



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

JÉSSICA FROTA COSTA

INFLUÊNCIA DO EXTRATO DE ALHO (*Allium sativum*) EM *FISHBURGUERS*
A BASE DE CARNE MECANICAMENTE SEPARADA DE TILÁPIA DO NILO
(*Oreochromis niloticus*)

FORTALEZA

2025

JÉSSICA FROTA COSTA

INFLUÊNCIA DO EXTRATO DE ALHO (*Allium sativum*) EM *FISHBURGUERS* A BASE
DE CARNE MECANICAMENTE SEPARADA DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis
niloticus*)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Recursos pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ianna Wivianne Fernandes de Araújo.

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Paula Colares de Andrade.

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)

- C873i Costa, Jéssica Frota.
Influência do extrato de alho (*Allium sativum*) em fishburguers a base de carne mecanicamente separada de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) / Jéssica Frota Costa. – 2025.
95 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Ianna Wivianne Fernandes de Araújo.
Coorientação: Prof. Dr. Ana Paula Colares de Andrade.
1. Aproveitamento do pescado. 2. Extrato de alho. 3. Compostos ativos. 4. Propriedades físico-químicas. 5. Conservantes naturais. I. Título.

CDD 639.2

JÉSSICA FROTA COSTA

INFLUÊNCIA DO EXTRATO DE ALHO (*Allium sativum*) EM *FISHBURGUERS* A BASE
DE CARNE MECANICAMENTE SEPARADA DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis
niloticus*)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Recursos pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Aprovada em: 27/06/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a Ianna Wivianne Fernandes de Araújo (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Ariévilo Gurgel Rodrigues
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Juliane Doering Gasparin Carvalho
Univeridade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Márjory Lima Holanda Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Tatiana de Oliveira Lemos
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas orações ouvidas e atendidas, pelas bênçãos em forma de força e coragem, por nunca me abandonar e por colocar nessa caminhada pessoas do bem e de bom coração.

Aos meus pais, Maria Luiza Frota e Eulálio José Costa, por todo incentivo, apoio, amor, educação e por sempre estarem ao meu lado em todos os momentos, acreditando na minha capacidade e sucesso, me dando forças e fazendo o possível para que não me faltasse nada.

À professora e orientadora Ianna Wivianne, pela valiosa oportunidade de ser orientada por ela, uma grande profissional, muito paciente, compreensiva, humana e dedicada. Muito obrigada por ter me aceitado, pela orientação dedicada e por ter confiado em meu trabalho.

À professora e co-orientadora Ana Paula Colares, por todo suporte, apoio, orientação e conselhos sempre pertinentes e pelo constante apoio ao longo desta trajetória. Gratidão pela confiança e por contribuir significativamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Sr. Luiz Bitu e Janevane Castro, por compartilhar seus ensinamentos com muita generosidade, pela paciência, pelas horas dedicadas ao nosso aprendizado com tanto zelo e comprometimento. Agradeço muito obrigada por todos os ensinamentos, que foram muitos, transmitidos com tanto cuidado.

Ao Ariévilo Gurgel, que ao longo dessa jornada, foi um excelente professor nas atividades laboratoriais, tornando-se um grande colega, sempre disposto a ajudar, tirar as dúvidas com toda sua calma e paciência, sempre dedicado a ajudar de todas as formas possíveis. Obrigada, de todo coração, Ari!

À Alynne Rodrigues, que foi minha companheira de laboratório, uma amiga de todas as horas, que estava presente em todas as etapas deste trabalho comigo, me ajudando a passar por todas as dificuldades e obstáculos do início ao fim. Eterna gratidão por tudo! Cada lembrança vivida na UFC será guardada com muito carinho.

À Rebeca Peixoto e Sarah Santos, pelo apoio durante a etapa experimental deste trabalho. Agradeço imensamente pela disponibilidade, dedicação e colaboração atenciosa em cada atividade. A contribuição de vocês foi essencial para a realização desta pesquisa.

A todos os alunos do curso Engenharia de Alimentos, que colaboraram nas atividades de bancada no Laboratório de Carnes e Pescado, contribuindo com dedicação e

empenho para a realização deste trabalho.

À Universidade Federal do Ceará e a todos os professores responsáveis por essa conquista.

Aos laboratórios da Universidade Federal do Ceará, que, por meio de suas estruturas, equipamentos e apoio técnico, tornaram possível a execução das análises deste trabalho, contribuindo de forma significativa para a realização dos experimentos: Laboratório de Bioquímica Marinha, Laboratório de Carnes e Pescados, Laboratório de Microbiologia de Alimentos, Laboratório de Mecânica dos Pavimentos e Laboratório de Análise de Traços. À Central Analítica da UFC, pelo apoio imprescindível nas análises que foram determinantes para o êxito desta pesquisa.

A todos que diretamente ou indiretamente, contribuíram para que esse trabalho se realizasse.

Esta pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

A carne mecanicamente separada (CMS) de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), obtida por despolpamento das carcaças remanescentes da filetagem, apresenta elevado teor proteico e pode ser empregada na elaboração de produtos, impulsionando o uso de alternativas naturais aos aditivos sintéticos tendo como opção o alho (*Allium sativum*). O objetivo do estudo foi desenvolver *fishburguers* a partir da CMS de tilápia-do-Nilo, avaliando o efeito da adição de extrato aquoso de alho em diferentes concentrações, além da caracterização físico-química do extrato de alho e dos produtos elaborados à base de pescado. A CMS foi obtida a partir de tilápias adquiridas em feiras livres, seguida da avaliação da qualidade microbiológica. O extrato aquoso de alho, obtido por trituração mecânica e filtragem, foi caracterizado por técnicas como microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de infravermelho (IV) por transformada de Fourier e cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). A atividade antimicrobiana do extrato diluído a 1, 3 ou 9% foi avaliada *in vitro* contra cepas patogênicas de *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* e *Staphylococcus* coagulase positiva, por meio da técnica de difusão em ágar. Na produção dos *fishburguers* foram testadas cinco formulações: F1 (controle com antioxidante sintético hidroxitolueno butilado - BHT), F2 (controle sem aditivos), F3 (1% de extrato), F4 (3% de extrato) ou F5 (9% de extrato). Após elaboração dos produtos, foi determinada estabilidade dos fishburgers em condições de congelamento, a capacidade de retenção de água (CRA), perda por cocção (PPC), avaliação da superfície do produto por MEV, além da análise do perfil lipídico do *fishburger* da F2. A caracterização do extrato de alho por IV revelou a presença de compostos com propriedades tecnológicas com potencial antioxidante e, por meio do ensaio em ágar, foi detectado atividade antimicrobiana frente as diferentes cepas bacterianas. A composição centesimal demonstrou que tanto a CMS quanto os fishburgers elaborados apresentaram adequado teor de proteínas e baixo teor de lipídios, confirmando o valor nutricional. Em relação avaliação da qualidade dos *fishburguers*, a adição do extrato de alho promoveu melhorias na estabilidade oxidativa e nas propriedades físico-químicas, com destaque para a F4, a qual apresentou desempenho superior na CRA, menor PPC e estrutura mais coesa e homogênea, conforme observado na MEV. O perfil lipídico da F2 mostrou a presença de ácidos graxos insaturados de interesse nutricional, como oleico e linoleico. Desta forma, os *fishburguers* com extrato de alho apresentaram melhor desempenho tecnológico, podendo ser um ingrediente natural substituindo o BHT como aditivo. Portanto, o extrato de alho promoveu uma melhor qualidade físico-química, nutricional e microbiológica dos

fishburguers, oferecendo ao consumidor um alimento mais saudável e funcional.

Palavras-chave: aproveitamento do pescado; extrato de alho; compostos bioativos; propriedades físico-químicas; conservantes naturais; qualidade microbiológica.

ABSTRACT

Mechanically separated meat (MDM) from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), obtained by pulping the remaining carcasses after filleting, has a high protein content and can be used in product development, promoting the use of natural alternatives to synthetic additives, such as garlic (*Allium sativum*). The objective of this study was to develop fishburgers from MDM of Nile tilapia, evaluating the effect of adding aqueous garlic extract at different concentrations, in addition to the physicochemical characterization of the garlic extract and fish products. The MDM was obtained from tilapia purchased at street markets, followed by an assessment of microbiological quality. The aqueous garlic extract, obtained by mechanical grinding and filtration, was characterized using techniques such as scanning electron microscopy (SEM), Fourier transform infrared (IR) spectroscopy, and high-performance liquid chromatography (HPLC). The antimicrobial activity of the extract diluted at 1, 3, or 9% was evaluated in vitro against pathogenic strains of *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, and coagulase-positive *Staphylococcus* using the agar diffusion technique. Five formulations were tested during fishburger production: F1 (control with synthetic antioxidant butylated hydroxytoluene - BHT), F2 (control without additives), F3 (1% extract), F4 (3% extract), or F5 (9% extract). After product preparation, the stability of the fishburgers under freezing conditions, water retention capacity (WHC), cooking loss (CLP), product surface evaluation by SEM and the lipid profile of the F2 fishburger were analyzed. The characterization of the garlic extract by IR revealed the presence of compounds with technological properties and antioxidant potential, and the agar assay detected antimicrobial activity against different bacterial strains. The centesimal composition demonstrated that both the CMS and the prepared fishburgers had adequate protein and low lipid content, confirming their nutritional value. Regarding the quality assessment of the fishburgers, the addition of garlic extract promoted improvements in oxidative stability and physicochemical properties, particularly in F4, which showed superior performance in the CRA, lower PPC, and a more cohesive and homogeneous structure, as observed in the SEM. The lipid profile of F2 showed the presence of unsaturated fatty acids of nutritional interest, such as oleic and linoleic acids. Therefore, the fishburgers with garlic extract presented better technological performance and could be a natural ingredient replacing BHT as an additive. Therefore, the garlic extract promoted better physical-chemical, nutritional and microbiological quality of the fishburgers, offering the consumer a healthier and more functional food.

Keywords: fish by-product utilization; garlic extract; bioactive compounds; physicochemical properties; natural preservatives; microbiological quality.

LISTA DE ABREVIATURAS

ADH	Ácido Docosaheptaenoico
AEP	Ácido Eicosapentaenoico
AGICLs	Ácidos Graxos Insaturados de Cadeia Longa
AGPI	Ácidos Graxos Poli-insaturados
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ATCC 11775	<i>Escherichia coli</i>
ATCC 19115	<i>Listeria monocytogenes</i>
ATCC 25923	<i>Staphylococcus aureus</i>
BHT	Hidroxitolueno Butilado
BPF	Boas Práticas de Fabricação
BrCAST/EUCAST	<i>Brazilian Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing / European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing</i>
CLAE	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC em inglês)
CMS	Carne Mecanicamente Separada
CPP	Contagem Padrão em Placa
CRA	Capacidade de Retenção de Água
CT	Coliformes Termotolerantes
DCV	Doenças Cardiovasculares
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
DTA	Doenças Transmissíveis por Alimentos
EA	Extrato de alho
EC	Caldo <i>Escherichia coli</i>
FAMEs	<i>Fatty Acid Methyl Esters</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
GLA	γ -linolênico
HAB	Hidroxianisol Butilado
HDL	Lipoproteínas de Alta Densidade
IAL 1132	<i>Salmonella typhimurium</i>
INS 316	Eritorbato de Sódio
IV	Espectroscopia no Infravermelho, por Transformada de Fourier
LDL	Lipoproteínas de Baixa Densidade
LIA	<i>Lysine Iron Agar</i>

LST	<i>Lauryl Sulfate Tryptose Broth</i> (Caldo Lauryl Tryptose)
MDA	Malonaldeído
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
NMP	Número Mais Provável
OMS	Organização Mundial da Saúde
PCA	<i>Plate Count Agar</i>
PEIXE BR	Associação Brasileira da Piscicultura
PG	Propil Galato
PPC	Perda por Cocção
RV	Caldo Rappaport-Vassiliadis
SDA	Ácido Estearidônico
SISGEN	Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado
TBARS	Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico
TCA	Ácido Tricloroacético
TSA	<i>Tryptone Soy Agar</i> (Ágar Triptona de Soja)
TSB	<i>Tryptone Soy Broth</i> (Caldo Peptona Caseína Soja)
TSI	<i>Triple Sugar Iron</i>
TT	Caldo Tetracionato
UFC/g	Unidades Formadoras de Colônia por grama

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tilápia de gênero <i>Oreochromis</i>	20
Figura 2 – Estrutura química da alicina do alho (<i>Allium sativum</i>)	29
Figura 3 – Fluxograma da obtenção dos peixes à elaboração da carne mecanicamente separada	37
Figura 4 – <i>Fishburger</i> elaborado da CMS obtida de tilápia do Nilo	41
Figura 5 – Equação para obter o valor calórico	43
Figura 6 – Equação para obter a porcentagem de líquido perdido	44
Figura 7 – Microscopia eletrônica de varredura do extrato de alho a 9%	49
Figura 8 – Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier do extrato de alho, filtrado em água, na região 500-4000 cm ⁻¹	51
Figura 9 – Cronograma representativo da amostra de extrato de alho	53
Figura 10 – Microscopia eletrônica de varredura de todas as formulações utilizadas nos <i>fishburguers</i>	68
Figura 11 – Cronograma representativo do perfil de ácidos graxos presentes na amostra de <i>fishburger</i> do controle negativo (C-)	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Formulações dos <i>fishburguers</i> de tilápia do Nilo para avaliação da estabilidade ..	41
Tabela 2 – Formulações dos <i>fishburguers</i> de tilápia do Nilo para caracterização físico-química	42
Tabela 3 – Diferenças significativas da avaliação antimicrobiana do extrato de alho bruto	47
Tabela 4 – Contagem total de microorganismos na carne mecanicamente separada de tilápia	55
Tabela 5 – Composição centesimal da carne mecanicamente separada (CMS) de tilápia do Nilo e dos <i>fishburguers</i> de CMS	58
Tabela 6 – Acompanhamento do valor do pH em <i>fishburguers</i> de carne mecanicamente separada de tilápia do Nilo adicionados do extrato de alho durante a estocagem por 120 dias sob congelamento (-22°C)	60
Tabela 7 – Acompanhamento dos valores de TBARS (malonaldeído - MDA) em <i>fishburguers</i> de carne mecanicamente separada de tilápia do Nilo adicionados de extrato de alho durante a estocagem por 120 dias sob congelamento (-22°C).....	61
Tabela 8 – Capacidade de retenção de água (CRA) dos <i>fishburguers</i>	62
Tabela 9 – Perda por cocção (PPC) dos <i>fishburguers</i>	65
Tabela 10 – Identificação dos compostos químicos presentes na amostra do controle negativo do <i>fishburger</i>	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1	Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	19
2.2	Carne mecanicamente separada e seus produtos.....	21
2.3	Alterações no pescado.....	24
2.4	Aditivos.....	26
2.5	Alho (<i>Allium sativum</i>) como conservante natural.....	28
3	OBJETIVOS.....	32
3.1	Objetivo geral.....	32
3.2	Objetivos específicos.....	32
4	METODOLOGIA.....	33
4.1	Elaboração do extrato de alho.....	33
4.1.1	<i>Avaliação da atividade antimicrobiana in vitro do extrato de alho</i>	33
4.1.2	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do extrato de alho na concentração de 9%</i>	34
4.1.3	<i>Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (IV) por transformada de Fourier do extrato de alho líquido</i>	35
4.1.4	<i>Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) do extrato de alho bruto</i>	35
4.2	Obtenção dos peixes e elaboração da carne mecanicamente separada.....	35
4.3	Análise microbiológica da CMS de tilápia do Nilo.....	37
4.3.1	<i>Contagem de microorganismos aeróbios mesófilos</i>	38
4.3.2	<i>Contagem de Escherichia coli</i>	38
4.3.3	<i>Contagem de Staphylococcus coagulase positiva</i>	38
4.3.4	<i>Presença de Salmonella spp</i>	39
4.4	Elaboração dos fishburguers e suas formulações.....	40
4.5	Análises da estabilidade dos fishburguers com extrato de alho durante a estocagem.....	42
4.5.1	<i>Composição centesimal e valor calórico dos fishburguers de carne mecanicamente separada (CMS) de tilápia do Nilo</i>	42
4.5.2	<i>pH</i>	43
4.5.3	<i>Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)</i>	43
4.6	Caracterização físico-química dos fishburguers adicionados de extrato de	

alho.....	43
4.6.1 <i>Capacidade de retenção de água (CRA) dos fishburguers</i>	43
4.6.2 <i>Perda de água por cocção dos fishburguers</i>	44
4.6.3 <i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos fishburguers</i>	44
4.6.4 <i>Perfil de ácidos graxos do fishburger</i>	45
4.7 Análise estatística.....	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
5.1 Avaliação da atividade antimicrobiana do extrato de alho bruto por difusão em ágar.....	47
5.2 Microscopia eletrônica de varredura do extrato de alho 9%.....	49
5.3 Espectroscopia de Infravermelho (IV) por Transformada de Fourier do alho bruto líquido.....	51
5.4 Cromatografia líquida de alta eficiência do extrato de alho bruto.....	53
5.5 Análise microbiológica.....	55
5.5.1 <i>Avaliação microbiológica da CMS de tilápia do Nilo</i>	55
5.6 Composição centesimal e valor calórico dos fishburguers de carne mecanicamente separada (CMS) de tilápia do Nilo.....	57
5.7 Avaliação da estabilidade de fishburgers adicionados de extrato de alho armazenados sob congelamento por 120 dias.....	59
5.7.1 <i>pH</i>	59
5.7.2 <i>Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)</i>	61
5.8 Capacidade de retenção de água dos fishburguers.....	62
5.9 Perda por cocção dos fishburguers.....	65
5.10 Microscopia eletrônica de varredura dos fishburguers.....	67
5.11 Perfil de ácidos graxos do fishburger.....	69
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
7 CONCLUSÃO.....	75
REFERÊNCIAS.....	76
APÊNDICE A – TABELA DOS VALORES DAS TRIPLICATAS DA CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA (CRA) DOS FISHBURGUERS.....	95
APÊNDICE B – TABELA DOS VALORES DAS TRIPLICATAS DA PERDA POR COCÇÃO (PPC) DOS FISHBURGUERS.....	95

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura é definida como a produção de espécies aquáticas em sistemas que podem ser parciais ou totalmente fechados (SÃO JOSÉ *et al.*, 2022). Dentre as espécies cultivadas, a tilápia se destaca como o principal produto no Brasil, devido à sua alta resistência e grande produtividade em sistemas de cultivo (PEIXE BR, 2024). A distribuição geográfica da tilápia é um fator importante, já que ela é cultivada em várias regiões do país, com maior concentração de produção nos estados das regiões sul, sudeste e centro-oeste (PEDROZA FILHO *et al.*, 2020).

Além da sua importância econômica na produção aquícola, a produção de tilápia no Brasil tem crescido significativamente, consolidando-se como uma das principais atividades aquícolas do país. Em 2023, a produção nacional de tilápia atingiu 579.080 toneladas, representando 65,3% do total de peixes cultivados no país, conforme dados da Associação Brasileira da Piscicultura (PEIXE BR, 2023). Embora o Brasil esteja na quarta posição de maior produtor mundial de tilápia, o consumo interno de peixes e seus derivados permanece abaixo da média internacional, girando em torno de 10 kg por habitante ao ano. Em contraste, o consumo médio global alcança cerca de 20 kg/hab/ano (SCHREIBER; ZUCATTO; LAZZARI, 2021).

O consumo de pescado é associado a diversos benefícios à saúde, em virtude ao seu alto conteúdo proteico de valor biológico elevado, além de outros nutrientes importantes, como os ácidos graxos (BERALDO; GARCIA; MARFORI, 2020; GONÇALVES; MITUUTI; HAAS, 2020; NASCIMENTO; SCALABRINI, 2020; SOARES *et al.*, 2016). O elevado valor nutricional do peixe tem gerado o aumento da demanda por esse produto nos últimos anos, especialmente entre aqueles que buscam uma alimentação mais saudável (FAO, 2020; NASCIMENTO; SCALABRINI, 2020; SILVA *et al.*, 2020; SOARES *et al.*, 2016; WU; PU; SUN, 2019).

Nesse cenário de valorização nutricional e aumento da produção, o filé de tilápia se destaca como um produto que atende a essa demanda. O músculo preso às espinhas, ossos, carcaças e pele do peixe pode ser separado mecanicamente após o processo de evisceração e descabeçamento, utilizando equipamentos chamados "despolpadores de pescado", sendo, em seguida, imediatamente congelado (TORREZAN *et al.*, 2024). Entretanto, esse processo também evidencia um desafio significativo: a elevada geração de subprodutos durante o processamento do pescado. Após a evisceração, o peixe pode apresentar entre 8% e 16% de partes descartadas. Já durante a filetagem, esse índice pode alcançar de 60% a 72% do animal.

Diariamente, as indústrias especializadas no processamento dessa espécie acumulam grande quantidade de subprodutos, como cabeça, nadadeiras, vísceras, escamas, esqueleto e pele, que correspondem a aproximadamente 60% a 70% do peso total do peixe (MATIUCCI *et al.*, 2021). Diante disso, torna-se fundamental buscar soluções tecnológicas para o aproveitamento desses subprodutos, de forma a reduzir impactos ambientais e agregar valor ao pescado.

Os subprodutos gerados pelas indústrias alimentícias, aquícolas e pesqueiras são classificados como materiais orgânicos sólidos, geralmente compostos por materiais excedentes que perdem valor ou utilidade para quem os produz. Esses descartes representam um desafio significativo em escala mundial, devido às consequências econômicas, sociais e ambientais que provocam (KHIARI, 2022; VIDAL-CAMPELLO *et al.*, 2020). Uma alternativa viável para o reaproveitamento desses subprodutos é a obtenção de carne mecanicamente separada (CMS), que consiste na extração da carne remanescente aderida à estrutura óssea dos peixes, sobretudo após a filetagem (BORGOGNO *et al.*, 2017).

Entre os diversos produtos que podem ser elaborados com CMS, destaca-se o hambúrguer de peixe ou *fishburger* como uma opção prática, acessível e atrativa ao consumidor moderno. É um produto que contém uma inovação tecnológica, possui baixo custo de produção, processo de fabricação simples, de rápido preparo culinário e fácil inserção na alimentação diária (PINTO, 2017; AMARAL *et al.*, 2016; MARENGONI *et al.*, 2009; MINOZZO, 2010).

Como ponto positivo, o desenvolvimento de *fishburguers* tem demonstrado bons resultados de aceitação, uma vez que o consumo de hambúrgueres feitos a partir de outras fontes de proteína animal, já é bastante comum no Brasil (PRESENZA, 2019). Diversos estudos apontam para uma excelente aceitação dos *fishburguers* pelos consumidores. De acordo com a pesquisa de Lima *et al.* (2014), os *fishburguers* de tilápia do Nilo, adicionados de conservantes naturais, apresentaram boa aceitação em análise sensorial, sendo considerados uma alternativa promissora para agregar valor ao pescado.

Apesar do potencial tecnológico e mercadológico do *fishburger*, a perecibilidade natural do pescado impõe desafios à sua conservação e estabilidade ao longo do tempo devido à alta atividade de água em seus tecidos, elevados níveis de nutrientes que são utilizados por microorganismos, ação rápida de enzimas, pH próximo à neutralidade e a presença de ácidos graxos insaturados, facilmente oxidáveis. Com o início do processo de degradação, o peixe se torna um ambiente propício para o crescimento de microorganismos, o que resulta em alterações em suas características físico-químicas e organolépticas (TEIXEIRA; GARCIA, 2014; FARIAS *et al.*, 2021).

O elevado conteúdo de ácidos graxos poli-insaturados aumenta a susceptibilidade à oxidação e à deterioração do pescado (FREIRIA, 2017). A oxidação desses ácidos graxos insaturados é um processo complexo, que pode ocorrer na presença de oxigênio, de maneira enzimática ou não enzimática, sendo estimulada ou catalisada por fatores como luz, calor, fotossensibilizadores, metais e espécies reativas de oxigênio e nitrogênio (MARIUTTI; BRAGAGNOLO, 2017). Em alimentos como os pescados, a auto-oxidação é o principal processo responsável pela deterioração oxidativa (FRANKEL, 2005). Durante esse processo, são formados peróxidos, que se decompõem em compostos secundários, como aldeídos e cetonas, os quais provocam alterações em diversas propriedades do alimento, especialmente nas sensoriais, como sabor, aroma, textura e cor (FREIRIA, 2017).

De acordo com a Instrução Normativa nº 211, de 1º de março de 2023, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), os antioxidantes são aditivos alimentares cuja função principal é retardar, minimizar ou inibir a oxidação dos alimentos, preservando suas características sensoriais, físico-químicas e nutricionais durante o armazenamento, transporte e comercialização (ANVISA, 2023). Entre os aditivos alimentares autorizados para uso alimentar segundo a seção 8.2.1.1. da referida norma, destacam-se o ácido ascórbico e seus derivados, o tocoferol, o ácido cítrico, o extrato de alecrim e outros compostos naturais e sintéticos regulamentados (ANVISA, 2023). Apesar da autorização para diversos aditivos alimentares sintéticos amplamente utilizados na indústria, como o hidroxianisol butilado (HAB), o hidroxitolueno butilado (BHT) e o propil galato (PG), há uma crescente demanda por aditivos naturais, refletindo a preferência dos consumidores por alimentos mais “limpos” (*clean label*) e saudáveis. Essa tendência se deve à maior confiança dos consumidores em ingredientes reconhecíveis e provenientes de fontes naturais, reduzindo o receio associado aos potenciais riscos à saúde relacionados a alguns aditivos alimentares sintéticos e compostos como nitratos e nitritos, que, embora funcionais, podem formar substâncias carcinogênicas como as N-nitrosaminas (LORENZO *et al.*, 2018a; OSWELL *et al.*, 2018; HIGUERO *et al.*, 2020; BONIFACIE *et al.*, 2021; FLORES; TOLDRÁ, 2021).

Nesse contexto, cresce o interesse da indústria alimentícia por alternativas naturais aos aditivos alimentares sintéticos. Assim, entre as diversas opções de aditivos alimentares de origem natural, ingredientes tradicionais da gastronomia, como o alho (*Allium sativum*), têm sido explorados em várias formas, incluindo óleo essencial, alho em pó, extrato de alho (EA), extrato de alho envelhecido e alho negro (HORITA *et al.*, 2016; ESMAEILI *et al.*, 2020; WU; JIN; ZHANG, 2021). Dessa forma, o alho se apresenta como uma alternativa viável para uso na indústria de carnes, atuando como aditivo natural e conservante. Além disto, o alho contém

diversos componentes aromáticos em sua composição e oferece benefícios à saúde, assim como proteção contra a obesidade e melhoria no funcionamento gastrointestinal (CHEN *et al.*, 2014; CHEN *et al.*, 2018; ABE; HORI; MYODA, 2020).

Diante do exposto, a presente pesquisa se justifica pela necessidade de elaborar produtos inovadores, sustentáveis e nutricionalmente adequados, alinhados às exigências do mercado atual e às preocupações dos consumidores quanto à saúde. Assim, o objetivo principal deste estudo é a elaboração de *fishburguers* a partir da CMS de tilápia, além da caracterização físico-química do extrato de alho e dos fishburgeres elaborados adicionados de extrato de alho em diferentes concentrações, a fim de explorar seu potencial como aditivo natural e conservante.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

A piscicultura, uma vertente da aquicultura, refere-se à criação de peixes, seja para reprodução ou engorda dos animais. Essa atividade pode ser praticada tanto como recreação, como também uma fonte de renda. A criação de peixes pode ocorrer em diferentes ambientes, como tanques, lagos, com ou sem o uso de tanques-rede, além de ser possível adotá-la em sistemas alternativos, como tanques elevados ou caixas d'água, que operam com volumes reduzidos de água (EMBRAPA, 2022a).

Sob perspectiva de destaque produtivo, em escala global, a produção total proveniente da pesca e da aquicultura alcançou em 2022, 223,2 milhões de toneladas, representando um acréscimo de 4,4% em comparação ao ano de 2020. Desse total, 185,4 milhões de toneladas corresponderam a animais aquáticos e 37,8 milhões a algas. No cenário brasileiro, a piscicultura apresentou um expressivo crescimento em 2024, com produção de 968.745 toneladas, o que equivale a um aumento de 9,21% em relação ao ano anterior, ocorrendo então o maior avanço percentual registrado na última década (FAO, 2024). Esse desempenho é atribuído, em parte, ao protagonismo da tilápia, somado aos investimentos em inovação tecnológica, qualificação profissional e práticas sustentáveis, apesar de desafios como os altos custos de insumos e as incertezas do mercado internacional (PEIXE BR, 2025).

A espécie mais cultivada na piscicultura no Brasil é a tilápia, isso se deve, em grande parte, à sua excelente adaptação às águas brasileiras. Outro aspecto importante é a facilidade de criação, pois esses peixes aceitam bem a alimentação fornecida, são resistentes a doenças e possuem uma grande capacidade de reprodução. Essas características têm sido fundamentais para o sucesso contínuo da tilápia como uma opção preferencial entre os piscicultores no país (SANSURY, 2017).

A tilápia é o nome comum dado a diversas espécies do gênero *Oreochromis* (Figura 1). Esse pescado, originário da África e do Oriente Próximo, é endêmico de águas doces, e os primeiros exemplares chegaram ao Brasil em 1971 e logo demonstraram grande capacidade de adaptação ao clima tropical, especialmente em ambientes com temperaturas entre 26°C e 28°C, ideais para seu crescimento e reprodução (EMBRAPA, 2022b; RECHI, 2016). Quando colocada em condições adequadas, a tilápia torna-se uma das espécies mais indicadas para a piscicultura, por também tolerar altas densidades de estocagem e responder bem ao manejo intensivo de alimentação (MARENGONI, 2006).

Figura 1 – Tilápia de gênero *Oreochromis*



Fonte: Çoğun e Şahin (2017).

Ademais, a tilápia apresenta características atrativas devido à sua boa aceitação no mercado e alto valor comercial, além de excelente eficiência na conversão alimentar, o que resulta em custos de produção relativamente baixos (ZAMPIEPI, 2023). Seu sabor suave é um diferencial, e seu baixo teor de gordura em comparação a outras proteínas animais a torna ainda mais atrativa. É considerada uma opção nutricionalmente vantajosa, oferecendo teores adequados de proteínas, carboidratos e gorduras. Esse perfil nutricional tem contribuído para a crescente preferência dos consumidores por sua carne branca (LARA, 2016; ZAMPIEPI, 2023). (LARA, 2016; ZAMPIEPI, 2023).

O filé é o principal produto resultante da produção de tilápia, superando a tilápia fresca e a posta. Embora o filé congelado seja o item mais comum nas prateleiras de varejo, também existem outros cortes e produtos disponíveis. Pode-se encontrar tilápia fresca resfriada, congelada com pele (cortes especiais para churrasco), bolinhos, *nuggets*, pratos prontos, entre outros produtos processados (SCHULTER; VIEIRA FILHO, 2017).

Visto que a produção de tilápia seja altamente produtiva, o processo de filetagem gera uma grande quantidade de materiais sólidos orgânicos, já que apenas cerca de 30% do rendimento do filé é aproveitado, deixando 70% de subprodutos que poderiam ser utilizados como matéria-prima para a fabricação de coprodutos (MONTEIRO *et al.*, 2014). A valorização desses materiais é uma alternativa importante para diminuir os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado, pois a aquicultura sustentável visa o uso eficiente dos recursos naturais no processo produtivo, incorporando práticas de gestão e novas tecnologias (KIMPARA; ZAJDBAND; VALENTI, 2012; PIRES *et al.*, 2014).

Ao longo das diversas fases da cadeia produtiva de vários setores da indústria alimentícia, uma quantidade considerável de componentes secundários é gerada, desde a produção inicial até a comercialização. Em razão disso, as indústrias alimentícias, tanto de origem animal quanto vegetal, têm enfrentado uma pressão crescente para assumir a

responsabilidade pelo descarte adequado desses componentes no meio ambiente e pelos impactos que os mesmos causam, sendo exigido delas o desenvolvimento de alternativas para a utilização desses subprodutos (AGUIAR; GOULART, 2014).

Converter materiais sólidos descartáveis e poluentes em produtos de valor agregado é essencial para o desenvolvimento sustentável, pois contribui para a redução do desperdício de matérias-primas e incentiva a reciclagem. Isso resulta em processos mais econômicos e de menor impacto ambiental (LIMA, 2013). Dado o alto valor biológico dessas partes não valorizadas da tilápia, é crucial o desenvolvimento de métodos viáveis para a produção de produtos de valor agregado. Embora essa prática ainda ocorra de forma irregular, deve ser fortalecida com o uso de tecnologias limpas, buscando a eliminação de contaminantes e o aproveitamento integral dos materiais (PIRES *et al.*, 2014).

2.2 Carne mecanicamente separada e seus produtos

O aproveitamento de materiais sólidos provenientes do pescado é extremamente relevante, uma vez que esses materiais são ricos em proteínas, compostos nitrogenados não proteicos, ácidos graxos insaturados da série ômega-3 e minerais, conferindo-lhes elevado valor nutricional. Por meio do reaproveitamento desses resíduos, torna-se viável a produção de diversos produtos voltados à alimentação animal, como silagem, farinha e óleo de peixe (ÖZYURT *et al.*, 2019).

A valorização desses materiais também se estende ao consumo humano, pois a indústria alimentícia utiliza a carne que permanece aderida aos ossos e espinhas das carcaças de peixes após o processo de filetagem, permitindo a produção de alimentos com características bromatológicas equivalentes às do filé destinado à comercialização (FURLAN *et al.*, 2020). Além disso, pesquisas indicam que partes não nobres do pescado são ricas em compostos bioativos, que podem ser aproveitados e aplicados nas indústrias química, farmacêutica e de cosméticos, contribuindo para a geração de empregos e renda (CHAMBO, 2018; OZOGUL *et al.*, 2021).

Uma parcela significativa da população brasileira apresenta uma dieta com baixos níveis de proteínas de alta qualidade. Nesse contexto, o aproveitamento adequado de espécies de pescado de baixo valor comercial ou frequentemente descartadas, bem como do espinhaço resultante da carcaça após a filetagem de peixes cultivados, para a produção de polpa de peixe ou CMS, surge como uma alternativa viável. Essa prática permite diversificar os produtos de pescado disponíveis no mercado consumidor, conferir um destino valorizado a essas espécies,

agregar valor à matéria-prima e à atividade pesqueira, além de promover a sustentabilidade do setor (CYRINO *et al.*, 2019; ESTANECH *et al.*, 2020; PINTO *et al.*, 2017; PIRES *et al.*, 2014).

Os produtos derivados do pescado possuem grande relevância nutricional, em razão ao elevado valor biológico das proteínas presentes em sua carne. Além disso, eles são significativos no âmbito social, ao contribuírem para a geração de empregos e aumento da rentabilidade dos empresários envolvidos nos diversos segmentos da cadeia aquícola, proporcionando um destino garantido para sua produção. Diante disso, para as empresas que processam a matéria-prima, esses produtos também oferecem benefícios, pois permitem o aproveitamento completo do pescado (ROSSETTO; SIGNOR, 2021).

A carne utilizada na produção de alimentos formatados e embutidos de pescado pode ser proveniente da CMS de tilápia ou das sobras geradas durante o processamento, como filés e postas (COSTA *et al.*, 2016; FURLAN *et al.*, 2020; GUIMARÃES; CALIXTO; MESQUITA, 2017; PINTO *et al.*, 2017). Além disso, muitos estudos têm proposto o uso de espécies subutilizadas de pescado marinho, de água doce e espécies acessórias para esse fim (ESTANECH *et al.*, 2020; PIRES *et al.*, 2015).

A CMS pode ser aproveitada na criação de diversos produtos à base de peixe, como patês, salames, salsichas, mortadelas, almôndegas, *nuggets*, croquetes, empanados, *fishburguers*, snacks, surimi, quibes, bolos, sopas, temperos, entre outros. Trata-se de uma excelente fonte de nutrientes, com quantidades adequadas de proteínas, ácidos graxos essenciais, minerais e vitaminas A, D e do complexo B, que são fundamentais para a saúde humana (JERÔMIO, 2018; VEIT *et al.*, 2012).

Os principais produtos elaborados a partir da CMS incluem: *fishburguers*, empanados, embutidos, almôndegas, entre outros. Esses produtos se destacam por sua boa aceitação sensorial e alto valor nutricional. Essa aceitação é fundamental, pois determina se os consumidores irão aprovar sua formulação (BACELAR, 2021). Diversas pesquisas sobre a produção de CMS para o desenvolvimento de produtos à base de pescado têm demonstrado a viabilidade e a qualidade nutricional, sensorial e sanitária desses alimentos. Essa aceitação dos produtos feitos com polpa de pescado tem proporcionado ao mercado uma ampla versatilidade, permitindo a criação de uma variedade de derivados (GUIMARÃES; CALIXTO; MESQUITA, 2017; PIRES *et al.*, 2014; PINTO *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2020).

O hambúrguer destaca-se nas prateleiras dos supermercados, redes de *fast food* e na preferência dos consumidores, sendo considerada uma opção prática para quem busca

alimentos prontos e de fácil preparo. Tradicionalmente, os hambúrgueres são produzidos com carnes de origem bovina, suína ou de aves (LOPES *et al.*, 2021). Contudo, esses produtos frequentemente apresentam elevados níveis de gordura, nitritos e nitratos, substâncias associadas ao desenvolvimento de doenças crônicas, como hipertensão, obesidade e problemas cardiovasculares, além da formação de compostos cancerígenos (OLIVEIRA *et al.*, 2013). Nessas circunstâncias, o hambúrguer de pescado reformulado com aditivos alimentares naturais surge como uma alternativa promissora, com potencial para ganhar espaço no mercado e na dieta de consumidores que desejam praticidade sem abrir mão do valor nutricional oferecido pela carne de pescado (MOREIRA, 2023).

No Brasil, ainda não existe uma legislação específica para o hambúrguer de pescado. No entanto, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Hambúrguer é utilizado como referência para o desenvolvimento desse tipo de produto, já que define hambúrguer como “o produto cárneo industrializado obtido da carne moída de animais de açougue, com ou sem adição de tecido adiposo e outros ingredientes, moldado e submetido a um processo tecnológico adequado” (BRASIL, 2022, s.p.).

O hambúrguer de pescado, também conhecido como *fishburger*, recebe esse nome devido à semelhança no preparo com o hambúrguer bovino, sendo produzido a partir de carne moída temperada com diferentes condimentos e moldada em formato arredondado e achatado. De forma geral, a produção do hambúrguer de pescado inicia-se com a moagem da matéria-prima, seguida da adição de gordura, condimentos e água. É comum a inclusão de amido de variadas fontes ou de produtos proteicos não cárneos, que ajudam a melhorar a retenção de água e os atributos sensoriais. Esse produto se destaca pela praticidade e representa uma alternativa viável e atrativa para atender à crescente demanda dos consumidores por opções inovadoras, combinando qualidade sensorial, elevado valor nutricional e facilidade de preparo (SÁ-VIEIRA *et al.*, 2015; GÓES-FAVON *et al.*, 2021).

Embora o pescado desempenhe um papel importante na alimentação humana, ele é considerado um alimento altamente perecível. Por isso, é essencial garantir a preservação de sua qualidade e aumentar seu tempo de prateleira (GOKOGLU, 2018). Paralelamente, a crescente demanda por alimentos nutritivos e de preparo rápido tem desafiado a indústria alimentícia a desenvolver produtos que atendam às expectativas dos consumidores. Sendo assim, o uso de aditivos sintéticos para prolongar a durabilidade dos alimentos é amplamente praticado e regulamentado no Brasil pela Instrução Normativa nº 211, de 1º de março de 2023 (ANVISA, 2023). No entanto, muitos consumidores associam esses compostos a possíveis riscos à saúde, o que gera uma percepção negativa sobre sua utilização. Dessa forma, a

substituição de conservantes sintéticos por alternativas naturais surge como uma solução necessária e alinhada às preferências dos consumidores, oferecendo benefícios não apenas na conservação dos alimentos, mas também na promoção da saúde e na preservação ambiental (UEDA *et al.*, 2022; GOKOGLU, 2018).

2.3 Alterações no pescado

A composição do pescado varia dependendo de fatores como espécie, idade, sistema de cultivo, alimentação, peso, entre outros (ZHANG *et al.*, 2019). Averiguar a composição química do alimento é de suma importância para classificá-lo com base nos níveis de água, lipídios, proteínas e minerais. Esses dados são importantes para padronizar os alimentos de acordo com sua composição centesimal, escolher os equipamentos adequados para sua aplicação tecnológica e monitorar alterações em sua composição química. Além disso, essas informações são valiosas para pesquisas e podem ajudar a divulgar o valor nutricional do pescado, incentivando sua aceitação como uma alternativa proteica às fontes mais consumidas (GONÇALVES, 2011), o que reforça a importância de compreender os processos que comprometem sua qualidade ao longo do tempo.

Conforme descrito por Beirão *et al.* (2004), a deterioração do pescado decorre, principalmente, da secreção de muco em sua superfície, do desenvolvimento do *rigor mortis*, de processos autolíticos e da ação de microorganismos decompositores. Além desses fatores, o pescado é também vulnerável à oxidação de lipídios (ALEXANDRE *et al.*, 2021). A liberação de muco costuma ser um dos primeiros fatores de degradação do produto. No entanto, o início, a duração e o término desses processos de alteração não ocorrem, necessariamente, de forma sequencial, podendo manifestar-se de maneira simultânea (ARAÚJO; SOARES; GÓIS, 2010). Esses mecanismos de deterioração se intensificam ao longo da cadeia de fornecimento, o que ressalta a importância de medidas de controle em todas as etapas pós-captura.

A cadeia de fornecimento do pescado envolve várias etapas e diferentes agentes, sendo que cada uma delas exerce grande influência sobre o frescor final do alimento. O uso de boas práticas de manuseio e o controle adequado da temperatura em todas as etapas é essencial para garantir que o pescado chegue ao consumidor com qualidade nutricional, além de minimizar os processos enzimáticos e microbianos que se iniciam após sua captura (SECCI; PARISI, 2016). Durante o processo de deterioração, ocorre a formação de novos compostos e a degradação dos já existentes, especialmente proteínas e lipídios, o que provoca mudanças no

odor, sabor e textura. Entre essas mudanças, destaca-se a alteração na textura da carne, cuja consistência macia ou pastosa é um fator que limita sua vida útil, impactando diretamente sua comercialização e aceitação pelos consumidores (PAPUC *et al.*, 2018).

Apesar de dispor de uma carne rica em nutrientes, o pescado apresenta um tecido muscular delicado e pouco resistente à degradação, possuindo alta perecibilidade e suscetibilidade a danos durante o processamento. Além disso, o alto grau de insaturação dos ácidos graxos presentes no pescado favorece a oxidação lipídica, que contribui significativamente para sua deterioração. Esse processo pode causar perda de nutrientes, alterações na coloração da carne e formação de compostos tóxicos que afetam o sabor e a textura do pescado (OLIVEIRA *et al.*, 2008; KARAMI *et al.*, 2013; WANG *et al.*, 2019). Assim, para assegurar a qualidade do produto final, é imprescindível o monitoramento constante de parâmetros químicos associados à sua estabilidade. Dessa forma, a avaliação de parâmetros como desnaturação de proteínas, alterações no pH, oxidação e hidrólise de lipídios torna-se essencial para monitorar a qualidade do pescado (ABBAS *et al.*, 2008; SOARES; GONÇALVES, 2012).

Os lipídios desempenham um papel crucial nos alimentos, contribuindo com características como cor, aroma, textura, suculência e valor nutricional (PAPUC *et al.*, 2018). Os lipídios presentes no pescado diferem dos encontrados em mamíferos, sendo a principal diferença a alta concentração de ácidos graxos insaturados de cadeia longa (AGICLs). Além disso, o pescado contém AGICLs essenciais para os seres humanos, como o AEP (ácido eicosapentaenoico) e o ADH (ácido docosahexaenoico). A presença desses compostos também torna a carne do pescado altamente suscetível a processos de degradação (SECCI; PARISI, 2016).

A oxidação lipídica também pode ser intensificada por processos tecnológicos que rompem as membranas musculares, como trituração e aquecimento, facilitando a interação entre substâncias pró-oxidantes e os ácidos graxos (MARIUTTI; BRAGAGNOLO, 2009). No caso específico do pescado, fatores fisiológicos e tecnológicos se somam, tornando a oxidação ainda mais relevante.

O estresse pré-abate e durante o abate ativa vias metabólicas que geram espécies reativas, como hidroperóxidos, contribuindo para o aumento de produtos oxidativos. No entanto, a intensidade dessa resposta varia conforme a espécie analisada. Embora o congelamento retarde a deterioração microbiana, os lipídios permanecem expostos ao oxigênio, permitindo a continuidade do processo oxidativo. Em peixes frescos e congelados, a concentração de Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBARS) geralmente varia

entre 5 e 8 mg MDA/kg (SECCI; PARISI, 2016).

O processo de deterioração lipídica, de modo geral, ocorre em três fases: início, propagação e término. Na fase inicial, a formação de radicais livres é desencadeada pela ação de catalisadores como luz, radiação ultravioleta, metais ou metaloproteínas. Já as fases de propagação e término acontecem simultaneamente. Durante a propagação, os radicais livres formados na iniciação reagem com o oxigênio, gerando radicais peroxila. Esses radicais extraem átomos de hidrogênio do carbono α -metilênico de ácidos graxos adjacentes, resultando na formação de hidroperóxidos e novos radicais alila. A quantidade de oxigênio disponível e o grau de insaturação dos ácidos graxos são fatores críticos para determinar a duração dessa etapa. Os radicais alila mantêm a reação em cadeia, enquanto os hidroperóxidos se decompõem, originando hidrocarbonetos, ácidos graxos de cadeia curta, radicais livres e compostos voláteis, como carbonilas (aldeídos e cetonas), que conferem ao alimento as características de odor e cor de ranço. Na fase de término, os ácidos graxos insaturados são consumidos, e os radicais livres restantes se unem, formando compostos estáveis, como álcoois, aldeídos, cetonas, ésteres e outros hidrocarbonetos. Essa fase também causa mudanças na cor e na viscosidade dos lipídios (JORGE, 2009).

Dentre as três etapas, a fase de iniciação é considerada crucial para o controle e a prevenção da oxidação lipídica. Por isso, a adição de aditivos alimentares, naturais ou sintéticos, conforme regulamentado pela ANVISA, é fundamental para preservar a qualidade nutricional, sensorial e sanitária dos alimentos (CONEGLIAN *et al.*, 2011).

2.4 Aditivos

Conforme a ANVISA (2023), um aditivo alimentar é qualquer substância adicionada intencionalmente a um alimento com o objetivo de alterar suas propriedades biológicas, físico-químicas ou sensoriais ao longo das etapas de produção, embalagem, armazenamento ou transporte, sem a finalidade de fornecer nutrientes. O uso de aditivos deve ser restrito a alimentos específicos e em concentrações mínimas necessárias para alcançar o efeito desejado. De acordo com a Instrução Normativa N° 211, de 1° de março de 2023, os aditivos utilizados em formulações de produtos cárneos podem incluir acidulantes, reguladores de acidez, antioxidantes, aromatizantes, corantes, espessantes, estabilizantes, conservantes, fixadores de cor, realçadores de sabor e umectantes, cada um com funções importantes e específicas. No caso de pescado moldado e temperado, além dos aditivos permitidos para produtos cárneos, também é autorizada a inclusão de anti-umectantes

(ANVISA, 2023).

Há diversos aditivos sintéticos empregados para prolongar a durabilidade dos alimentos e ajustar suas características organolépticas, prevenindo reações químicas e microbiológicas que podem modificar o sabor, o aroma, a cor e as propriedades sensoriais ou texturais dos produtos alimentícios (GUTIÉRREZ-DEL-RÍO; FERNÁNDEZ; LOMBÓ, 2018). Entre esses aditivos, destacam-se:

- **Sais de cura:** utilizados para realçar o sabor dos alimentos, retardar a oxidação dos lipídios, prevenir o ranço e inibir o desenvolvimento de microorganismos patogênicos (FURLAN *et al.*, 2020);
- **Antioxidantes:** definidos como "substâncias que retardam o surgimento de alterações oxidativas nos alimentos";
- **Corantes:** que "dão, intensificam ou restauram a coloração de um alimento";
- **Conservantes:** responsáveis por "impedir ou retardar alterações causadas por microorganismos ou enzimas";
- **Espessantes:** que "aumentam a viscosidade dos alimentos";
- **Geleificantes:** que "proporcionam textura por meio da formação de um gel" (ANVISA, 2023).

Dentre os aditivos alimentares sintéticos mais comuns, destacam-se o ácido ascórbico, o hidroxitolueno butilado (BHT), o hidroxianisol butilado (HAB), além de nitritos e nitratos. Embora eficazes na preservação das características sensoriais, esses compostos têm sido associados à etiologia de problemas como câncer gástrico, intestinal e alergias alimentares (RIBEIRO *et al.*, 2019). Entre os aditivos utilizados em produtos cárneos, o eritorbato de sódio (INS 316), um estereoisômero do ascorbato, é amplamente aplicado para prevenir a oxidação lipídica e intensificar a conversão de nitrito em óxido nítrico, favorecendo a coloração do alimento (OSTERBAUER *et al.*, 2017). De acordo com a Instrução Normativa nº 211, esse aditivo pode ser utilizado em quantidade suficiente (q.s.) para atender às necessidades do produto. Contendo aproximadamente 11,6% de sódio, o eritorbato também contribui para a melhoria da cor, aroma e sabor da carne, além de reduzir a formação de N-nitrosaminas (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005). Por outro lado, o uso de nitritos e nitratos, conhecidos como sais de cura, embora comum na produção de hambúrgueres, não é permitido em produtos reestruturados de pescado, como o *fishburger* (ANVISA, 2023).

Contudo, o consumo excessivo desses aditivos está associado ao desenvolvimento de doenças crônicas, como hipertensão, obesidade e complicações cardiovasculares, além de

gerar substâncias com potencial cancerígeno (OLIVEIRA *et al.*, 2013; LOPES *et al.*, 2021). Isso representa um desafio significativo, sobretudo devido ao hábito cultural de consumir produtos industrializados e de preparo rápido, os quais frequentemente contêm tais componentes em sua composição.

Nesse contexto, cresce o interesse por alternativas naturais capazes de desempenhar funções semelhantes às dos aditivos sintéticos. A evolução dos hábitos alimentares e a maior conscientização dos consumidores sobre os ingredientes e o processamento dos alimentos têm impulsionado pesquisadores e a indústria a buscarem compostos naturais com potencial tecnológico e funcional (GUTIÉRREZ-DEL-RÍO; FERNÁNDEZ; LOMBÓ, 2018). Substâncias naturais como flavonoides, vitaminas, taninos, ácidos orgânicos, alcaloides e fenólicos destacam-se pela capacidade de inibir processos oxidativos, combater microorganismos, atuar como emulsificantes e, ainda, agregar características sensoriais aos alimentos (VELÁZQUEZ *et al.*, 2021). A substituição de aditivos sintéticos por ingredientes naturais contribui para uma alimentação mais saudável, reduzindo a incidência de doenças crônicas (LOPES *et al.*, 2021). Em produtos à base de pescado, a combinação desses compostos bioativos deve promover características sensoriais que atendam às expectativas dos consumidores (VIEIRA *et al.*, 2020)

Os aditivos alimentares naturais podem ser obtidos de plantas, animais, bactérias, algas e fungos (GHANBARI *et al.*, 2013; HASSOUN; ÇOBAN, 2017). Em especial, os compostos fenólicos de origem vegetal, caracterizados pela presença de anéis aromáticos, apresentam propriedades sensoriais marcantes e são frequentemente utilizados na formulação de conservantes naturais (BREWER, 2011). Estudos mais recentes demonstram a eficácia desses extratos no desenvolvimento de conservantes para produtos de pescado, devido às suas propriedades antimicrobianas, antioxidantes, antifúngicas e antimutagênicas, além da capacidade de inibir reações de oxidação lipídica nos alimentos (MEI; MA; XIE, 2019).

2.5 Alho (*Allium sativum*) como conservante natural

A indústria de alimentos gera uma quantidade significativa de subprodutos ao longo de seus processos produtivos. Segundo dados da FAO¹ (2011), cerca de um terço de todos os alimentos destinados ao consumo humano, o que equivale a aproximadamente 1,3 bilhão de toneladas por ano, é perdido ou desperdiçado em escala mundial. Essas perdas

¹ Food and Agriculture Organization of the United Nations.

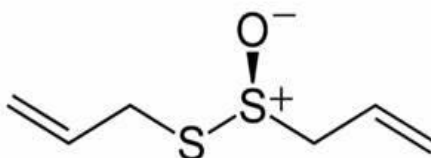
acarretam impactos negativos tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, comprometendo a sustentabilidade dos sistemas alimentares. Diante desse cenário, pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de valorizar esses subprodutos industriais por meio de seu reaproveitamento na elaboração de extratos com potencial aplicação como aditivos alimentares (ACAR; AYDIN; ARSLAN *et al.*, 2022; CHAKKA; BABU, 2022; FERRARI; COLUSSI; AYUB, 2004).

A incorporação de extratos vegetais naturais em alimentos, além de reduzir o uso de aditivos sintéticos, responde à crescente demanda dos consumidores por produtos mais saudáveis e naturais. Para que esses extratos sejam eficazes, é essencial que a matéria-prima contenha compostos bioativos com propriedades funcionais. Dentre esses, destacam-se os compostos fenólicos, reconhecidos por sua ação antioxidante e antimicrobiana, contribuindo para a preservação e prolongamento da vida útil dos alimentos (SANTOS *et al.*, 2022).

O alho (*Allium sativum*), pertencente à família *Liliaceae*, é uma planta herbácea originária da Ásia, amplamente cultivada e consumida no Brasil e em diversas partes do mundo (KALLEL; CHAABOUNI, 2017; EKŞİ; ÖZKAN; KOYUNCU, 2020). Seu bulbo, conhecido como cabeça, é composto por vários segmentos chamados dentes. É considerado uma das plantas mais pesquisadas na medicina, devido às suas propriedades antifúngicas, antivirais, antiprotozoárias, antioxidantes, antitumorais e aos efeitos benéficos sobre os sistemas cardiovascular e imunológico (SHRIVASTAVA; GANESCH, 2010; KYUNG, 2012). A alicina (Figura 2), principal composto ativo do alho, atua como estimulante imunológico possui ação antisséptica e melhora a digestão em organismos como os peixes (BORLINGHAUS, 2014).

Além da alicina, o alho contém garlicina e outros compostos ativos que conferem atividade bacteriostática contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas (LEITE *et al.*, 2012). Rico em vitaminas (A, B2, B6, C), aminoácidos, minerais e enzimas, o alho tem sido utilizado no tratamento de infecções causadas por bactérias e fungos (BALBACH; BOARIM, 1992). Aproximadamente 30 compostos terapêuticos já foram identificados, entre eles a aliina, um aminoácido convertido pela enzima alinase em alicina (SOUZA; SOARES, 2013).

Figura 2 – Estrutura química da alicina do alho (*Allium sativum*)



Fonte: Borlinghaus *et al.* (2014).

Estudos recentes, como o de Kumari *et al.* (2022), demonstraram que os polissacarídeos do alho possuem funcionalidades tecnológicas e biológicas importantes, como estabilidade térmica, retenção de umidade, formação de espumas e ligação a gorduras, além de ação antioxidante, imunomoduladora, antimicrobiana e antidiabética. Tais propriedades tornam esses compostos promissores para uso nas indústrias alimentícia, farmacêutica, nutracêutica e cosmética.

Complementando essa abordagem, Sohrabi, Shahmohammadi e Mohammadi (2024) identificaram um peptídeo rico em cisteína no alho, com significativa atividade antioxidante e antimicrobiana. Os resultados revelam o potencial terapêutico desse peptídeo no combate ao estresse oxidativo e às infecções bacterianas, com possíveis aplicações em alimentos como aditivo natural.

Balogun *et al.* (2023) investigaram os efeitos antimicrobianos de extratos aquosos de cebola e alho aplicados em carne bovina e de frango refrigeradas. Ambos os extratos demonstraram eficácia semelhante ao antioxidante sintético BHT, inibindo o crescimento de diversos microorganismos, exceto Enterobacteriaceae, e reforçando sua viabilidade como conservantes naturais.

De forma geral, aditivos alimentares naturais obtidos de produtos e subprodutos vegetais vêm sendo cada vez mais utilizados para controlar reações de oxidação proteica e lipídica, que comprometem a qualidade de carnes e produtos cárneos. Esses compostos também contribuem para evitar a descoloração, inibir o crescimento microbiano e prolongar a vida útil dos alimentos (HADIDI *et al.*, 2022).

Tanto conservantes naturais quanto artificiais têm como principais funções a ação antimicrobiana e antioxidante. A atividade antimicrobiana reduz ou interrompe o desenvolvimento de microorganismos indesejáveis, enquanto a ação antioxidante minimiza a oxidação de gorduras, evitando sabores e odores desagradáveis como o ranço (SILVA; MARQUES; CONSTANT, 2021). Os conservantes naturais pertencem à classe 1, que inclui ingredientes como sal, açúcar, vinagre, especiarias, mel e óleos.

De acordo com Kumari *et al.* (2019), os conservantes naturais, obtidos de fontes vegetais, animais ou minerais, não apresentam os efeitos adversos associados aos sintéticos, sendo considerados benéficos à saúde (KUMARI *et al.*, 2019; OLATUNDE; BENJAKUL, 2018). O crescente interesse por esses compostos está relacionado à preocupação com os riscos dos conservantes artificiais, incentivando o desenvolvimento de alternativas mais seguras.

A eficácia dos conservantes naturais está diretamente relacionada aos compostos

ativos presentes nas fontes utilizadas, os quais desempenham papel fundamental na conservação e na segurança dos alimentos (SHARIF *et al.*, 2017). Além dos extratos vegetais, destacam-se o uso de óleos essenciais, quitosana (de origem animal) e produtos derivados da atividade microbiana. Combinados a outros métodos de conservação, esses agentes naturais contribuem significativamente para prolongar a vida útil dos alimentos (BAPTISTA; HORITA; SANT'ANA, 2020).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Elaborar e analisar a estabilidade de *fishburguers*, armazenados em condições de congelamento (-22°C), a partir da CMS de tilápia do nilo (*oreochromis niloticus*) e caracterizar físico-quimicamente o extrato aquoso de alho (*allium sativum*), adicionado como aditivo natural, bem como os *fishburguers* após a adição do extrato em diferentes concentrações.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar a atividade antimicrobiana do extrato de alho bruto (*Allium sativum*) por difusão em ágar sobre as cepas comerciais de bactérias patogênicas Gram negativas (*Salmonella typhimurium* e *Escherichia coli*) e Gram positivas (*Staphylococcus aureus* e *Listeria monocytogenes*);
- Analisar as características físicas estruturais (Microscopia Eletrônica de Varredura) e químicas (Espectroscopia de Infravermelho de Transformada por Fourier e Cromatografia Líquida de Alta Eficiência) do extrato aquoso de alho;
- Avaliar a qualidade microbiológica da CMS de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) a ser utilizada como matéria prima na produção dos *fishburguers*;
- Avaliar a estabilidade (análise do pH e TBARS) dos fishburgers, adicionados de extrato aquoso de alho em diferentes concentrações, armazenados por 120 dias em temperatura de congelamento (-22 °C) relacionando com a ação antioxidante do BHT;
- Investigar se as diferentes concentrações de extratos aquosos de alho influenciam nas características físicas de estrutura (MEV), de capacidade de retenção de água (CRA) e de perda de água por cocção (PPC) dos *fishburguers*;
- Estabelecer o perfil de ácidos graxos do controle negativo do *fishburger*.

4 METODOLOGIA

4.1 Elaboração do extrato de alho

Para a obtenção do extrato de alho (*Allium sativum*) foi seguida a metodologia de Moura (2002) com modificações, onde foram utilizados 500 gramas de dentes de alho, previamente descascados e lavados com água destilada para garantir a remoção de impurezas. Posteriormente, foi preparada uma mistura contendo 250 mL de água destilada, utilizada como solvente, e os 500 gramas de alho, em uma proporção de 1:2 (v/m), respectivamente. Essa mistura foi submetida a trituração em um liquidificador por aproximadamente cinco minutos, até alcançar uma consistência homogênea. Em seguida, o conteúdo resultante foi filtrado uma única vez, utilizando papel de filtro de porosidade nº1 (125 mm), para separar o material sólido do líquido.

Ao término desse processo, foi obtido um extrato líquido bruto de alho que foi diluído em água destilada, em seguida, em soluções de extrato de alho para uso nos diferentes tratamentos nas seguintes concentrações: 1%; 3% e 9%, sendo devidamente armazenados sob condições de congelamento, em temperaturas variando entre -14°C e -25°C, até que seja iniciado o preparo do produto proposto.

4.1.1 Avaliação da atividade antimicrobiana *in vitro* do extrato de alho

O enquadramento de produtos que não são explicitamente caracterizados nas categorias gerais e específicas constantes na legislação vigente (BRASIL, 2022), como é o caso da carne mecanicamente separada de tilápia, é realizado por similaridade quanto à natureza do alimento e/ou ao processamento de fabricação. Dessa forma, a CMS de tilápia é considerada como pertencente a categorias mais gerais de produtos de pescado processados, por não haver uma categoria específica formalmente definida para esse produto na legislação brasileira.

No presente estudo, a atividade antimicrobiana das amostras foi avaliada frente a cepas comerciais de bactérias patogênicas Gram-negativas, *Salmonella typhimurium* (IAL 1132) e *Escherichia coli* (ATCC 11775), bem como Gram-positiva, *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) e *Listeria monocytogenes* (ATCC 19115), utilizando uma adaptação da técnica de difusão em ágar, conforme descrito por BrCAST/EUCAST² (2021). A análise de *Listeria*

² Brazilian Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing/European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing.

monocytogenes foi incluída de forma complementar, por se tratar de uma cepa de interesse em produtos cárneos e de pescado, embora não seja uma exigência específica da legislação vigente.

As cepas bacterianas foram inicialmente cultivadas em ágar Triptona de Soja (TSA) e incubadas em temperatura de $37 \pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas. Após esse período, colônias características foram transferidas para tubos de ensaio contendo 5 mL de caldo Peptona Caseína Soja (TSB), sendo novamente incubadas sob as mesmas condições para a obtenção de uma suspensão bacteriana padronizada em 10^8 UFC/mL. Antes da aplicação, as diluições seriadas foram solubilizadas em água destilada estéril.

O ensaio de difusão em ágar foi realizado utilizando o método de semeadura em superfície com auxílio de *swab* estéreis, contendo as suspensões bacterianas ajustadas para 10^8 UFC/mL. O meio utilizado foi ágar Mueller-Hinton.

Primeiramente, houve a preparação de pequenos poços de aproximadamente 6 mm de diâmetro e 4 mm de profundidade perfurados no ágar Mueller-Hinton. Logo após isso, foi adicionada em cada poço, 50 μL da amostra de extrato de alho bruto. Para controles positivos foram utilizados os antibióticos amicacina e gentamicina. Para finalizar o procedimento, as placas foram incubadas em estufa a $37 \pm 2^\circ\text{C}$ por 48 horas, seguindo as orientações do BrCAST/EUCAST (2021).

O experimento foi realizado em duplicata. Após o período de incubação, os halos de inibição formados ao redor dos poços foram medidos e a atividade antimicrobiana foi quantificada como a média dos diâmetros registrados.

4.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do extrato de alho na concentração de 9%

Para a análise de MEV, a amostra de extrato de alho na concentração de 9% foi fixada em forma de folha em *stubs* utilizando fita adesiva condutora. Em seguida, as amostras foram submetidas a um revestimento de prata em uma metalizadora Quorum Q150T ES para garantir a condução elétrica adequada. As imagens de MEV foram obtidas utilizando um microscópio eletrônico QUANTA 450 FEG - FEI, operando com uma voltagem de aceleração de 5 kV, permitindo a visualização detalhada das estruturas das amostras.

4.1.3 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (IV) por transformada de Fourier do extrato de alho líquido

Um espectrofotômetro, modelo IRXross, Shimadzu, foi usado para analisar a amostra de extrato de alho líquido de 50 µL. Essa foi colocada diretamente sobre o cristal ATR com o auxílio de uma pipeta. Anteriormente a isso, o cristal ATR foi limpo cuidadosamente com solvente (acetona) adequado e um pano sem fiapos antes e depois do uso. A amostra líquida foi analisada utilizando ATR na faixa de 4000 - 560 cm⁻¹.

Os espectros foram processados pelo software do equipamento, LabSolutions IR, que cria um espectro que mostra a intensidade da radiação em função do número de onda (cm⁻¹). Esse espectro contém picos que indicam os comprimentos de onda absorvidos, fornecendo informações sobre os grupos funcionais presentes na amostra.

4.1.4 Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) do extrato de alho bruto

As análises cromatográficas foram realizadas em um sistema de cromatografia líquida acoplado a um detector de arranjo de diodos (HPLC-DAD, Shimadzu 20A) usando uma coluna C18 (250 mm x 4,6 mm, partículas de 5,0 µm). A temperatura da coluna foi mantida em 40 °C.

A fase móvel consistiu em água (A) e acetonitrila (B), com eluição em gradiente e fluxo de 1 mL/min, conforme o seguinte programa:

- De 0 a 10 minutos: 40% de acetonitrila (B);
- De 10 a 12 minutos: aumento gradual de 40% para 90% de acetonitrila (B);
- De 12 a 25 minutos: redução gradual de 90% para 40% de acetonitrila (B);
- De 25 a 30 minutos: 40% de acetonitrila (B).
- O volume de injeção foi de 20 µL.

4.2 Obtenção dos peixes e elaboração da carne mecanicamente separada

Os exemplares de *O. niloticus* foram obtidos em feiras-livres, situadas no município de Fortaleza, estado do Ceará, cujos animais para a realização desta pesquisa foram registrados no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do

Conhecimento Tradicional Associado, na plataforma SISGEN³ com o código de cadastro ADA3181.

A figura 3 demonstra em forma de fluxograma o processo de obtenção dos peixes até a elaboração da CMS. Durante a aquisição dos peixes foi realizada a biometria, compreendendo pesagem (g) e comprimento total (cm), de cada indivíduo. Do procedimento, foram considerados um total de 40 exemplares de tilápias, com médias de peso e comprimento total de 849 kg e 33 cm, respectivamente. Após essa etapa, os peixes amostrados foram armazenados em caixas de poliestireno (isopor) contendo gelo em cubo, previamente tratado com filtragem, desinfecção e cloração, para o consumo humano, numa proporção 2:1 (gelo/pescado). A seguir, os peixes foram transportados ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), na unidade localizada no município de Pentecoste, Ceará, para obtenção da CMS. Os peixes foram mantidos conservados em gelo (0°C) com caixa vedada, sem haver reposição e/ou remoção do gelo durante todo percurso.

Para obtenção da CMS de tilápia, os peixes transportados foram imediatamente lavados no laboratório de processamento daquela unidade, para remoção de sujeiras e do muco presente na superfície do pescado, para em seguida serem realizados os procedimentos de retirada de escamas e evisceração em mesas de aço inox devidamente assepiadas antes da operação. Na etapa de filetagem das tilápias, o processo basicamente, consistiu em um corte realizado, com o auxílio de uma faca apropriada, atrás da cabeça ou na base das nadadeiras peitorais, atingindo a espinha dorsal, e a mesma ferramenta perfuro cortante é passada ao longo dessa espinha em direção à cauda, separando a carne da espinha central.

A CMS foi produzida com o uso de uma máquina desossadora modelo HT 250, como separador mecânico de carne. Esse equipamento funcionou em etapas descritas a seguir:

1. As carcaças foram inseridas na máquina;
2. A máquina aplicou uma pressão, empurrando os materiais através de uma peneira fina ou tambor perfurado;
3. A carne foi raspada e direcionada para o processo de extrusão pelos furos da máquina;
4. Os ossos, cartilagens e pele, que não passaram pela peneira, foram descartados.

A CMS foi pesada em balança digital, em porções de aproximadamente 1 kg, armazenadas e vedadas em embalagem adequadas para acondicionamento em freezer. Em

³ Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado.

seguida, os pacotes com CMS foram transferidos, em caixas de isopor contendo gelo, para o Laboratório de Carnes e Pescados, no departamento de Engenharia de Alimentos – Universidade Federal do Ceará, para elaboração de *fishburguers* adicionados de extrato de alho em diferentes concentrações e diferentes análises de caracterização do produto final.



Fonte: elaborada pela autora (2025).

4.3 Análise microbiológica da CMS de tilápia do Nilo

As análises microbiológicas da matéria-prima (CMS), realizadas com caráter indicativo, foram conduzidas no momento inicial, antes de sua utilização na elaboração das formulações dos *fishburguers*. O enquadramento da CMS de tilápia seguiu a categoria 7.6 – produtos obtidos de pescado por processo tecnológico não especificado, da Instrução Normativa nº 161, de 1º de julho de 2022, que trata dos padrões microbiológicos para alimentos. Dessa forma, foram realizadas as análises exigidas para essa categoria: contagem de *Staphylococcus* coagulase positiva, verificação da presença de *Salmonella spp.* e contagem de *Escherichia coli* (ANVISA, 2022). Além dessas análises, também foi realizada a contagem total de microorganismos mesófilos por meio de plaqueamento.

4.3.1 Contagem de microorganismos aeróbios mesófilos

Foram preparadas diluições seriadas da amostra da matéria-prima. Alíquotas dessas diluições da amostra foram inoculadas em meio de cultura *Plate Count Agar* (PCA), em duplicata, e as placas foram incubadas a 35°C por 48 horas. Em seguida, foi realizada a Contagem Padrão em Placa (CPP) das bactérias mesófilas, considerando preferencialmente as placas que apresentaram entre 25 e 250 Unidades Formadoras de Colônia (UFC). A média das UFC contadas nas duplicatas foi multiplicada pelo inverso do fator de diluição, e os resultados foram expressos em UFC/g⁴ (DOWNES; ITO, 2001).

4.3.2 Contagem de *Escherichia coli*

Para a contagem de *E. coli*, foi utilizada a técnica dos tubos múltiplos, em série de cinco tubos, conforme metodologia descrita por Feng *et al.* (2002), por ser um método estatístico que permite maior precisão na estimativa do número de microorganismos. No teste presuntivo, foram realizadas diluições seriadas da amostra de gelo em solução salina 0,85% (10⁻¹ a 10⁻⁵), com posterior inoculação de 1 mL de cada diluição em cinco tubos contendo Caldo Lauryl Triptose com tubo de Durham invertido, incubados a 37 °C por 24 horas, para detecção de coliformes termotolerantes.

Na sequência, os tubos presuntivamente positivos (com produção de gás) foram submetidos à prova confirmatória para *E. coli*, sendo transferidos para tubos contendo Caldo *E. coli* e incubados a 44–45 °C por 24 a 48 horas. A presença de *E. coli* foi confirmada pela produção de gás nos tubos de Durham após a incubação seletiva em caldo *E. coli*, o que indica a capacidade termotolerante e a fermentação de lactose característica dessa espécie. O cálculo do Número Mais Provável (NMP) foi realizado com base na Tabela de Garthright (2001), considerando apenas os tubos positivos na etapa confirmatória.

4.3.3 Contagem de *Staphylococcus coagulase positiva*

A contagem de *Staphylococcus* foi realizada conforme a metodologia da ISO (1999). Inicialmente, a amostra foi homogeneizada em solução de peptona salina, e diluições

⁴ Unidades Formadoras de Colônia por grama.

seriadas decimais foram preparadas conforme necessário. Em seguida, alíquotas das diluições são inoculadas em placas de Ágar Baird-Parker, que contém telurito de potássio e gema de ovo para seletividade e diferenciação. As alíquotas são espalhadas uniformemente na superfície do ágar com o auxílio de uma alça de Drigalski. As placas foram então incubadas a 35°C por 24 a 48 horas.

Após a incubação, as colônias características de *Staphylococcus aureus* foram observadas. Elas apresentam coloração negra ou cinza-escura com um halo claro ao redor, devido à ação da lipase na gema de ovo. Colônias típicas são selecionadas para confirmação. Essa foi realizada através do teste de coagulase, onde a colônia suspeita foi inoculada em plasma de coelho e incubada a 37°C por até 24 horas, sendo a formação de um coágulo indicativa de resultado positivo. Após a confirmação, as colônias positivas são contadas e o número obtido é multiplicado pelo inverso do fator de diluição. Os resultados são expressos em UFC/g.

4.3.4 Presença de *Salmonella* spp.

A presença de *Salmonella* spp. foi realizada conforme a metodologia da ISO (2017). Para iniciar, a amostra foi homogeneizada em Caldo Lactosado, na proporção de 1:10 (1 parte de amostra para 10 partes de diluente estéril). Logo após isso, a mistura foi incubada a 37°C por 18 a 24 horas.

Após o pré-enriquecimento, foi realizado o enriquecimento seletivo para aumentar a população de *Salmonella* em relação à microbiota competitiva. Para isso, alíquotas do pré-enriquecimento são transferidas para Caldo Rappaport-Vassiliadis, incubado a 41,5°C por 24 horas, e para Caldo Tetracionato, incubado a 37°C por 24 horas.

Em seguida, as culturas foram estriadas em meios de isolamento seletivo para a diferenciação de *Salmonella*, posteriormente as alíquotas são plaqueadas em Ágar Hektoen Enteric, onde as colônias de *Salmonella* aparecem verdes com centro negro. As placas são incubadas a 37°C por 24 a 48 horas. As colônias típicas foram submetidas a testes bioquímicos para confirmação. Nos testes, foram utilizados meios como Triple Sugar Iron, para verificar a fermentação de açúcares e a produção de H₂S, Lysine Iron Agar, para observar a descarboxilação de lisina e a produção de H₂S. A confirmação definitiva foi realizada por meio de testes sorológicos, utilizando soros poli-O e H para identificar os antígenos específicos de *Salmonella*. Os resultados foram expressos como presença ou ausência de *Salmonella* spp. na quantidade de amostra de 25g.

4.4 Elaboração dos *fishburguers* e suas formulações

Para preparação do hambúrguer de CMS de tilápia (Figura 4), todos os ingredientes foram misturados à CMS e colocados em uma bandeja para auxiliar na homogeneização. A massa foi dividida em porções iguais, para que diferentes concentrações de extrato de alho (1%, 3% e 9%) fossem adicionadas, e então moldadas em hambúrgueres de aproximadamente 40g. Para as análises de estabilidade dos fishburgers utilizamos os seguintes tratamentos: Controle = controle negativo sem antioxidante e extrato de alho; F1 = controle positivo adicionado apenas com o antioxidante sintético; F2 = adição do extrato de alho na concentração de 3%; F3 = adição do extrato de alho na concentração de 9%, conforme tabela 1. Na sequência, os produtos foram armazenados e estocados em temperaturas de congelamento (-22°C).

Quanto as análises de caracterização de físico química dos fishburgers adicionados de extrato de alho utilizamos as seguintes formulações: F1 = controle positivo (com antioxidante sintético); F2 = controle negativo (sem antioxidante sintético); F3 = adição do extrato de alho na concentração de 1%; F4 = adição de extrato de alho na concentração de 3%; e F5 = adição de extrato de alho na concentração de 9%, conforme a tabela 2. Não foi realizado a avaliação da estabilidade para os tratamentos descritos para caracterização físico química dos produtos.

A formulação F1, contendo BHT, foi utilizada como controle positivo por se tratar de um antioxidante sintético amplamente empregado na indústria alimentícia, com eficácia comprovada na prevenção da oxidação lipídica, sendo autorizado para uso conforme a Instrução Normativa nº 211/2023 da ANVISA. Sua presença neste estudo permitiu comparação direta com o desempenho antioxidante e tecnológico do extrato de alho, proposto como alternativa natural.

Figura 4 – *Fishburger* elaborado da CMS obtida de tilápia do Nilo



Fonte: Arquivo da autora (2025).

Tabela 1 – Formulações dos *fishburguers* de tilápia do Nilo para avaliação da estabilidade

Ingredientes	Controle negativo	F1 (BHT)	F2 (3%)	F3 (9%)
CMS (g)	400,5	400	385,5	355,5
Água (mL)	24	24	24	24
Fécula (g)	18	18	18	18
Soja (PTS) (g)	14	14	14	14
Óleo (mL)	7	7	7	7
Sal moído (g)	5	5	5	5
Cebola em pó (g)	6	6	6	6
Alho em pó (g)	6	6	6	6
Salsinha em pó (g)	13,5	13,5	13,5	13,5
Pimenta em pó (g)	6	6	6	6
Antioxidante (BHT) (g)	-	0,5	-	-
Extrato de alho (mL)	-	-	15	45

Fonte: Adaptado de CASTRO (2019).

F1 = controle positivo (com adição do BHT); F2 = controle negativo (sem aditivo); F3 = com adição do extrato de alho na concentração de 1%; F4 = com adição do extrato de alho na concentração de 3%; F5 = com adição do extrato de alho na concentração de 9%.

Tabela 2 – Formulações dos *fishburguers* de tilápia do Nilo para caracterização físico-química

Ingredientes	F1	F2	F3	F4	F5
CMS (g)	400	400,5	395,5	385,5	355,5
Água (mL)	24	24	24	24	24
Fécula (g)	18	18	18	18	18
Soja (PTS) (g)	14	14	14	14	14
Óleo (mL)	7	7	7	7	7
Sal moído	5g	5g	5g	5g	5g
Cebola em pó (g)	6	6	6	6	6
Alho em pó (g)	6	6	6	6	6
Salsinha em pó (g)	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5
Pimenta em pó (g)	6	6	6	6	6
Antioxidante (BHT) (g)	0,5	-	-	-	-
Extrato de alho (mL)	-	-	5	15	45

Fonte: Adaptado de CASTRO (2019).

F1 = controle positivo (com adição do BHT); F2 = controle negativo (sem aditivo); F3 = com adição do extrato de alho na concentração de 1%; F4 = com adição do extrato de alho na concentração de 3%; F5 = com adição do extrato de alho na concentração de 9%.

Após a produção, os hambúrgueres foram embalados em bandejas de polietileno, devidamente cobertos por PVC (plástico) e divididos em lotes identificados. Posteriormente, foram armazenados sob condição de congelamento em temperatura em torno de -22°C para seguintes análises.

4.5 Análises da estabilidade dos fishburgers com extrato de alho durante a estocagem

As amostras de *fishburgers* (controle, F1, F2 e F3) e CMS foram analisadas no tempo inicial (T 0 dia) quanto a composição química e valor calórico, enquanto que durante a estocagem (-22°C) foram avaliadas mensalmente, através dos parâmetros físico-químicos, (TBARS – substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico) e pH, como descrito a seguir:

4.5.1 Composição centesimal e valor calórico dos fishburgers de carne mecanicamente separada (CMS) de tilápia do Nilo

As determinações de umidade (%), proteína (%), lipídios (%) e cinzas (%) da CMS foram realizadas conforme AOAC (2011) e o percentual de carboidrato foi estimado pela diferença entre 100% e a soma das porcentagens dos demais componentes. As análises foram realizadas em triplicata. O valor calórico foi obtido a partir dos teores de carboidratos, proteínas e lipídios, que foram encontrados na análise de composição centesimal, considerando a equação abaixo (Figura 5) de acordo com os fatores de Atwater (1910),

carboidratos fornecem 4 kcal/g, proteínas fornecem 4 kcal/g e gorduras fornecem 9 kcal/g.

Figura 5 – Equação para obter o valor calórico

$$\text{Valor calórico} = \left(\frac{g}{100g} \cdot \text{Proteínas} \times 4 \right) + \left(\frac{g}{100g} \cdot \text{Carboidratos} \times 4 \right) + \left(\frac{g}{100g} \cdot \text{Lipídios} \times 9 \right)$$

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.5.2 pH

A mensuração do pH foi realizada através do potenciômetro digital, sendo utilizada 10 g de amostra em 100 mL de água destilada, conforme Pregnotato e Pregnotato (1985).

4.5.3 Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)

O teor de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico, indicador de peroxidação lipídica, foi avaliado pelo método de extração em ácido tricloroacético (TCA), conforme Vyncke (1970), utilizando o tetrametoxipropano para a obtenção da equação de reta que foi utilizada no cálculo dos valores de TBARS. Para a extração dos aldeídos foi preparado um extrato ácido aquoso homogeneizado com 5 g de amostra e 25 mL de TCA diluído em propil galato (PG) e um agente quelante, o EDTA sódico, com a finalidade de evitar a formação errônea de malonaldeído ou outras substâncias reativas ao TBA durante a mistura e filtração da amostra. Esse extrato filtrado reage com a solução de TBA sob aquecimento (95°C) por 40 min, em banho maria, para a formação do complexo colorido, o qual foi medido em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 532 nm. Os resultados foram expressos em valor de TBARS, definido como miligramas (mg) de malonaldeído por quilograma (kg) de amostra.

4.6 Caracterização físico-química dos fishburgers adicionados de extrato de alho

4.6.1 Capacidade de retenção de água (CRA) dos fishburguers

O procedimento foi realizado com base em Barbt (1997), com algumas modificações. Primeiramente, prepararam-se três soluções: a primeira, de 0,3 M, foi feita triturando 62,5g do hambúrguer de peixe com 100 mL de água destilada e 1,75g de cloreto de sódio, e depois resfriada até atingir 4°C. A segunda solução, de 0,6M, foi preparada da mesma

forma, mas com a adição de 1,75g de cloreto de sódio. A terceira solução 0,0M, foi considerada controle, e realizada sem adicionar cloreto de sódio.

A solução de 0,3M foi centrifugada em duas velocidades diferentes usando o equipamento Jouan (modelo B4i): a primeira a 1164,12g por 10 minutos e a segunda a 4656,47g por 5 minutos. Para cada velocidade, foram utilizadas amostras de 5g em quadruplicata. A CRA foi calculada pela diferença entre a massa inicial e final (após o descarte do sobrenadante), dividida pela massa inicial e multiplicada por 100. Esse mesmo procedimento foi repetido para as soluções de 0,6 M e para a solução padrão.

4.6.2 Perda de água por cocção dos fishburguers

Para avaliar a perda de água por cocção, os hambúrgueres de tilápia foram cortados em pedaços retangulares e colocados em sacos plásticos etiquetados. Em seguida, as amostras foram cozidas em banho-maria a 85°C por 25 minutos. Após o cozimento, os hambúrgueres foram retirados das embalagens, resfriados em água corrente e a superfície foi delicadamente seca com papel toalha (Liu *et al.*, 2004). A análise foi realizada em triplicata, sendo a perda de água por cocção determinada pela diferença entre o peso inicial e o peso final, conforme a Figura 6.

Figura 6 – Equação para obter a porcentagem de líquido perdido

$$\% \text{ de líquido perdido} = \frac{((\text{massa do hambúrguer fresco} - \text{massa do hambúrguer cozido}) \times 100)}{\text{massa do hambúrguer fresca}}$$

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.6.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos fishburguers

Para a análise de Microscopia Eletrônica de Varredura, as amostras de *fishburguers* nas cinco formulações, F1 = controle positivo (com adição do BHT); F2 = controle negativo (sem aditivo); F3 = com adição do extrato de alho na concentração de 1%; F4 = com adição do extrato de alho na concentração de 3%; F5 = com adição do extrato de alho na concentração de 9% foram colocadas em solução contendo glutaraldeído a 2,5% (v/v), formaldeído a 4,0% e tampão fosfato a 0,2 M (pH = 7,2) por 24 horas a 4°C. Em seguida, as amostras foram lavadas três vezes com o mesmo tampão por 10 minutos, depois foram desidratadas em acetona 30%, 60%, 90% ou 100% por 20 minutos cada uma, e seguiram para a desidratação em estufa com circulação forçada de ar a 25°C por 4 horas. Por fim, as

amostras foram fixadas em *stubs* utilizando fita adesiva condutora, foram submetidas a um revestimento de prata em uma metalizadora Quorum Q150T ES para garantir a condução elétrica adequada. As imagens de MEV foram obtidas utilizando um microscópio eletrônico QUANTA 450 FEG - FEI, operando com uma voltagem de aceleração de 5 kV, permitindo a visualização detalhada das estruturas das amostras.

4.6.4 Perfil de ácidos graxos do *fishburger*

A extração e quantificação do teor de gorduras totais contidas no *fishburger* foram obtidas pelo método gravimétrico Bligh e Dyer, de acordo com o Manual de Análises de Carnes, Pescado e Produtos Derivados, baseado na 15ª Edição de Métodos Oficiais de Análises da AOAC (1990).

A extração de gordura da amostra de *fishburger*, do controle negativo, foi realizada inicialmente, pesando 50 g de *fishburger*, que foram transferidos para um processador. Em seguida, adicionou-se 100 mL de metanol à amostra, seguido de 50 mL de clorofórmio, para homogeneizar a mistura por 2 minutos. Após o tempo de homogeneização, foram adicionados mais 50 mL de clorofórmio e a mistura foi homogeneizada por 30 segundos. Depois, foram adicionados mais 50 mL de água à mistura, que foi homogeneizada por mais 30 segundos. A mistura foi então filtrada utilizando um filtro de Buchner, com papel filtro Whatman nº 4. A solução filtrada foi transferida para uma proveta de 500 mL e deixada em repouso por 12 horas. Após o descanso, o volume da camada inferior é obtido, e a camada superior metanólica foi removida cuidadosamente utilizando uma pipeta. Em seguida, três cápsulas de secagem foram identificadas e pesadas. Utilizando uma pipeta volumétrica, foi transferida uma alíquota de 10 mL do extrato de clorofórmio para cada uma das cápsulas. As cápsulas foram então colocadas em uma estufa a 102°C por 1 hora para secagem. Após esse período, as cápsulas foram retiradas da estufa, e o peso das cápsulas com a gordura foi registrado.

Após extração e quantificação, os extratos com ácidos graxos passaram por um processo de transesterificação, conforme método adaptado da literatura (VALASI; KOKOTOU; PAPPAS, 2021), para serem convertidos em ésteres metílicos de ácidos graxos (FAMEs, do inglês *Fatty Acid Methyl Esters*).

O procedimento foi realizado da seguinte forma: em um pequeno frasco (vial), foram adicionados 100 µL do extrato, 200 µL de solução de KOH/MeOH (2 mol/L) e 1 mL de hexano PA 95%. A mistura foi agitada em um vórtex por 1 minuto, e após agitação,

formaram-se duas fases. A fase polar (inferior): contendo o glicerol derivado dos triglicerídeos do extrato e a fase não polar (superior): contendo os FAMES dissolvidos no hexano.

Da fase superior (não polar), 200 μ L foram coletados e transferidos para outro vial, onde foram adicionados mais 775 μ L de hexano. E por fim, a solução foi filtrada usando um filtro não polar de 0,20 μ m para remover impurezas, ficando pronta para análise. Esse método garante a separação eficiente dos FAMES para posterior identificação e quantificação.

As análises cromatográficas foram realizadas utilizando um sistema de cromatografia gasosa acoplado a um detector de massas (GC-MS, Shimadzu GCMS-QP2050) e uma coluna capilar Supelco SLBTM-5MS (30 m x 0,25 mm, espessura do filme de 0,25 μ m), com fase estacionária composta por 5% difenil e 95% dimetil polissiloxano. O gás hélio foi usado como fase móvel, com vazão de 1 mL/min e pressão constante.

O modo de injeção foi *split* (1:50), com volume de injeção de 1 μ L. O programa de temperatura do forno foi o seguinte:

- De 110 °C a 205 °C, com aquecimento a 4,0 °C/min;
- De 205 °C a 210 °C, com aquecimento a 1,0 °C/min;
- De 210 °C a 212 °C, com aquecimento a 0,5 °C/min;
- De 212 °C a 250 °C, com aquecimento a 4,0 °C/min, seguido de manutenção a 250 °C por 15 minutos.

As temperaturas do injetor, do detector e da linha de transferência foram mantidas a 240°C. A análise qualitativa foi realizada comparando os tempos de retenção e os fragmentos iônicos de cada analito com os espectros de massa das bibliotecas do sistema GC-MS.

4.7 Análise estatística

Para a análise estatística dos resultados referentes à capacidade de retenção de água, perda por cocção e atividade antimicrobiana do extrato de alho bruto por difusão em ágar foi utilizado o programa estatístico prisma 5.0. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey, com nível de significância de 5% ($p < 0,05$), considerando-se $n=3$. Quanto à avaliação de estabilidade dos *fishburgers* foi utilizado o programa *Excel* com análise de perfil (MANOVA) durante o tempo de estocagem, com nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação da atividade antimicrobiana do extrato de alho bruto por difusão em ágar

A Tabela 3 apresenta os resultados do ensaio de difusão em ágar para avaliação da atividade antimicrobiana do extrato de alho frente às bactérias *Staphylococcus aureus*, *Salmonella Typhimurium* e *Escherichia coli*, em diferentes concentrações (100%, 50% e 25%), comparados com antibióticos de referência. Os halos de inibição foram expressos em milímetros (mm), e as médias foram submetidas à análise estatística (ANOVA, teste de Tukey, $p < 0,05$).

Tabela 3 – Diferenças significativas da avaliação antimicrobiana do extrato de alho bruto

Diferenças significativas das amostras dos extratos de alho e dos antibióticos	Microorganismos		
	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella typhimurium</i>
100%	43,90 ± 0,15 ^a	25,90 ± 0,15 ^a	23,27 ± 0,50 ^a
50%	40,13 ± 0,44 ^b	23,63 ± 0,34 ^b	19,73 ± 0,21 ^b
25%	35,07 ± 0,69 ^c	19,67 ± 0,08 ^c	17,20 ± 0,20 ^c
Amicacina	21,5 ± 0,00 ^d	-	-
Gentamicina	-	13,5 ± 0,00 ^d	-

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Letras diferentes entre colunas indicam diferenças significantes ao nível de 5% (ANOVA; teste de Tukey, $P < 0,05$).

Para *Staphylococcus aureus*, o extrato de alho a 100% apresentou halo médio de 43,90 ± 0,15 mm, diferindo estatisticamente das concentrações de 50% (40,13 ± 0,44 mm) e 25% (35,07 ± 0,69 mm). Todas as concentrações testadas do extrato foram superiores à amicacina (21,5 ± 0,00 mm), que apresentou o menor halo e diferiu significativamente dos demais tratamentos. No caso da *Salmonella Typhimurium*, observou-se halo de 23,27 ± 0,50 mm para o extrato de alho a 100%, reduzindo para 19,73 ± 0,21 mm e 17,20 ± 0,20 mm nas concentrações de 50% e 25%, respectivamente. Todas as médias diferiram estatisticamente entre si, demonstrando efeito dose-dependente do extrato frente a esse microorganismo. Para *Escherichia coli*, o extrato de alho a 100% apresentou halo de 25,90 ± 0,15 mm, enquanto as concentrações de 50% e 25% resultaram em halos de 23,63 ± 0,34 mm e 19,67 ± 0,08 mm, respectivamente. Todas diferiram estatisticamente entre si e também em relação à gentamicina (13,5 ± 0,00 mm), que apresentou a menor média, indicando menor eficácia em comparação ao extrato de alho em todas as concentrações testadas.

Os resultados obtidos evidenciam que o extrato de alho apresentou atividade antimicrobiana significativa contra *Staphylococcus aureus*, *Salmonella Typhimurium* e *Escherichia coli*, com halos de inibição que variaram de forma estatisticamente distinta entre as concentrações de 100%, 50% e 25%. Em todos os casos, observou-se um padrão dose-dependente, onde o aumento da concentração do extrato resultou em halos significativamente maiores ($p < 0,05$). No caso de *Staphylococcus aureus*, a concentração de 100% do extrato apresentou halo médio de $43,90 \pm 0,15$ mm, estatisticamente superior às concentrações de 50% ($40,13 \pm 0,44$ mm) e 25% ($35,07 \pm 0,69$ mm). Além disso, todas as concentrações de EA apresentaram halos significativamente maiores que o antibiótico amicacina (21,5 mm), evidenciando que o extrato foi mais eficaz frente a esse microrganismo Gram-positivo.

Para *Salmonella Typhimurium*, os halos médios também diferiram estatisticamente entre as concentrações, sendo $23,27 \pm 0,50$ mm (EA 100%), $19,73 \pm 0,21$ mm (EA 50%) e $17,20 \pm 0,20$ mm (EA 25%). Esse comportamento confirma que a ação antimicrobiana do alho é dependente da concentração utilizada, e que mesmo em menores doses o extrato mantém atividade significativa. Em relação à *Escherichia coli*, observou-se efeito semelhante: o EA 100% apresentou halo de $25,90 \pm 0,15$ mm, diferindo estatisticamente das concentrações de 50% ($23,63 \pm 0,34$ mm) e 25% ($19,67 \pm 0,08$ mm). Importante destacar que todas as concentrações do extrato foram estatisticamente superiores ao antibiótico gentamicina (13,5 mm), indicando maior eficácia do alho frente a esse microrganismo Gram-negativo.

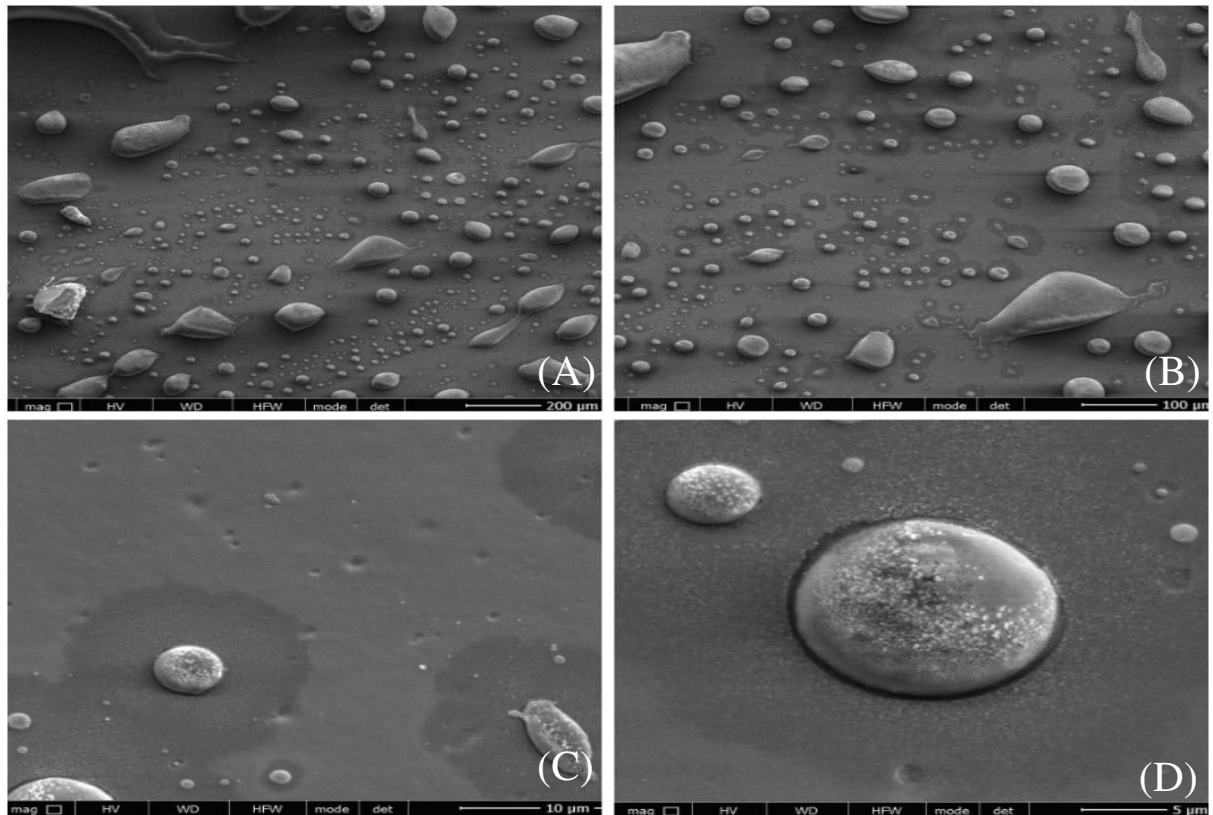
De forma geral, os resultados demonstram que o extrato de alho apresentou halos de inibição significativamente superiores aos antibióticos de referência em duas das três bactérias analisadas (*S. aureus* e *E. coli*), e efeito consistente contra *S. Typhimurium*. Esses achados corroboram os resultados apresentados anteriormente (seção 5.1.2), reforçando o potencial do alho como agente antimicrobiano natural.

Além disso, a presença de diferenças estatísticas bem definidas entre todas as concentrações indica que não houve efeito de saturação dentro do intervalo testado, mas sim uma resposta linear de aumento da atividade antimicrobiana conforme maior concentração do extrato. Esse comportamento sugere que os compostos bioativos presentes, como a alicina, mantêm-se ativos e proporcionam efeito antimicrobiano direto proporcional à concentração aplicada.

5.2 Microscopia eletrônica de varredura do extrato de alho 9%

As imagens da microscopia de determinadas áreas, são mostradas na Figura 7, selecionadas com a finalidade de observar a textura e topografia estrutural do extrato de alho na concentração de 9% em resolução de 200, 100, 10 e 5 μm .

Figura 7 – Microscopia eletrônica de varredura do extrato de alho a 9%



Fonte: elaborada pela autora (2025).

Imagem (A) = MEV do extrato de alho a 9% com resolução de 200 μm ; Imagem (B) = MEV do extrato de alho a 9% com resolução de 100 μm ; Imagem (C) = MEV do extrato de alho a 9% com resolução de 10 μm ; Imagem (D) = MEV do extrato de alho a 9% com resolução de 5 μm .

As imagens mostram partículas com variados tamanhos e formatos, sugerindo a presença de componentes diversificados no extrato. Podem-se observar partículas esféricas, pequenas e arredondadas, partículas alongadas e de formatos irregulares. Em relação à textura das partículas, algumas partículas exibem uma superfície áspera. Em contrapartida, há partículas com superfície lisa, o que pode indicar um revestimento formado por componentes solúveis, tendo em vista que a extração é aquosa e o extrato está diluído numa concentração a 9%. A distribuição e aglomeração do extrato pode afetar o padrão de agregação das partículas, dependendo da presença de substâncias hidrofóbicas e hidrofílicas.

Youssef *et al.* (2021), ao desenvolverem e caracterizarem novos

bionanocompósitos à base de extrato de alho para a conservação de filés frescos de tilápia do Nilo, observaram que a adição do extrato resultou em uma superfície mais heterogênea, com a formação de estruturas em forma de flor. Esses resultados são similares aos desta pesquisa, na qual, por meio da MEV, também foram identificadas partículas com formatos irregulares e superfícies de textura áspera. Os autores também notaram que a adição do extrato de alho melhorou a permeabilidade dos filmes bionanocompósitos, dependendo das características hidrofílicas ou hidrofóbicas do material e dos componentes presentes no extrato. As propriedades de barreira à água do extrato nos filmes bionanocompósitos foram alcançadas por meio do estabelecimento de ligações de hidrogênio e interações hidrofóbicas entre a matriz do bionanocompósito e os constituintes do extrato de alho. Por fim, concluíram que os bionanocompósitos contendo extrato de alho tinham boas propriedades térmicas, mecânicas e morfológicas (YOUSSEF *et al.*, 2021).

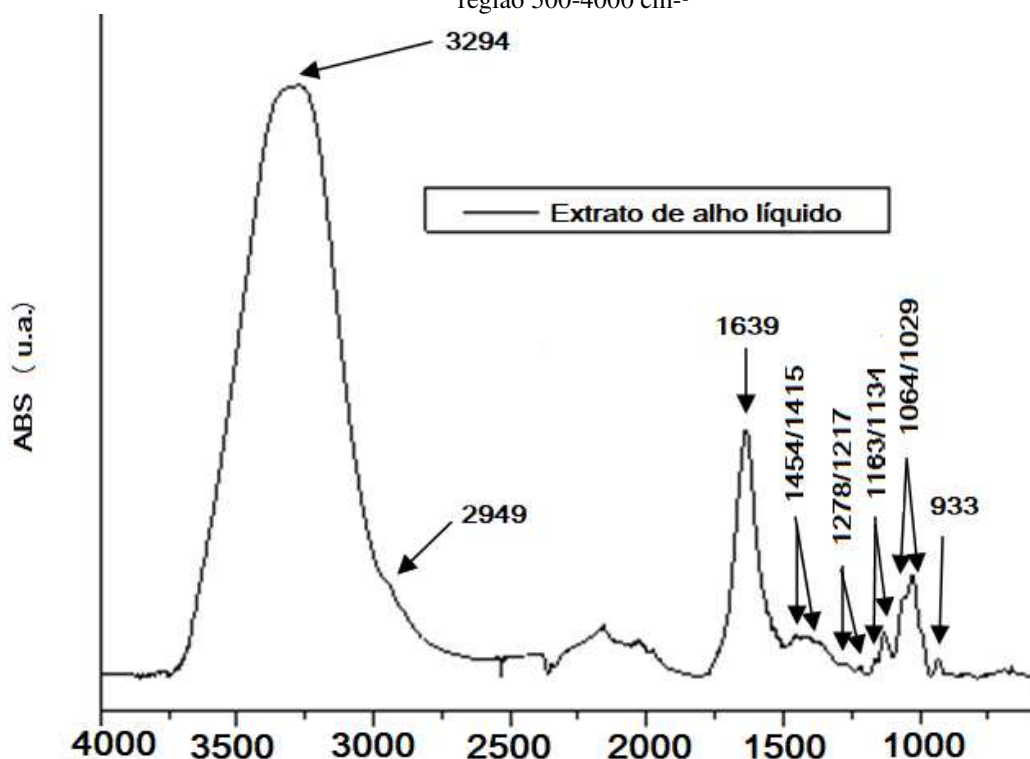
O alho é rico em proteínas, que são importantes componentes bioativos. Estudos mostram que 100 g de alho fresco contém 6,1 g de proteína, enquanto o broto de cebola possui apenas 1,6 g (RATHNASAMY *et al.*, 2014). As proteínas do alho apresentam propriedades antioxidantes e oferecem benefícios à saúde, como a redução da pressão arterial e o auxílio no controle de peso (LI *et al.*, 2015). Pesquisas indicam que os métodos de processamento afetam a estrutura das proteínas, o que influencia suas propriedades funcionais (CAI *et al.*, 2020). Por exemplo, o descongelamento por micro-ondas pode reduzir significativamente os grupos amino livres das proteínas miofibrilares, levando à agregação e oxidação proteica, além de alterar a solubilidade, hidrofobicidade de superfície e tamanho das partículas proteicas. Diferentes métodos de secagem também influenciam a morfologia das proteínas (LI *et al.*, 2019).

Ao investigarem diferenças estruturais, funcionais e proteômicas de proteínas provenientes de alho branco e alho Laba, Li *et al.* (2022) encontraram microestruturas, sob ampliação de 500 vezes, irregulares e semelhantes a folhas, o que pode ser atribuído ao método de liofilização. Em ampliações maiores, os autores obtiveram estruturas lisas e firmes. As mudanças na morfologia podem estar fortemente relacionadas às alterações de propriedades funcionais, como solubilidade da proteína ou atividade emulsificante, uma vez que a chance de interação com a água ou outras moléculas foi aumentada para o alho branco. Em resumo, foi concluído que o alho branco continha tipos muito mais abundantes de proteínas, bem como atividades bioquímicas proteicas mais diversas, o que pode contribuir para o sabor e as propriedades funcionais. Em suma, os pesquisadores confirmam que o alho branco pode ser usado como aditivo proteico na indústria alimentícia (LI *et al.*, 2022).

5.3 Espectroscopia de Infravermelho (IV) por Transformada de Fourier do alho bruto líquido

A Figura 8 apresenta o espectro de IV do extrato de alho bruto em forma líquida, filtrado em água, na região de 500-4000 cm^{-1} . As principais bandas de absorção observadas são: 3294, 2949, 1639, 1415-1454, 1217-1278, 1134-1163, 1029-1064 e 933 cm^{-1} .

Figura 8 – Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier do extrato de alho, filtrado em água, na região 500-4000 cm^{-1}



Fonte: elaborada pela autora (2025).

O espectro IV do extrato de alho evidenciou a presença de diversos grupos funcionais, predominantemente associados a carboidratos, flavonoides e ácidos orgânicos. A banda larga em 3294 cm^{-1} indica a presença de grupos hidroxila (-OH), característica típica de compostos polares, como carboidratos e flavonoides hidroxilados. A detecção de flavonoides é ainda corroborada pela banda em 2949 cm^{-1} , correspondente a grupos C-H₂ aromáticos. Resultados esses consistentes com os resultados de Dalonso *et al.* (2009), que também identificaram carboidratos no alho ao utilizarem uma metodologia alternativa de extração e caracterização. Os autores comprovaram que a extração de carboidratos utilizada no estudo se mostrou eficiente, resultando em um extrato composto por 51% de inulina, 8,28% de frutose e 1% de sacarose. Essa abordagem demonstrou sua capacidade de isolar diferentes sacarídeos,

destacando a inulina como o principal polissacarídeo presente. Os resultados do espectro de infravermelho e da hidrólise alcalina do extrato isolado mostraram comportamentos semelhantes ao padrão analítico de inulina (DALONSO *et al.* 2009)

A banda em 1639 cm^{-1} indica a presença de duplas ligações C=C associadas aos anéis aromáticos dos flavonoides, em concordância com os achados de Dalonso *et al.* (2009), Pelegrini (2022) e Barreto *et al.* (2021). No estudo de Barreto *et al.* (2021), a caracterização química do extrato de casca de alho revelou compostos com propriedades antioxidantes, incluindo enxofre e nitrogênio, que podem atuar como inibidores de corrosão para o aço carbono (GARAI *et al.*, 2012). O grupo -OH foi identificado no espectro do extrato de casca de alho, possivelmente devido à presença residual de etanol não totalmente eliminado durante o processo de extração. Segundo Takeda (1999), o grupo -OH facilita a adsorção de substâncias em superfícies metálicas, pois tende a formar ligações de hidrogênio com radicais livres contendo carbono, nitrogênio e enxofre.

Pelegrini (2022) investigou o efeito antioxidante da casca de alho no biodiesel de canola e observou, por meio da espectroscopia de infravermelho, vibrações de alongamento O-H, associadas à álcoois e ácidos carboxílicos, ou a vibrações de alongamento C-H, que também podem estar relacionadas a vibrações N-H de aminas (HAMEED; AHMAD, 2009). O estudo também identificou vibrações de alongamento C-H atribuídas à ligação dupla C=O de ésteres presentes na estrutura dos flavonoides. Além disso, o pico em 1601 cm^{-1} foi relacionado ao alongamento da dupla ligação C=C nos anéis aromáticos, característica dos flavonoides, compostos antioxidantes presentes na casca de alho (PELEGRINI, 2022).

As bandas nas regiões de $1217\text{-}1278\text{ cm}^{-1}$, $1134\text{-}1163\text{ cm}^{-1}$ e $1029\text{-}1064\text{ cm}^{-1}$ evidenciam de forma marcante a presença de carboidratos, indicando a existência de estruturas complexas como polissacarídeos. Esses achados são consistentes com a presença de inulina, conforme relatado por Dalonso *et al.* (2009). Ademais, a banda em 933 cm^{-1} sugere a presença de ligações glicosídicas ou resíduos de açúcar anidro, típicos de polissacarídeos com estrutura cíclica. Esse comportamento é semelhante ao observado por Silva *et al.* (2010), que analisaram a atividade anticoagulante em modelos de edema de pata e pleurisia induzida por carragenina. Nesse estudo, foram identificadas bandas de absorção fortes e amplas, características comuns a todos os polissacarídeos, reforçando a interpretação dos dados obtidos no espectro do extrato de alho.

Esses resultados demonstram que o extrato de alho contém uma combinação de compostos bioativos, como flavonoides e polissacarídeos, corroborando seu potencial antioxidante e suas propriedades funcionais relatadas na literatura científica.

5.4 Cromatografia líquida de alta eficiência do extrato de alho bruto

A figura 9 apresenta um cromatograma da análise de CLAE do extrato de alho, onde são observados picos distintos correspondentes a diferentes compostos presentes na amostra. O eixo X representa o tempo de retenção (em minutos), enquanto o eixo Y indica a intensidade do sinal (em mAU). Os picos principais indicam a presença de compostos majoritários da amostra, sendo que os tempos de retenção e as intensidades fornecem informações sobre a sua concentração relativa. O pico mais intenso, próximo a 7 minutos, sugere a presença de um constituinte predominante no extrato.

Figura 9 – Cronograma representativo da amostra de extrato de alho



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

No cromatograma ilustrado acima, podem ser observados diversos picos, sendo os mais significativos localizados em torno de 2 e 7 minutos. As intensidades, que se aproximam de 3000 mAU, indicam uma amostra possivelmente mais concentrada ou com compostos altamente detectáveis, o que é característico de uma matriz complexa, como o extrato de alho, que contém uma variedade de componentes bioativos.

Em um estudo sobre o efeito do tratamento de marinação nos compostos bioativos do alho, utilizando um método inovador de HPLC-DAD-MS para análise de aliina e curcuminoides, Ricciutelli *et al.* (2020) identificaram a presença de aliina, um composto característico do alho, apresentando um pico bem definido em um tempo de retenção específico de aproximadamente 3 minutos. Resultado esses comparáveis aos do presente estudo, onde os principais compostos também apresentam tempos de retenção relativamente curtos, com eluição antes dos 10 minutos. Essa semelhança pode indicar a utilização de uma fase estacionária semelhante e um método de eluição otimizado para rápida separação. Além disso, a nitidez dos picos cromatográficos sugere uma eficiente separação dos compostos presentes na amostra, com mínima sobreposição, garantindo maior precisão na identificação

dos analitos (RICCIUTELLI *et al.*, 2020).

Os autores também afirmam que os perfis cromatográficos das amostras não marinadas revelaram a presença de picos elevados, que provavelmente correspondem a produtos de degradação da alicina, composto bioativo que forma quando o alho é cortado ou esmagados. É importante salientar que o objetivo principal do estudo foi investigar o efeito da marinação nos compostos sulfurados orgânicos (OSCs) presentes no alho. A formação desses compostos está diretamente relacionada à atividade da alinaase, uma enzima que catalisa a conversão da aliina em alicina, responsável pelo característico odor pungente do alho (MIRON *et al.*, 2004). Portanto, o foco do trabalho não era quantificar o teor de aliina em alho não triturado ou em pó, mas sim medir os níveis de aliina durante processos como mastigação ou trituração, que são condições propícias para a ativação da alinaase (RICCIUTELLI *et al.*, 2020).

Chen *et al.* (2018) realizaram um estudo abrangente sobre a atividade antimicrobiana de amplo espectro, a composição química e o mecanismo de ação dos extratos de alho (*Allium sativum*). Para identificar os compostos ativos presentes nos extratos, os pesquisadores utilizaram cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC-UV). Os extratos foram obtidos a partir de água deionizada em diferentes pH (3,0, 7,0 e 9,0), além de metanol e etanol. Os resultados demonstraram que os extratos de metanol e etanol apresentaram efeitos inibitórios limitados, enquanto os extratos aquosos, em condições ácidas, mostraram um impacto significativo. Por outro lado, os extratos aquosos sob condições alcalinas, praticamente não tiveram efeito. Os autores observaram que um pico identificado aproximadamente aos 16 minutos na análise de CLAE correspondia aos resultados dos testes de zona de inibição. No entanto, após a coleta e concentração desse pico, verificou-se que ele possuía atividade inibitória, mas não se tratava de alicina. Assim, os pesquisadores afirmam que o alho contém uma variedade de compostos antibacterianos e que as quantidades e tipos de compostos extraídos variam conforme os métodos de extração utilizados (CHEN *et al.*, 2018).

Oyaluna *et al.* (2024) realizaram uma análise química do extrato de alho (*Allium sativum*) rico em aliina e avaliaram sua segurança em *Drosophila melanogaster*. Utilizando a análise CLAE, eles mediram o conteúdo de vitaminas no extrato e encontraram vitamina C (168,62 mg/L), vitamina B6 (11,78 mg/L), vitamina E (1570 µg/kg) e vitamina A (50 µg/kg). Esses resultados indicam que o extrato de alho é uma boa fonte de vitaminas essenciais, que são importantes para o funcionamento normal do sistema nervoso, o equilíbrio dos fluidos corporais e a manutenção da saúde de modo geral. Além disso, o extrato é rico em

fitoquímicos, como os glicosídeos cardíacos, que são usados no tratamento de insuficiência cardíaca e arritmias (ARNONSON, 2016; ABBASPOR *et al.*, 2014). O extrato também contém fenóis e flavonoides, que têm ação antioxidante e ajudam a prevenir doenças cardiovasculares. A alta concentração de vitamina C e B6 sugere que o extrato pode ser importante para o reparo de tecidos, o apoio à função cerebral e o fortalecimento do sistema imunológico (SULAIMAN; BALACHANDRAN, 2012; MCCORMICK, 2006).

5.5 Análise microbiológica

5.5.1 Avaliação microbiológica da CMS de tilápia do Nilo

Para verificar a presença e/ou ausência de microorganismos previstos pela ANVISA na CMS *in natura* foi necessário seguir uma abordagem sistemática, com base nas regulamentações e critérios microbiológicos estabelecidos. Na Tabela 4, pode-se observar a contagem total das bactérias mesófilas, de *Escherichia coli*, *Staphylococcus coagulase* positiva, e da ausência do microorganismo *Salmonella* spp. na matéria prima.

Tabela 4 – Contagem total de microorganismos na carne mecanicamente separada de tilápia

Microorganismos	Contagem total
Bactérias mesófilas	$1,1 \times 10^4$ UFC/g
<i>Escherichia coli</i>	< 10 UFC/g
<i>S. aureus</i>	< 10 UFC/g
<i>Salmonella</i> spp.	Ausente

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

A contagem de bactérias mesófilas foi de $1,1 \times 10^4$ UFC/g, indicando a quantidade de microorganismos que se desenvolvem em temperaturas moderadas (20-45°C). Esse valor é utilizado como indicador da carga microbiana geral do alimento, e o resultado obtido encontra-se dentro da faixa aceitável para peixes frescos, conforme parâmetros gerais de qualidade microbiológica, sugerindo boas condições de manipulação e armazenamento, especialmente em comparação com amostras mal refrigeradas ou manuseadas inadequadamente, que tendem a apresentar valores mais elevados (PENS *et al.* 2020).

Resultados semelhantes foram encontrados por Santos *et al.* (2023), que avaliaram a qualidade microbiológica de postas de peixe tambaqui (*Colossoma macropomum*) comercializadas em supermercados, cuja contagem total de bactérias aeróbias mesófilas variou de $2,29 \times 10^4$ a $6,39 \times 10^4$ UFC/g. De acordo com Barbosa (2020), a ausência de padrões nacionais para comparação dos dados de contagem de microorganismos aeróbios

mesófilos dificulta a avaliação precisa da qualidade microbiológica. No entanto, estudos sugerem que valores acima de 10^6 UFC/g de microorganismos mesófilos na musculatura podem ser indicativos de perda de frescor. Chang *et al.* (2021) também adotaram esse limite como referência para o controle de mesófilos em pescados. Com base nessas informações, os resultados obtidos da CMS de tilápia neste estudo foram satisfatórios em relação à presença e à quantidade de aeróbios mesófilos.

Os resultados obtidos para coliformes a 45°C, com valores inferiores a 10 UFC/g, indicam uma qualidade microbiológica satisfatória da CMS de tilápia do Nilo. Essa baixa contagem é um indicador importante de boas práticas de manejo, processamento e armazenamento, pois os coliformes a 45°C (também chamados de coliformes termotolerantes) são utilizados como parâmetro para detectar possíveis contaminações fecais ou inadequações no processo higiênico-sanitário (SOUZA *et al.* 2015).

No estudo realizado por Silva, Marques e Constant (2021), os autores avaliaram a qualidade microbiológica de filés de tilápia congelados comercializados no Brasil e encontraram valores de coliformes termotolerantes entre <1 e 20 UFC/g, indicando que as amostras estavam dentro dos padrões recomendados. Esses resultados são similares aos encontrados neste trabalho, reforçando que produtos congelados, quando devidamente armazenados e manipulados, apresentam risco microbiológico reduzido.

De acordo com a FAO (1997), ao elaborarem um documento sobre a garantia da qualidade dos produtos da pesca, a contaminação dos pescados pode ocorrer durante a captura, manipulação, processamento, armazenamento ou transporte, muitas vezes devido à má higiene pessoal ou ambiental. O *Staphylococcus aureus* é uma bactéria patogênica que pode estar presente em pescados e produtos derivados, representando um risco significativo para a saúde humana, principalmente quando ocorre contaminação e as condições de armazenamento e manipulação são inapropriadas (FAO, 1997). Na presente pesquisa, o resultado para esse microorganismo foi inferior a < 10 UFC/g.

Segarra e Cárdenas (2021) realizaram uma revisão sistemática para investigar os riscos à saúde humana relacionados ao consumo de alimentos contaminados por *Staphylococcus aureus*, com ênfase em cepas resistentes, como o *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina, na América Latina. A pesquisa identificou os principais tipos de alimentos com maior perigo biológico de contaminação, destacando produtos cárneos e lácteos como os mais frequentemente associados à presença do patógeno. Os autores reforçam a existência de uma relação consistente entre a ocorrência de *S. aureus* em alimentos e a possibilidade de intoxicações alimentares. A *Salmonella* é o principal agente responsável por

doenças de origem alimentar, sendo que, em casos leves, pode provocar gastroenterites sem complicações e sem necessidade de tratamento. No entanto, em indivíduos com o sistema imunológico comprometido, essas infecções podem ser graves e apresentar risco à vida (SILVA *et al.*, 2017).

No presente estudo, não houve presença de *Samonella* spp. na CMS do pescado, em contrapartida a esse resultado, Siqueira *et al.* (2023) ao analisarem a qualidade sanitária de tilápias (*Oreochromis niloticus*) abatidas em uma unidade móvel de processamento de pescado detectaram a presença de *Salmonella* spp. em todas as amostras, os que as tornaram impróprias para o consumo humano, já que o limite aceitável para consumo, estabelecido por legislação de âmbito nacional, é de ausência em 25 grama.

O abate artesanal de tilápias envolve diversos pontos críticos que exigem uma vigilância minuciosa para garantir que a qualidade sanitária do processo não seja comprometida. A presença de *Salmonella* spp. em alimentos constitui uma séria preocupação, uma vez que este microorganismo é responsável por doenças transmissíveis por alimentos (DTA) de alto risco. Além disso, tem sido frequentemente associado a surtos de DTA relacionados ao consumo de pescado nos últimos anos (WITHAM *et al.*, 2021).

De modo geral, esses resultados positivos podem ser atribuídos, em parte, à adoção de medidas higiênico-sanitárias adequadas durante o processamento, alinhadas às Boas Práticas de Fabricação (BPF), conforme preconiza a RDC nº 275/2002 da ANVISA. O uso de gelo tratado, o transporte refrigerado, a higienização dos utensílios e o controle da cadeia de frio foram fatores determinantes para garantir a segurança microbiológica da CMS de tilápia utilizada neste estudo.

5.6 Composição centesimal e valor calórico dos *fishburguers* de carne mecanicamente separada (CMS) de tilápia do Nilo

A composição centesimal da CMS e dos *fishburguers* está representada na tabela 5. O valor de umidade da formulação do grupo controle negativo foi de 70,1%, enquanto que os valores de umidade das formulações adicionadas de extrato de alho (F2 e F3) foram 66,3% e 66,7%, respectivamente. O grupo controle positivo apresentou teores de 69,3%. Enquanto que o teor de umidade da CMS foi de 76,5%.

Tabela 5 – Composição centesimal da carne mecanicamente separada (CMS) de tilápia do Nilo e dos *fishburguers* de CMS

	Umidade (%)	Proteínas (%)	Lipídios (%)	Cinzas (%)	Carboidratos (%)	Valor calórico (Kcal/g)
Controle	70,1±0,13 ^a	16,30±0,12 ^a	5,08±0,00 ^a	3,60±0,01 ^a	4,30±0,01 ^a	128,14 ^a
F1 (BHT)	69,3±0,41 ^a	16,05±0,13 ^a	5,15±0,02 ^a	3,66±0,01 ^a	5,78±0,01 ^b	133,70 ^{ab}
F2 (3%)	66,3±0,12 ^b	15,86±0,11 ^a	7,87±0,06 ^b	3,65±0,00 ^a	6,33±0,01 ^b	159,59 ^b
F3 (9%)	66,7±0,29 ^b	15,77±0,15 ^a	8,02±0,00 ^b	3,62±0,09 ^a	5,85±0,01 ^b	158,67 ^b
CMS	76,5±0,09 ^{ab}	14,94±0,12 ^b	7,53±0,01 ^b	0,81±0,00 ^b	0,14±0,01 ^{ab}	128,16 ^a

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Controle – controle negativo sem antioxidante sintético ou extrato de alho; F1 (1%) – controle positivo com adição de antioxidante sintético BHT; F2 (3%) – formulação adicionado de extrato aquoso de alho em concentração de 3%; F3 (9%) - formulação adicionado de extrato aquoso de alho em concentração de 9%.

Resultados com letras iguais entre as formulações indicam ausência de diferença estatisticamente significativa, enquanto letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos.

Os teores de umidade encontrados nos produtos elaborados estão próximos aos descritos por outros autores. Sary *et al.* (2009) relataram teores de umidade de 69,68% e 75,68% em *fishburguers* formulados com CMS não lavada e lavada de tilápia-do-nilo, respectivamente. Simões *et al.* (1998) encontraram teores de umidade de 69,50% em *fishburger* formulado com CMS lavada de pescada-olhuda inteira.

Os valores de proteína bruta entre as formulações dos *fishburguers*, grupo controle negativo e adição de extrato de alho nas diferentes concentrações (3 ou 9%), foram de 16,30%, 15,86% e 15,77%, respectivamente. Enquanto que o teor de proteína no grupo controle positivo foi de 16,05%. Na CMS o valor de proteína bruta foi de 14,94%. A composição corporal de pescado pode variar de acordo com a época do ano, sexo, idade e estado nutricional (OGAWA; MAIA, 1999; CONTRERAS-GUZMÁN, 2002). Apesar dessa diferença entre os tratamentos, os valores de proteína bruta observados neste estudo estão próximos aos encontrados por Kirschnik (2007), que relatou teores entre 10,6% e 16% em CMS de carcaças de tilápia e Sary *et al.* (2009) que relataram valores de proteína bruta em *fishburger* de CMS de tilápia-do-Nilo lavada e não lavada na ordem de 11,04% e 10,93%, respectivamente.

Os valores de lipídios encontrados nos produtos elaborados no presente estudo (controle negativo: 5,08%; F1 (controle positivo): 5,15%; F2 (3%): 7,87%; F3 (9%): 8,02%) estão próximos dos teores relatados para CMS de tilápia reportado na literatura (FOGAÇA *et al.*, 2015). Na CMS o percentual de lipídios foi de 7,53%. Os teores de lipídios em produtos de pescado podem variar de acordo com os ingredientes e matéria-prima utilizados, podendo sua variação, na CMS de peixes, ser atribuída a fatores como idade, tipos de tecido, órgãos,

sexo, maturidade sexual, regime alimentar ou estação sazonal (YEANNES; ALMANDOS, 2003). Marengoni *et al.* (2009) relataram valores de lipídeos em *fishburgers* de tilápia que variam de 1,73% a 10,28%, enquanto Gryscek, Oetterer e Gallo (2003) encontraram teores de 4,82% e 2,13% para *fishburgers* elaborados com CMS não lavada e lavada de tilápia, respectivamente.

Observamos que os ingredientes adicionados nas formulações dos *fishburgers* aumentaram, significativamente, os teores de cinzas comparado ao valor obtido na CMS de tilápia, justificando as alterações mencionadas conforme a tabela 1 no presente estudo. Os teores de cinzas obtidos nos produtos formulados foram próximos aos relatados por outros autores, variando de 3,60 a 3,62%. Teores de 2,15% a 2,80% de cinzas foram encontrados por Gryscek, Oetterer e Gallo (2003) em *fishburger* de tilápia-do-nilo inteira. Kirschnik (2007) encontrou teores de 2,50% e 2,75% em *nuggets* formulados de CMS lavada de tilápia inteira e de carcaça, respectivamente. No entanto, o teor de cinzas da CMS de tilápia nesse estudo foi de 0,85%. O valor obtido está próximo ao relatado por Sary *et al.* (2009) e outros estudos relacionados (BERNARDINO FILHO; XAVIER, 2019).

Com relação a quantificação calórica, os ingredientes adicionados nas formulações indicadas, na tabela 1, alterou de forma significativa os teores de carboidratos em relação ao controle negativo (controle negativo: 4,30%; F1 (controle positivo): 5,78%; F2 (3%): 6,33% e F3 (9%): 5,85%), sendo possível observar também um acréscimo do valor calórico nos *fishburgers* nas formulações com extrato de alho e antioxidante sintético comparado ao grupo controle negativo. A CMS de tilápia apresentou valor calórico semelhante ao grupo controle (tabela 3).

5.7 Avaliação da estabilidade de fishburgers adicionados de extrato de alho armazenados sob congelamento por 120 dias

5.7.1 pH

O aumento do pH e a oxidação lipídica são processos importantes que afetam o frescor e qualidade do pescado. Os valores de pH em *fishburgers* formulados a partir da CMS de tilápia são mostrados na tabela 6.

Tabela 6 – Acompanhamento do valor do pH em *fishburguers* de carne mecanicamente separada de tilápia do Nilo adicionados do extrato de alho durante a estocagem por 120 dias sob congelamento (-22°C)

	Tempo 0 dia	Tempo 30 dias	Tempo 60 dias	Tempo 90 dias	Tempo 120 dias
Controle	6,10±0,02 ^a	6,17±0,02 ^a	6,13±0,02 ^a	6,27±0,02 ^{ab}	6,29±0,02 ^{ab}
F1 (1%)	6,03±0,01	6,04±0,01	6,10±0,01	6,13±0,01	6,02±0,02
F2 (3%)	6,09±0,01	6,08±0,01	6,12±0,01	6,19±0,01 ^a	6,06±0,06
F3 (9%)	6,03±0,01	6,02±0,01	6,07±0,00	6,13±0,01 ^a	6,00±0,05

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Controle – controle negativo sem antioxidante sintético ou extrato de alho; F1 (1%) – controle positivo com adição de antioxidante sintético BHT; F2 (3%) – formulação adicionado de extrato aquoso de alho em concentração de 3%; F3 (9%) - formulação adicionado de extrato aquoso de alho em concentração de 9%.

Resultados com letras iguais entre as formulações indicam ausência de diferença estatisticamente significativa, enquanto letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos.

A partir do tempo zero até os 120 dias de armazenamento, em condições de congelamento, observamos que os valores de pH se mantiveram abaixo do limite estabelecido pela legislação brasileira, cujo valor deve ser abaixo de 7,0 (BRASIL, 2017). Os grupos com adição de extrato de alho em diferentes concentrações (3 ou 9%) e o tratamento com antioxidante sintético não apresentaram variações significativas nos valores de pH, nos primeiros 60 dias de estocagem, apresentando pequena variação apenas após 90 dias de estocagem nos grupos F2 (3%) e F3 (9%). Kirschnick e Macedo-Viegas (2009) observaram que CMS de tilápia, armazenadas sob congelamento, apresentou aumento significativo do pH durante os primeiros 60 dias de estocagem, permanecendo, então, os valores constantes até o final da estocagem. Em relação ao grupo controle negativo no presente estudo, observamos alterações nos valores de pH durante o tempo de armazenamento (T0 a T120 dias) comparado aos grupos de tratamento com o antioxidante sintético e o extrato de alho nas concentrações de 3% ou 9%, porém não houve diferença significativa durante o tempo de estocagem nos primeiros 60 dias de armazenamento do tratamento. O valor de pH aumentou de forma significativa no grupo controle apenas a partir dos 90 dias.

Valores mais baixos de pH são alcançados após o estágio de rigor mortis, como resultado da quebra anaeróbia de glicogênio em ácido lático, e contribuem para retardar a deterioração do pescado, e posterior aumento para valores acima de 7, devido à produção de compostos voláteis, o que indica decomposição avançada (DUARTE *et al.*, 2020). No pescado refrigerado, o pH aumenta durante a estocagem devido aos processos de deterioração autolítica, bacteriana e oxidativa de proteínas, gorduras, vitaminas e minerais, que geram moléculas alcalinas e alteram as características e o valor nutricional (KURODA *et al.*, 2020). Muzzolon *et al.* (2018) avaliaram a estabilidade de *fishburguers* de CMS de tilápia durante 15

semanas sob congelamento sendo que, durante o armazenamento, observaram que os valores de pH variaram entre 6,51 a 6,74, ficando abaixo do limite máximo aceitável.

5.7.2 Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)

A oxidação lipídica, ou seja, a deterioração dos lipídios é um dos principais fatores que limitam a vida útil do pescado (KIRSCHNICK; MACEDO-VIEGAS, 2009; DUARTE *et al.*, 2020). A tabela 7 demonstra os valores de malondialdeído (MDA) determinados durante a estocagem dos *fishburgers* (-22°C) adicionados de extrato de alho. As TBARS representam moléculas voláteis que são formadas no segundo estágio da oxidação lipídica. O principal aldeído que reage com o ácido tiobarbitúrico para produzir cor é o malonaldeído, no entanto outros aldeídos insaturados também são reativos (KURODA *et al.*, 2020).

Tabela 7 – Acompanhamento dos valores de TBARS (malondialdeído - MDA) em *fishburgers* de carne mecanicamente separada de tilápia do Nilo adicionados de extrato de alho durante a estocagem por 120 dias sob congelamento (-22°C)

	Tempo 0 dia MDA (mg/kg)	Tempo 30 dias MDA (mg/kg)	Tempo 60 dias MDA (mg/kg)	Tempo 90 dias MDA (mg/kg)	Tempo 120 dias MDA (mg/kg)
Controle	1,32±0,02	1,56±0,05 ^a	1,58±0,04 ^a	1,74±0,02 ^{ab}	1,74±0,01 ^{ab}
F1 (1%)	1,42±0,00	1,37±0,00	1,40±0,03	1,40±0,02	1,65±0,01 ^a
F2 (3%)	1,35±0,01	1,48±0,00	1,55±0,02	1,67±0,02 ^a	1,81±0,00 ^{ab}
F3 (9%)	1,10±0,00	1,52±0,02 ^a	1,57±0,00 ^a	1,57±0,02 ^a	1,76±0,00 ^{ab}

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Controle – controle negativo sem antioxidante sintético ou extrato de alho; F1 (1%) – controle positivo com adição de antioxidante sintético BHT; F2 (3%) – formulação adicionado de extrato aquoso de alho em concentração de 3%; F3 (9%) - formulação adicionado de extrato aquoso de alho em concentração de 9%.

Resultados com letras iguais entre as formulações indicam ausência de diferença estatisticamente significativa, enquanto letras diferentes indicam que houve diferença significativa entre os tratamentos.

No presente estudo foi observado um aumento gradual dos valores de MDA durante o tempo de estocagem em todas as formulações, corroborando com os dados da literatura que reportam que a CMS é mais susceptível a oxidação lipídica devido a maior exposição ao oxigênio durante seu processo de extração mecânica, necessitando do uso de aditivos com efeito antioxidante. O tratamento controle negativo apresentou um aumento significativo de MDA após 30 dias de estocagem, cujos valores apresentaram um acréscimo ao longo da estocagem. Os grupos adicionados de extrato de alho mostraram, após 90 dias de estocagem, menores níveis de MDA ($p<0,05$) comparado ao grupo controle negativo,

ressaltando que o extrato de alho apresenta uma atividade antioxidante tão eficiente quanto o grupo adicionado de BHT (controle positivo). Após 120 dias, os valores de TBARS atingiram níveis entre 1,65 a 1,81 mg/kg em todos os tratamentos. De acordo com a literatura, os valores de TBARS, em pescado ou em seus produtos, é considerado aceitável quando os teores estão abaixo de 3 mg/kg (KIRSCHNICK; MACEDO-VIEGAS, 2009).

5.8 Capacidade de retenção de água dos *fishburguers*

A Tabela 8 apresenta os valores médios da CRA dos *fishburguers* elaborados com diferentes formulações. As amostras foram separadas da seguinte forma: F1 C-, controle negativo, sem adição de qualquer aditivo; F2 C+, controle positivo, com adição do antioxidante sintético BHT; F3 1%, com adição de extrato de alho na concentração de 1%; F4 3%, com adição de 3% de extrato de alho; F5 9%, com adição de 9% de extrato de alho; e CMS, composta exclusivamente por carne mecanicamente separada de tilápia, sem a adição de nenhum ingrediente adicional.

A CRA foi expressa em mililitros de água retida por 100 g de amostra, permitindo avaliar o efeito da adição de extrato de alho, em diferentes concentrações, sobre a retenção de água dos produtos. Todas as determinações foram realizadas em triplicata, assegurando a confiabilidade e a reprodutibilidade dos dados obtidos.

Tabela 8 – Capacidade de retenção de água (CRA) dos *fishburguers*

Tratamentos Tempo 0	μ CRA 100 g de amostra % (mL)	Desvio Padrão	Diferenças significativas 100 g de amostra %
F1 C-	134,7882	1,9474	$\pm 1,9474^a$
F2 C+	134,7879	1,3646	$\pm 1,3646^a$
F3 1%	135,4020	0,8748	$\pm 0,8748^a$
F4 3%	135,8519	1,1786	$\pm 1,1786^a$
F5 9%	133,8023	1,8852	$\pm 1,8852^a$
CMS	87,9806	2,6416	$\pm 2,6416^b$

Fonte: elaborada pela autora (2025).

F1 C - = controle negativo; F2 C + = controle positivo; F3 1% = uso do extrato de alho a 1 %; F4 1% = uso do extrato de alho a 3%, F5 = uso do extrato de alho a 9%; CMS = apenas a CMS sem nenhuma adição.

Abreviações: vol. = volume; sol. = solução; sal. = salina; absor. = absorvida.

Letras iguais entre as formulações indicam que não houve diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$), enquanto letras diferentes indicam diferença significativa ($p < 0,05$).

A análise da CRA das diferentes formulações de *fishburguers* demonstrou que a adição de extrato de alho, em diferentes concentrações, influenciou de forma positiva esse parâmetro. A formulação F4 (3% de extrato de alho) apresentou o maior valor médio de CRA, com $135,85 \pm 1,18\%$, indicando maior eficiência na retenção de água. Em seguida, destacam-se as formulações F3 (1% de extrato de alho) com $135,40 \pm 0,87\%$, seguida de F2 (controle positivo, com BHT) com $134,78 \pm 1,36\%$, F1 (controle negativo) com $134,79 \pm 1,95\%$, e F5 (9% de extrato de alho) com $133,80 \pm 1,88\%$. As pequenas oscilações entre essas formulações não foram estatisticamente significativas ($p > 0,05$).

As formulações F3 e F4, com adição de extrato de alho em concentrações moderadas (1% e 3%, respectivamente), apresentaram desempenho superior em CRA, inclusive superando o valor obtido pela formulação com antioxidante sintético (F2 – BHT). Esse resultado evidencia o potencial do extrato de alho em atuar de forma comparável ou até superior ao BHT na preservação da umidade do produto. Por outro lado, a formulação F5, com 9% de extrato, apresentou o menor valor de CRA entre as amostras tratadas, sugerindo que concentrações mais elevadas do extrato podem comprometer a integridade da matriz proteica, reduzindo sua CRA. A formulação F1 (sem qualquer aditivo) apresentou desempenho semelhante à F2, demonstrando que, apesar da ausência de aditivo alimentar natural, a matriz dos *fishburguers* contribui minimamente para a manutenção de água. Em contrapartida, a formulação CMS, composta apenas por carne mecanicamente separada de tilápia, sem adição de extrato ou antioxidante sintético, apresentou o menor valor de CRA, com $87,68 \pm 2,64\%$. Esse resultado foi estatisticamente inferior aos demais, evidenciando a importância da adição de ingredientes funcionais na melhoria da CRA.

A CRA refere-se à habilidade da carne em manter sua água intrínseca mesmo sob a aplicação de forças externas (HAILESLASSIE *et al.*, 2018). A redução desse parâmetro está principalmente associada à desnaturação das proteínas miofibrilares, por hidrólise e/ou agregação, durante o armazenamento em gelo, o que contribui para a perda da textura muscular (OCAÑO-HIGUERA *et al.*, 2009; CHAN *et al.*, 2022). Em estudo realizado por Jiménez-Ruíz *et al.* (2023), que investigou a melhoria da qualidade e o aumento da vida útil de filés de tilápia do Nilo mediante adição de extrato natural de alho, foram observados valores de CRA de $80,92 \pm 2,81\%$ nos filés tratados com extrato de alho e de $81,84 \pm 0,35\%$ no grupo controle, sem diferenças estatisticamente significativas. Esses resultados corroboram com os desta pesquisa, indicando que todas as adições testadas, incluindo o extrato de alho em diferentes concentrações e o antioxidante sintético, foram igualmente eficazes na preservação da água no *fishburger*.

Em relação à formulação CMS, Queiroga *et al.* (2023) obtiveram resultados semelhantes aos observados no presente estudo ao avaliarem os efeitos dos óleos essenciais de *Allium cepa* e *Allium sativum* na qualidade do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931) embalado sob atmosfera modificada. Os autores relataram perda de conteúdo aquoso apenas na amostra controle, que não continha adição de óleos essenciais nem qualquer outro aditivo, indicando que os compostos adicionados contribuíram positivamente para a manutenção da CRA. Os pesquisadores também ressaltaram que altos valores de CRA estão associados à menor perda de peso durante o armazenamento e ao aumento da estabilidade frente a outros tratamentos. Conforme Lakshmanan, Parkinson e Piggott (2007), a perda de água em produtos de origem animal ocorre principalmente por exsudação durante o resfriamento, pela pressão exercida sobre os tecidos durante o armazenamento e, ainda, pela desnaturação das proteínas estruturais, especialmente durante o processo de cocção. Esses fatores resultam na liberação de água anteriormente retida nos tecidos musculares, comprometendo a textura e o rendimento final do produto. Dessa forma, os dados obtidos sugerem que o uso do extrato de alho, mesmo em concentrações mais baixas, favorece a CRA nos *fishburguers*, impactando de maneira benéfica a textura, a suculência e o rendimento dos *fishburguers*.

A incorporação de antioxidantes como aditivos em produtos cárneos desempenha um papel fundamental no aumento da vida útil, na conservação do sabor e na prevenção da oxidação de seus constituintes, contribuindo para a manutenção de suas características nutricionais (LORENZO *et al.*, 2018a). Por isso, cada vez mais se intensifica a busca por alternativas naturais que possam substituir esses compostos sintéticos, usados amplamente nas indústrias, promovendo alimentos mais saudáveis e seguros para o consumo (ARMENTEROS *et al.*, 2016; LORENZO *et al.*, 2018b; YIM *et al.*, 2019; TRAN *et al.*, 2020).

O alho é uma das opções que possui grande destaque para substituir os aditivos alimentares sintéticos nos alimentos de origem animal, devido à sua rica composição de compostos sulfurados e fenólicos, os quais conferem propriedades antioxidantes e bioativas. Esses compostos têm demonstrado capacidade de interagir com proteínas da matriz muscular, promovendo maior estabilidade estrutural e favorecendo a retenção de água nos produtos, o que é fundamental para a textura, suculência e qualidade tecnológica das carnes. Resultados de estudos apontam que a utilização do alho pode sim ser uma alternativa promissora, evidenciando seu potencial como agente natural e eficaz na preservação e conservação de

alimentos (JIAO *et al.*, 2020; MARTÍNEZ-ZAMORA *et al.*, 2021; GALANAKIS, 2018; SMAOUI *et al.*, 2019).

5.9 Perda por cocção dos *fishburguers*

A Tabela 9 apresenta os valores de perda por cocção (PPC) dos *fishburguers* elaborados com diferentes formulações e adições de extrato de alho. As amostras foram organizadas e submetidas a diferentes tratamentos, como tais: F1 C–, correspondente ao controle negativo, elaborado sem a adição de qualquer aditivo; F2 C+, controle positivo, contendo o antioxidante sintético BHT; F3 1%, com a incorporação de extrato de alho na concentração de 1%; F4 3%, contendo 3% de extrato de alho; F5 9%, com adição de 9% de extrato de alho; e CMS, composta exclusivamente por carne mecanicamente separada de tilápia, sem a inclusão de quaisquer ingredientes adicionais. A PPC foi expressa em termos percentuais permitindo avaliar a capacidade de retenção de umidade dos *fishburguers*.

Tabela 9 – Perda por cocção (PPC) dos *fishburguers*

Tratamentos Tempo 0	μ PPC da amostra %	Desvio Padrão	Diferenças significativas %
F1 C–	2,5148	0,1160	$\pm 0,1160^a$
F2 C+	2,5458	0,1870	$\pm 0,1870^a$
F3 1%	1,9787	0,0906	$\pm 0,0906^a$
F4 3%	1,9163	0,1387	$\pm 0,1387^{ac}$
F5 9%	1,8378	0,1940	$\pm 0,1940^{bd}$
CMS	27,2340	0,4342	$\pm 0,4342^e$

Fonte: elaborada pela autora (2025).

F1 C – = controle negativo; F2C + = controle positivo; F3 1% = uso do extrato de alho a 1 %; F4 1% = uso do extrato de alho a 3%, F5 = uso do extrato de alho a 9%; CMS = apenas a CMS sem nenhuma adição.

Letras iguais entre as formulações indicam que não houve diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$), enquanto letras diferentes indicam diferença significativa ($p < 0,05$).

Os resultados obtidos evidenciam que os tratamentos com adição de extrato de alho apresentaram menores valores de PPC em comparação aos controles (F1 C– e F2 C+), sendo essa redução mais expressiva à medida que se aumentou a concentração do extrato. O tratamento F3, com adição de 1% de extrato de alho, apresentou média de PPC de 1,9787% ($\pm 0,0906$), enquanto os tratamentos F4 (3%) e F5 (9%) apresentaram médias de 1,9163% ($\pm 0,1387$) e 1,8378% ($\pm 0,1940$), respectivamente. Tais valores foram inferiores aos verificados nos controles F1 (2,5148% $\pm 0,1160$) e F2 (2,5458% $\pm 0,1870$), indicando o efeito benéfico do extrato de alho na redução da perda de líquidos durante o aquecimento. Esse resultado

reforça o potencial superior do extrato de alho em comparação ao BHT (F2), um dos antioxidantes sintéticos mais utilizados na indústria. A capacidade do extrato de alho de reduzir significativamente a PPC, mesmo em concentrações moderadas, destaca seu papel funcional além da simples substituição do BHT, demonstrando desempenho tecnológico equivalente ou superior.

Em relação ao tratamento CMS, constituído apenas por carne mecanicamente separada, sem adição de extratos ou ingredientes funcionais, apresentou valor significativamente superior de PPC ($27,2340\% \pm 0,4342$), revelando baixa CRA e, portanto, menor estabilidade térmica do produto.

A análise estatística revelou que os tratamentos F1, F2 e F3 não apresentaram diferenças significativas entre si, demonstrando que a adição de 1% de extrato de alho não foi suficiente para promover uma diferença estatisticamente distinta em relação aos controles. Entretanto, o tratamento F4 (3%) apresentou comportamento intermediário, enquanto F5 (9%) apresentou diferenças significativas em relação aos controles e ao F4, o que confirma o efeito dose-dependente da adição de extrato de alho. O tratamento CMS se destacou, apresentando diferenças estatísticas em relação a todos os demais tratamentos.

Ao investigar a influência dos métodos de processamento e da aplicação de extrato de alho negro nas propriedades de qualidade, atividade antioxidante e composição de ácidos graxos do peito de frango, Barido, Lee e Lee (2022) identificaram que o uso do extrato resultou em melhorias significativas na qualidade da carne, evidenciadas pela redução das perdas por cocção, aumento da CRA e aprimoramento das características visuais do produto. Os autores destacam ainda a relevância da maciez como um atributo essencial para a indústria de alimentos, considerando seu impacto direto na experiência sensorial, associada ao sabor e ao valor nutricional da carne (BARIDO *et al.*, 2020). Além disso, ressaltam que a maciez apresenta forte correlação com outros parâmetros de qualidade, como a perda de água durante a cocção e a CRA.

Lopes *et al.* (2022) investigaram os impactos da incorporação de alho negro nas propriedades de qualidade de produtos cárneos do tipo *jerked beef*, elaborados a partir de carne suína da raça Moura. Os autores verificaram que as formulações com maior concentração de alho negro apresentaram um início tardio no aumento das perdas por cocção, observando-se esse efeito a partir do 15º dia de armazenamento, em comparação às demais formulações. Segundo Pateiro *et al.* (2015), compostos polifenólicos presentes em antioxidantes naturais, quando em altas concentrações, podem interagir com grupos tióis das proteínas, alterando a CRA e afetando características texturais importantes.

Como visto nos estudos citados acima, a presença de compostos antioxidantes e fenólicos no extrato de alho parece ter contribuído para a estabilização das proteínas e para o fortalecimento da matriz proteica, promovendo maior retenção de água. Dessa forma, pode-se afirmar que possivelmente a ausência do extrato de alho nas amostras de CMS resultou em maiores perdas por cocção em comparação às formulações que receberam a adição do extrato.

Do ponto de vista prático, além do desempenho tecnológico observado nas análises de CRA e PPC, a utilização do extrato aquoso de alho também se mostra viável sob a ótica econômica. O método de obtenção do extrato é simples, requer poucos insumos e pode ser realizado com equipamentos de baixo custo, o que favorece sua aplicação em escala artesanal ou semi-industrial. Embora o BHT seja um antioxidante sintético de baixo custo e uso difundido na indústria alimentícia, sua substituição por alternativas naturais pode representar uma vantagem competitiva, sobretudo em nichos de mercado voltados à alimentação mais limpa e funcional. Nesse sentido, mesmo que o alho *in natura* possa representar um custo ligeiramente superior por unidade de massa, o valor agregado conferido ao produto final pelo uso de um conservante natural e multifuncional justifica sua adoção. Assim, o extrato de alho representa não apenas uma alternativa tecnológica viável, mas também economicamente acessível, especialmente quando associado à demanda crescente por produtos *clean label* e mais saudáveis.

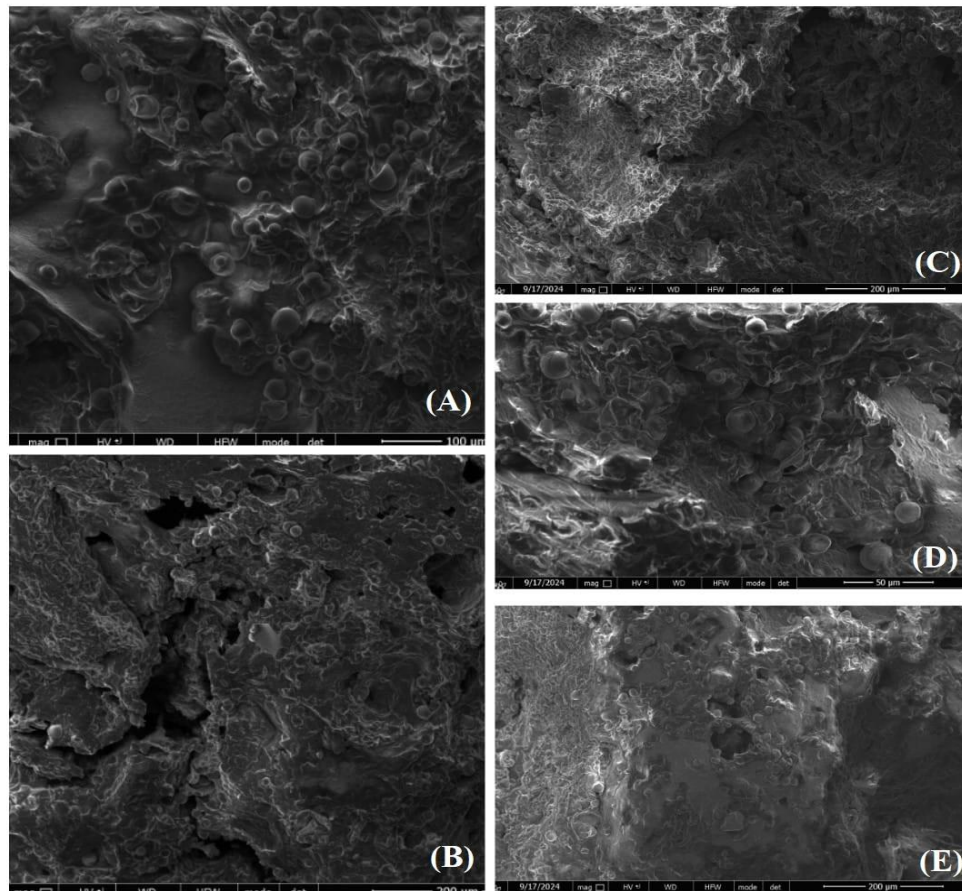
5.10 Microscopia eletrônica de varredura dos *fishburguers*

A análise morfológica das diferentes formulações de *fishburguers*, realizada por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (Figura 10), revelou diferenças estruturais aparentemente perceptíveis entre os tratamentos aplicados. Na imagem (A), referente à amostra controle positivo com adição de butil-hidroxi-tolueno (BHT), observa-se uma estrutura relativamente homogênea e compacta, evidenciando boa organização da matriz. Em contraste, a imagem (B), que representa o controle negativo (sem antioxidante), exibe uma matriz mais porosa e desorganizada, com a presença de espaços vazios e menor coesão entre os componentes.

Em relação às amostras tratadas com extrato de alho, essas também mostraram mudanças estruturais visíveis, que variaram conforme a concentração do extrato. Com 1% de adição (imagem C), a matriz apresentou uma leve densificação e redução dos espaços vazios em relação ao controle negativo. A utilização de 3% de extrato (imagem D) promoveu uma estrutura ainda mais coesa, com reforço da integridade e diminuição mais acentuada da

porosidade. Já na concentração de 9% (imagem E), a matriz tornou-se visivelmente mais compacta e homogênea.

Figura 10 – Microscopia eletrônica de varredura de todas as formulações utilizadas nos *fishburguers*



Fonte: elaborada pela autora (2025).

Imagem (A) = MEV do controle positivo (BHT) do *fishbuguer*; Imagem (B) = MEV do controle negativo do *fishbuguer*; Imagem (C) = MEV do *fishbuguer* com adição do extrato de alho de 1%; Imagem (D) = MEV do *fishbuguer* com adição do extrato de alho de 3%; Imagem (E) = MEV do *fishbuguer* com adição do extrato de alho de 9%.

Silva (2017) analisou as propriedades tecnológicas e antimicrobianas de biofilmes à base de proteínas de peixe incorporados com óleo essencial de cravo. O autor observou que os componentes dos biofilmes formaram uma estrutura com algumas irregularidades, resultado que difere do observado nesta pesquisa quanto à regularidade da superfície. Por outro lado, assim como neste estudo, não foram identificadas bolhas ou grandes deformações, como fendas ou espaços abertos.

O extrato de alho possivelmente contribuiu para a melhoria da integridade estrutural do *fishbuguer*, o que pode ser atribuído às propriedades antioxidantes e antimicrobianas dos compostos bioativos presentes, os quais podem ter favorecido uma maior estabilidade da matriz proteica. De acordo com Gennadios (2002), a interação entre

compostos bioativos e matrizes proteicas pode resultar na formação de estruturas mais coesas e funcionais, uma vez que as proteínas atuam como barreiras físicas e também como sistemas de veiculação controlada de ativos, promovendo reforço estrutural, redução da porosidade e melhoria da estabilidade dos alimentos. No entanto, esse tipo de resultado ainda não é amplamente abordado na literatura, o que torna os achados desta pesquisa particularmente significativos. Dessa forma, ressalta-se a necessidade de estudos mais aprofundados que explorem esse tema, a fim de enriquecer o conhecimento científico disponível.

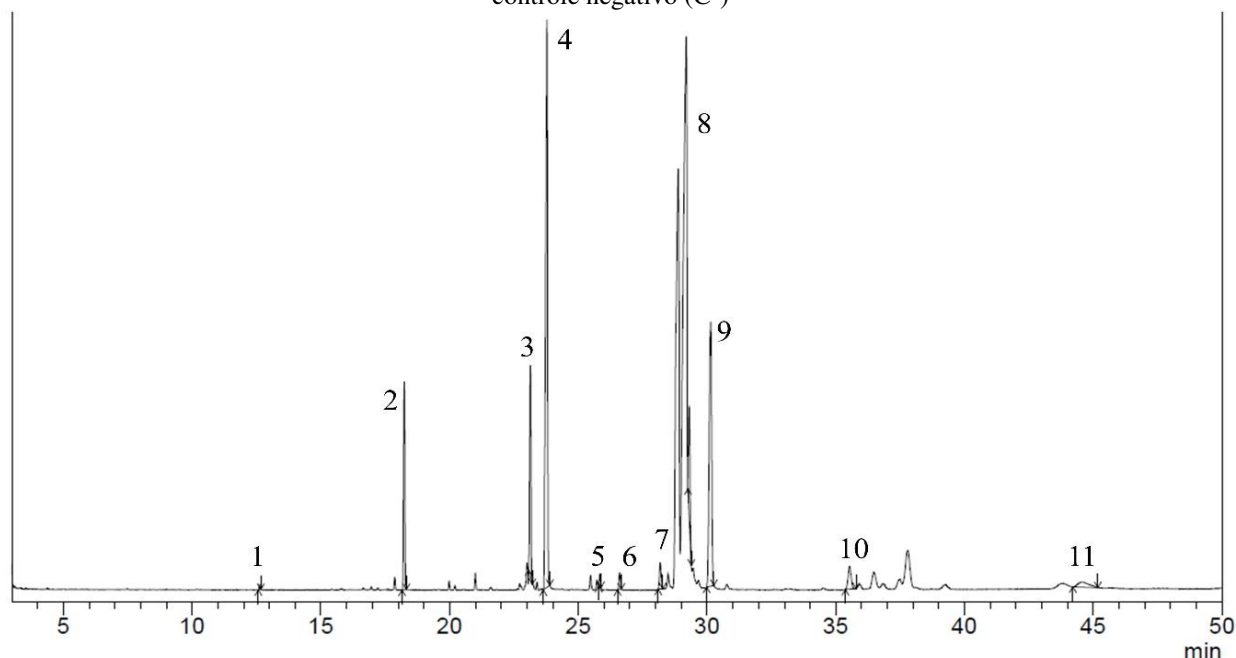
5.11 Perfil de ácidos graxos do *fishburger*

A caracterização do perfil de ácidos graxos foi realizada somente na amostra correspondente ao controle negativo do *fishburger* (Figura 11), e seus resultados estão apresentados na Tabela 10. A análise revelou a presença de diversos compostos de interesse nutricional e funcional, totalizando a identificação de onze componentes principais, tais como:

- **Ácido dodecanóide (tR = 12,62 min):** identificado por seus íons fragmentos 55, 74, 87 e 143 m/z;
- **Tetradecanoto de metila (tR = 18,24 min):** com fragmentos 55, 69, 74 e 87 m/z;
- **Ácido palmitoleico (tR = 23,14 min):** ácidos monoinsaturados;
- **Ácido hexadecanóico (tR = 23,78 min):** conhecido como ácido palmítico, saturado;
- **Ácido cis-10-heptadecanóico e ácido heptadecanóico (tR = 25,83 e 26,60 min, respectivamente):** ambos representando ácidos graxos de cadeia longa;
- **Metil-gama-linolenato (tR = 28,18 min):** ácido graxo poli-insaturado;
- **Ácido oleico (tR = 29,30 min):** ácido graxo monoinsaturado;
- **Estearato de metila (tR = 30,14 min):** éster de ácido esteárico, ácido graxo saturado;
- **Ácido 5,8,11,14-eicosatetraenóico (tR = 35,53 min);**
- **Ácido cis-7,10,13,16-docosatetraenóico (tR = 44,57 min):** ácido graxo poli-insaturado de cadeia longa.

Os ácidos graxos presentes no *fishburger* podem se dividir em: saturados, monoinsaturados e poli-insaturados, com potencial para oferecer benefícios à saúde, uns dependendo da proporção em que se encontram nos alimentos.

Figura 11 – Cronograma representativo do perfil de ácidos graxos presentes na amostra de *fishburguer* do controle negativo (C-)



Fonte: elaborada pela autora (2025).

Abreviação: min = minutos.

Tabela 10 – Identificação dos compostos químicos presentes na amostra do controle negativo do *fishburguer*

Picos	R (min)	Íons fragmentos (m/z)	Compostos
1	12,62	55; 74; 87; 143	Ácido dodecanóide
2	18,24	55; 69; 74; 87	Tetradecanoto de metila
3	23,14	55; 69; 152; 236	Ácido palmitoleico
4	23,78	43; 74; 87; 115	Ácido hexadecanóico
5	25,83	55; 69; 110; 137	Ácido cis-10-heptadecanóico
6	26,60	74; 87; 129; 143	Ácido heptadecanóico
7	28,18	55; 79; 93; 107	Metil-gama-linolenato
8	29,30	55; 69; 111; 180	Ácido oleico
9	30,14	43; 74; 87; 143	Estearato de metila
10	35,53	79; 91; 119; 175	Ácido 5,8,11, 14 - eicosatetraenóico
11	44,57	55; 79; 91; 119	Ácido cis-7, 10, 13, 16 - docosatetraenóico

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Abreviação: min = minutos.

Os ácidos graxos são moléculas fundamentais para o funcionamento adequado do organismo humano, desempenhando funções estruturais, energéticas e regulatórias. São indispensáveis para a manutenção da saúde, e sua presença na dieta influencia diretamente processos metabólicos e fisiológicos. Alimentos ricos em ácidos graxos de cadeia média, por exemplo, possuem ampla aplicação na indústria alimentícia devido às suas propriedades

surfactantes e emolientes, associadas à sua estrutura química. Por sua vez, os ácidos graxos insaturados apresentam elevado valor nutricional que contribuem para o equilíbrio lipídico e o bem-estar geral (CÂNDIDO; SILVA; AGOSTINI-COSTA, 2015).

No presente estudo, um dos principais ácidos graxos identificados, também observado por Köhn *et al.* (2025) em microcápsulas contendo óleo de buriti da Amazônia (*Mauritia flexuosa* L.), foi o ácido oleico (C18:1n9). Este ácido graxo monoinsaturado é amplamente reconhecido por seu papel como fonte energética, especialmente para tecidos com alta demanda, como o coração e o fígado. Além disso, é precursor de moléculas bioativas importantes, como ceramidas, esfingomielinas e outros lipídios envolvidos na sinalização celular e no metabolismo. O ácido oleico também influencia a modulação da resposta inflamatória (MURRU *et al.*, 2022).

Diversos estudos destacam os benefícios do ácido oleico para a saúde humana. Trata-se do principal ácido graxo monoinsaturado regulador do sistema lipídico no organismo. Hamazaki, Hamazaki e Inadera (2012) observaram que indivíduos com doença de Alzheimer apresentavam deficiência desse ácido graxo. Além disso, ácidos graxos monoinsaturados como o ácido oleico e o ácido palmitoleico são capazes de reduzir os níveis de lipoproteínas de baixa densidade (LDL) e manter os níveis de lipoproteínas de alta densidade (HDL), auxiliando no controle do colesterol plasmático (RÍNCON; MARTÍNEZ, 2009).

Alguns ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) menos comuns também se destacam por seu interesse nutricional e industrial, como o ácido γ -linolênico (GLA, 18:3n-6) e o ácido estearidônico (SDA, 18:4n-3). Estes compostos ocorrem em certas famílias vegetais, como visto por Guil-Guerrero *et al.* (2018), que identificaram perfis lipídicos ricos em GLA em espécies do gênero *Borago*. O GLA é um AGPI da série ômega-6, biossintetizado a partir do ácido linoleico, um ácido graxo essencial, por ação da enzima $\Delta 6$ -dessaturase, que introduz uma ligação dupla na posição $\Delta 6$ do substrato (ZHOU *et al.*, 2006). Seu derivado, o metil- γ -linolenato, possui aplicações terapêuticas e cosméticas.

Os ácidos graxos 5,8,11,14-eicosatetraenóico (ácido araquidônico) e cis-7,10,13,16-docosatetraenóico (ácido adrenico) pertencem à família dos ácidos graxos poli-insaturados da série ômega-6. Evidências científicas indicam que tanto os ácidos graxos ômega-3 quanto os ômega-6 podem influenciar negativamente em processos como a adipogênese, a homeostase lipídica (ALBRACHT-SCHULTE *et al.*, 2018) e a inflamação sistêmica (KALUPAHANA; CLAYCOMBE; MOUSTAID-MOUSSA *et al.*, 2011), ou seja, em mecanismos diretamente envolvidos no desenvolvimento da obesidade. No entanto,

estudos relatam que a ingestão adequada desses ácidos graxos pode melhorar o estado geral de saúde de indivíduos com obesidade, contribuindo para um melhor prognóstico de comorbidades associadas, como a doença cardiovascular aterosclerótica (DCVA) e distúrbios neuropsiquiátricos (MAKI; DICKLIN; KIRKPATRICK, 2021; GAO *et al.*, 2022). Ademais, os ácidos graxos poli-insaturados apresentam efeitos benéficos a longo prazo, como a redução do acúmulo de gordura hepática e a melhora do metabolismo lipídico (WERNICKE *et al.*, 2023).

Ácidos como o dodecanóico, tetradecanoato de metila, hexadecanóico, heptadecanóico e estearato de metila são ácidos graxos saturados, cuja ingestão excessiva tem sido associada a diversas doenças crônicas não transmissíveis. Entre essas, destacam-se o diabetes, o alto nível de lipídios no sangue, a inflamação, a disfunção endotelial, o estresse oxidativo, a síndrome metabólica, a obesidade e, especialmente, as doenças cardiovasculares (DCV) (MARANGONI; GARTI, 2018). De acordo com um relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS) de 2018, as DCVs são responsáveis por cerca de 45% das mortes em todo o mundo (OMS, 2018a). Para reduzir a incidência dessas doenças, a OMS estabelece que a ingestão de gorduras saturadas, trans e totais deve representar, respectivamente, menos de 10%, 1% e 30% da ingestão total de energia de um indivíduo (OMS, 2018b; MANZOOR *et al.*, 2022). Em razão dessas preocupações com a saúde pública, a indústria da carne tem se esforçado para desenvolver produtos cárneos saudáveis, reformulados com perfis de ácidos graxos aprimorados, a fim de proteger a saúde dos consumidores.

Entretanto, é importante destacar que, nos produtos cárneos, a gordura desempenha um papel fundamental, não apenas na manutenção das propriedades sensoriais, tecnológicas e de textura, mas também na estabilização oxidativa e na produção de compostos aromáticos (WI *et al.*, 2020). Alterações na quantidade ou na composição da gordura podem afetar negativamente as propriedades essenciais desses produtos, impactando sua aceitação pelo consumidor e sua viabilidade comercial. Portanto, os substitutos de gordura utilizados na indústria cárnea devem imitar a gordura natural, proporcionando uma configuração estrutural semelhante e outras características de qualidade, mas com benefícios nutricionais que sejam superiores aos da gordura animal (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2021).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O extrato de alho bruto demonstrou atividade antimicrobiana entre as concentrações testadas, sendo eficaz contra cepas patogênicas de interesse alimentar, reforçando seu potencial como aditivo natural;
- A MEV do extrato de alho de 9% evidenciou uma morfologia com estrutura coesa. Os espectros do IV e CLAE do extrato de alho bruto confirmaram a presença de compostos bioativos com propriedades antioxidantes e antimicrobianas, como a alicina, fenóis e flavonoides;
- A CMS de tilápia apresentou conformidade microbiológica com os padrões da ANVISA, sem a presença de microorganismos patogênicos como *Samonella* spp. e *Staphylococcus* coagulase positiva, com contagem de bactérias mesófilas e coliformes termotolerantes a 45°C dentro da faixa aceitável, com valores inferiores a 10 UFC/g, indicando uma qualidade microbiológica satisfatória da matéria-prima utilizada no produto final;
- A composição centesimal da CMS e dos fishburgers indicou adequado teor proteico e baixo teor lipídico, confirmando valor nutricional e alinhamento com alimentos mais saudáveis;
- Durante o armazenamento congelado por 120 dias, os *fishburgers* com extrato apresentaram maior estabilidade oxidativa e manutenção da qualidade, demonstrando a eficiência do alho na preservação em longo prazo;
- A adição de diferentes concentrações de extrato de alho aquoso melhorou a CRA dos *fishburgers*, com destaque para a formulação F4 (3% de extrato de alho aquoso), que apresentou a melhor retenção dentre as demais. O extrato foi tão eficiente quanto ao antioxidante sintético (BHT), indicando seu potencial como substituto natural;
- Houve menor perda por cocção nas formulações que continham extrato de alho aquoso, principalmente na F4 e F5, demonstrando então, que o extrato contribuiu para a retenção de umidade durante o cozimento, possivelmente devido a estabilização das proteínas miofibrilares;
- A análise estrutural via MEV, validou que os *fishburgers* com o uso de extrato de alho proporciona uma matriz mais compacta, coesa e com menor porosidade, em comparação ao controle negativo. Isso demonstra que o extrato também

influenciou positivamente na estrutura e integridade da matriz proteica;

- A análise do perfil lipídico da amostra do controle negativo indicou presença de ácidos graxos de interesse nutricional, como os ácidos oleico e linoleico, confirmando o valor funcional do produto final;
- O extrato de alho aquoso é uma alternativa viável ao conservante sintético BHT na formulação de *fishburguers*, promovendo segurança microbiológica, qualidade físico-química e potencial funcional ao produto final. A formulação com 3% de extrato (F4) mostrou-se a mais promissora em termos de desempenho geral, podendo ser considerada uma proposta no uso de um ingrediente natural a menor custo, segurança alimentar e eficiente para a indústria de produtos cárneos à base de pescado em substituição aos aditivos químicos convencionais.

7 CONCLUSÃO

Diante do exposto, pode-se concluir que a carne mecanicamente separada de tilápia do nilo representa uma matéria-prima viável para a elaboração de *fishburguers* de alto valor agregado, boa qualidade microbiológica e com potencial nutricional sobretudo quando associada à adição de extrato de alho (*allium sativum*), no qual demonstrou excelentes propriedades antimicrobianas. A utilização do extrato em diferentes concentrações promoveu melhorias quanto à estabilidade dos fishburgers, assim como na capacidade de retenção de água, estabilidade térmica e na coesão estrutural do produto final, com destaque para a formulação com adição de extrato aquoso de alho a 3%, que apresentou desempenho equivalente ou superior ao antioxidante sintético hidroxitolueno butilado.

Esses resultados não apenas promovem o aproveitamento integral do pescado e reduzem os impactos ambientais do processamento industrial, como também impulsionam a inovação tecnológica na indústria por alimentos alternativos ao consumo popular, ao mesmo tempo em que sinalizam a necessidade de estudos complementares que aprofundem os efeitos funcionais desse ingrediente natural em produtos derivados de pescado e a avaliação da estabilidade em longo prazo, além da avaliação da aceitabilidade do fishburger pelo consumidor.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, K. A.; *et al.* A review on correlations between fish freshness and pH during cold storage. **American Journal of Biochemistry and Biotechnology**, v. 4, p. 416-421, 2008.
- ABBASPOR, N.; *et al.* Review on iron and its importance for human health. **Journal of Research in Medical Sciences**, v. 19, n. 2, p. 164–174, 2014.
- ABE, K.; HORI, Y.; MYODA, T. Characterization of key aroma compounds in aged garlic extract. **Food Chemistry**, [S.l.], v. 312, p.126081, 2020.
- ACAR, A.; AYDIN, M.; ARSLAN, D. Development of infusion tea formulations with food wastes: evaluation of temperature and time effects on quality parameters. **Applied Food Research**, v. 2, n. 1, p.100087, 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Instrução Normativa nº 161, de 1º de julho de 2022**. Estabelece os padrões microbiológicos para pescado, incluindo produtos à base de pescado, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 1 jul. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Instrução Normativa nº 211, de 1º de março de 2023**. Estabelece as funções tecnológicas, os limites máximos e as condições de uso para os aditivos alimentares e os coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso em alimentos. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 8 mar. 2023. Seção 1, p. 110.
- AGUIAR, G. P. S.; GOULART, G. A. S. Produção de óleo e farinha a partir de coprodutos de pescado provenientes da bacia Tocantins-Araguaia. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v. 1, n. 11, p. 67-71, 2014.
- ALBRACHT-SCHULTE, K.; *et al.* Omega-3 fatty acids in obesity and metabolic syndrome: a mechanistic update. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 58, p. 1–16, 2018.
- ALEXANDRE, A. A. A.; *et al.* Qualidade de peixes: uma breve revisão. In: VERRUCK, S. (org.). **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**. São Paulo: Editora Científica Digital, v. 4, p. 144-173, 2021.
- AMARAL, M. T.; *et al.* Elaboração e avaliação da aceitabilidade do fishburger de acará-açu (*Lobotes surinamensis*) no mercado macapaense - AP, Brasil. **Demetra: Alimentação, Nutrição & Saúde**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 4, p. 965-977, 2016.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Manual de Análises de Carnes, Pescado e Produtos Derivados**. 15. ed. Arlington: AOAC International, 1990.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 19. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2011.
- ARAÚJO, D. A. F. V.; SOARES, K. M. P.; GÓIS, V. A. Características gerais, processos de deterioração e conservação do pescado. **PUBVET**, v. 4, n. 9, Ed. 114, 2010.

ARMENTEROS, M.; *et al.* The application of natural antioxidants via brine injection protects Iberian cooked hams against lipid and protein oxidation. **Meat Science**, v. 116, p. 253–259, 2016.

ARNONSON, J. Cardiac glycosides. In: ARONSON, J. (ed.). **Meyler's side effect of drugs**. 16. ed. Waltham, MA: Elsevier, 2016. p. 117-157.

ATWATER, W. O. Principles of nutrition and nutritive value of food. **Farmers' Bulletin**, 142. Washington: Government Printing Office, US Department of Agriculture, 1910.

BACELAR, R. G. A. **Carne mecanicamente separada de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*): alternativa de tecnologia disruptiva na indústria de pescado**. 2021. 90 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal). Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2021.

BALBACH, A.; BOARIM, D. **As hortaliças na medicina natural**. 2. ed. São Paulo: [s.n.], 1992. p. 69-75.

BALOGUN, F. O.; *et al.* Antimicrobial properties of onion and garlic extracts in beef and chicken. **South African Journal of Botany**, v. 166, p. 690–697, 2023.

BAPTISTA, R. C.; HORITA, C. N.; SANT'ANA, A. S. Natural products with preservative properties for enhancing the microbiological safety and extending the shelf-life of seafood: a review. **Food Research International**, [S.l.], v. 127, p. 108762, 2020.

BARBOSA, R. G. **Influência de sistemas de cultivo sobre parâmetros de qualidade do tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. 2020. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Tocantins, Palmas – TO, 2020.

BARBT, S. Problem of pale soft exudative meat in broiler chickens. **British Poultry Science**, London, v. 38, n. 4, p. 355-358, 1997.

BARIDO, F. H.; *et al.* The effect of finishing diet supplemented with methionine/lysine and methionine/ α -tocopherol on performance, carcass traits and meat quality of Hanwoo steers. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 33, p. 69–78, 2020.

BARIDO, F. H.; LEE, S. K.; LEE, S. K. Combined effects of processing method and black garlic extract on quality characteristics, antioxidative, and fatty acid profile of chicken breast. **Poultry Science**, Oxford, v. 101, n. 2, p. 101676, 2022.

BARRETO, H. S.; *et al.* Evaluation of vegetables residues as corrosion inhibitors. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, 2021.

BEIRÃO, L. H.; *et al.* Tecnologia pós-captura de pescado e derivados. In: POLLI, C. R. et al. (org.). **Aqüicultura: Experiências Brasileiras**. Florianópolis: Multitarefa Editora, 2004. v. 1, p. 407-442.

BERALDO, J.; GARCIA, L. V.; MARFORI, T. G. Impacto da dieta mediterrânea e dieta low carb sobre a síndrome metabólica: uma revisão sistemática. **Revista Ciência e Saúde On-line**, [s.l.], v. 5, n. 3, p. 19-30, 2020.

BERNARDINO FILHO, R. B.; XAVIER, L. C. A. Obtenção, rendimento e caracterização de CMS produzida com resíduos da filetagem de tilápia do Nilo. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 9, n. 2, p. 01-04, 2019.

BONIFACIE, A.; *et al.* Chemical reactivity of nitrite and ascorbate in a cured and cooked meat model: implication in nitrosation, nitrosylation and oxidation. **Food Chemistry**, [S.l.], v. 348, p. 129073, 2021.

BORGOGNO, M.; *et al.* Technological and nutritional advantages of mechanical separation process applied to three European aquacultured species. **LWT – Food Science and Technology**, [S.l.], v. 84, p. 298-305, 2017.

BORLINGHAUS, J. Allicin: chemistry and biological properties. **Molecules**, Basel, v. 19, n. 8, p. 12591–12618, 19 ago. 2014.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Instrução Normativa nº 161, de 1º julho de 2022**. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. Brasília: ANVISA, 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa nº 211, de 1º de março de 2023**. Estabelece os aditivos alimentares autorizados para uso em alimentos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 42, p. 58–65, 2 mar. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002**. Regulamento técnico de boas práticas para estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 211, p. 33-36, 6 nov. 2002.

BrCAST/EUCAST. **Teste de sensibilidade aos antimicrobianos**: método de disco-difusão, 2021. Disponível em: https://www.eucast.org/antimicrobial_susceptibility_testing/. Acesso em: 22 ago. 2024.

BREWER, M. S. Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 10, n. 4, p. 221-247, 2011.

CAI, Y.; *et al.* Adjustment of the structural and functional properties of okara protein by acid precipitation. **Food Bioscience**, v. 37, 2020.

CÂNDIDO, T. L. N.; SILVA, M. R.; AGOSTINI-COSTA, T. S. Bioactive compounds and antioxidant capacity of buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) from the Cerrado and Amazon biomes. **Food Chemistry**, v. 177, p. 313–319, 2015.

CASTRO, J. S. **Elaboração de “fishburger” de filé de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) adicionado de ácido láurico**. 2019. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

CHAKKA, A. K.; BABU, A. S. Bioactive compounds of winery by-products: extraction techniques and their potential health benefits. **Applied Food Research**, v. 2, n. 1, e100058, 2022.

CHAMBO, A. P. S. **Aproveitamento do resíduo de filetagem da tilápia do Nilo para produção de farinhas com potencial aplicação na alimentação humana**. 2018. 97 f. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

CHAN, S. S.; *et al.* Water holding properties of Atlantic salmon. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, p. 477–498, 2022.

CHANG, S.-H.; *et al.* Antibacterial activity of chitosan–polylactate fabricated plastic film and its application on the preservation of fish fillet. **Polymers**, v. 13, p. 696, 2021.

CHEN, C.; *et al.* Broad-spectrum antimicrobial activity, chemical composition and mechanism of action of garlic (*Allium sativum*) extracts. **Food Control**, v. 86, p. 117-125, 2018a.

CHEN, Y. A.; *et al.* Extracts of black garlic exhibits gastrointestinal motility effect. **Food Research International**, [S.l.], v. 107, p. 102-109, 2018b.

CHEN, Y. C.; *et al.* Methanolic extract of black garlic ameliorates diet-induced obesity via regulating adipogenesis, adipokine biosynthesis, and lipolysis. **Journal of Functional Foods**, [S.l.], v. 9, p. 98-108, 2014.

ÇOĞUN, H. Y.; ŞAHİN, M. **Nil Tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758)'da kurşun toksisitesinin azaltılmasında zeolit'in etkisi**. [Imagem]. 2017. Disponível em: <https://www.rotamining.com/nil-tilapia-oreochromis-niloticus-linnaeus-1758da-kursun-toksisitesinin-azaltilmasinda-zeolit-in-etkisi/?lang=tr> . Acesso em: 30 jul. 2025.

CONEGLIAN, S. M.; *et al.* Utilização de antioxidantes nas rações. **PUBVET - Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 5, n. 5, ed. 152, art. 1026, 2011.

CONTRERAS-GUZMÁN, E. S. **Bioquímica de pescado e invertebrados**. Santiago: Cecta-Usach, 2002.

COSTA, J. F.; *et al.* Utilização de carne mecanicamente separada (CMS) de tilápia na elaboração de farinha com alto valor nutricional. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 42, n. 3, p. 548-565, 2016.

CYRINO, J. E.; *et al.* Aquicultura, segurança alimentar e qualidade do pescado: esclarecendo mitos e insinuações. **Aquaculture Brazil**, p. 10-16, 2019. Disponível em: <https://www.aquaculturebrasil.com/artigo/105/aquicultura%2C-seguranca-alimentar-e-qualidade-do-pescado%3A-esclarecendo-mitos-e-insinuacoes>. Acesso em: 27 nov. 2024.

DALONSO, N.; *et al.* Extração e caracterização de carboidratos presentes no alho (*Allium sativum* L.): proposta de metodologia alternativa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 793-797, out./dez. 2009.

DOMÍNGUEZ, R.; *et al.* Recent discoveries in the field of lipid bio-based ingredients for meat processing. **Molecules**, v. 26, n. 19, p. 58-62, 2021.

DOWNES, M. P.; ITO, K. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4. ed. Washington: APHA, 2001. 676 p.

DUARTE, A. M; SILVA, F. PINTO, F. R.; BARROSO, S.; GIL, M. M. Quality Assessment of Chilled and Frozen Fish—Mini Review. **Foods**, v. 9, 2020.

EKŞİ, G.; GENÇLER ÖZKAN, A. M.; KOYUNCU, M. Garlic and onions: An eastern tale. **Journal of Ethnopharmacology**, [S.l.], v. 10, maio 2020.

EMBRAPA. **Aspectos técnicos e econômicos da produção de tilápias em tanques-rede no Lago de Palmas-TO, Parque Aquícola Brejinho II**. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2022a.

EMBRAPA. **O papel da piscicultura na agricultura familiar**. 2022b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/73976905/artigo---o-papel-da-piscicultura-na-agricultura-familiar>. Acesso em: 06 ago. 2024.

ESMAEILI, H.; *et al.* Incorporation of nanoencapsulated garlic essential oil into edible films: A novel approach for extending shelf life of vacuum-packed sausages. **Meat Science**, [S.l.], v. 166, p. 108135, 2020.

ESTANECH, A.; *et al.* G. Effect of the addition of manioc starch, water and inulin on the technological characteristics of bicuda pâté (*Sphyrna tome*, Fowler, 1903). **Revista Chilena de Nutrición**, v. 47, n. 3, p. 359-365, 2020.

FARIAS, T. H. V.; *et al.* Parasitas de peixes com potencial zoonótico descritos no Brasil. **ARS Veterinária**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 211-224, 2021.

FENG, P.; *et al.* Enumeration of *Escherichia coli* and the Coliform Bacteria. In: FENG, P.; WEAGANT, S. D.; GRANT, M. A. **Bacteriological Analytical Manual**. [S.l.]: U.S. Food and Drug Administration, 2002. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-4-enumeration-escherichia-coli-and-coliform-bacteria>. Acesso em: 21 set. 2025.

FERRARI, R. A.; COLUSSI, F.; AYUB, R. A. Caracterização de subprodutos da industrialização do maracujá – aproveitamento das sementes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 101–102, 2004.

FLORES, M.; TOLDRÁ, F. Chemistry, safety, and regulatory considerations in the use of nitrite and nitrate from natural origin in meat products: Invited review. **Meat Science**, [S.l.], v. 171, p. 108272, 2021.

FOGAÇA, F. H. S.; *et al.* Caracterização de surimi obtido a partir da carne mecanicamente separada de tilápia do Nilo e elaboração de fishburger. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 765-776, mar./abr. 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Garantia da qualidade dos produtos da pesca**: Documento Técnico sobre as Pescas 334. Roma: Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, 1997. Disponível em: <https://www.fao.org/publications>. Acesso em: 18 jan. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Global food losses and food waste: extent, causes and prevention**. Roma: FAO, 2011. Disponível em: <https://www.fao.org/publications>. Acesso em: 22 abr. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2024**: Blue Transformation in Action. Roma: FAO, 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/publications>. Acesso em: 28 abr. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The state of world fisheries and aquaculture**¹. Roma: FAO, 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/publications>. Acesso em: 11 maio 2025.

FRANKEL, E. N. **Lipid oxidation**. 2. ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2005. 469 p.

FREIRIA, E. F. C. **Tecnologia de alimentos**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017. 208 p.

FURLAN, E.; *et al.* **Tecnologia de alimentos tópicos físicos, químicos e biológicos**: desenvolvimento de carne mecanicamente separada de peixes a partir de mistura de espécies marinhas – uma abordagem física e química. 2. ed. São Paulo: Editora Científica, 2020a. Cap. 8, p. 131-146.

FURLAN, V. J. M.; *et al.* Determinação de nitrato e nitrito em produtos cárneos: adequação à legislação. **MAGISTRA**, v. 31, p. 559-567, 2020b.

GALANAKIS, C. M. Phenols recovered from olive mill wastewater as additives in meat products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 79, p. 98–105, 2018.

GAO, X.; *et al.* Unsaturated fatty acids in mental disorders: an umbrella review of meta-analyses. **Advances in Nutrition**, v. 13, p. 2217–2236, 2022.

GARTHRIGHT, W. E. US Food and Drug Administration. Center for Disease Control and Prevention. **Bacteriological Analytical Manual Online**. January, 2001. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam>. Acesso em: 17 fev. 2025.

GARAI, S.; *et al.* A comprehensive study on crude methanolic extract of *Artemisia pallens* (Asteraceae) and its active component as effective corrosion inhibitors of mild steel in acid solution. **Corrosion Science**, v. 60, p. 193–204, 2012.

GENNADIOS, A. Protein-based films and coatings: an overview. In: GENNADIOS, A. (ed.). **Protein-based films and coatings**. New York: CRC Press, 2002. Cap. 1, p. 1-41.

GHANBARI, M.; *et al.* Seafood biopreservation by lactic acid bacteria – A review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, p. 315–324, 2013.

GÓES-FAVON, S. P.; *et al.* Transglutaminase microbiana (MTGase) na elaboração de fishburger com aproveitamento de carne mecanicamente separada de tilápia (*Oreochromis niloticus*) – Revisão de literatura. **Brazilian Journal of Technology**, v. 4, n. 1, p. 20-35, 2021.

GOKOGLU, N. Novel natural food preservatives and applications in seafood preservation: A review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 5, p. 2068-2077, 2018.

GONÇALVES, A. A. **Tecnologia do Pescado: Ciência, Tecnologia, Inovação e Legislação**. 1. ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2011.

GONÇALVES, L. F.; MITUUTI, C. T.; HAAS, P. Efetividade da alimentação na prevenção do câncer de tireoide: revisão sistemática. **Revista Brasileira de Cancerologia**, [S.l.], v. 66, n. 4, p.10107, 2020.

GRYSCHEK, S. F. B.; OETTERER, M.; GALLO, C. R. Characterization and frozen storage stability of minced Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and red tilapia (*Oreochromis spp.*). **Journal os Aquatic Food Product Techology**, v. 12, n. 3, p. 57-69, 2003.

GUIL-GUERRERO, J. L.; *et al.* Fatty acid profiles and sn-2 fatty acid distribution of *Borago* species rich in gamma-linolenic acid. **Food Chemistry**, v. 239, p. 91–97, 2018.

GUIMARÃES, J. L. B.; CALIXTO, F. A. A.; MESQUITA, E. F. M. Produção e utilização da carne mecanicamente separada de pescado: uma revisão. **Higiene Alimentar**, v. 31, p. 31-35, 2017.

GUTIÉRREZ-DEL-RÍO, I.; FERNÁNDEZ, J.; LOMBÓ, F. Plant nutraceuticals as antimicrobial agents in food preservation: terpenoids, polyphenols and thiols. **International Journal of Antimicrobial Agents**, v. 52, n. 3, 2018.

HADIDI, M.; *et al.* Plant by-product antioxidants: control of protein-lipid oxidation in meat and meat products. **LWT - Food Science and Technology**, [S.l.], v. 169, p. 114003, nov. 2022.

HAILESALASSIE, W.; *et al.* Determination of pH and water holding capacity of beef from selected butcher shops of Mekelle, Ethiopia. **Journal of Veterinary Medicine and Animal Health**, v. 10, n. 7, p. 159–164, 2018.

HAMAZAKI, K.; HAMAZAKI, T.; INADERA, H. Fatty acid composition in the postmortem amygdala of patients with schizophrenia, bipolar disorder, and major depressive disorder. **Journal of Psychiatric Research**, v. 46, n. 8, p. 1024-1028, 2012.

HAMEED, B. H.; AHMAD, A. A. Batch adsorption of methylene blue from aqueous solution by garlic peel, an agricultural waste biomass. **Journal of Hazardous Materials**, v. 164, n. 2–3, p. 870–875, 2009.

HASSOUN, A.; ÇOBAN, Ö. E. Essential oils for antimicrobial and antioxidante applications in fish and other seafood products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 68, p. 26–36, 2017.

HIGUERO, N.; *et al.* Reduction of nitrate and nitrite in Iberian dry cured loins and its effects during drying process. **Meat Science**, [S.l.], v. 163, p. 108062, 2020.

HORITA, C. N.; *et al.* The antimicrobial, antioxidant and sensory properties of garlic and its derivatives in Brazilian low-sodium frankfurters along shelf-life. **Food Research International**, [S.l.], v. 84, p. 1-8, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 6579-1:2017**. Microbiology of the food chain – Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella - Part 1: Detection of Salmonella spp. International Organization for Standardization, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 6888-1:1999**. Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal method for the enumeration of coagulase-positive staphylococci (*Staphylococcus aureus* and other species) - Part 1: Technique using Baird-Parker agar medium. International Organization for Standardization, 1999.

JERÔMIO, H. M. A. **Elaboração de embutido emulsionado tipo mortadela de carne mecanicamente separada de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) adicionado de teores reduzidos de gordura suína**. 2018. 207 f. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos). Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2018.

JIAO, Y.; *et al.* Polyphenols from thinned young kiwifruit as natural antioxidant: Protective effects on beef oxidation, physicochemical and sensory properties during storage. **Food Control**, v. 108, p. 106870, 2020.

JIMÉNEZ-RUIZ, E. M.; *et al.* Quality improvement and shelf-life extension of iced Nile tilapia fillets using natural garlic extract. **Fishes**, v. 8, n. 6, p. 325, 2023.

JORGE, N. **Química e Tecnologia de Óleos Vegetais**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009.

KALLEL, F.; CHAABOUNI, S. E. Perspective of garlic processing wastes as low-cost substrates for production of high-added value products: A review. **Environmental Progress and Sustainable Energy**, v. 36, n. 6, nov. 2017.

KALUPAHANA, N. S.; CLAYCOMBE, K. J.; MOUSTAID-MOUSSA, N. (n-3) Fatty acids alleviate adipose tissue inflammation and insulin resistance: mechanistic insights. **Advances in Nutrition**, v. 2, p. 304–316, 2011.

KARAMI, B.; *et al.* Effects of frozen storage on fatty acids profile, chemical quality indices and sensory properties of red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Tilapia mosambicus*) fillets. **Iranian Journal of Fish Sciences**, v. 12, p. 378-388, 2013.

KHIARI, Z. Sustainable upcycling of fisheries and aquaculture wastes using fish-derived cold-adapted proteases. **Frontiers in Nutrition**, [S.l.], v. 9, p. 875697, 2022.

KIMPARA, J. M.; ZAJDBAND, A. D.; VALENTI, W. C. Métodos para medir a sustentabilidade da aquicultura. Teresina: EMBRAPA Meio Norte, 2012. 72 p.

KIRSCHNIK, P. G. **Avaliação da estabilidade de produtos obtidos de carne mecanicamente separada de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*)**. 2007. 92 f. Tese (Doutorado em Aquicultura). Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista,

Jaboticabal, 2007.

KIRSCHNIK, P. G.; MACEDO-VIEGAS, E. M. Efeito da lavagem e da adição de aditivos sobre a estabilidade de carne mecanicamente separada de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) durante a estocagem a -18°C . **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 1, p. 200-206, 2009.

KÖHN, C. R.; *et al.* Microcapsules with Amazonian buriti fruit oil (*Mauritia flexuosa* L.) on maintaining oxidative stability of ground beef. **Food Hydrocolloids**, v. 164, p. 111201, 2025.

KUMARI, A.; *et al.* Onion and garlic polysaccharides: A review on extraction, characterization, bioactivity, and modifications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 219, p. 1047–1061, 2022.

KUMARI, P. V. K.; *et al.* Alternative to Artificial Preservatives. **SRP**, v. 10, n. 1, p. 99-102, 2019.

KURODA, C. N.; *et al.* Conservação e qualidade de filés de grumatã (*Prochilodus lineatus*) após diferentes períodos de depuração e congelamento. **Ciência Animal Brasileira**, v.21, e-62701, 2020.

KYUNG, K. H. Antimicrobial properties of allium species. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 23, n. 2, p. 142-147, 2012.

LAKSHMANAN, R.; PARKINSON, J. A.; PIGGOTT, J. R. High-pressure processing and water-holding capacity of fresh and cold-smoked salmon (*Salmo salar*). **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v. 40, p. 544–551, 2007.

LARA, N. C. B. **Ocorrência de ectoparasitos branquiais em tilápias (*Oreochromis niloticus*) cultivadas em sistema tanque-rede, no reservatório Jurumirim, Rio Parapanema, São Paulo**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Biológicas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. Avaré - SP, 2016.

LEITE, P. R. S. C.; *et al.* Aditivos fitogenéticos em rações de frango. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 9-26, 2012.

LI, F. M.; *et al.* Changes in antioxidant capacity, levels of soluble sugar, total polyphenol, organosulfur compound and constituents in garlic clove during storage. **Industrial Crops and Products**, v. 69, p. 137–142, 2015.

LI, F.; *et al.* Changes in myofibrillar protein gel quality of porcine longissimus muscle induced by its structural modification under different thawing methods. **Meat Science**, v. 147, p. 108–115, 2019.

LI, S.; *et al.* Structural, functional and proteomic differences of proteins extracted from white garlic and Laba garlic. **Food Research International**, v. 155, p. 111047, 2022.

LIMA, J. S.; *et al.* Análise microbiológica e sensorial de “fishburger” elaborado com tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com adição de conservantes naturais. **Revista GEINTEC**, [S.l.], v. 4, n. 1, p. 560-567, 2014.

LIMA, L. K. F. **Reaproveitamento de resíduos sólidos na cadeia agroindustrial do pescado**. Palmas: Embrapa, 2013.

LIU, Y.; *et al.* Principal component analysis of physical, color, and sensory characteristics of chicken breasts deboned at two, four, six, and twenty-four hours postmortem. **Poultry Science**, [S.l.], v. 83, n. 1, p. 101-108, 2004.

LOPES, A. C. C. B.; *et al.* Caracterização química e comparação entre hambúrguer artesanal e o industrializado. **Acta Tecnológica**, v. 16, n. 1, p. 73-86, 2021.

LOPES, R. M. M. **Efeito da adição de alho negro nas características de qualidade de produto cárneo tipo jerked beef de carne suína da raça Moura**. 2022. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

LORENZO, J. M.; *et al.* Berries extracts as natural antioxidants in meat products: A review. **Food Research International**, [S.l.], v. 106, p. 1095-1104, 2018a.

LORENZO, J. M.; *et al.* Influence of pitanga leaf extracts on lipid and protein oxidation of pork burger during shelf-life. **Food Research International**, v. 114, p. 47-54, 2018b.

MAKI, K. C.; DICKLIN, M. R.; KIRKPATRICK, C. F. Saturated fats and cardiovascular health: current evidence and controversies. **Journal of Clinical Lipidology**, v. 15, p. 765-772, 2021.

MANZOOR, S.; *et al.* Oleogels: Promising alternatives to solid fats for food applications. **Food Hydrocolloids for Health**, v. 2, p. 100058, 2022.

MARANGONI, F.; GARTI, N. Health effects of saturated fatty acids. **Food and Function**, v. 9, p. 3015-3030, 2018.

MARENGONI, N. G. Produção de tilápia do nilo *Oreochromis niloticus* (linhagem chitralada), cultivada em tanques-rede, sob diferentes densidades de estocagem. **Archivos de Zootecnia**, v. 55, p. 127-138, 2006.

MARENGONI, N. G.; *et al.* Caracterização microbiológica, sensorial e centesimal de fishburgers de carne de tilápia mecanicamente separada. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 168-176, 2009.

MARENGONI, N. G.; *et al.* Caracterização microbiológica, sensorial e centesimal de fishburgers de carne de tilápia mecanicamente separada. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 10, n. 1, p. 168-176, 2009.

MARIUTTI, L. R. B.; BRAGAGNOLO, N. A oxidação lipídica em carne de frango e o impacto da adição de sálvia (*Salvia officinalis*, L.) e de alho (*Allium sativum*, L.) como antioxidantes naturais. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 68, p. 1-11, 2009.

MARIUTTI, L. R. B.; BRAGAGNOLO, N. Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: A review. **Food Research International**, [S.l.], v. 94, p. 90-100, 2017.

MARTÍNEZ-ZAMORA, L.; *et al.* Substitution of synthetic nitrates and antioxidants by spices, fruits and vegetables in Clean label Spanish chorizo. **Food Research International**, v. 139, p. 109835, 2021.

MATIUCCI, M. A.; *et al.* Use of tilapia fillet residues in pâté with the addition of oregano essential oil. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 10, n. 2, p. e59510213059, 2021.

MCCORMICK, D. Vitamin B6. In: BOWMAN, B.; RUSSELL, R. (eds.). **Present knowledge in nutrition**. 9. ed. Washington, DC: International Life Sciences Institute, 2006.

MEI, J.; MA, X.; XIE, J. Review on Natural Preservatives for Extending Fish Shelf Life. **Foods**, v. 8, n. 10, p. 490, 2019.

MINOZZO, M. G. **Patê de pescado**: alternativa para incremento da produção nas indústrias pesqueiras. 2010. 228 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

MIRON, T.; *et al.* [3H] Allicin: preparation and applications. **Analytical Biochemistry**, v. 331, n. 2, p. 364-369, 2004.

MONTEIRO, M. L. G.; *et al.* Farinhas e sopa instantânea de resíduos de tilápia como alternativas saudáveis para a indústria de alimentos. **Pesquisa em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 3, p. 571-581, 2014.

MOREIRA, C. S. **Influência das proantocianidinas da casca do jatobá incorporadas em hambúrguer de atum e seus efeitos nas propriedades físico-químicas e sensoriais**. 2023. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023.

MOURA, K. A. **Efeito do extrato aquoso de alho sobre a qualidade microbiológica de frangos resfriados**. 2002. 59 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

MURRU, E.; *et al.* Impact of dietary palmitic acid on lipid metabolism. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, 2022.

MUZZOLON, E.; *et al.* Processamento de fishburguer utilizando subprodutos da filetagem de tilápia: Caracterização físico-química, análise do congelamento e avaliação da vida de prateleira. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 9, n. 1, p. 154–173, 2018.

NASCIMENTO, P. M.; SCALABRINI, H. M. Benefits of ômega-3 in cardiovascular disease prevention: integrative literature review. **International Journal of Nutrology**, [S.l.], v. 13, p. 95-101, 2020.

OCAÑO-HIGUERA, V. M.; *et al.* Postmortem changes in cazon fish muscle stored on ice. **Food Chemistry**, v. 116, p. 933–938, 2009.

OGAWA, M.; MAIA, E. L. **Manual de pesca**: ciência e tecnologia do pescado. São Paulo: Varela, 1999.

OLATUNDE, O. O.; BENJAKUL, S. Natural preservatives for extending the shelf-life of seafood: a revisit. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [S.L.], v. 17, n. 6, p. 1595–1612, 2018.

OLIVEIRA, D. F. D.; *et al.* Alternativas para um produto cárneo mais saudável: uma revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, p. 163-174, 2013.

OLIVEIRA, N. M. S.; *et al.* Avaliação físico-química de filés de tilápia (*Oreochromis niloticus*) submetidos à sanitização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 83-89, 2008.

ORDÓÑEZ, J. A.; *et al.* **Tecnología de alimentos: alimentos de origem animal**. v. 2. Porto Alegre: Artmed, 2005.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Healthy diet**. Geneva: World Health Organization, 2018b. Disponível em: <https://www.who.int/initiatives/behealthy/healthy-diet>. Acesso em: 15 abr. 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Reducing consumption of saturated fat**. Geneva: World Health Organization, 2018a. Disponível em: <https://www.who.int/teams/nutrition-and-food-safety/replace-trans-fat> Acesso em: 16 abr. 2025.

OSTERBAUER, K. J.; *et al.* Effects of nitrite and erythorbate on *Clostridium perfringens* growth during extended cooling of cured ham. **Journal of Food Protection**, v. 80, n. 10, p. 1697-1704, 2017.

OSWELL, N. J.; THIPPARAEDDI, H.; PEGG, R. B. Practical use of natural antioxidants in meat products in the US: a review. **Meat Science**, [S.L.], v. 145, p. 469-479, 2018.

OYALUNA, Z. E. ; *et al.* Chemical analysis of alliin-rich *Allium sativum* (garlic) extract and its safety evaluation in *Drosophila melanogaster*. **Toxicology Reports**, v. 13, 2024.

OZOGUL, F.; *et al.* Recent developments in valorisation of bioactive ingredients in discard seafood processing byproducts. **Trends in Food Science & Technology**, v. 116, p. 559-582, 2021.

ÖZYURT, G.; *et al.* Evaluation of the potential use of discard species for fish silage and assessment of its oils for human consumption. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 4, p. 1081–1088, 2019.

PAPUC, C.; *et al.* Comparative study of the influence of hawthorn (*Crataegus monogyna*) berry ethanolic extract and butylated hydroxyanisole (BHA) on lipid peroxidation, myoglobin oxidation, consistency and firmness of minced pork during refrigeration. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 4, p. 1346–1361, 2018.

PATEIRO, M.; *et al.* Effect of addition of natural antioxidants on the shelf-life of “Chorizo”, a Spanish dry-cured sausage. **Antioxidants**, Basel, v. 4, n. 1, p. 42–67, 2015.

PEDROZA FILHO, M. X.; *et al.* **Caracterização da cadeia produtiva da tilápia nos principais polos de produção do Brasil**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2020. 49 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1125358>. Acesso em: 5 abr. 2024.

PEIXE BR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. **Anuário Peixe BR da Piscicultura 2023**. São Paulo: Associação Brasileira da Piscicultura, 2023. 76 p. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2023/> Acesso em: 1 maio 2025.

PEIXE BR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. **Anuário Peixe BR da Piscicultura 2024**. São Paulo: Associação Brasileira da Piscicultura, 2024. 138 p. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2024/>. Acesso em: 25 abr. 2025.

PEIXE BR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. **Anuário Peixe BR da Piscicultura 2025**. São Paulo: Peixe BR, 2025. 144 p. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2025/>. Acesso em: 20 abr. 2025.

PELEGRINI, D. Y. **Estudo do efeito antioxidante da casca do alho (*Allium sativum*) para biodiesel de canola**. 2022. Dissertação (Mestrado em Bioenergia). Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2022.

PENS, C. J. S.; *et al.* Avaliação da contagem de microorganismos aeróbios mesófilos em sushis de buffets de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, conforme legislação municipal vigente. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 11, n. 1, p. 45-57, 2020.

PINTO, B. V. V. **Elaboração de fishburger com resíduos da filetagem da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758) adicionado de transglutaminase**. 2017. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

PIRES, D. R.; *et al.* Aproveitamento do resíduo comestível do pescado: aplicação e viabilidade. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 34-46, 2015.

PIRES, D. R.; *et al.* Espécies de pescado subexploradas e seu potencial para elaboração de produtos com valor agregado. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 5, p. 148-157, 2014.

PREGNOLATO, W.; PREGNOLATO, N. P. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. In: Pregnolato, W.; Pregnolato, N. P. (Coords.). **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 3. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, v. 1, 1985.

PRESENZA, L. S. **Desenvolvimento de fishburguer utilizando salmão do Atlântico (*Salmo salar* - Linnaeus, 1758): caracterização microbiológica, físico-química e sensorial**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Espírito Santo, 2019.

QUEIROGA, I. M. B. N.; *et al.* Performance of *Allium cepa* and *Allium sativum* essential oils on the quality of marine shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) under MAP packaging. **Food Control**, v. 152, p. 109885, 2023.

RATHNASAMY, S.; *et al.* Comparative studies on isolation and characterization of allinase from garlic and onion using PEGylation-a novel method. **Asian Journal of Chemistry**, v. 26, n. 12, p. 3733-3735, 2014.

RECHI, E. **Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. Aquarismo Paulista, 2016. Disponível em: <http://www.aquarismopaulista.com/tilapia-oreochromis-niloticus/>. Acesso em: 05 de set. 2024.

RIBEIRO, J. S.; *et al.* Natural antioxidants used in meat products: a brief review. **Meat Science**, v. 148, p. 181-188, 2019.

RICCIUTELLI, M.; *et al.* Study of the effect of marination treatment on garlic bioactive compounds through an innovative HPLC-DAD-MS method for alliin and curcuminoids analysis. **LWT - Food Science and Technology**, v. 131, p. 109788, 2020.

RINCÓN, S.; MARTÍNEZ, D. Análisis de las propiedades de aceite de palma en el desarrollo de su industria. **Revista Palmas**, v. 30, n. 2, p. 11-24, 2009.

ROSSETTO, J. F.; SIGNOR, A. Inovações tecnológicas empregadas em coprodutos gerados pelo processamento do pescado. **Pubvet**, v. 15, n. 4, p. 1-11, abr. 2021.

SANSURY. **Criação de tilápias é um excelente negócio para piscicultores**. 2017, Disponível em: <https://blog.sansuy.com.br/criacao-de-tilapias-e-um-excelente-negocioparapiscicultores/#:~:text=A%20til%C3%A1pia%20%C3%A9%20o%20peixe,e%20com%20boa%20capacidade%20reprodutiva>. Acesso em: 05 set. 2024.

SANTOS, C. S.; *et al.* Uso da carne mecanicamente separada (CMS) em produtos cárneos. In: Souza, T. J.; *et al.* **Resiliência, sustentabilidade e desenvolvimento social sob a ótica da engenharia e agronomia**. Campina Grande: Editora Amplla, p. 104-121, 2020.

SANTOS, P. C. M.; *et al.* Garlic (*Allium sativum* L.) peel extracts: From industrial by-product to food additive. **Applied Food Research**, [S.l.], v. 2, e100186, 2022.

SANTOS, E. J. R.; *et al.* Qualidade higiênico-sanitária de tambaqui (*Colossoma macropomum*) comercializado na cidade de São Luís – MA. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 23, n. 1, p. 1-12, 2023.

SÃO JOSÉ, F. F.; *et al.* **Mapeamento de viveiros escavados para aquicultura no Brasil por sensoriamento remoto**. Campinas: Embrapa Territorial, 2022. 28 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1152279>. Acesso em: 12 out. 2024.

SARY, C.; *et al.* Influência da lavagem da carne mecanicamente separada de tilápia sobre a composição e aceitação de seus produtos. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 423-432, out./dez. 2009.

SÁ-VIEIRA, P. H.; *et al.* Produtos de valor agregado de tilápia (*Oreochromis niloticus*) utilizando diferentes concentrações de amido. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 3, n. 1, p. 41-53, 2015.

SIMÕES, M. T. F.; *et al.* Hambúrgueres formulados com base proteica de pescado. **Revista Brasileira de Tecnologia de Alimentos**, v. 41, n. 2, p. 184–191, 1998.

SCHREIBER, F. H. R.; ZUCATTO, L. C.; LAZZARI, R. Canais de comercialização do pescado de água doce: um estudo em municípios da mesorregião Noroeste do Rio Grande do Sul. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 10, n. 5, p. e50010514427, 2021.

SCHULTER, E. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Evolução da piscicultura no Brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva da tilápia**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea, 2017. 42 p.

SECCI, G.; PARISI, G. From farm to fork: Lipid oxidation in fish products. A review. **Italian Journal of Animal Science**, v. 15, n. 1, p. 124–136, 2016.

SEGARRA, S. M. T.; CÁRDENAS, K. E. P. Staphylococcus aureus resistentes a metilicina em alimentos. **Revista VIVE**, [S.l.], v. 4, n. 12, p. 457–469, 2021.

SHARIF, Z. I. M.; *et al.* Review on methods for preservation and natural preservatives for extending the food longevity. **Chemical Engineering Research Bulletin**, [S.l.], v. 19, p. 145, 2017.

SHRIVASTAVA, S.; GANESH, N. Tumor inhibition and cytotoxicity assay by aqueous extract of onion (*Allium cepa*) & garlic (*Allium sativum*): an in-vitro analysis. **Phytomedicine**, v. 2, n. 1, p. 80–84, 2010.

SILVA, F. R. F.; *et al.* Anticoagulant activity, paw edema and pleurisy induced carrageenan: Action of major types of commercial carrageenans. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, p. 26–33, 2010.

SILVA, N.; *et al.* **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2017. 560 p.

SILVA, R. N. R.; MARQUES, C. A. T.; CONSTANT, P. B. L. Uso de conservantes naturais em alimentos: um referencial teórico. In: CORDEIRO, C. A. M.; SILVA, E. M.; SILVA, B. A. **Ciência e tecnologia de alimentos: pesquisa e práticas contemporâneas**. V. 2. [S.l.]: Editora Científica Digital, 2021. Cap. 55, p. 775–786.

SILVA, W. B. **Propriedades tecnológicas e antimicrobiana de biofilmes de proteínas de peixe com óleo essencial de cravo**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

SIQUEIRA, L. J.; *et al.* Qualidade sanitária de tilápias (*Oreochromis niloticus*) abatidas em uma unidade móvel de processamento de pescado. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 13, p. 11–19, 2023.

SMAOUI, S.; *et al.* Pomegranate peel as phenolic compounds source: Advanced analytical strategies and practical use in meat products. **Meat Science**, v. 158, p. 107914, 2019.

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

SOARES, L. A.; *et al.* Impactos nutricionais da ingestão alimentar dos ácidos graxos ômega 3 de óleo de palma: uma revisão. **Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento**, [S.l.], v. 10, n. 56, p. 105–114, 2016.

SOHRABI, S. M.; SHAHMOHAMMADI, M.; MOHAMMADI, M. Identification and functional characterization of a cysteine-rich peptide from the garlic (*Allium sativum* L.). **South African Journal of Botany**, v. 166, p. 690–697, 2024.

SOUZA, G. C.; *et al.* Comida de rua: avaliação das condições higiênico-sanitárias de manipuladores de alimentos. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 8, p. 2329–2338, ago. 2015.

SOUZA, L. S. S.; SOARES, A. C. F. Extrato aquoso de alho (*Allium sativum* L.) no controle de *Aspergillus niger* causador da podridão vermelha em sisal. **Tecno-lógica**, v. 17, n. 2, p. 124–128, 2013.

SULAIMAN, C.; BALACHANDRAN, I. Total phenolics and total flavonoids in selected Indian medicinal plants. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 74, n. 3, p. 258–260, 2012.

TAKEDA, S.; *et al.* Surface OH group governing adsorption properties of metal oxide films. **Thin Solid Films**, v. 339, p. 220–224, 1999.

TEIXEIRA, L. C.; GARCIA, P. P. C. Qualidade do pescado: captura, conservação e contaminação. **Acta de Ciências e Saúde**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 62–76, 2014.

TORREZAN, R.; *et al.* Elaboração de salsicha de tilápia. **Comunicado Técnico - Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos**, [S.l.], n. 252, p. 1–5, 2024.

TRAN, T. T. T.; *et al.* Application of natural antioxidant extract from guava leaves (*Psidium guajava* L.) in fresh pork sausage. **Meat Science**, v. 165, p. 108106, 2020.

UEDA, J. M.; *et al.* Food additives from fruit and vegetable by-products and bioresidues: a comprehensive review focused on sustainability. **Sustainability**, v. 14, n. 9, p. 5212, 2022.

VALASI, L.; KOKOTOU, M. G.; PAPPAS, C. S. GC-MS, FTIR and Raman spectroscopic analysis of fatty acids of *Pistacia vera* (Greek variety “Aegina”) oils from two consecutive harvest periods and chemometric differentiation of oils quality. **Food Chemistry**, v. 148, p. 110590, 2021.

VEIT, J. C.; *et al.* Desenvolvimento e caracterização de bolos de chocolate e de cenoura com filé de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 23, n. 3, p. 427–433, jul./set. 2012.

VELÁZQUEZ, L.; *et al.* Natural antioxidants from endemic leaves in the elaboration of processed meat products: current status. **Antioxidants**, v. 10, n. 9, p. 1396, 2021.

VIDAL-CAMPELLO, J. M. A.; *et al.* Métodos de obtenção de concentrado proteico a partir de resíduos da filetagem de tilápia. **Ciência e Tecnologia do Pescado**, [S.l.], v. 2, p. 147–159, 2020.

VIEIRA, R. M.; *et al.* Avaliação microbiológica e sensorial de patê de peixe adicionado de pó de siriguela (*Spondias purpurea* L.). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 12933–12942, 2020.

VYNCKE, W. Direct determination of the thiobarbituric acid value in trichloroacetic extracts of fish as a measure of oxidative rancidity. **FetteSeifen Anstrichmittel**, v. 72, n. 12, p. 1084–1087, 1970.

WANG, Z. C.; *et al.* Effective inhibition and simplified detection of lipid oxidation in tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets during ice storage. **Aquaculture**, v. 511, p. 634183, 2019.

WERNICKE, C.; *et al.* Effect of unsaturated fat and protein intake on liver fat in people at risk of unhealthy aging: 1-year results of a randomized controlled trial. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 117, p. 785–793, 2023.

WHITHAM, H. K.; *et al.* Novel outbreak-associated food vehicles, United States. **Emerging Infectious Diseases**, [S.l.], v. 27, n. 10, p. 2554–2560, 2021.

WI, G.; *et al.* Evaluation of the physicochemical and structural properties and the sensory characteristics of meat analogues prepared with various non-animal based liquid additives. **Food Hydrocolloids**, v. 99, p. 105315, 2020.

WU, J.; JIN, Y.; ZHANG, M. Evaluation on the physicochemical and digestive properties of melanoidin from black garlic and their antioxidant activities in vitro. **Food Chemistry**, [S.l.], v. 340, p. 12793, 2021.

WU, L.; PU, H.; SUN, D.-W. Novel techniques for evaluating freshness quality attributes of fish: a review of recent developments. **Trends in Food Science & Technology**, [S.l.], v. 83, p. 259–273, 2019.

YEANNES, M. I.; ALMANDOS, M. E. Estimation of fish proximate composition starting from water conten. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 16, n. 1, p. 81–92, 2003.

YIM, D. G.; *et al.* Effects of *Caesalpinia sappan* L. extract on the color stability, antioxidant and antimicrobial activity in cooked pork sausages during cold storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 112, p. 108235, 2019.

YOUSSEF, A. M.; *et al.* Preparation and characterization of novel bionanocomposites based on garlic extract for preserving fresh Nile tilapia fish fillets. **Royal Society of Chemistry Advances**, v. 11, p. 22571–22584, 2021.

ZAMPIEPI, M. E. **Tilápia deve alcançar 80% do mercado de peixes de cultivo no Brasil até 2030.** Globo Rural, 2023, Disponível em: <https://globo rural.globo.com/pecuaria/peixe/noticia/2023/02/tilapia-deve-alcancar80percent-do-mercado-de-peixes-de-cultivo-no-brasil-ate-2030.ghtml>. Acesso em: 19 jan. de 2025.

ZHANG, X.; *et al.* Improvement of muscle quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) with a bio-floating bed in culture ponds. **Frontiers in Physiology**, v. 10, p. 1–10, 2019.

ZHOU, X.-R.; *et al.* Heterologous production of GLA and SDA by expression of an *Echium plantagineum* $\Delta 6$ -desaturase gene. **Plant Science**, v. 170, p. 665–673, 2006.

**APÊNDICE A – TABELA DOS VALORES DAS TRIPLICATAS DA CAPACIDADE DE
RETENÇÃO DE ÁGUA (CRA) DOS *FISHBURGUERS***

Tratamentos Tempo 0	Massa amostra (g)	Vol. sobrenadante (mL)	Vol. Sol. Sal. Absor. (mL)	CRA 100 g de amostra % (mL)
F1 C-	5,1100	1,2	6,8	133,0724
	5,0400	1,1	6,9	136,9048
	5,0600	1,2	6,8	134,3874
F2 C+	5,0000	1,3	6,7	134,0000
	5,0000	1,3	6,7	134,0000
	5,0600	1,1	6,9	136,3636
F3 1%	5,0600	1,1	6,9	136,3636
	5,0500	1,2	6,8	134,6535
	5,0300	1,2	6,8	135,1889
F4 3%	5,0200	1,2	6,8	135,4582
	5,0400	1,2	6,8	134,9206
	5,0300	1,1	6,9	137,1769
F5 9%	5,0800	1,2	6,8	133,8583
	5,1600	1,0	7,0	135,6589
	5,0800	1,3	6,7	131,8889
CMS	5,0800	3,7	4,3	84,6457
	5,0300	3,5	4,5	89,4632
	5,0600	3,5	4,5	88,9328

Fonte: elaborada pela autora (2025).

**APÊNDICE B – TABELA DOS VALORES DAS TRIPLICATAS DA PERDA POR
COCCÃO (PPC) DOS *FISHBURGUERS***

Tratamentos Tempo 0	Massa inicial da amostra (g)	Massa final da amostra (g)	Massa de líquido perdido pela amostra (g)	PPC da amostra %
F1 C-	5,8000	5,6500	0,1500	2,5862
	5,8800	5,7400	0,1400	2,3810
	5,8200	5,6700	0,1500	2,5773
F2 C+	5,5400	5,4100	0,1300	2,3466
	5,4400	5,3000	0,1400	2,5735
	5,5200	5,3700	0,1500	2,7174
F3 1%	5,7200	5,6100	0,1100	1,9231
	5,7600	5,6400	0,1200	2,0833
	5,7000	5,5900	0,1100	1,9298
F4 3%	5,4900	5,3900	0,1000	1,8215
	5,3000	5,1900	0,1100	2,0755
	5,4000	5,3000	0,1000	1,8519
F5 9%	5,4700	5,3800	0,0900	1,6453
	5,4100	5,3000	0,1100	2,0333
	5,4500	5,3500	0,1000	1,8349
CMS	5,4800	3,9700	1,5100	27,5547
	5,4600	4,0000	1,4600	26,7399
	5,4000	3,9200	1,4800	27,4074

Fonte: elaborada pela autora (2025).