada. O procedimento foi realizado em triplicata e as leituras feitas com auxílio de

potenciômetro de bancada da (marca Kasvi), logo após feita a calibração com soluções tampão de 4,0 e 7,0 pH.

4.7.3 Nitrogênio das bases voláteis totais N-BVT

A determinação das bases voláteis totais seguiu a metodologia desenvolvida por Malle, Poumeyrol (1989), com adaptações, onde foram maceradas em almofariz e pistilo 100 g de amostra de camarão que, posteriormente, foram homogeneizadas em 200 ml de solução aquosa de Ácido Tricloroacético TCA 7,5% (v/v) com a finalidade de produzir um extrato para cada tratamento, que então foram devidamente filtrados em seguida e deixados em repouso. Logo após, cerca de 25 ml dos extratos foram adicionados em tubos de destilação junto com 5 mL de hidróxido de sódio NaOH a 10 % e levados para destilador de nitrogênio (TECNAL modelo TE-036/1) até atingirem volume de 50 mL. Para finalizar, foi feita a titulação com Ácido Sulfúrico H₂SO₄ a 0,1 M em erlenmeyers contendo 15 ml de Ácido Bórico 4% (v/v) e 0,04 mL de indicador misto para BVT (0,1320g vermelho de metila + 0,0600 g indicador verde de bromocresol, dissolvido em 200 ml de álcool etílico 70%). Os resultados obtidos foram expressos em mg de N-BVT/100 g de carne de camarão-branco-do-pacífico, através da equação 4:

$$\text{Equação 4: N-BVT} = \frac{n \cdot 16,8 \text{ mg N}}{100g} \quad (4)$$

Onde (n) representa a quantidade de H₂SO₄ utilizado na titulação; e 16,8 é fator de multiplicação.

4.7.4 Cor

A cor das amostras de camarão foi medida ao longo do corpo, escolhendo pontos aleatórios ao longo de sua extensão. As medições de cor foram no início e logo após o término dos meses de análises. Os dados para os dois tratamentos foram obtidos através de colorímetro (Konica Minolta Chroma metre CR-400). Foram feitas observações dos parâmetros L (lightness ou luminosidade), a (tonalidades de vermelho e verde) e b (tonalidades de amarelo ou azul) que foram utilizados para analisar se há diferença de cor entre os camarões cozidos durante o armazenamento. Cinco medições foram feitas em diferentes partes da amostra para cada tratamento.

4.7.5 Textura

A análise de textura das amostras foi feita em parceria com a EMBRAPA através de um teste de compressão comparando-se amostras de camarão fresco com as amostras submetidas aos tratamentos e armazenadas por 6 meses. Foram retiradas seis amostras de camarão fresco e seis amostras de cada tratamento, que então foram levadas a um texturômetro TA-XT2i. As amostras foram colocadas em uma plataforma e comprimidas por uma sonda de 20mm, a uma velocidade de 0,8 mm/s até atingir 50% de sua altura inicial, de acordo com a metodologia de Angel *et al.*, (1986), com modificações.

4.7.6 Perdas por gotejamento (Thawing loss)

A avaliação da perda por gotejamento após o processo de descongelamento foi realizada mensalmente através dos procedimentos propostos por Cheng *et al.*, 2019 e Diao *et al.*, 2021, com algumas modificações. As amostras passaram da temperatura de -18° C para uma temperatura em média de 4 °C por um período de 18 h para realização do descongelamento. Foi retirado as medidas de peso antes de descongeladas e logo após descongeladas. As amostras então tiveram a água da superfície secada com papel toalha e foi avaliada a diferença antes e após o descongelamento através da equação 5:

$$PD (\%) = [(P1 - P2)/P1] \times 100 \quad (5)$$

onde:

OPD = perdas por descongelamento;

P1 = peso antes de descongelamento;

P2 = peso depois de descongelar.

4.7.7 Perdas por centrifugação

A análise de perdas por centrifugação das amostras foi realizada com base na metodologia utilizada por Jiang *et al.*, (2019) e Huang *et al.*, (2023). 10 g de camarão para cada tratamento foram pesadas e colocadas nos tubos de uma centrífuga refrigerada (marca Solab – SL- 706) e centrifugadas a 6000 xG, por 15 minutos a 4 °C. Foram anotados os pesos, Onde C1 é o peso após o processo de centrifugação. Foram testados grupos de amostras em triplicata e foram retirados dados ao longo dos seis meses de experimento. Para o cálculo da capacidade de retenção de água foi empregada a equação 6:

$$PC (\%) = \frac{10 - C1}{10} * 100 \quad (6)$$

onde:

PC = perdas por centrifugação;

C1: peso da amostra após centrifugação.

4.8 Composição centesimal das amostras de camarão

A composição centesimal das amostras de camarão-branco-do-pacífico para os dois tratamentos foi realizada em dois momentos distintos, no primeiro mês de análises e no último mês, como forma comparativa para se avaliar mudanças nos percentuais nutricionais das amostras em 6 meses. Para isso, foram realizadas análises de lipídios, proteínas, umidade e cinzas.

4.8.1 *Análise do teor de proteína bruta*

A análise de proteína bruta foi realizada através do Método Micro Kjeldahl (PEARSON, 1973). Foram pesadas cerca de 0,2 g de amostra de camarão para cada tratamento em papel manteiga, em triplicata, que posteriormente foram colocadas em tubos de digestão de proteínas, adicionando-se ácido sulfúrico e catalisador. O digestor de proteínas foi programado para a temperatura de 350 °C e o processo de digestão ocorreu até não haver mais matéria a ser digerida, fato que pode ser observado através do aspecto esverdeado da solução. No aparelho de destilação a mistura foi neutralizada com NaOH a 50% até surgir uma substância escura oriunda do óxido de cobre que será formado por essa neutralização. Os tubos foram retirados e seguiram para a destilação, onde serão preparados erlenmeyers contendo 10 mL de ácido bórico a 2% (H₃BO₃) e indicador misto de vermelho de metila e verde de bromocresol, colocados na saída do destilador. Os tubos foram colocados no destilador onde a solução será aquecida até entrar em ebulição. Os erlenmeyers foram retirados quando se obteve 50 ml da solução. Por fim, ácido clorídrico HCl 0,04 N foi adicionado em uma bureta para a realização da virada de cor, e em seguida foi anotado o volume consumido. Deverá ser utilizado o fator 6,25 para conversão de nitrogênio total para proteína bruta.

Para a realização dos cálculos, foi utilizada a equação 7:

$$P\% = \{(VA - VB) \times C \times F \times 0,014 \times P \times 100\} \times 6,25 \quad (7)$$

onde:

Va = Volume da amostra

Vb = Volume de branco

C = Concentração de HCL

F = Fator de correção de HCL

P = Peso da amostra

4.8.2 Análise da quantidade de lipídios (extrato etéreo)

A quantidade de lipídeos foi determinada através do Método de Soxhlet utilizando Acetona na extração como solvente orgânico (SOXHLET, 1879). Balões de Soxhlet foram colocados em estufa por 1 hora, a aproximadamente 105 °C, esfriados em temperatura ambiente e pesados logo em seguida. Foram feitos cartuchos de papel contendo 3 g de amostra de camarão para cada tratamento em triplicata, colocados nos balões que, por sua vez, foram colocados no extrator de Soxhlet durante 3 horas. A acetona utilizada foi recuperada após o processo e os balões foram colocados em um dessecador até atingirem temperatura ambiente. Os balões contendo gordura foram pesados novamente.

Os resultados foram obtidos através da equação 8:

$$\text{Lipídios Totais} = \frac{\text{Peso do balão com gordura} - \text{Peso do balão vazio}}{\text{Amostra}} \times 100 \quad (8)$$

4.8.3 Análise do teor de umidade

O teor de umidade das amostras de camarão-branco-do-pacífico foi determinado através de método gravimétrico (HORWITZ; LATIMER, 2010). Inicialmente, foram separados 6 cadinhos de porcelana, 3 para cada tratamento, que foram levados a estufa a 105 °C aproximadamente por uma hora e em seguida colocados em dessecador para redução da temperatura. Primeiramente, os cadinhos foram pesados vazios. Logo em seguida, foi adicionado 3 g de amostra em cada um deles, onde foram pesados novamente antes de serem colocados em estufa a temperatura variando entre 100 – 105 °C, por 24 horas. Após a secagem em estufa, foi feita nova pesagem dos cadinhos. Os pesos foram anotados durante todos os passos para o cálculo da quantidade de umidade das amostras.

Será utilizada a equação 9:

$$U = \frac{V_2 - V_1}{V_2 - V_0} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

U – Umidade

V0 = Peso do cadinho seco

V1 = Peso do cadinho com amostra

V2 = Peso do cadinho com amostra após a secagem

4.8.4 Análise do teor de cinzas

O teor de cinzas consiste no teor de minerais contidos na amostra e foi determinado também por método gravimétrico, onde após a análise de umidade, foram utilizados os mesmos cadinhos com amostra, agora levados a forno mufla com temperatura de 550 °C por 4 horas. Logo após o processo, os cadinhos foram colocados em dessecador para redução da temperatura e posterior pesagem das amostras (HORWITZ; LATIMER, 2010). Os cálculos foram feitos através da equação 10:

$$U = \frac{V1-V0}{V2-V0} * 100 \quad (10)$$

Onde: V0 = Peso do cadinho seco

V1 = Peso do cadinho com cinzas

V2 = Peso do cadinho com amostra

4.9 Análises microbiológicas

Foi realizada a contagem de bactérias Psicotróficas que podem se desenvolver em temperaturas baixas de armazenamento, obedecendo aos seguintes procedimentos:

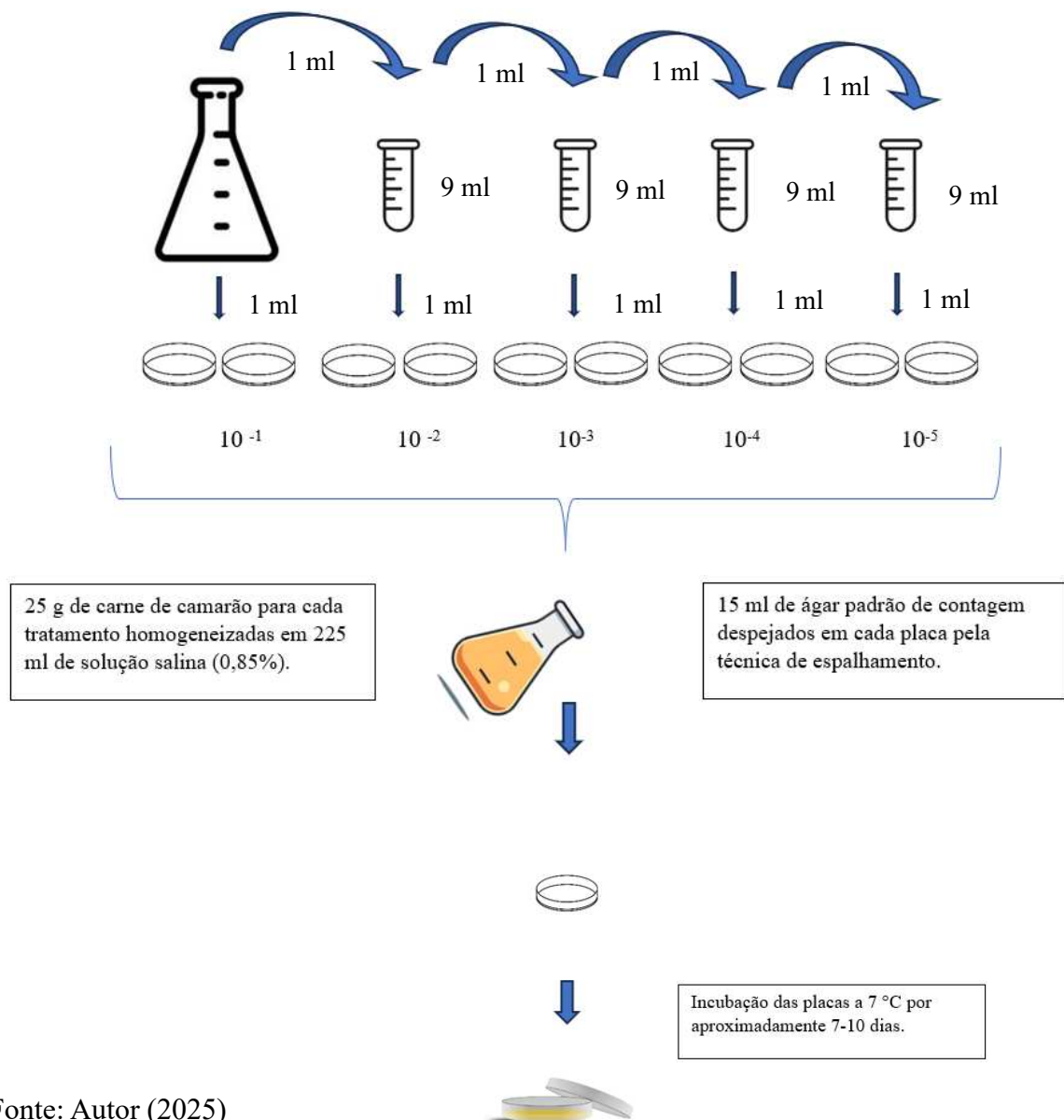
4.9.1 Contagem de bactérias Psicotróficas

A contagem de bactérias seguiu a metodologia empregada por Downes e Ito, (2001), como esquematizado na figura 5. Primeiramente, foram maceradas 25 g de amostra para cada tratamento que em seguida foram homogeneizados em 225 mL de solução salina a 0,85% de NaCl, resultando em uma diluição de 10⁻¹. Uma nova diluição foi então preparada retirando-se 1 mL da diluição 10⁻¹ e diluindo-o em 9 mL de solução salina 0,85%, sendo essa a diluição 10⁻². Esse padrão de diluição foi mantido até a diluição 10⁻⁵. Em seguida, foi utilizado um agitador automático (modelo QL-901) para proceder a correta homogeneização das soluções. Logo após, foi retirada uma alíquota de 1 mL de cada diluição e adicionada em placas de Petri, em duplicata, contendo aproximadamente 15 mL de Agar Padrão para Contagem (PCA) (Merck, Alemanha), utilizando o método de espalhamento (*pour plate*). As placas foram

deixadas em repouso até secarem e posteriormente colocadas invertidas em estufa DBO (modelo Q 315M26, QUIMIS) a 7 °C em até 10 dias para o crescimento microbiológico. Foi feita a contagem de Unidades Formadoras de Colônias, selecionando-se placas com crescimento na faixa entre 25 e 250 UFC, e descartando aquelas que ultrapassarem esse valor. Os resultados foram expressos em UFC/g de músculo de camarão e os dados microbiológicos foram transformados em logaritmos do número de unidades formadoras de colônias (log UFC/g) (DOWNES; ITO, 2001), através da equação 11:

$$\text{CPP} = \text{UFC} \times \text{inverso do fator de diluição.} \quad (11)$$

Figura 5. Processo esquematizado de produção de placas para análise de bactérias psicotróficas para cada um dos tratamentos.



Fonte: Autor (2025)

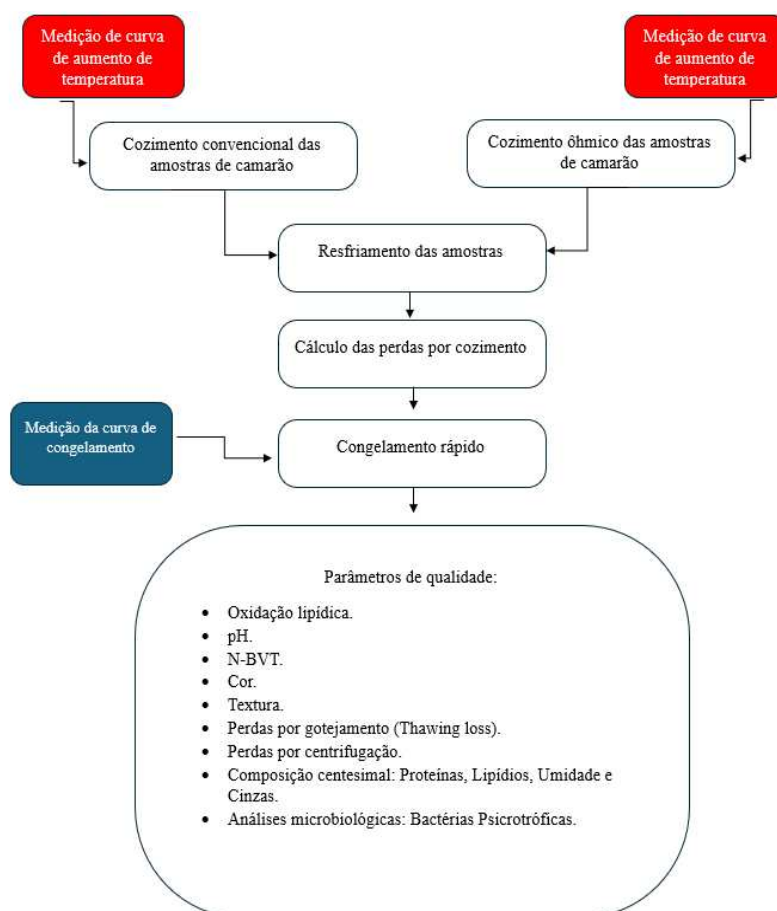
4.10 Análise estatísticas

Para as análises estatísticas dos resultados foi utilizada a análise de variância (ANOVA) one-way através do programa JAMOV versão 2.3.28 e foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk para testar a normalidade dos valores e o teste de Levene, para averiguar a homogeneidade dos dados. Para a confecção dos gráficos apresentados foram utilizados os programas ORIGIN PRO versão 8.5 e BIOESTAT 5.3. Para avaliar se houve diferenças significativas entre os tratamentos e as médias de valores obtidos, foi aplicado o test post-hoc de Tukey a um nível de significância de 5% no programa BIOESTAT 5.3.

4.11 Delineamento experimental

O delineamento experimental deste trabalho está representado na figura 6 abaixo como forma de visualização resumida das etapas que foram realizadas neste experimento.

Figura 6. Delineamento experimental com as principais etapas desenvolvidas.



Fonte: Autor (2025).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 *Rendimento da amostra obtida*

Para o cálculo do rendimento das amostras de camarão, foram adquiridos em comércio local cerca de 9 kg de camarão *Panaeus vannamei* que, posteriormente, passaram pelo processamento adequado para sua utilização nas análises necessárias para a avaliação de sua estabilidade durante 6 meses após os processos de cozimento e congelamento.

As amostras passaram pelos processos de descabeçamento, descasque e evisceração para a retirada do conteúdo presente no intestino, restando apenas a parte da cauda tratada dos camarões, que foi utilizada nas etapas posteriores do experimento. Realizando-se nova pesagem das amostras após seu processamento e cozimento, foi possível obter cerca de 4,4 kg de cauda cozida, aproximadamente 2,2 kg para cada um dos tratamentos com aquecimento utilizados (Ôhmico e Convencional).

O saldo final de amostra obtido após os tratamentos correspondeu a um rendimento de cerca de 49,59% de amostra cozida. Os valores obtidos neste trabalho podem ser considerados dentro das faixas de resultados obtidos por outros experimentos, avaliando não só as perdas que podem ser acarretadas por questões inerentes ao cozimento utilizado, mas também outros critérios como a forma de processamento realizada, instrumentos utilizados para o descabeçamento e descasque, a variação de tamanho entre as unidades de amostras, diferenças existentes entre diferentes espécies de camarão e até variações observadas que estão relacionadas a questões genéticas presentes nos indivíduos (DAI *et al.*, 2023; MURAKAMI, 1994).

Dai *et al.*, (2023), avaliaram através de correlações se os rendimentos das amostras de camarão-branco-do-pacífico *in natura* estudadas poderiam estar relacionados como uma série de fatores como o tamanho do indivíduo e questões genéticas de famílias cultivadas, obtendo valores de rendimento variando entre 44,38 % e 59,20%.

Silva (2019), avaliou o rendimento das amostras através de diferentes cortes de camarão *Penaeus vannamei* como o filé, corte borboleta e corte “cowboy”, onde foram observados rendimentos variáveis a depender do corte utilizado e se o camarão tivesse sido avaliado cru ou cozido. Obteve valores de rendimento entre a faixa de 56,88% a 50,92% respectivamente para filé de camarão cru e cozido, o que está bem próximo aos valores obtidos nesse trabalho. Observou também que o uso de cobertura para empanar os exemplares promoveu aumento significativo no rendimento da carne de camarão, chegando a 87,36% dependendo do tipo de corte empanado.

A utilização de pré-tratamentos anteriores ao cozimento também pode impactar significativamente o rendimento do camarão cozido, como foi possível observar no trabalho realizado por Erdogdu *et al.*, (2004) que empregaram diferentes soluções de fosfato de sódio nos camarões, encontrando como resultado maiores rendimentos através da absorção das soluções utilizadas pelas amostras, além de mudanças significativas relacionadas a temperatura interna das amostras.

Santos *et al.*, (2011) trabalhando com outra espécie de camarão (*Macrobrachium Olfessi*) *in natura* e após processo de salga e cozimento, obtiveram como resultados valores de rendimento de filé de 26%, com perdas relacionadas ao descabeçamento e descasque em torno de 72,4%.

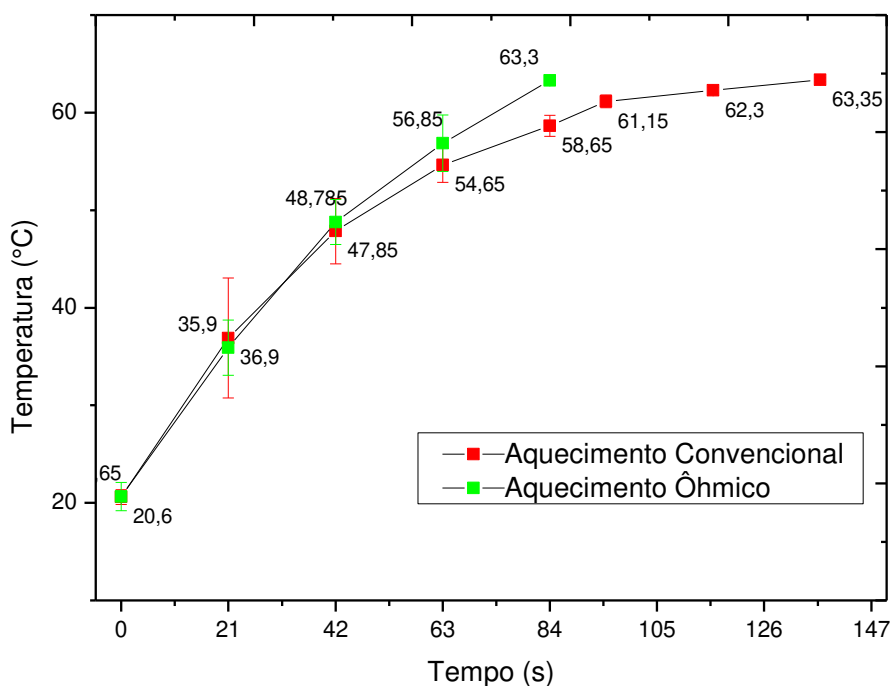
Alguns trabalhos relatam a relação direta entre o tamanho do exemplar de camarão e as perdas que podem ser geradas, uma vez que camarões de outras espécies diferentes do *Penaeus vannamei* podem apresentar um maior tamanho e peso. Todavia, isso não acompanha maiores taxas de rendimento, já que exemplares de tamanhos maiores possuem boa parte de seu peso relacionado ao peso da carapaça e da cabeça, e, após o seu processamento, sobra pouca carne a ser consumida (DAI *et al.*, 2023; ERDOGDU *et al.*, 2004; SANTOS *et al.*, 2011).

Além disso, o próprio cozimento pode ocasionar perdas de peso relacionadas a desnaturação de proteínas miofibrilares e colágeno, que, por sua vez, podem impactar diretamente na perda de umidade no alimento e maiores perdas relacionadas ao gotejamento e capacidade de retenção de líquidos (ERDOGDU *et al.*, 2004; MURAKAMI, 1994; ZHANG *et al.*, 2024). Todos esses fatores associados ao tipo de cozimento utilizado e a temperatura empregada podem levar a redução significativa de rendimento do produto, após cozido. Neste trabalho o peso dos exemplares de camarões variou entre 5,5 g e 7,2 g, com poucas perdas relacionadas ao cozimento, o que pode explicar rendimentos próximos a casa dos 50%.

5.2 Progressão de temperatura nos tratamentos com aplicação de calor

A elevação de temperatura nos dois tratamentos foi medida utilizando uma sonda de termopar inserida no centro de amostras de camarão-branco-do-pacífico, onde valores foram retirados a cada 21 segundos (s) aproximadamente após as amostras serem colocadas para cozinhar em cada sistema. Com isso, foi possível montar um gráfico representativo de progressão de temperatura no centro do alimento, para cada tratamento, como pode ser visto na figura 7, a seguir.

Figura 7. Progressão de temperatura no centro dos camarões até 63 °C, para cada um dos tratamentos utilizados.



Fonte: Autor (2025)

Como é possível observar na figura acima, a linha que contém uma representação na cor verde refere-se a progressão de temperatura no centro das amostras de camarão referente ao tratamento onde foi utilizado o aquecimento ôhmico no alimento e a outra linha com símbolo na cor vermelha representa a mesma progressão de temperatura, porém associada ao tratamento com a utilização de aquecimento convencional na carne de camarão.

Analisando a figura é possível chegar à conclusão que o aquecimento ôhmico é mais eficaz na elevação de temperatura até 63 °C que confere o pré-cozimento das amostras, principalmente por atingir essa temperatura pré-estabelecida em um tempo muito mais curto se comparado ao outro tratamento. Neste experimento, foram necessários apenas 84 segundos nas condições estabelecidas na célula ôhmica para que a temperatura se elevasse através do aquecimento ôhmico de 20,5 °C (temperatura inicial dos camarões antes do cozimento) até a temperatura escolhida, o que foi muito mais demorado no tratamento com a aplicação do aquecimento convencional, onde foram necessários aproximadamente 140 segundos para que a temperatura no centro do alimento atingisse os mesmos 63 °C durante um minuto.

Esses valores demonstram o potencial do aquecimento ôhmico como forma de cozimento de produtos de pescado com mais eficiência e velocidade se comparado com as técnicas mais comuns empregadas cotidianamente na indústria.

Alguns trabalhos já avaliaram a progressão de temperatura em alimentos utilizando o aquecimento ôhmico e obtiveram resultados promissores não só na velocidade e modo de cozimento, mas também na aplicação do aquecimento ôhmico para outros propósitos, como por exemplo o descongelamento de alimentos e no auxílio da produção deles (FATTAHI; ZAMINDAR, 2020, BALTHAZAR *et al.*, 2024).

Lascorz *et al.* (2016), por exemplo, compararam a utilização de banho de imersão de camarões em água quente a 90 °C com a utilização de equipamento de aquecimento ôhmico para uma temperatura interna de até 72 °C no centro dos camarões, onde foi possível observar variações de temperatura dependendo da sua morfologia e do tipo de camarão utilizado no tratamento convencional, se inteiro, só a cauda ou camarões maiores em comparação com menores. Chegaram à conclusão que o tamanho e a presença da cabeça do animal impactam diretamente na distribuição de temperatura, sendo a cabeça uma das áreas que mais demoram a aquecer, o que pode causar superaquecimento nas amostras e, por consequência, maiores perdas por cozimento. Como resultado obtido, os camarões que passaram por aquecimento ôhmico chegaram à temperatura de 72 °C de forma uniforme em 40 segundos, independentemente se inteiros ou processados.

Do mesmo modo avaliaram se existiam diferenças significativas na distribuição de temperatura em camarões dependendo de onde o termopar estivesse inserido (cabeça ou cauda) com a utilização de diferentes concentrações de soluções salinas e camarões de tamanhos variados. Observaram que o aumento das concentrações salinas poderia resolver os problemas de distribuição de temperatura em diferentes partes dos camarões, havendo apenas pequena diferença no tempo de cozimento se comparados camarões de tamanhos diferentes. Mostraram também que a o aumento da força de campo elétrico aplicado nas amostras poderia ocasionar menor tempo de progressão de temperatura nos camarões até 72 °C (LASCORZ *et al.*, 2016).

Trabalhando com o filé do peixe *Seriola quinqueradiata* (cauda amarela), Jin *et al.*, (2020) observaram, por sua vez, diferenças na distribuição de temperatura na carne dessa vez relacionada ao tipo de músculo que o filé de pescado apresentava. Em músculos mais escuros ocorreu uma transferência de temperatura um pouco mais lenta se comparado ao uso do músculo mais claro do animal. Explicaram que esse fato pode ter ocorrido devido a maior resistência elétrica presente em cada tipo de músculo, com o músculo escuro sendo o mais resistente devido a presença de uma quantidade maior de gordura, por exemplo.

Neste trabalho, os camarões foram limpos e processados, onde se optou por retirar as cabeças dos animais para que coubessem mais facilmente na célula ôhmica, sendo o produto apenas a cauda do animal cozida. Assim sendo, no tratamento ôhmico houve uma distribuição

uniforme e mais rápida de calor nas caudas, que normalmente é uma das partes do animal que não gera os chamados “cold spots”, como as cabeças e, por sua vez, conseguem apresentar uma elevação de temperatura facilmente quando cozidas em aquecimento ôhmico (PEDERSEN *et al.*, 2016)

Outros fatores podem ter impactado diretamente os resultados, o que pode ser usado para explicar o tempo obtido de elevação de temperatura nos dois tratamentos deste trabalho, como a unidade de aquecimento ôhmico utilizada, a distância dos eletrodos condutores em relação ao alimento, concentração salina utilizada e a potência fornecida ao sistema. Por teoria o aumento do tamanho da célula, maior distribuição dos camarões e elevação da potência fornecida poderiam reduzir ainda mais o tempo de progressão de temperatura no aquecimento ôhmico se comparado as formas tradicionais utilizadas para o pré-cozimento de camarões.

5.3 Perdas por cozimento

As médias de perdas por cozimento obtidas através da análise dos pesos antes e após os processos de cozimento estão disponíveis na tabela 1.

Tabela 1. Perdas por cozimento acarretadas em cada tratamento.

Perdas por cozimento					
Aquecimento ôhmico			Aquecimento convencional		
Camarão	Peso Inicial (g)	Peso Final (g) (após cozimento)	Camarão	Peso Inicial (g)	Peso Final (g) (após cozimento)
Camarão 1	5,3852	5,0552	Camarão 1	6,3936	5,2170
Camarão 2	4,9880	4,5960	Camarão 2	6,0917	4,9074
Camarão 3	4,8889	4,4735	Camarão 3	4,7038	4,1486
Média das perdas por cozimento (%)		7,86 ± 0,31 ^a	Média das perdas por cozimento (%)		18,40 ± 0,55 ^b

Fonte: Autor (2025). Letras minúsculas diferentes atestam diferenças significativas entre os tratamentos.

Como é possível observar, os menores valores de médias para as perdas ocasionadas por cozimento nas amostras de camarão-branco-do-pacífico foram obtidos no tratamento com aquecimento ôhmico, com médias em torno de 7,86 %. Já o tratamento com aquecimento

convencional apresentou perdas por cozimento muito maiores (18,40%), com valores ultrapassando o dobro das perdas oriundas do tratamento ôhmico.

Benjakul *et al.* (2008), demonstraram em seus estudos com os camarões *Penaeus vannamei* e *Penaeus monodon* que diferentes partes do animal podem apresentar variação nas taxas de perdas por cozimento, sendo a cauda a parte que mais fica suscetível a perder peso depois da aplicação de calor por períodos maiores que 1 min, em temperatura constante.

Lascorz *et al.* (2016), trabalhando com aquecimento ôhmico em amostras de camarão, observaram poucas perdas decorrentes do uso dessa tecnologia no cozimento das amostras, obtendo o resultado de perdas por cozimento variando entre 3 e 4%.

Erdogdu *et al.* (2004), observaram que o tamanho dos camarões e o tempo de cozimento impactaram diretamente as perdas por cozimento, e que a utilização de soluções diferentes de fosfato como pré-tratamento antes de aplicar o calor no produto poderia ser uma alternativa para redução dessas perdas, pelo aumento de umidade e retenção de líquidos nas amostras.

Gundavarapu, Hung, Reynolds, (1997), avaliaram a utilização de micro-ondas em amostras de camarão em comparação com o uso de cozimento a vapor e observaram mais perdas oriundas da aplicação dessa tecnologia do que usando o cozimento convencional.

Verma *et al.* (2024), estudaram a questão das perdas por cozimento decorrentes do uso de água quente, vapor e uso de micro-ondas no cozimento de amostras de camarão *Metapenaeus dobsonii*, onde foi possível ver maiores perdas ocasionadas pela aplicação do primeiro método. Também observou relação direta entre o tamanho dos camarões e as possíveis perdas que podem ser geradas a partir do método de cozimento utilizado, com camarões maiores apresentando as maiores perdas.

Zell *et al.* (2010), aplicaram diferentes intensidades de temperatura e progressão de tempo em amostras de peru inteiro através de aquecimento ôhmico, obtendo os menores valores de perdas por cozimento no tratamento que utilizava baixas temperaturas e um menor tempo de exposição no aquecedor ôhmico (25,2 %). Assim, os valores apresentados neste experimento para amostras de camarão submetidas a aquecimento ôhmico demonstram poucas perdas de cozimento durante o processo.

Balthazar *et al.* (2024), explicam que a velocidade do processo de aplicação de aquecimento ôhmico é um dos principais fatores relacionados as baixas taxas de perdas por cozimento relacionadas a essa técnica. Devido a um tempo menor de exposição a temperaturas constantes, ocorre a manutenção da microestrutura dos tecidos, reduzindo por sua vez processos

de desnaturação proteica e de destruição de componentes miofibrilares. Isso ocasiona manutenção das características de textura, sabor e suculência originais do produto.

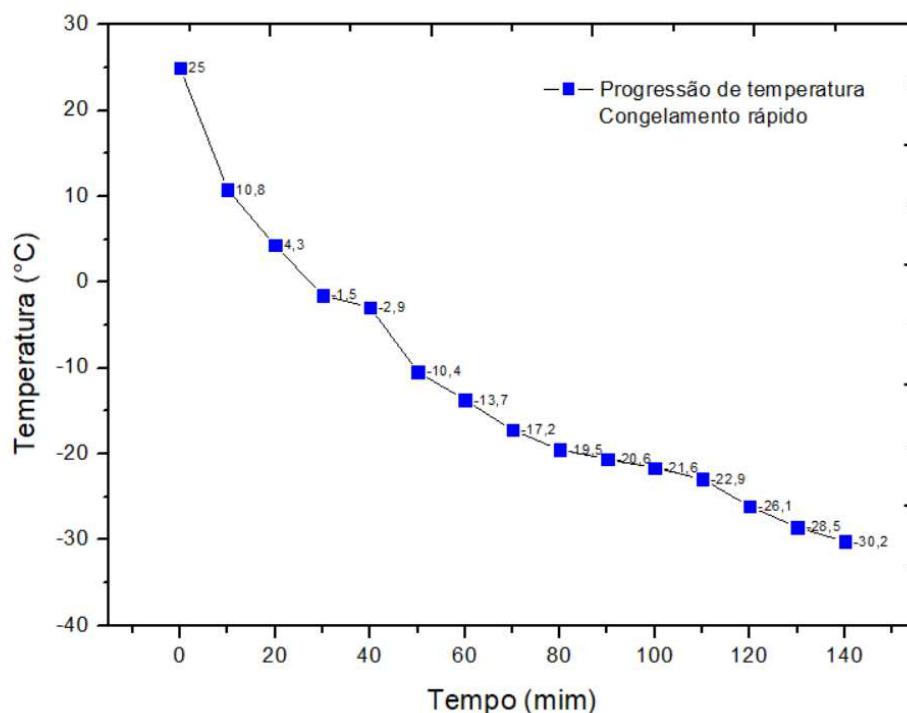
Assim, baseado nos valores obtidos por outros autores, as médias obtidas neste trabalho estão próximas aos melhores resultados obtidos com a aplicação de cozimento através de aquecimento ôhmico. A uniformidade do lote pode ser um dos fatores que auxilia também nas médias próximas, uma vez que camarões com tamanhos parecidos e que são submetidas as mesmas condições de temperatura e tempo de exposição podem apresentar valores próximos de perdas por cozimento (VERMA *et al.*, 2024).

Pode-se observar portanto que o aquecimento ôhmico promove menores perdas oriundas do cozimento devido a sua maior rapidez de aplicação de calor no produto, que atinge a temperatura específica em seu centro em um tempo muito mais curto, fazendo com que não haja superaquecimento e desnaturação de estruturas importantes para a retenção de líquidos e por consequência, o produto não perde muito peso na forma de exsudado, principalmente de água.

5.4 Progressão de temperatura no congelamento rápido

Os valores de temperatura no congelamento rápido das amostras dos dois tratamentos foram medidos também através de termopar inserido no centro de alguns exemplares de camarão-branco-do-pacífico. Com os dados obtidos foi possível construir uma curva para acompanhar a progressão do congelamento rápido no centro do alimento até a temperatura de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. As informações estão contidas na figura 8.

Figura 8. Progressão de temperatura de congelamento rápido no centro do alimento para os dois tratamentos utilizados.



Fonte: Autor (2025)

Na figura 8 é possível observar que inicialmente a temperatura no centro dos camarões dos dois tratamentos utilizados era de aproximadamente 25 °C antes de serem postos em bandejas e levados as prateleiras de um freezer de congelamento rápido, utilizado com o propósito de reduzir a temperatura no centro dos camarões a até -30 °C. Ao todo, foram necessários 140 minutos para que a temperatura de conservação do alimento escolhida fosse alcançada.

É visível que a temperatura decai de forma específica principalmente no início do processo, em que existem picos maiores de retirada de calor do alimento que obedecem a uma lógica comum observada na aplicação de baixas temperaturas em alimentos através de congelamento rápido ou instantâneo (FELLOWS, 2006).

De acordo com Fellows (2006), esse padrão de curva de congelamento se repete costumeiramente quando ocorre o monitoramento da temperatura no centro de alimentos, uma vez que esses alimentos, como a carne de pescado, possuem grande quantidade de água em sua constituição. Assim, para se remover calor do produto e proceder com o seu congelamento é necessário empregar bastante energia como forma de retirar principalmente o calor latente que existe em amostras com grande quantidade de água.

Saber a dimensão da energia que deva ser empregada nessa etapa pode inclusive ser vital para o desenvolvimento de técnicas e equipamentos que tem como objetivo proceder com o congelamento mais rápido dos produtos e, conseqüentemente, a correta cristalização no seu interior, produzindo cristais de gelo mais uniformes e que não agridem a estrutura dos alimentos (LIU *et al.*, 2023).

A curva de congelamento em si é constituída por várias etapas, cada uma representando uma fase específica do congelamento. Inicialmente, ocorre o efeito chamado “super-resfriamento”, que consiste na permanência da água em seu estado líquido mesmo que a temperatura esteja abaixo da temperatura de congelamento. Esta temperatura de “super-resfriamento” pode baixar a até 10 °C em relação a temperatura normal de congelamento (0 °C) (FELLOWS, 2006; HU; LIU; ZHANG, 2023; CHENG *et al.*, 2024).

Em seguida, começa o processo inicial de formação de cristais de gelo à medida que a temperatura que caiu bastante no super-resfriamento começa a se aproximar novamente da temperatura de congelamento. No próximo passo, a maior quantidade de gelo é formada na medida que o calor latente é retirado a uma temperatura constante. Ocorre novamente uma diminuição da temperatura de congelamento, mas dessa vez através da concentração de solutos no produto (HU; LIU; ZHANG, 2023; CHENG *et al.*, 2024).

Dando continuidade, nas fases posteriores ocorre a liberação do chamado calor de cristalização, que vai comandar a cristalização dos solutos presentes e o processo será contínuo até que boa parte da água presente no alimento finalmente se encontre em estado sólido (ASSEGEHEGN *et al.*, 2019). Por fim, a temperatura no alimento acaba chegando na temperatura pré-estabelecida no equipamento utilizado, mas de acordo com Fellows (2006), a depender do tipo de alimento, sua constituição e sua quantidade de água presente nos tecidos, nem toda água presente estará na forma de cristais, sendo ainda líquida em certas temperaturas.

Neste experimento nota-se que a progressão de temperatura de congelamento no centro dos camarões acompanhou o que é descrito na teoria em relação as fases do congelamento, com a curva de temperatura apresentando pontos específicos que claramente estão de acordo com os estudos voltados para a análise do congelamento. O congelamento rápido se destaca como processo eficaz na redução da temperatura no centro do alimento até valores bem baixos, como -30 °C, tendo como diferencial a capacidade de atingir essa temperatura em tempo reduzido, preservando o alimento e garantindo a formação de cristais de gelo menores.

Em relação ao tempo de progressão de temperatura, Liu *et al.* (2023) trabalharam com diferentes tipos de peixe e 3 diferentes formas de proceder com o congelamento rápido das

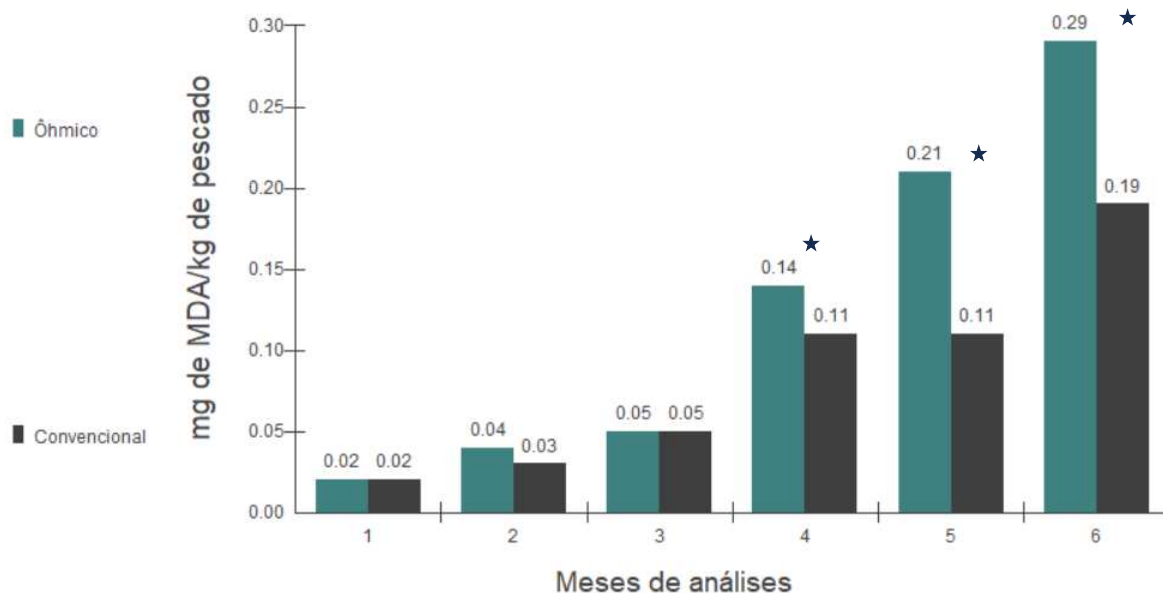
amostras utilizando nitrogênio líquido, refrigerador a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ e um micro freezer a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dependendo do tratamento, obteve tempo de congelamento variando a até 250 minutos. O tempo de congelamento obtido neste experimento se encontra abaixo desses valores.

5.5 Parâmetros de qualidade

5.5.1 Oxidação Lipídica (*Avaliação das substâncias reativas ao Ácido Tiobarbitúrico – SRATB*)

Os valores das médias de oxidação lipídica das amostras de camarão pré-cozidas e congeladas para os dois tratamentos estão dispostos na figura 9 para fins de comparação.

Figura 9. Valores médios de oxidação lipídica para as amostras de camarão nos dois tratamentos utilizados



Fonte: Autor (2025). Legenda: Símbolos de estrela representam diferenças significativas entre os tratamentos.

Como é possível observar na figura ao comparar um tratamento com o outro, não houve diferenças significativas entre os tratamentos no mês 1 até o mês 3 de análises. Em compensação, nota-se diferenças significativas nos valores dos meses 4, 5 e 6, com os maiores valores de oxidação lipídica (0,29 mg de MDA/kg de pescado) sendo apresentados pelo tratamento com o emprego do aquecimento ôhmico. Todavia, ambos os tratamentos apresentam valores bem baixos referentes a quantidade de mg de MDA/kg de pescado. Essa oxidação reduzida do produto pode estar relacionada com o emprego combinado das técnicas de aquecimento e o posterior congelamento imediato das amostras, mantendo assim a qualidade

do produto pela inibição da formação de substâncias, como os hidroperóxidos lipídicos, que acabam degradando as amostras (GUAN *et al.*, 2021). O valor exemplificado das médias dos tratamentos está contido na tabela 2.

Tabela 2 Valores comparativos de oxidação lipídica entre os tratamentos

Análises	Tratamentos	
Mês	ôhmico	Convencional
1	0,02 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,01 ^a
2	0,04 ± 0,02 ^a	0,03 ± 0,02 ^a
3	0,05 ± 0,02 ^a	0,05 ± 0,02 ^a
4	0,14 ± 0,01 ^b	0,11 ± 0,02 ^b
5	0,21 ± 0,07 ^c	0,11 ± 0,02 ^b
6	0,29 ± 0,04 ^d	0,19 ± 0,01 ^c

Fonte: Autor (2025). Letras diferentes em cada coluna sugerem diferenças significativas dentro do mesmo tratamento em relação ao mês de análise, para um nível de significância $p < 0,05$.

Analizando cada tratamento individualmente, pode-se concluir que não houve diferenças significativas entre os primeiros 3 meses de análise. Em relação ao tratamento com a aplicação de aquecimento convencional é possível observar diferenças significativas entre os últimos meses de análise para $p < 0,05$, com os maiores valores obtidos no sexto mês. O mesmo perfil se repete para o tratamento com aquecimento ôhmico, porém sem diferenças significativas entre os meses 4 e 5.

Outros autores também avaliaram a progressão de oxidação lipídica em amostras de pescado. Huang *et al.* (2024), trabalharam com o camarão *Penaeus vannamei* avaliando o impacto da exposição da carne do crustáceo a diferentes níveis de amônia-N na questão da sua oxidação lipídica e proteica, onde foi possível obter como resultados maior concentração de espécies reativas de oxigênio nos tratamentos com elevada concentração de amônia e maior tempo de exposição. Ademais, no maior tempo de exposição (72h) encontraram valores de TBARS na faixa de 0,5 mg de MDA/kg de músculo.

Nikoo *et al.* (2021), utilizaram hidrolisados proteicos de camarão-branco-do-pacífico como forma de aproveitamento do produto, onde examinaram a ocorrência de oxidação lipídica em tratamentos que empregavam a temperatura de diferentes maneiras. Observaram maiores valores de TBARS diretamente relacionados com o aumento de temperatura e consequentemente, maior atividade enzimática responsável pela oxidação do produto.

Guan *et al.* (2021), correlacionaram a maneira em que camarões são transportados vivos com as mudanças que podem ocorrer após a morte dos animais. Observaram que a depender do transporte e do estresse causado decorrente dele, ocorria maior liberação de

hormônios e a formação de espécies reativas de oxigênio capazes de afetar o frescor do produto, impactando diretamente em sua textura, por exemplo.

Okpala *et al.* (2016), utilizaram ozônio como forma de retardar os processos oxidativos que se instalam em camarões conservados em gelo, uma vez que, de acordo com os autores, o emprego do frio em si não é suficiente para impedir que o produto apresente maiores níveis de oxidação com o prolongamento do tempo de estocagem.

Sabe-se que o processo oxidativo se inicia cedo em produtos que podem perecer muito facilmente, como a carne de pescado, e que obedece a um processo em cadeia com a ação de radicais livres (SECCI; PARISI, 2016). A carne do pescado é bem suscetível ao estresse oxidativo por vários fatores, sendo o principal deles a presença muitas vezes de ácidos graxos de cadeia poli-insaturada que, quando degradados, produzem vários compostos capazes de reduzir consideravelmente a qualidade do produto (FELLENBERG; SPEISKY, 2006).

É necessário sempre avaliar a nutrição do pescado e seu aspecto energético, já que o processo de captura e abate acaba reduzindo as reservas energéticas originais do animal e o estresse causado pode acarretar perda de qualidade da carne pela instauração de processos deteriorantes muito mais rápido (XING *et al.*, 2019).

No decorrer do processo de formação de radicais livres oriundos da oxidação lipídica, uma das principais substâncias produzidas são os hidroperóxidos lipídicos. Esses hidroperóxidos podem ser também facilmente degradados em compostos que podem apresentar citotoxicidade elevada, como é o caso de aldeídos e álcoois. Entre esses aldeídos, o malonaldeído (MDA) é um dos mais famosos e utilizados nas metodologias para avaliação do grau de oxidação lipídica de alimentos (GUAN *et al.*, 2021).

A utilização de diferentes técnicas que aplicam calor em alimentos pode estar relacionada também ao estresse oxidativo. Alguns autores observaram maiores níveis de oxidação com a aplicações de calor não uniformes ou com aplicações sequenciais de mais de uma técnica de cozimento em amostras (BALTHAZAR *et al.*, 2024; JENSEN *et al.*, 2024). Esse fato pode levar a uma maior oxidação de ácidos graxos e lipídios o que ocasiona o estresse oxidativo do alimento e a redução de seus níveis nutricionais (BALTHAZAR *et al.*, 2024; JENSEN *et al.*, 2024).

De acordo com Secci e Parisi (2016), entre as alterações que podem aparecer nos alimentos decorrentes da elevada oxidação de gorduras e lipídios podemos destacar a presença de sabor desagradável, problemas no aspecto e textura do produto, odores e perdas nutricionais. Portanto, o correto manejo dos produtos em associação com sua conservação adequada e

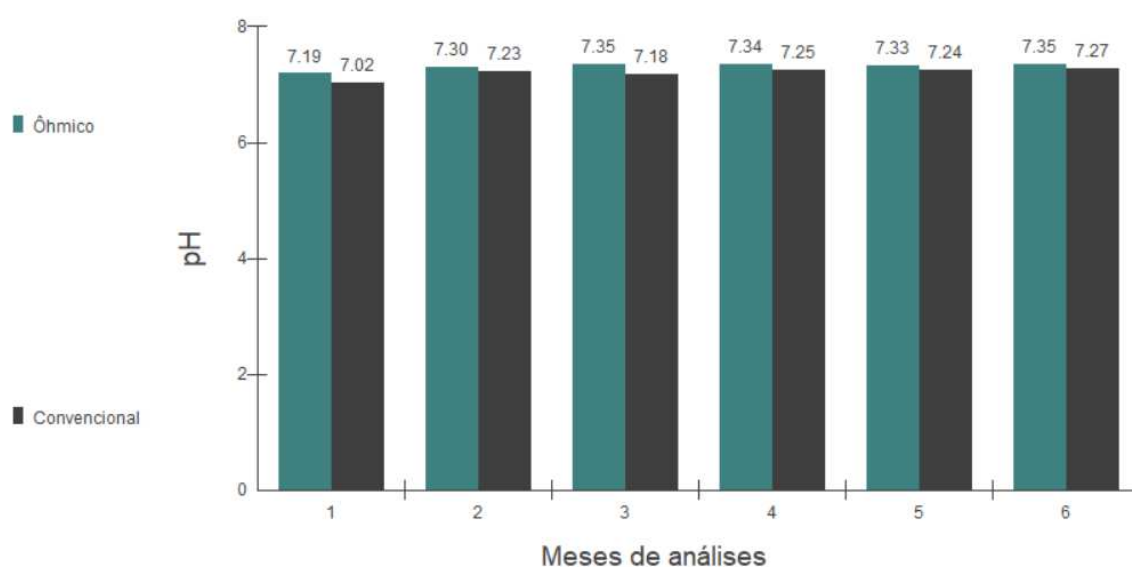
imediate pode retardar as principais reações relacionadas a carne do pescado, como a oxidação lipídica.

O limite de 1 mg de MDA/kg de pescado é adotado por Xiong *et al.*, (2021) como parâmetro de aceitabilidade da carne do pescado para o consumo. Neste experimento, os valores finais para substâncias reativas ao TBA dos dois tratamentos se encontram bem abaixo desse valor.

5.5.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

Os valores das médias do potencial hidrogeniônico das amostras de camarão pré-cozidas e congeladas para os dois tratamentos estão dispostos na figura 10 para fins de comparação.

Figura 10. Valores médios de pH para as amostras de camarão nos dois tratamentos utilizados.



Fonte: Autor (2025).

Comparando-se os tratamentos utilizados, observa-se que não houve diferença significativa neste parâmetro com os valores finais de pH obtidos ao final de 6 meses de estocagem para $p < 0,05$ entre os tratamentos. É possível observar uma progressão quase contínua de elevação do pH das amostras ao longo dos meses com os valores finais de 7,35 e 7,27 respectivamente para os tratamentos ôhmico e convencional. O maior valor de pH obtido pelo tratamento com aquecimento ôhmico pode estar relacionado com uma maior proliferação de bactérias psicotróficas vistas nesse tratamento, que podem desencadear a produção de bases voláteis, que, por sua vez, podem tornar o pH das amostras mais alcalino (LIU *et al.*, 2022).

Alguns trabalhos avaliaram o aumento de pH em amostras de pescado, como Rebouças *et al.*, (2018), que obtiveram médias de pH variando entre 6,35 e 6,59 respectivamente para camarão-branco-do-pacífico cultivado em água doce e salgada. Santos *et al.*, (2011), obtiveram como resultados de pH para camarão *Macrobrachium Olfessi* cozido e salgado, o valor de 7,83. Já nas avaliações das amostras da mesma espécie *in natura*, obtiveram médias variando entre 8,85 e 8,87.

Valores de pH variando entre 7,09 e 8,10 foram observados por Moura *et al.*, (2003), trabalhando com as espécies *P. brasiliensis* e *P. paulensis* comercializadas em estabelecimentos da cidade de São Paulo. Médias de pH variando de 6,43 até 7,57 foram observadas por Kamali *et al.*, (2024), quando estudaram a manutenção das características físico-químicas de camarões revestidos com filme de quitosana combinado com extrato de raízes, com os melhores valores relativos ao aumento da concentração do revestimento.

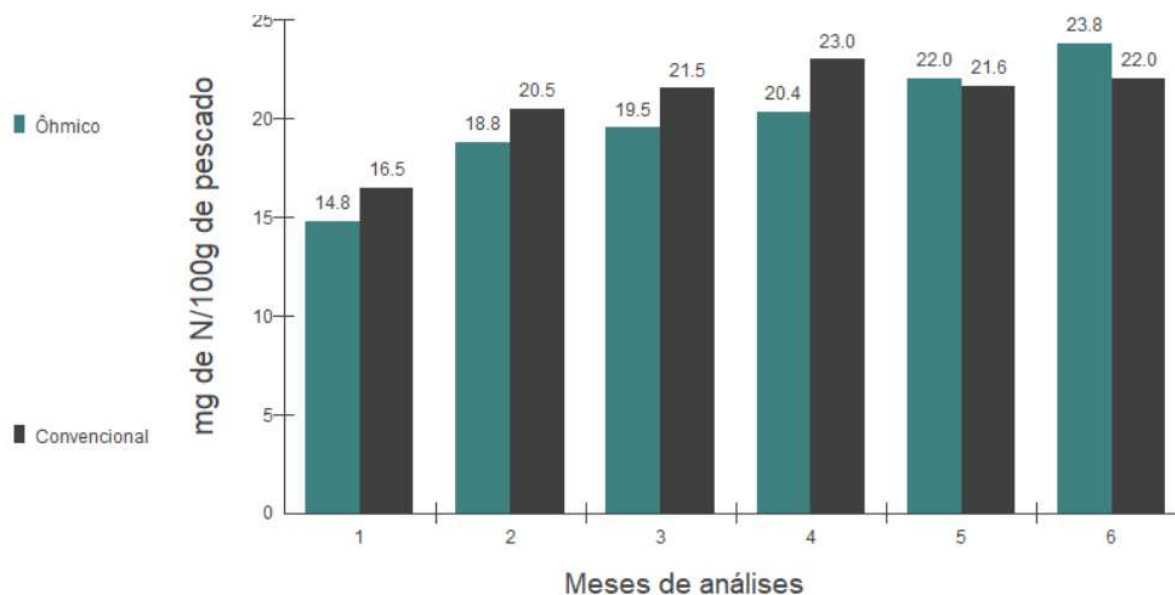
É comum o aumento dos valores de pH relativos ao armazenamento de produtos derivados do pescado por um período prolongado, uma vez que os processos de deterioração que se sucedem, principalmente a ação de enzimas bacterianas, acabam desnaturando proteínas e outros compostos que acarretam a formação de substâncias conhecidas como bases voláteis. Essas bases, que são compostos de baixo peso molecular e substâncias alcalinas, acabam tornando o pH mais básico, o que explica valores observados nas faixas entre 7 e 9 (ANVAR *et al.*, 2023).

A legislação brasileira estabelece valores aceitáveis de pH para que a carne de crustáceos ainda possa ser considerada ideal ao consumo no Decreto nº 9013, de 29 de março de 2017. No caso da carne de camarão, pode-se consumir produtos que apresentam valores de pH até 7,85 na carne interior do alimento (BRASIL, 2017). Assim, a carne de camarão dos tratamentos avaliados neste experimento obteve valores ao final do período de estocagem que ainda se encontram dentro do limite estipulado para um consumo seguro.

5.5.3 Nitrogênio de bases voláteis totais (N-BVT)

Os valores das médias de nitrogênio de bases voláteis totais contidos nas amostras de camarão pré-cozidas e congeladas para os dois tratamentos estão dispostos na figura 11 para fins de comparação.

Figura 11. Valores médios de N-BVT para as amostras de camarão nos dois tratamentos utilizados.



Fonte: Autor (2025)

Comparado os tratamentos entre si, não houve diferenças significativas entre as médias de N-BVT para cada um dos meses de análises. Os maiores valores de bases voláteis totais (23,8 mg de N/100 g de pescado) foram observados no tratamento com aquecimento ôhmico ao final de 6 meses de estocagem. É interessante destacar que os valores iniciais de N-BVT para os dois tratamentos observados neste experimento já podem ser considerados elevados para amostras recém cozidas. Esse fato pode sugerir um estágio inicial de deterioração nas amostras recém obtidas.

Tabela 3. Valores comparativos de N-BVT entre os tratamentos.

Análises	Tratamentos (mg N/100g de pescado)	
	Convencional	Ôhmico
1	16,50 ± 2,73 ^a	14,78 ± 0,99 ^a
2	20,50 ± 2,42 ^b	18,79 ± 0,62 ^b
3	21,52 ± 1,48 ^c	19,53 ± 1,40 ^c
4	23,00 ± 2,46 ^d	20,40 ± 0,87 ^d
5	21,63 ± 2,65 ^c	22,05 ± 2,83 ^e
6	22,05 ± 2,48 ^f	23,83 ± 0,89 ^f

Fonte: Autor (2025). Letras diferentes em cada coluna sugerem diferenças significativas dentro do mesmo tratamento em relação ao mês de análise, para um nível de significância $p < 0,05$.

Avaliando os resultados referentes ao tratamento com aquecimento convencional ao longo do tempo, houve diferenças significativas entre a maioria dos meses de análise. Houve também uma pequena queda nos valores de N-BVT a partir do mês 4 com posterior elevação até o último mês. Essa diminuição do valor de bases voláteis pode estar associada a diminuição

da proliferação de colônias nesse mês, com nova multiplicação ao final do experimento. Se comparados os valores do terceiro e quinto mês, não houve diferenças significativas.

Já com o tratamento com a aplicação de aquecimento ôhmico, foram observadas diferenças significativas entre todos os meses de análise, com médias de N-BVT variando de 14,8 aproximadamente a 23,83 mg de N/100 g de pescado ao final de 6 meses. Houve também elevação contínua, porém pequena, dos valores de bases voláteis ao longo do armazenamento.

Uma explicação para esse crescimento pode estar relacionada a ação de bactérias no tratamento com aquecimento ôhmico, que obteve maiores valores de colônias ao final do experimento. A ação de bactérias psicotróficas que podem crescer em temperaturas de refrigeração ocasiona a produção de maior quantidade de bases voláteis, o que está correlacionado aos valores obtidos (LIU *et al.* 2022). Todavia, a aplicação dos dois métodos no pré-cozimento de camarões conseguiu reduzir a quantidade de colônias quando comparado com os valores obtidos com a análise do mesmo camarão fresco, como é possível ver no tópico de discussão das análises microbiológicas, mais a frente.

Outros autores avaliaram a quantidade de N-BVT em amostras de camarão e outros produtos. Kamali *et al.*, (2024), obtiveram valores de bases voláteis totais na faixa de 21,7 mg N/100 g de pescado trabalhando com camarões revestidos com filmes de quitosana e extrato de raízes, onde também puderam observar que o tempo de prateleira das amostras máximo era de 20 dias quando conservadas em gelo. Kamali *et al.*, (2023), avaliaram o efeito da aplicação de filmes de polissacarídeo sulfatado na manutenção de frescor e redução do nível de melanose de camarões, onde obtiveram como resultado valores de N-BVT variando entre 30,8 e 35,7 mg N/100g para camarões conservados em gelo por 20 dias.

Khaledian, Basiri e Shekarforoush, (2021), encontraram valores de bases voláteis variando entre os tratamentos, como médias entre 30,3 e 32 mg N/100g para camarão *Penaeus vannamei* estocado refrigerado. O tempo de prateleira do produto aumentou em 2 dias com a aplicação de revestimentos, apresentando valores menores de N-BVT. Valores de 25 mg N/100g de pescado foram obtidos por Tsironi *et al.*, (2009), que estocaram camarões congelados por cerca de 300 dias. Moura *et al.* 2003, por sua vez, encontraram valores de N-BVT ultrapassando a casa das 73mg N/100g de pescado ao avaliarem a qualidade do camarão comercializado em estabelecimentos da cidade de São Paulo.

A bases voláteis são basicamente compostos de baixo peso molecular oriundas da ação de enzimas autolíticas ou da ação de bactérias em compostos proteicos musculares, que são reduzidos a subprodutos como trimetilamina e a amônia (ANVAR *et al.*, 2023). Essas bases

podem fornecer ao pescado odores de putrefação e normalmente aumentam de quantidade ao longo de períodos de estocagem muito longos (LIU *et al.* 2022).

A legislação brasileira atualmente estipula como limite de aceitação para carne de pescado em relação ao seu nível de bases voláteis totais o valor de 30 mg de N/ 100g de carne, presente no Regulamento de Inspeção Industrial de Produtos de Origem Animal – RIISPOA (BRASIL, 2020). Outros países, como os da União Europeia, também adotam valores limite de N-BVT entre 30 e 35 mg de N/100 g para produtos de pescado (ALPARSLAN; BAYGAR, 2017). Neste experimento, ambos os valores finais de 23,8 e 22 mg de N/100g de pescado (Aquecimento ôhmico e Aquecimento convencional, respectivamente) ficaram abaixo do limite estipulado, o que sugere que as amostras ainda estão próprias para o consumo.

5.5.4 Cor das amostras após cozimento e armazenamento

Os valores correspondentes a cor das amostras de camarão-branco-do-pacífico pré-cozidas e congeladas, no início e fim do experimento, para os dois tratamentos desenvolvidos estão descritas na Tabela 4. Os valores de L* dizem respeito a luminosidade presente na amostra, os de a* representam a quantificação de compostos de coloração vermelha e verde e b* representa os compostos de coloração amarela e azul.

Tabela 4. Mudança nos parâmetros de coloração de camarões para os dois tratamentos.

Coloração das amostras				
Parâmetros	Tratamento com aquecimento convencional		Tratamento com aquecimento ôhmico	
	Inicial	Final	Inicial	Final
L*	50,61 ± 5,35 ^{aA}	70,59 ± 3,63 ^{bC}	42,33 ± 3,38 ^{cB}	66,91 ± 6,57 ^{dC}
a*	12,91 ± 2,59 ^{aA}	16,03 ± 2,46 ^{bC}	13,23 ± 1,49 ^{cA}	16,57 ± 2,12 ^{dC}
b*	15,97 ± 3,17 ^{aA}	23,94 ± 5,97 ^{bC}	15,98 ± 1,36 ^{cA}	22,73 ± 2,98 ^{dD}

Fonte: Autor (2025). Letras minúsculas diferentes sugerem diferenças significativas entre o mesmo tratamento para um nível de significância $p < 0,05$. Letras maiúsculas diferentes sugerem diferenças significativas entre um tratamento e outro para cada um dos períodos.

Comparando-se os valores de todos os parâmetros analisados para os dois tratamentos, é possível observar um claro aumento das médias para cada parâmetro até o final do experimento em L^* , a^* e b^* . Para o parâmetro de luminosidade (L^*), em relação ao tratamento convencional, os valores variaram de 50,61 a 70,59, aproximadamente. Já no tratamento com aquecimento ôhmico, houve uma maior variação, de 42,33 a 66,91 ao final do período de armazenamento. Um aumento sutil dos valores para os dois tratamentos também ocorreu para os parâmetros a^* e b^* .

Houve diferenças significativas entre os períodos inicial e final do tratamento convencional para cada um dos parâmetros analisados. Em relação ao tratamento ôhmico, houve também diferenças para cada um dos parâmetros ao longo do tempo. Comparando-se um tratamento com o outro, a luminosidade inicial do tratamento convencional obteve maiores valores, porém no período final não houve diferenças significativas entre os dois tratamentos. Para a^* , não existiram diferenças estatísticas entre ambos os períodos finais, para os dois tratamentos. Já b^* apresentou diferença significava no fim do experimento, com os menores valores obtidos com o tratamento ôhmico.

A variação dos parâmetros de coloração de camarões estocados refrigerados a 4 °C durante um período de 10 dias foi avaliada por WANG *et al.*, (2024), onde foram obtidos valores de L^* variando de 72,39 a 37,81 até o final do período de armazenamento. Em relação aos parâmetros a^* e b^* , variaram respectivamente de -1,40 a 15,44 e de 37,00 a 10,23 no final dos mesmos 20 dias. Li *et al.*, (2024) avaliaram a mudança na coloração de camarões submetidos a diferentes tratamentos empregando tecnologia de calor de alta pressão e encontraram como resultados, valores de L^* , a^* e b^* , respectivamente variando entre 60 e 80, 7 e 21 e 16 e 32, dependendo do tratamento aplicado.

Li *et al.*, (2024 b), aplicaram calor em amostras de camarão pronto para o consumo estocadas por 45 dias e avaliaram a mudança de coloração das amostras durante esse período. Obtiveram como resultados valores do parâmetro L^* decrescendo de aproximadamente 75 até 60 com o tempo de armazenamento, e puderam observar aumento nos valores dos parâmetros a^* e b^* respectivamente de 0 a 25 e de 10 a 28 durante o mesmo período.

A cor é um dos parâmetros mais associados ao poder de aceitação de produtos derivados do pescado para consumidores, podendo ter impacto direto no consumo ou compra. Sabe-se que durante o cozimento ou pré-cozimento, ocorre a mudança da coloração de camarões para uma cor laranja-avermelhada muito associada a qualidade e ao frescor do produto recém cozido (LI *et al.* 2024 b).

Entretanto, durante períodos de estocagem elevados pode ocorrer a aparição de coloração amarronzada e acinzentada oriunda de mudanças sensoriais ocasionadas pelos processos de oxidação e deterioração do produto pela ação de polifenóis e quinonas (VERHAEGHE *et al.*, 2018). Outros autores sugerem que a mudança de coloração de amostras de camarão pode estar relacionada com a dissociação de astaxantina e outros pigmentos presentes nas amostras, que ocasionam mudanças de tom no produto do alaranjado para o azul, verde ou marrom com o emprego de temperaturas de cozimento (SILA; NASRI; BOUGATEF, 2012; HERNÁNDEZ-BECERRA *et al.* 2014).

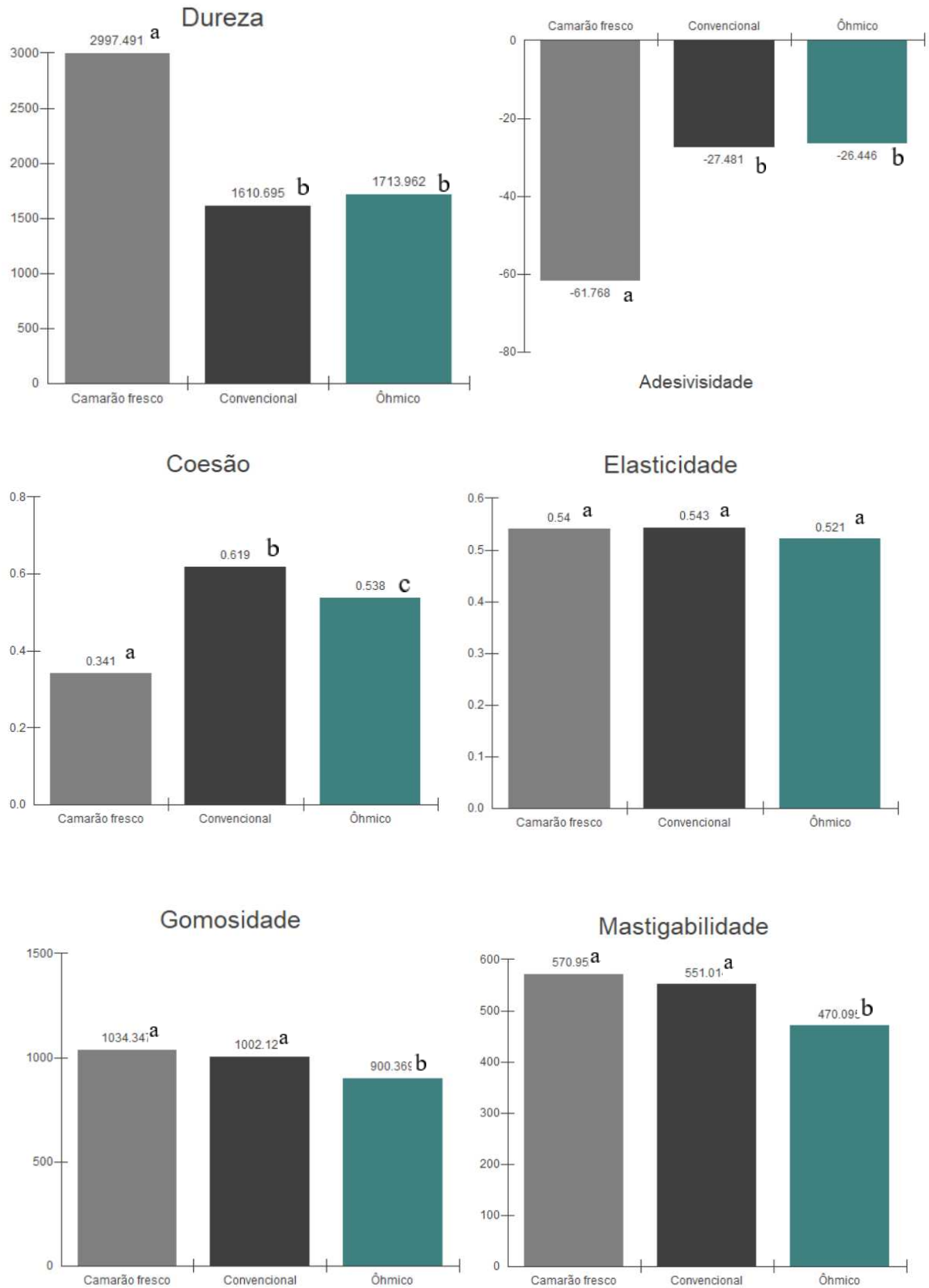
A carne de pescado estocada por longos períodos ou submetida a processos de emprego de temperaturas elevadas pode ser acometida pela chamada reação de Maillard (NOOSHKAM; VARIDI; BASHASH, 2019). Essa reação ocorre pela ação de grupos amino e carbonila produzidos durante o processamento térmico das amostras e é caracterizada pelo escurecimento da carne (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Além de prejudicar as características sensoriais do produto, essa reação química pode também causar prejuízos nutricionais ao alimento (ZHONG *et al.*, 2015; NOOSHKAM; VARIDI; BASHASH, 2019).

Neste experimento, houve pouca oxidação lipídica das amostras, o que corrobora com os valores obtidos para a^* e b^* , relacionados as mudanças de coloração e escurecimento (ZHONG *et al.*, 2015). Já o aumento de L^* pode estar associado a deposição de cristais de gelo durante o armazenamento, gerando uma maior luminosidade nas amostras. Os valores finais obtidos neste trabalho estão de acordo com outros estudos, principalmente com emprego de cozimento ou altas temperaturas na carne de camarão (SILA; NASRI; BOUGATEF, 2012; LI *et al.* 2024).

5.5.5 Mudanças nas propriedades de textura das amostras após cozimento e armazenamento

Os resultados para os parâmetros de textura estão expostos na figura 12 que relaciona as principais propriedades de textura relativas à carne de camarão fresca e pré-cozida em cada tratamento ao final de 6 meses de estocagem (Dureza, Adesividade, Coesão, Elasticidade, Gomosidade e Mastigabilidade).

Figura 12. Comparação entre as propriedades de textura de amostras de camarão frescas e amostras submetidas ao pré-cozimento dos dois tratamentos utilizados.



Fonte: Autor (2025)

Em relação ao parâmetro de dureza, é possível observar uma redução considerável comparando-se a carne de camarão fresca com a carne dos tratamentos após o período de armazenamento. Diferenças significativas foram observadas entre o camarão fresco e os tratamentos, que por sua vez não apresentaram diferenças entre si, com um valor um pouco maior para as amostras submetidas ao aquecimento ôhmico. Para a adesividade, todas as amostras apresentaram valores negativos, com uma redução para os tratamentos.

As amostras apresentaram diferenças significativas no parâmetro de coesão com a aplicação dos aquecimentos, com o maior valor relacionado ao tratamento com aquecimento convencional. Não foram vistas diferenças significativas relacionadas ao parâmetro de elasticidade entre o camarão fresco e os tratamentos, o que sugere a manutenção dessa característica apesar dos pré-cozimentos e do armazenamento em temperaturas mais baixas.

Já a gomosidade e a mastigabilidade dos camarões apresentaram diferenças estatísticas apenas em relação as amostras submetidas ao tratamento com o aquecimento ôhmico, que obteve os menores valores. É importante salientar que as propriedades de textura são importantes por exemplificar um panorama real de qualidade de produtos destinados ao consumo e sua análise ajuda a visualizar as características que aparecem no próprio ato de mastigação do consumidor (LI *et al.*, 2022; WANG *et al.*, 2025). Assim, observar estes parâmetros ao longo do processamento e armazenamento de produtos auxilia no entendimento do estado de palatabilidade dos alimentos (WANG *et al.*, 2025).

A dureza em um alimento está diretamente relacionada a força necessária para causar uma deformação no mesmo (FUQUAY; MCSWEENEY; FOX, 2011). Neste trabalho, a redução dos valores nesse parâmetro para os tratamentos indica que após o período de armazenamento as amostras apresentam uma maior facilidade de deformação, que pode ser associada, por exemplo, a desnaturação de proteínas miofibrilares ou perdas decorrentes do pré-cozimento e perdas de água no produto (CHEN *et al.*, 2022).

A adesividade relaciona-se a capacidade de aderência do alimento a uma superfície, como por exemplo a boca do consumidor (FUQUAY; MCSWEENEY; FOX, 2011). Os valores negativos obtidos neste experimento podem indicar uma facilidade de as amostras de camarão serem mastigadas sem que grudem no palato. Por sua vez, a coesão ou coesividade está associada a razão entre a primeira e a segunda força de compactação do produto no texturômetro (DAL'AQUA, 2018). O aumento dos valores desse parâmetro nos tratamentos pode sugerir uma maior resistência a compactação devido ao pré-cozimento das amostras.

Avaliar a elasticidade significa verificar a taxa com que uma amostra retorna a sua forma original depois da aplicação de uma força (DAL'AQUA, 2018). Neste trabalho, a falta

de diferença significativa entre o controle e os tratamentos sugere a manutenção dessa característica mesmo com o tempo de armazenamento. Por fim, gomosidade está relacionada a modificações no alimento quando mastigado, enquanto a mastigabilidade tem como fundamento o emprego de força necessária para moer um alimento sólido até ele estar pronto para ser ingerido e engolido (FUQUAY; MCSWEENEY; FOX, 2011; DAL'AQUA, 2018). A redução dos valores desses parâmetros no tratamento com a aplicação do aquecimento ôhmico indica uma necessidade maior de força empregada para mastigar as amostras deste tratamento.

Os estudos sobre as modificações que podem ocorrer na textura de alimentos frescos ou processados são uma das principais ferramentas para avaliação da aceitabilidade do produto por parte dos consumidores (LU; CEN; 2013). Junto com a textura, análises sensoriais e tácteis ajudam a formular produtos que podem atender a demanda de consumidores cada vez mais exigentes (CHEN; ROSENTHAL, 2015). A aplicação de tratamentos com o uso de temperatura em alimentos já é uma alternativa viável tanto para melhorar sua palatabilidade quanto para auxiliar na sua preservação. Todavia, sabe-se que tratamentos termais podem ocasionar modificações nas propriedades físicas e estruturais de alimentos, como a carne do pescado (KADAM; TIWARI; O'DONNELL, 2015).

Ao final deste trabalho, observa-se uma redução dos valores relacionados a qualidade do pescado quanto a sua textura na carne de camarão pré-cozida e estocada durante 6 meses, o que sugere alterações durante o armazenamento prolongado.

5.5.6 Perdas por gotejamento após armazenamento (*Thawing loss*)

Os valores finais para a porcentagem de perdas por gotejamento das amostras de camarão para os dois tratamentos empregados estão dispostos na tabela 5 para cada mês de análise realizada.

Tabela 5. Médias de perdas por gotejamento para cada tratamento ao longo de 6 meses.

Análises	Perdas por gotejamento (%)	
	Convencional	Ôhmico
Mês		
1	3,75 ± 0,37 ^{aA}	3,41 ± 1,05 ^{aB}
2	6,70 ± 2,03 ^{bA}	5,54 ± 1,66 ^{bB}
3	5,86 ± 0,72 ^{cA}	6,86 ± 0,59 ^{cB}
4	6,79 ± 0,79 ^{bA}	5,32 ± 1,03 ^{dB}
5	6,89 ± 1,10 ^{bA}	7,08 ± 1,23 ^{eB}
6	7,67 ± 0,56 ^{dA}	7,29 ± 0,05 ^{fB}

Fonte: Autor (2025). Letras minúsculas diferentes na mesma coluna significam diferenças significativas em um mesmo tratamento ao longo dos meses ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes numa mesma linha significam diferenças significativas entre os tratamentos para cada um dos meses de análise.

Ao analisar as médias finais para cada um dos meses de armazenamento comparando um tratamento com o outro, é possível observar diferenças significativas entre os dois tratamentos utilizados. As médias iniciais de perdas por gotejamento foram respectivamente de 3,75 % e 3,41 % para os tratamentos convencional e ôhmico, com uma progressão ao final do sexto mês de análise para valores de 7,67 % e 7,29 % para os mesmos tratamentos. Ao final desse período, as amostras submetidas ao tratamento ôhmico apresentaram os menores percentuais de perdas por gotejamento.

Observando cada tratamento individualmente, é possível ver diferenças significativas entre todos os meses de análise no tratamento ôhmico, com diminuição das porcentagens entre os meses 3 e 4. Já no tratamento convencional, não houve diferenças significativas entre os meses 2, 4 e 5 em relação ao percentual de perdas por gotejamento.

Análises que evidenciam a capacidade de retenção de água de amostras ricas nesse elemento em sua constituição, como a carne de pescado, são importantes para avaliar a perda de peso do produto, queda na sua qualidade e possíveis perdas econômicas decorrentes desses processos (WANG *et al.*, 2022). Basicamente se resumem as perdas por gotejamento como o nível de dano causado nos tecidos da amostra como consequência da formação de cristais de gelo durante períodos prolongados de armazenamento do produto congelado (KITTIPIHATTANABAWON *et al.*, 2024).

Li *et al.*, (2024), estudaram vários métodos diferentes de realizar o descongelamento de amostras de camarão e obtiveram como resultado percentuais de perdas por gotejamento variando entre 4,06% e 6,34%. Kittiphattanabawon *et al.*, (2024), submetem camarões a vários ciclos de congelamento/descongelamento, obtendo como valores de perdas por gotejamento os percentuais entre 3,34% e 9,25% a depender da quantidade de fosfatos aplicados nas amostras.

Oliveira e Gonçalves, (2019), avaliaram a introdução de aditivos em camarões como forma de evitar perdas de peso e observaram valores de perdas por gotejamento de 2,45% a 4,59% nos tratamentos com adição de substâncias.

Durante o congelamento, pode ocorrer um processo acentuado de desnaturação de proteínas miofibrilares e a formação de cristais de gelo que agredem a estrutura muscular da carne de camarão (KINGWASCHARAPONG; BENJAKUL, 2016). Isso faz com que durante o processo de descongelamento haja a liberação mais acentuada de líquidos e fluidos presentes

no alimento decorrente dessa etapa de desnaturação. Portanto, dependendo do alimento, pode ocorrer elevada perda de peso decorrente do descongelamento e a submissão desse alimento a vários ciclos de congelamento e descongelamento pode ainda aumentar as perdas de peso do produto (KINGWASCHARAPONG; BENJAKUL, 2016). Neste experimento, o tratamento com o emprego de aquecimento ôhmico foi mais eficaz em impedir perdas acentuadas de peso por gotejamento após o congelamento e descongelamento.

5.5.7 Perdas por centrifugação após armazenamento

Os valores finais para a porcentagem de perdas por centrifugação das amostras de camarão para os dois tratamentos empregados estão dispostos na tabela 6 para cada mês de análise realizada.

Tabela 6. Médias de perdas por centrifugação para cada tratamento ao longo de 6 meses.

Análises	Perdas por centrifugação (%)	
Mês	Convencional	Ôhmico
1	3,23 ± 0,02 ^{aA}	3,56 ± 0,12 ^{aB}
2	4,58 ± 0,04 ^{bA}	3,98 ± 0,01 ^{bB}
3	4,75 ± 0,10 ^{cA}	4,02 ± 0,04 ^{cB}
4	5,24 ± 0,05 ^{dA}	4,56 ± 0,09 ^{dB}
5	5,96 ± 0,15 ^{eA}	5,27 ± 0,08 ^{eB}
6	6,15 ± 0,02 ^{fA}	6,02 ± 0,01 ^{fB}

Fonte: Autor (2025). Letras minúsculas diferentes na mesma coluna significam diferenças significativas em um mesmo tratamento ao longo dos meses ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes numa mesma linha significam diferenças significativas entre os tratamentos para cada um dos meses de análise.

Para as análises realizados ao longo de seis meses, houve diferenças significativas entre os tratamentos, bem como dentro de cada tratamento ao longo do tempo. Como é possível observar na tabela, os valores de perdas por centrifugação do camarão pré-cozido com cada tratamento e congelado aumentaram ao longo do período de armazenamento. No primeiro mês de análise, as médias foram respectivamente de 3,23 % e 3,56 % para o tratamento convencional e para o tratamento ôhmico. No fim de 6 meses de estocagem as médias finais foram de 6,15 % e 6,02 %, com o tratamento com emprego de aquecimento ôhmico apresentando os menores valores.

A avaliação das perdas por gotejamento e das perdas por centrifugação normalmente estão inseridas em um rol maior de análises relacionadas a investigação da capacidade de retenção de água em alimentos, principalmente (FERRANTI, 2023).

Entende-se por capacidade de retenção de água da carne a habilidade de armazenar e reter água em sua constituição sob condições de pressão, centrifugação ou cozimento, através da ação de proteínas que formam uma série de ligações presentes no próprio alimento (HERZ *et al.*, 2023). Quanto mais baixa for a capacidade de retenção de água mais prejudicado será o produto, uma vez que apresentará problemas relacionados a sua textura e suculência, podendo influenciar diretamente na sua perda de qualidade (CHEN *et al.*, 2022; FERRANTI, 2023).

A carne de pescado já é um produto perecível naturalmente por suas próprias características, assim torna-se necessário avaliar as perdas que podem ser acarretadas pela aplicação do processamento e estocagem prolongada (ALEXANDRE *et al.*, 2021). Neste trabalho, durante o armazenamento em congelamento, a carne de camarão-branco-do-pacífico apresentou também uma redução do seu percentual de umidade ao longo do tempo, o que pode estar relacionado às perdas de água com a estocagem. É possível observar que o tratamento com a aplicação de aquecimento ôhmico apresentou melhor capacidade de retenção, que pode estar relacionada a sua rapidez de cozimento e redução das perdas no produto ao longo do processo.

Huang *et al.*, (2024) avaliaram a qualidade do músculo de camarão-branco-do-pacífico exposto a algumas concentrações diferentes de amônia e observou valores de perdas por centrifugação variando entre 5% e 8% baseado no aumento da concentração da substância. Li *et al.* (2024) obtiveram como resultado perdas por centrifugação entre 14% e 20% através da aplicação de diferentes métodos de descongelamento em amostras de camarão. Comparando com esses autores, os resultados obtidos neste experimento se encontram abaixo para amostras de camarão, o que sugere que os tratamentos não ocasionaram maiores perdas de água nas amostras.

5.5.8 Composição centesimal das amostras

A composição centesimal das amostras de camarão submetidas aos dois tratamentos foi analisada através da obtenção dos percentuais de proteínas, lipídios, umidade e cinzas no início do experimento e ao final do período de estocagem em congelamento por seis meses, como forma de avaliar se o armazenamento durante esse período ocasionou modificações na composição do produto. Os valores obtidos estão dispostos na tabela 7 para fins de comparação.

Tabela 7. Composição centesimal de amostras de camarão submetidas a aquecimento convencional e ôhmico, congeladas por 6 meses.

Composição centesimal								
Tratamentos	Umidade Inicial (%)	Umidade Final (%)	Cinzas Inicial (%)	Cinzas Final (%)	Teor de Proteínas Inicial (%)	Teor de Proteínas Final (%)	Teor de Lipídios Inicial (%)	Teor de lipídios Final (%)
Aqueci. Convencional	76,4 ± 0,67	66,1 ± 1,27	2,57 ± 0,56	3,2 ± 0,76	18,79 ± 0,58	24,59 ± 0,77	1,39 ± 0,19	1,98 ± 0,14
Aqueci. Ôhmico	77,2 ± 0,98	69,7 ± 1,07	3,01 ± 0,78	3,7 ± 0,38	18,47 ± 0,40	24,07 ± 0,72	1,91 ± 0,70	1,59 ± 0,19

Fonte: AUTOR (2025)

Em relação ao parâmetro de umidade das amostras de camarão, é possível observar redução no tratamento com aquecimento convencional de aproximadamente 76,4 % para 66,1 % ao fim do período de armazenamento. Ocorreu também uma redução do percentual de umidade das amostras submetidas ao aquecimento ôhmico, com valores variando de 77,2 % a aproximadamente 69,7% no final do mesmo período.

Essa redução do teor de umidade da carne de camarão avaliada pode estar diretamente associada aos métodos de pré-cozimento que foram utilizados, uma vez que a partir da aplicação de calor no produto pode ocorrer perda de água e subsequentemente maiores índices de perdas por cozimento (DAS *et al.*, 2023). Sabe-se que diferentes métodos de cozimento vão impactar de forma variada a composição centesimal das amostras e dependendo da maneira como o calor é aplicado, é provável que haja mais perdas de umidade no produto (DAS *et al.*, 2023).

No caso deste experimento, as amostras dos dois tratamentos ficaram armazenadas em temperatura de -18 °C durante o mesmo período. É comum a perda de água em produtos de carne de pescado estocados por períodos prolongados devido a mudanças estruturais no alimento e a desnaturação de componentes miofibrilares que acabam ocasionando uma dificuldade em reter a água no produto quando congelado (KINGWASCHARAPONG; BENJAKUL, 2016; WANG *et al.*, 2022). Sendo assim, é provável que a queda dos valores médios de umidade para os dois tratamentos esteja diretamente relacionada a perda de água durante o armazenamento e/ou a aplicação de calor no produto.

Cirilo; Santos; e Nunes (2011) realizaram uma série de análises voltadas para a avaliação da composição centesimal do camarão *Macrobrachium jelskii* onde foi possível observar teores de umidade nas amostras variando entre 55,33 e 52,13%, com as menores

médias relativas ao camarão cozido. Kingwascharapong e Benjakul (2016), encontraram valores de umidade variando entre 72,40% e 77,78% para amostras de camarão cozido que passou por vários ciclos de congelamento/descongelamento. Valores de umidade na casa de 74,22% foram obtidos por Alparslan e Baygar, (2017) quando avaliaram a composição centesimal do camarão rosa (*Parapenaeus longirostris*).

Sriket *et al.* (2007) compararam a composição química dos camarões *Penaeus monodon* e *Penaeus vannamei* onde encontraram cerca de 80,47% e 77,21% de teor de umidade respectivamente para cada espécie. Priyadarshini *et al.* (2021) avaliaram a composição centesimal de camarões em período de refrigeração de 24 dias, onde foi monitorado qualquer mudança acarretada pela estocagem. Observaram que os valores de umidade decresceram de 72,56% a 66,15% no fim do período de análises.

Já o teor de cinzas das amostras apresentou também variações com o tempo de armazenamento do produto. No início do experimento, as médias de cinzas foram respectivamente de 2,57% e 3,01% para os tratamentos convencional e ôhmico. Ao fim do trabalho, é possível observar um leve aumento nas médias de cinzas para respectivamente 3,2% e 3,7% para cada um dos tratamentos.

A cinzas são basicamente o resto de matéria mineral que permanece após o processo de incineração das amostras, e podem ser compostas por elementos como cálcio e magnésio, por exemplo (BILGE *et al.*, 2016). A carne de pescado normalmente não apresenta teores de cinzas muito elevados, mas variações podem ocorrer a depender da espécie. Alparslan e Baygar (2017) avaliaram a composição centesimal do camarão rosa (*Parapenaeus longirostris*) e encontraram 2,45% de cinzas na constituição do animal. Sriket *et al.* (2007), trabalhando com as espécies de camarão *Penaeus monodon* e *Penaeus vannamei* obtiveram respectivamente 0,95% e 1,47% de cinzas. Ahmed *et al.*, (2025), avaliaram o impacto de dietas na quantidade de cinzas de camarões, obtendo o valor de 3,04%.

A quantidade de proteína nas amostras de camarão *Penaeus vannamei* estudadas neste experimento também apresentou variações significativas com o tempo de armazenamento. Inicialmente, foi obtida a quantidade de 18,79% de proteína na constituição das amostras submetidas ao tratamento com aquecimento convencional. Já o tratamento com a aplicação de aquecimento ôhmico apresentou 18,47% de proteínas. Ao final das análises, houve uma elevação da quantidade de proteínas para 24,59 % e 24,07%, respectivamente para cada tratamento.

Essa diferença pode estar relacionada com a perda de umidade e água no produto, uma vez que durante o armazenamento ocorre a perda de líquidos e a consequente concentração

de proteínas. Pan *et al.* (2024) avaliaram mudanças na composição química de amostras de camarão antes e depois de processo de secagem solar, e observaram médias de proteína variando de 20,13% no camarão fresco e 22,58% no camarão escaldado.

O processo de utilização de hidrólise enzimática em camarões cozidos foi estudado por Ketnawa *et al.* (2016), onde foram observadas as médias de 17,7% para proteína bruta. Pedrosa e Cozzolino (2001), estudaram a composição centesimal de vários tipos de pescado crus e cozidos. Em relação a carne de camarão, foi observado aumento da porção proteica do produto, quando cozido, de 10,62% a 16,78%, também relacionada a perda de água oriunda do próprio processo de cozimento. Assim, a concentração do teor de proteína observado neste trabalho está de acordo com os resultados obtidos por outros autores.

A quantidade de lipídios presentes na carne do pescado também pode variar a depender de vários aspectos, como a nutrição do animal ou tipo de espécie estudada. Alguns tipos de peixe, como o atum, apresentam em sua composição percentuais de lipídios de 9%, por exemplo (WANG; XIE; CHEN, 2021). Já a carne de camarão não apresenta valores elevados de lipídios em sua constituição.

Os valores de lipídios obtidos para os dois tratamentos no início deste experimento foram de 1,39 % para o tratamento com aquecimento convencional e 1,91% para o tratamento com aquecimento ôhmico. Não houve variações drásticas no percentual lipídico para os dois tratamentos ao final do período de estocagem, com as médias finais chegando a respectivamente a 1,98 % no tratamento convencional e a 1,59% no tratamento ôhmico.

Ketnawa *et al.*, (2016), encontraram o percentual de 0,6% para total de lipídios para camarão cozido. Pan *et al.*, (2024) encontraram valores entre 0,98% e 1,14% em amostras de camarão. Os resultados obtidos com a análise da composição química são importante forma de avaliar a perda nutricional que pode acometer alimentos armazenados por longos períodos. Neste trabalho, os valores obtidos para os parâmetros estudados estão de acordo com os resultados de outros autores. A quantidade de carboidratos na carne de pescado é geralmente baixa, sendo considerada na avaliação da carne de camarão apenas para obtenção de valores totais (100%) (BILGE *et al.*, 2016; BISTRICHE GIUNTINI; LAJOLO; WENZEL DE MENEZES, 2006).

5.5.9 Análises microbiológicas – Bactérias Psicotróficas

Os resultados da média do logaritmo decimal das Unidades Formadoras de Colônias (UFC) de bactérias psicotróficas cultiváveis totais detectadas na carne de camarão-branco-do-pacífico estão detalhados na tabela 8.

Tabela 8. Logaritmo da Média dos valores das Unidades Formadoras de Colônias das bactérias psicotróficas totais detectadas na carne de camarão-branco-do-pacífico para cada tratamento, armazenada durante 6 meses.

Meses de análise	Log 10 (UFC/g)					
	1	2	3	4	5	6
Aquecimento Convencional	2,15	2,26	2,47	2,39	2,58	2,71
Aquecimento Ôhmico	3,27	3,68	3,09	3,33	2,94	3,25
Camarão fresco	4,88					

Fonte: Autor (2025)

Inicialmente foi realizada uma análise de bactérias presentes em amostra de camarão fresco do mesmo lote utilizado para os tratamentos. Como resultados, foram obtidas cerca de 4,88 UFC/g de músculo. Com a aplicação dos tratamentos com tipos diferentes de aquecimento e posterior congelamento rápido, foi possível evidenciar uma redução considerável nos valores médios de unidades formadoras de colônia para os dois tratamentos, com os menores valores ao longo de seis meses pertencentes ao tratamento com o emprego de aquecimento convencional. Para esse tratamento, as médias variaram de 2,15 UFC/g no primeiro mês de análises a até 2,71 UFC/g no final do experimento. No caso do tratamento com aquecimento ôhmico, as médias variaram bastante ao longo dos meses, apresentando aumentos e subseqüentes quedas nas médias (3,27 UFC/g a 3,25 UFC/g). Isso pode estar associado com a capacidade de bactérias psicotróficas de crescerem mesmo em temperaturas muito baixas.

Outra hipótese para tal fato pode estar relacionada ao tempo de permanência das amostras em cada um dos tratamentos. No tratamento ôhmico, há uma maior rapidez no preparo das amostras pela distribuição mais rápida de temperatura no centro do alimento, que cozinha mais depressa. Já no tratamento convencional, as amostras permanecem por mais tempo para que a elevação de temperatura cozinhe o alimento. Por mais que em ambos os tratamentos as amostras tenham ficado cerca de 1 mim quando atingiam a temperatura pré-estabelecida (63 °C), era necessário mais tempo para que essa temperatura fosse alcançada no tratamento

convencional, fazendo com que as amostras ficassem mais tempo em contato com a elevação de temperatura. Isso pode ter impactado diretamente na redução das colônias.

Ademais, a própria aplicação de aquecimento ôhmico em alimentos pode causar o efeito conhecido como eletroporação, que consiste no desenvolvimento de traumas na membrana de bactérias ocasionados pela aplicação de energia elétrica no tratamento de alimentos que, por sua vez, pode gerar um efeito bactericida no produto (AGUIAR *et al.*, 2021). Vários fatores podem impactar diretamente em uma eletroporação bem-sucedida, como por exemplo a voltagem utilizada pela fonte de alimentação do sistema e a própria disposição do alimento dentro da célula ôhmica (CALLONI, 2020; AGUIAR *et al.*, 2021).

Neste experimento, foi utilizada uma voltagem relativamente baixa (30 V) para não sobrecarregar a fonte de alimentação. Isso pode ter gerado dificuldades na eletroporação das bactérias analisadas. Lascorz *et al.*, (2016), por exemplo, utilizaram tensão até 250 V e 15 A de corrente elétrica no tratamento térmico de amostras de camarão em célula ôhmica. Novos estudos deveriam ser realizados para se estabelecer parâmetros ideais para a conservação microbiológica da carne de pescada submetida a esse tipo de tecnologia.

Outros autores também avaliaram a presença de bactérias em carne de pescado submetida a refrigeração ou congelamento. Moura *et al.*, (2003), avaliaram a qualidade microbiológica do camarão rosa refrigerado e comercializado na cidade de São Paulo, onde foram obtidas as médias de contagem total de micro-organismos psicotrópicos variando entre $1,1 \times 10^4$ e $3,0 \times 10^7$ UFC/g de pescado.

Kamali *et al.*, (2024), aplicaram revestimento a base de quitosana em amostras de camarão-branco-do-pacífico submetidos a posterior armazenamento congelados, onde obtiveram valores de bactérias psicotrópicas na faixa de 4,3 log UFC/g de pescado.

Mittal *et al.*, (2024), estudaram a ação de conjugado oligossacarídeo em conjunto com campo elétrico pulsante e aplicação posterior de vácuo em amostras de camarão que permaneceram estocadas e refrigeradas por alguns dias e observaram no dia 0 contagem de bactérias psicotrópicas na faixa entre 4,23 e 4,27 log UFC/g. Ao final do experimento, essa contagem chegou a 4,97 log UFC/g.

Ahmad *et al.* (2024) avaliaram a extensão do tempo de prateleira de camarão conservado com extrato de folhas e refrigerado, onde observaram médias de bactérias psicotrópicas variando de 2,57 log UFC/g no dia 0 até a superior a 10^6 log UFC/g no final de 15 dias.

Sae-leaw, Benjakul e Vongkamjan (2018), realizaram uma série de análises relacionadas ao retardo do processo de melanose e perda de qualidade em camarões pré-

cozidos. Os resultados em relação a contagem de bactérias psicotróficas mostraram crescimento ao longo do período de estocagem, com médias variando entre 2,87 e 4,71 log UFC/g ao fim do período de armazenamento.

Sabe-se que bactérias psicotróficas estão entre as principais responsáveis por processos de deterioração que acometem a carne de pescado refrigerada ou congelada (BANKAR *et al.*, 2022). Esse tipo de bactéria apresenta crescimento favorável em algumas faixas de temperatura, todavia, quando estudadas, foi possível admitir sua temperatura ideal de crescimento entre 20 e 25 °C, podendo também se desenvolver bem em temperaturas na casa dos 4 °C (BANKAR *et al.*, 2022).

Vários são os fatores que explicam o porquê dessas bactérias apresentarem crescimento em temperaturas mais baixas, entre eles está a capacidade de aumento dos ácidos graxos em sua membrana lipídica que funciona como uma barreira a baixas temperaturas e a presença de uma certa termoabilidade relacionada a ação de enzimas e componentes celulares que também garantem proteção à queda de temperatura (ERKMEN, 2021).

No pescado, a presença dessas bactérias pode significar um grande potencial de degradação da carne do produto em pouco tempo de armazenamento, causando sabores e odores desagradáveis além de perda da qualidade sensorial relacionada a longos períodos de estocagem (SAE-LEAW; BENJAKUL; VONGKAMJAN, 2018).

Uma forma de contornar essa problemática pode ser a aplicação de tratamentos que utilizam fontes de calor diretamente, sendo o cozimento uma forma simples de lidar com as bactérias psicotróficas. Dentre os principais gêneros de bactérias psicotróficas relacionadas a perda da qualidade da carne de pescado, pode-se citar os gêneros *Aeromonas*, *Acinetobacter*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Brochothrix*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Lactobacillus*, *Microbacterium*, *Moraxella*, *Pediococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Serratia*, e *Streptococcus* (ERKMEN, 2021).

A legislação brasileira não adota parâmetros de comparação para um limite aceitável de bactérias psicotróficas em amostra de alimento, como a carne de pescado, todavia, outras legislações estipulam entre 10^6 log UFC/g e 10^7 log UFC/g como limite de aceitação para o consumo desses produtos (ICMSF, 1986). Neste trabalho, os valores finais das médias de unidades formadoras de colônia para os dois tratamentos estiveram abaixo do limite estipulado para aceitação, tornando a carne de camarão própria para o consumo.

Com isso, ao final do período de análises deste experimento, pode-se mais uma vez destacar a eficiência da aplicação do aquecimento ôhmico em amostras de carne de pescado para a sua conservação, inclusive para seu pré-cozimento de maneira mais rápida e uniforme

que, por sua vez, auxilia na manutenção da estrutura da carne que retem mais água, reduzindo perdas por cozimento e perdas econômicas relacionadas a perda de peso das amostras. Ademais, o aquecimento ôhmico também mostra potencial na esterilização microbiológica de amostras de pescado estocadas por longos períodos de armazenamento.

6 CONCLUSÃO

A partir da utilização do aquecimento ôhmico em amostras camarão-branco-do-pacífico, em comparação ao aquecimento convencional, foi possível observar maiores velocidades de progressão de temperatura no pré-cozimento das amostras, além de valores bem menores relacionados as perdas por cozimento no tratamento com aquecimento ôhmico. Esses resultados reiteram a teoria de distribuição mais uniforme e rápida de temperatura na aplicação de aquecimento ôhmico em alimentos.

Nas análises dos parâmetros de qualidade da carne de camarão pré-cozida e congelada por seis meses, foram obtidos valores baixos de oxidação lipídica para os dois tratamentos e valores de pH e bases voláteis totais dentro do limite de aceitação para o consumo estabelecido pela legislação brasileira.

As amostras também apresentaram valores crescentes de perdas por gotejamento e centrifugação relacionadas ao período de armazenamento congeladas, bem como variações em sua coloração e composição centesimal, com redução de umidade e aumento do teor de proteínas para os dois tratamentos. Mudanças nas propriedades de textura da carne de camarão foram observadas para os dois tratamentos, com melhores valores de dureza da carne e manutenção de sua elasticidade para o tratamento com o emprego do aquecimento ôhmico.

A análise microbiológica apresentou maior número de unidades formadoras de colônia para o tratamento com aquecimento ôhmico, sugerindo maior investigação em relação aos parâmetros elétricos associados ao sistema. De todo modo, ambos os tratamentos foram eficazes em reduzir o número de colônias de amostras de camarão fresco.

Os resultados obtidos neste trabalho podem ser usados com parâmetro de comparação para trabalhos futuros empregando o aquecimento ôhmico a amostras de carne de pescado, mas novos testes precisam ser realizados para tornar o sistema ainda mais eficaz na preservação da qualidade do produto. O aquecimento ôhmico se destaca como tecnologia promissora para o preparo de produtos cozidos mais rapidamente e para a esterilização dos mesmos.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. M. *et al.* High hydrostatic pressure, pulsed electric fields and cold plasma in the food production chain: Principles and industrial applicability. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. e50310212670, 2021.
- AHMAD, A. S. *et al.* Combined effect of prior pulsed electric field, dechlorophyllized soursop leaf extract and vacuum impregnation on melanosis inhibition and shelf-life extension of refrigerated Pacific white shrimp. **Food Control**, [s. l.], v. 163, p. 110494, 2024.
- AHMAD, A. S. *et al.* Combined effects of pulsed electric field and soursop leaf extract treatment and modified atmosphere packaging on melanosis inhibition and shelf-life elongation of Pacific white shrimp during refrigerated storage. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s. l.], v. 100, p. 103903, 2025.
- AHMED, R. A. *et al.* Effects of dietary *Spirulina platensis* supplementation on growth performance, whole body composition, antioxidant activity, histological alterations, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture Reports**, [s. l.], v. 40, p. 102606, 2025.
- ALEXANDRE, A. C. S. *et al.* Qualidade de peixes: uma breve revisão. In: **Avanços em ciência e tecnologia de alimentos**. Editora Científica Digital v. 4, p. 144-173, 2021.
- ALPARSLAN, Y.; BAYGAR, T. Effect of Chitosan Film Coating Combined with Orange Peel Essential Oil on the Shelf Life of Deepwater Pink Shrimp. **Food and Bioprocess Technology**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 842–853, 20, 2017.
- AMARAL, R. M. S. **Análise do beneficiamento do camarão (*Litopenaeus vannamei*, Bonne 1931) inteiro (Head-on) e sem cabeça (Head-less) congelados em bloco em uma empresa de beneficiamento brasileira**. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Pesca) – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, 2019.
- AN, Y. *et al.* Quality changes and shelf-life prediction of pre-processed snakehead fish fillet seasoned by yeast extract: Affected by packaging method and storage temperature. **Food Chemistry Advances**, [s. l.], v. 3, p. 100418, 2023.
- ANGEL, S. *et al.* Textural quality of cooked Malaysian fresh water prawns (*Macrobrachium rosenbergii*) as influenced by the moulting cycle. **International Journal of Food Science & Technology**, [s. l.], v. 21, n. 5, p. 643-647, 1986.
- ÁNGEL-RENDÓN, S. V. *et al.* Pork meat prepared by different cooking methods. A microstructural, sensorial and physicochemical approach. **Meat science**, [s. l.], v. 163, p. 108089, 2020.
- ANVAR, N. *et al.* The effect of essential oil of *Anethum graveolens* L. seed and gallic acid (free and nano forms) on microbial, chemical and sensory characteristics in minced meat during storage at 4 °C. **Food Chemistry: X**, [s. l.], v. 19, p. 100842, 2023.
- ASSEGEHEGN, G. *et al.* The importance of understanding the freezing step and its impact on freeze-drying process performance. **Journal of pharmaceutical sciences**, [s. l.], v. 108, n. 4, p. 1378-1395, 2019.
- BALTHAZAR, C. F. *et al.* Recent findings on the ohmic heating application in meat products. **Current Opinion in Food Science**, [s. l.], v. 58, p. 101180, 2024.

BANKAR, A. *et al.* Potential of microbial extremophiles for biotechnological applications: An overview. In **Microbial Extremozymes**; Kuddos, M., Ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, pp. 89–109, 2022.

BIANDOLINO, F. *et al.* Effect of Different Cooking Methods on Lipid Content and Fatty Acid Profile of Red Mullet (*Mullus barbatus*). **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, [s. l.], v. 73, n. 1, p. 59-69, 2023.

BIANDOLINO, F. *et al.* Effect of different cooking methods on lipid content and fatty acid profiles of *Mytilus galloprovincialis*. **Foods**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 416, 2021.

BILGE, G. *et al.* Ash analysis of flour sample by using laser- induced breakdown spectroscopy. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, [s. l.], v. 124, p. 74–78, 2016.

BISTRICHE GIUNTINI, E; LAJOLO, F. M.; WENZEL DE MENEZES, E. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos TBCA-USP (Versões 3 e 4) no contexto internacional. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 56, n. 4, p. 366-374, 2006.

BOZIARIS, I. S.; PARLAPANI, F. F.; DEWITT, C. A. M. High pressure processing at ultra-low temperatures: Inactivation of foodborne bacterial pathogens and quality changes in frozen fish fillets. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s. l.], v. 74, p. 102811, 2021.

BRASIL. Decreto Nº 9.013, de 29 de março de 2017. Regulamenta a Lei Nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei Nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. **Diário Oficial União**. 30 mar 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 23, de 20 de Agosto de 2019. Aprova o Regulamento Técnico que fixa a identidade e os requisitos de qualidade para camarão fresco, resfriado, congelado, descongelado, parcialmente cozido e cozido, na forma desta Instrução Normativa e de seus Anexos. **Diário oficial da União**, Brasília, DF, 28 ago 2019, Seção 1, p. 1.

CALLONI, G. **Campos elétricos pulsados e moderados para o estímulo de bactérias e leveduras em processos biotecnológicos: uma revisão**. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

CHEN, J.; ROSENTHAL, A. Food texture and structure. In: **Modifying food texture. Volume 1: Novel Ingredients and Processing Techniques**. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, p. 3-24, 2015.

CHEN, L. *et al.* Effects of water distribution and protein degradation on the texture of high pressure-treated shrimp (*Penaeus monodon*) during chilled storage. **Food Control**, [s. l.], v. 132, p. 108555, fev. 2022.

CHENG, S. *et al.* Influence of multiple freeze-thaw cycles on quality characteristics of beef semimembranous muscle: with emphasis on water status and distribution by LFNMR and MRI. **Meat Science**. [s. l.], v. 147, p. 44–52, 2019.

CHEW, S. C. *et al.* The impact of cooking methods on the physical, sensory, and nutritional quality of fish. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, [s. l.], v. 38, p. 101061, 2024.

CIRILO, A. T.; SANTOS, M. C.; NUNES, M. L. Caracterização física e nutricional do camarão “saburica” (*Macrobrachium jelskii*, Miers, 1877) e de produtos derivados. **Scientia Plena**, [s. l.], v. 7, n. 7, 2011.

COLLA, L. M; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. Congelamento e descongelamento—sua influência sobre os alimentos. **Vetor-Revista de Ciências Exatas e Engenharias**, [s. l.], v. 13, p. 53-66, 2003.

COSTA, B.; ZACARDI, D.; BARBOSA, J. M. Comercialização de camarões (decapoda, palemonidae) em mercados e feiras livres de santarém, estado pará, brasil. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 40–50, 2019.

COSTA, J. C. O. **O Marco regulatório da aquicultura e sua influência sobre o desenvolvimento da atividade no Estado do Pará**. 74 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento) - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2022.

DAI, P. *et al.* Prediction of meat yield in the Pacific whiteleg shrimp *Penaeus vannamei*. **Aquaculture**, [s. l.], v. 577, p. 739914, 2023.

DAL’AQUA, F. **Análise do perfil instrumental de textura e caracterização microbiológica de mortadela suína com teor reduzido de sódio**. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

DAS, R. *et al.* Process optimization and evaluation of the effects of different time-temperature sous vide cooking on physicochemical, textural, and sensory characteristics of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Heliyon**, [s. l.], v. 9, n. 6, 2023.

DIAO, Y. *et al.* Effects of immersion freezing methods on water holding capacity, ice crystals and water migration in grass carp during frozen storage. **International Journal of Refrigeration**, [s. l.], v. 131, p. 581-591, 2021.

DÖNER, D. *et al.* Thermal image processing technique for determination of temperature distributions of minced beef thawed by ohmic and conventional methods. **Food and Bioprocess Technology**, [s. l.], v. 13, n. 11, p. 1878-1892, 2020.

DOWNES, F. P.; ITO, H. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. Washington: American Public. Health Association (APHA), 2001.

ENGCHUAN, W.; JITTANIT, W.; GARNJANAGOONCHORN, W. The ohmic heating of meat ball: Modeling and quality determination. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s. l.], v. 23, p. 121-130, 2014.

ERDOGDU, F. *et al.* Cook-related yield loss for pacific white (*Penaeus vannamei*) shrimp previously treated with phosphates: effects of shrimp size and internal temperature distribution. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 64, n. 3, p. 297–300, 2004.

ERKMEN, O. **Microbiological analysis of foods and food processing environments**. Academic Press. 125 London Wall, London EC2Y 5AS, United Kingdom, 2022.

FABRIS, M. **Correlação jurídica entre os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e os indicadores de sustentabilidade para avaliação dos sistemas de aquicultura no brasil**. 80 f. Dissertação (mestrado) – Pós-graduação em aquicultura e sustentabilidade, Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, Jaboticabal, 2022.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2024**. Towards Blue Transformation. Rome, FAO.

FATTAHI, S.; ZAMINDAR, N. Effect of immersion ohmic heating on thawing rate and properties of frozen tuna fish. **Food Science and Technology International**, [s. l.], v. 26, n. 5, p. 453-461, 2020.

FELIX, A. R. S. **Acompanhamento das etapas das linhas de beneficiamento de camarão na indústria Monteiro Pescados, em Itarema-CE**. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Pesca) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

FERRANTI, P. *et al.* **Sustainable Food Science-A Comprehensive Approach**: Volumes 1- Elsevier, p. 1-209, 2023.

FOGAÇA, F. H dos S. *et al.* **Métodos para análise de pescados**. 1. ed. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009.

FRISCHER, M. E. *et al.* Black gill in marine decapod crustaceans: A review. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 498-519, 2022.

FUQUAY, J. W.; MCSWEENEY, P. L. H; FOX, P. F. **Encyclopedia of dairy sciences**. Academic Press, 2011.

GAVAHIAN, M *et al.* Food texture as affected by ohmic heating: Mechanisms involved, recent findings, benefits, and limitations. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 86, p. 328-339, 2019.

GAVAHIAN, M.; CHU, Y. Ohmic accelerated steam distillation of essential oil from lavender in comparison with conventional steam distillation. **Innovative food science & emerging technologies**, [s. l.], v. 50, p. 34-41, 2018.

GHRIBI, F. *et al.* Effects of culinary methods on nutritional characteristics of the edible shellfish Noah's Ark (*Arca noae* L., 1758) from Tunisian Coasts. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, [s. l.], v. 26, n. 10, p. 1324-1336, 2017.

GIAMPIETRO, A.; REZENDE-LAGO, N. C. M. Qualidade do gelo utilizado na conservação de pescado fresco. **Arquivos do Instituto Biológico**, [s. l.], v. 76, p. 505-508, 2021.

GLADYSHEV, M. I.; SUSHCHIK, N. N. Long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids in natural ecosystems and the human diet: assumptions and challenges. **Biomolecules**, [s. l.], v. 9, n. 9, p. 485, 2019.

GOFF, H. D. *et al.* Structural development in ice cream - Dynamic rheological measurements. **Journal of Texture Studies**, [s. l.], v. 26, n. 5, p. 517-536, 1995.

GOLGOLIPOUR, S.; KHODANAZARY, A.; GHANEMI, K. Effects of different cooking methods on minerals, vitamins and nutritional quality indices of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). **Iranian Journal of Fisheries Sciences**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 110-123, 2019.

GOMES, M. R. **Acompanhamento do beneficiamento do camarão marinho farfantepenaeus brasiliensis, na Indústria de Frio e Pesca S/A – Ipesca, em Fortaleza – Ce**. 2007. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Pesca) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

GUAN, W. *et al.* Impacts of a novel live shrimp (*Litopenaeus vannamei*) water-free transportation strategy on flesh quality: Insights through stress response and oxidation in lipids and proteins. **Aquaculture**, [s. l.], v. 533, p. 736168, 2021.

Hassan, Q. *et al.* A comprehensive review of international renewable energy growth. **Energy and Built Environment**. In Press, [s. l.], 2024.

HERZ, E. *et al.* Binders in foods: Definition, functionality, and characterization. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 145, p. 109077, 2023.

HORWITZ, W; LATIMER, G. W. **Association of official analytical chemists**. Official methods of analysis of AOAC international, 2010.

HOSSEINI, H. *et al.* Effect of different cooking methods on minerals, vitamins and nutritional quality indices of kutum roach (*Rutilus frisii kutum*). **Food chemistry**, [s. l.], v. 148, p. 86-91, 2014.

HUANG, Z. *et al.* Impacts of acute ammonia-N exposure on the muscle quality of whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei*): Novel insights into lipid and protein oxidation. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 437, p. 137781, 2024.

HUANG, Z. *et al.* Impacts of long-time transportation on whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei*) muscle quality and underlying biochemical mechanisms. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 103, n. 15, p. 7590-7599, 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PPM - Pesquisa Pecuária Municipal – Notas Técnicas**. IBGE, Rio de Janeiro, v. 51, p.1-13, 2023.

ICMSF. International Commission On Microbiological Specifications For Foods. Microorganisms in foods. 2. **Sampling for microbiological analysis: principles and specific applications**. 2. ed. Buffalo: University of Toronto Press, 1986.

IŞIK, Ç. *et al.* Gelatin extraction from chicken skin by conventional and Ohmic heating methods and comparison with commercial halal gelatins. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 150, p. 109694, 2024.

JENSEN, H. A. *et al.* Effect of different antioxidants and application methods on the shelf-life of whole, cooked, frozen Northern shrimp (*Pandalus borealis*). **Food Chemistry Advances**, [s. l.], v. 5, p. 100764, 2024.

JHA, P. K. *et al.* Cryogenic vs. Mechanical freezing impact on the quality of the sea bass (*Dicentrarchus labrax*) during long-term storage. **International Journal of Refrigeration**, [s. l.], v. 160, p. 411-422, 2024.

JIANG, Q. *et al.* Changes in quality properties and tissue histology of lightly salted tuna meat subjected to multiple freeze-thaw cycles. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 293, p. 178-186, 2019.

KADAM, S. U.; TIWARI, B. K.; O'DONNELL, C. P. Improved thermal processing for food texture modification. In: **Modifying food texture. Volume 1: Novel Ingredients and Processing Techniques**. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, p. 115-131, 2015.

KAMALI, M. *et al.* Effect of chitosan-coated *Ulva intestinalis* sulfated polysaccharide nanoliposome on melanosis and quality of Pacific white shrimp during ice storage. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 230, p. 123275, 2023.

- KAMALI, M. *et al.* Evaluating shelf life and anti-browning of shrimp by chitosan-coated nanoliposome loaded with licorice root extract. **Food Chemistry: X**, [s. l.], v. 23, p. 101532, 2024.
- KETNAWA, S. *et al.* Obtaining of functional components from cooked shrimp (*Penaeus vannamei*) by enzymatic hydrolysis. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 15, p. 55–63, 2016.
- KHALEDIAN, S.; BASIRI, S.; SHEKARFOROUSH, S. S. Shelf-life extension of pacific white shrimp using tragacanth gum -based coatings containing Persian lime peel (*Citrus latifolia*) extract. **LWT**, [s. l.], v. 141, p. 110937, 2021.
- KINGWASCHARAPONG, P.; BENJAKUL, S. Effect of phosphate and bicarbonate replacers on quality changes of raw and cooked Pacific white shrimp as influenced by the repeated freeze–thawing. **International Journal of Refrigeration**, [s. l.], v. 67, p. 345–354, 2016.
- KINGWASCHARAPONG, P.; BENJAKUL, S. Effect of strong alkaline solutions on yield and characteristics of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **International Food Research Journal**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 1136, 2016.
- KITTIPHATTANABAWON, P. *et al.* Gelatin hydrolyzed by papaya latex enzymes as an alternative cryoprotectant for frozen raw Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). **Food Bioscience**, [s. l.], v. 60, p. 104199, 2024.
- KUBO, M. T. K *et al.* Non-thermal effects of microwave and ohmic processing on microbial and enzyme inactivation: a critical review. **Current Opinion in Food Science**, [s. l.], v. 35, p. 36-48, 2020.
- KURIYA, S. P. *et al.* Impact assessment of different electric fields on the quality parameters of blueberry flavored dairy desserts processed by Ohmic Heating. **Food Research International**, [s. l.], v. 134, p. 109235, 2020.
- LASCORZ, D. *et al.* The potential of ohmic heating as an alternative to steam for heat processing shrimps. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s. l.], v. 37, p. 329-335, 2016.
- LI, H. *et al.* Effects of low temperature cooking methods and holding times on selected quality attributes of cooked pork longissimus dorsi. **Journal of Food Process Engineering**, [s. l.], v. 40, n. 6, p. e12585, 2017.
- LI, N. *et al.* Effect of ultra-high pressure heat-assisted technology combined with L-cysteine on the color of ready-to-eat shrimp during storage. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 460, p. 140634, 2024a.
- LI, S. *et al.* Insight into the Gel Properties of Antarctic Krill and Pacific White Shrimp Surimi Gels and the Feasibility of Polysaccharides as Texture Enhancers of Antarctic Krill Surimi Gels. **Foods**, [s. l.], v. 11, n. 16, p. 2517, 2022.
- LI, Y. *et al.* Novel thawing method of ultrasound-assisted slightly basic electrolyzed water improves the processing quality of frozen shrimp compared with traditional thawing approaches. **Ultrasonics Sonochemistry**, [s. l.], v. 107, p. 106931, 2024b.
- LIAN, F. *et al.* Fatty acid profile of cooked leg meat and raw hepatopancreas of red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) during three-month live holding without feeding at 5 and 10° C. **Journal of Food Composition and Analysis**, [s. l.], v. 105, p. 104206, 2022.

- LIU, J. *et al.* The effects of freezing under a high-voltage electrostatic field on ice crystals formation, physicochemical indices, and bacterial communities of shrimp (*Solenocera melanthero*). **Food Control**, [s. l.], v. 142, p. 109238, 2022.
- LIU, L. *et al.* Effect of rapid freezing technology on quality changes of freshwater fish during frozen storage. **LWT**, [s. l.], v. 189, p. 115520, 2023.
- LIU, S. *et al.* Effects of immersion freezing on ice crystal formation and the protein properties of snakehead (*Channa argus*). **Foods**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 411, 2020.
- LIU, S. *et al.* Modeling of fish boiling under microwave irradiation. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 140, p. 9-18, 2014.
- LU, R.; CEN, H. Non-destructive methods for food texture assessment. In: **Instrumental assessment of food sensory quality: A Practical Guide**. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, p. 230-254, 255e, 2013.
- MALLE, P.; POUMEYROL, M. A new chemical criterion for the quality control of fish: trimethylamine/total volatile basic nitrogen (%). **Journal of food protection**, [s. l.], v. 52, n. 6, p. 419-423, 1989.
- MEHTA, P. *et al.* Design and performance analysis of a mixed mode tent-type solar dryer for fish-drying in coastal areas. **Solar Energy**, [s. l.], v. 170, p. 671-681, 2018.
- MELO, J. M. C. **Cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em sistema intensivo e semi-intensivo na Fazenda Aquarium Aquicultura do Brasil Ltda**. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Pesca) – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, 2018.
- MISHRA, P. K. *et al.* Effect of ajwain (*Trachyspermum ammi*) extract and gamma irradiation on the shelf-life extension of rohu (*Labeo rohita*) and seer (*Scomberomorus guttatus*) fish steaks during chilled storage. **Food Research International**, [s. l.], v. 163, p. 112149, 2023.
- MITTAL, A. *et al.* Pacific white shrimp (*Litopenaus vannamei*) treated with chitooligosaccharide-catechin conjugate with the aid of prior pulse electric field and vacuum impregnation: Quality and microbial diversity during refrigerated storage. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 61, p. 104981, 2024.
- MONSALVE, E. R.; QUIROGA, E. Farmed shrimp aquaculture in coastal wetlands of Latin America - A review of environmental issues. **Marine Pollution Bulletin**, [s. l.], v. 183, p. 113956, 2022.
- MOTA, I. J. F. S. M. **Diagnóstico inicial dos produtores de camarão marinho branco do pacífico *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931) no estado do Espírito Santo**. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Pesca) - Instituto Federal do Espírito Santo, Piúma, 2021.
- MOURA, A. F. P. *et al.* Qualidade química e microbiológica de camarão-rosa comercializado em São Paulo. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, [s. l.], v. 39, n. 2, 2003.
- MURAKAMI, E. G. Thermal Processing Affects Properties of Commercial Shrimp and Scallops. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 59, n. 2, p. 237–241, 1994.
- NOOSHKAM, M.; VARIDI, M.; BASHASH, M. The Maillard reaction products as food-born antioxidant and antibrowning agents in model and real food systems. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 275, p. 644–660, 2019.

- OLIVEIRA, F. C. *et al.* Food protein-polysaccharide conjugates obtained via the Maillard reaction: A review. **Critical reviews in food science and nutrition**, [s. l.], v. 56, n. 7, p. 1108-1125, 2016.
- OLIVEIRA, L. P.; DE SOUZA, A. L. M. Consumo de pescado no Brasil e ocorrências de falsificações na cadeia produtiva: Revisão. **Pubvet**, [s. l.], v. 18, n. 04, p. e1571-e1571, 2024.
- OLIVEIRA, M. E.; GONCALVES, A. A. The effect of different food grade additives on the quality of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) after two freeze-thaw cycles. **LWT**, [s. l.], v. 113, p. 108301, 2019.
- ORMOND, J. G. P. *et al.* A carcinicultura brasileira. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 19, p. 91-118, 2004.
- PAN, X. *et al.* Uncovering quality changes of shrimp (*Penaeus vannamei*) during solar drying and its relationship with protein-related properties. **Food Chemistry: X**, [s. l.], v. 23, p. 101696, 2024.
- PANKAJ, S. K. Thermal processing of food. In: **Advances in Food Biotechnology**, John Wiley & Sons Ltd., Hoboken, NJ, USA, p. 681-692, 2015.
- PEARSON, D. General methods – basic constituents. In: **Laboratory techniques in food analysis**. New York: John Wiley & Sons, c. 2, p. 27-77, 1973.
- PEDERSEN, S. J. *et al.* An investigation on the application of ohmic heating of cold water shrimp and brine mixtures. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 179, p. 28–35, 2016.
- PEDROSA, L. F. C.; COZZOLINO, S. M. F. Composição centesimal e de minerais de mariscos crus e cozidos da cidade de natal/rn. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [s. l.], v. 21, n. 2, 2001.
- PEIXE, B. R. Anuário PEIXE BR da piscicultura. São Paulo, **Associação Brasileira de Piscicultura**, 2022.
- PEREIRA, R. N. *et al.* Electrical fields in the processing of protein-based foods. **Foods**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 577, 2024.
- PEYCHEVA, K. *et al.* Effect of steaming on chemical composition of Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*): Evaluation of potential risk associated with human consumption. **Food Science & Nutrition**, [s. l.], v. 10, n. 9, p. 3052-3061, 2022.
- PRABHAKAR, P. K. *et al.* A comprehensive review on freshness of fish and assessment: Analytical methods and recent innovations. **Food research international**, [s. l.], v. 133, p. 109157, 2020.
- PRIYADARSHINI, M. B. *et al.* Development of ready-to-cook shrimp analogue from surimi: Effect of natural plant extracts on the chemical quality during refrigerated storage. **LWT**, [s. l.], v. 135, p. 110239, 2021.
- REBOUÇAS, L. O. S. *et al.* Qualidade física e sensorial do camarão *Litopenaeus vannamei* cultivado em água doce. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 473–479, 2018.
- SAE-LEAW, T.; BENJAKUL, S.; VONGKAMJAN, K. Retardation of melanosis and quality loss of pre-cooked Pacific white shrimp using epigallocatechin gallate with the aid of ultrasound. **Food Control**, [s. l.], v. 84, p. 75–82, 2018.

SANTOS, R. M. *et al.* Avaliação físico-química e nutricional do *Macrobrachium olfessi* sob as formas in natura e salgado cozido. **Scientia Plena**, [s. l.], v. 7, n. 10, 2011.

SARDENNE, F. *et al.* Post-mortem storage conditions and cooking methods affect long-chain omega-3 fatty acid content in Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). **Food chemistry**, [s. l.], v. 359, p. 129828, 2021.

SEAFOOD BRASIL. **Anuário Seafood Brasil No. 7**. Seafood Brasil Editora Ltda., São Paulo, SP, 2022.

SHI, L. *et al.* Influence of frozen storage temperature on the microstructures and physicochemical properties of pre-frozen perch (*Micropterus salmoides*). **LWT** [s. l.], v. 92, p. 471–476, 2018.

SILA, A.; NASRI, M.; BOUGATEF, A. Isolation and characterisation of carotenoproteins from deep-water pink shrimp processing waste. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 51, n. 5, p. 953–959, 2012.

SILVA, A. L. L. **Acompanhamento das atividades de beneficiamento na empresa Qualimar Pescados**. 2018. 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Pesca) – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, 2018.

SILVA, F. F. **Aquicultura e Pesca: Adversidades e Resultados 2, Ponta Grossa (PR): Atena Editora**, 2019.

SILVA, R. *et al.* Advantages of using ohmic heating in Dulce de Leche manufacturing. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s. l.], v. 65, p. 102475, 2020.

ŠIMAT, V; MEKINIĆ; GENERALIĆ, I. Advances in chilling. In: **Innovative Technologies in Seafood Processing**. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Flórida, USA, p. 1-25, 2019.

SOARES, K. M. P.; GONÇALVES, A. A. Qualidade e segurança do pescado. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, [s. l.], v. 71, n. 1, p. 1–10, 1 jan. 2012.

SOXHLET, F. The weight analytic determination of milk fat. **Polytechnisches Journal**, [s. l.], v. 232, p. 461-465, 1879.

SRIKET, P. *et al.* Comparative studies on chemical composition and thermal properties of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) meats. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 103, n. 4, p. 1199–1207, 2007.

TAN, K. *et al.* Effects of food processing on the lipid nutritional quality of commercially important fish and shellfish. **Food Chemistry: X**, [s. l.], v. 20, p. 101034, 2023.

TENYANG, N. *et al.* Effect of cooking and smoking methods on proximate composition, lipid oxidation and mineral contents of *Polypterus bichir bichir* fish from far-north region of Cameroon. **Heliyon**, [s. l.], v. 8, n. 10, 2022.

TSIRONI, T. *et al.* Shelf life modelling of frozen shrimp at variable temperature conditions. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 664–671, 2009.

VASEEHARAN, B.; JESUDHASAN, P. Vaccine: History, evolution, and characteristic features in the aquaculture industry. In: **Vaccines in Aquaculture: Development, Production, and Applications** p. 3–20. Elsevier, 2025.

- VERHAEGHE, T. *et al.* Kinetics of drosoplerin release as indicator pigment for heat-induced color changes of brown shrimp (*Crangon crangon*). **Food Chemistry**, [s. l.], v. 254, p. 359–366, 2018.
- WAGNER, Y. G.; COELHO, A. B.; TRAVASSOS, G. F. Análise do consumo domiciliar de pescados no Brasil utilizando dados da POF 2017-2018. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s. l.], v. 61, n. 3, 2023.
- WANG, B. *et al.* Comparison of Effects from Ultrasound Thawing, Vacuum Thawing and Microwave Thawing on the Quality Properties and Oxidation of Porcine Longissimus Lumborum. **Foods**, [s. l.], v. 11, n. 9, p. 1368, 2022.
- WANG, K. *et al.* Effects of stepwise steaming treatments at different temperatures on the eating quality of fish: A case study of large-mouth bass (*Micropterus salmoides*). **LWT**, [s. l.], v. 132, p. 109844, 2020.
- WANG, S. *et al.* Changes in lipid profiles and volatile compounds of shrimp (*Penaeus vannamei*) submitted to different cooking methods. **International Journal of Food Science & Technology**, [s. l.], v. 57, n. 7, p. 4234-4244, 2022.
- WANG, S. *et al.* Decoding the textural deterioration of ready-to-eat shrimp: Insights from dynamic myofibrillar protein changes during thermal sterilization. **Food Research International**, [s. l.], v. 202, p. 115745, 2025.
- WANG, S. *et al.* Precise-color-mutation designing and programmable drop-on-demand printing for intelligent package of shrimp. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 61, p. 104916, 2024.
- WANG, W. *et al.* Effects of nano freezing-thawing on myofibrillar protein of Atlantic salmon fillets: Protein structure and label-free proteomics. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 442, p. 138369, 2024.
- WANG, X. Y.; XIE, J.; CHEN, X. J. Differences in lipid composition of Bigeye tuna (*Thunnus obesus*) during storage at 0 °C and 4 °C. **Food Research International**, [s. l.], v. 143, p. 110233, 2021.
- WRIGHT, A. C.; FAN, Y.; BAKER, G. L. Nutritional value and food safety of bivalve molluscan shellfish. **Journal of Shellfish Research**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 695-708, 2018.
- XI, Q. *et al.* Quantitative analysis and visualization of chemical compositions during shrimp flesh deterioration using hyperspectral imaging: A comparative study of machine learning and deep learning models. **Food chemistry**, [s. l.], v. 481, p. 143997, 2025.
- XIONG, Y. *et al.* Incorporation of salmon bone gelatine with chitosan, gallic acid and clove oil as edible coating for the cold storage of fresh salmon fillet. **Food Control**, [s. l.], v. 125, p. 107994, 2021.
- YANG, Z. *et al.* Observation on the ice crystal formation process of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) and the effect of multiple cryoprotectants pre-soaking treatments on frozen quality. **Cryobiology**, [s. l.], v. 113, p. 104580, 2023.
- ZAKRZEWSKI, A. *et al.* Effect of sous-vide processing of fish on the virulence and antibiotic resistance of *Listeria monocytogenes*. **NFS Journal**, [s. l.], v. 31, p. 155-161, 2023.
- ZAVADLAV, S. *et al.* Utilizing impedance for quality assessment of European squid (*Loligo Vulgaris*) during chilled storage. **Foods**, [s. l.], v. 8, n. 12, p. 624, 2019.

ZHANG, C. *et al.* Effect of different thermal processing methods on flavor characteristics of *Penaeus vannamei*. **LWT**, [s. l.], v. 191, p. 115652, 2024.

ZHANG, C. *et al.* Effect of different thermal processing methods on sensory, nutritional, physicochemical and structural properties of *Penaeus vannamei*. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 438, p. 138003, 2024.

ZHONG, N. *et al.* Lipid Peroxidation Inhibition Activity of Maillard Reaction Products Derived from Sugar-amino Acid Model Systems. **Advance Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 9, n. 5, p. 393–397, 2015.

ZHU, Z.; ZHOU, Q.; SUN, D. Measuring and controlling ice crystallization in frozen foods: a review of recent developments. **Trends in Food Science and Technology**. [s. l.], v. 90, p. 13–25, 2019.