



ENIO LUCIO MUSSA JOSE

**APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL COM
POTENCIAL ANTIOXIDANTE USANDO EXTRATO
HIDROALCOÓLICO DE MORINGA OLEÍFERA EM
HAMBURGUERES BOVINOS**

**LAVRAS-MG
2026**

ENIO LUCIO MUSSA JOSE

**APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL COM POTENCIAL
ANTIOXIDANTE USANDO EXTRATO HIDROALCOÓLICO DE *MORINGA*
OLEÍFERA LAM EM HAMBURGUES BOVINOS**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Lavras, como parte das
exigências do Programa de Pós-Graduação
em Ciência dos Alimentos para a obtenção
do título de Mestre.

Profa. Dra. Alcineia de Lemos Souza Ramos
Orientadora

**LAVRAS-MG
2026**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Jose, Enio Lucio Mussa.

Aplicação de revestimento comestível com potencial antioxidante usando extrato hidroalcoólico de moringa oleífera lam em hamburgueres bovinos / Enio Lucio Mussa Jose. - 2026.

83 p. : il.

Orientadora: Alcinéia de Lemos Souza Ramos

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2026.
Bibliografia.

1. Carne bovina. 2. Moringa oleífera. 3. Revestimento comestível. 4. Gelatina. 5. Oxidação lipídica. I. Ramos, Alcinéia de Lemos Souza. II. Universidade Federal de Lavras. III. Título.

ÊNIO LÚCIO MUSSA JOSÉ

**APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL COM POTENCIAL
ANTIOXIDANTE USANDO EXTRATO HIDROALCOÓLICO DE MORINGA
OLEÍFERA EM HAMBURGUES BOVINOS**

**APPLICATION OF AN EDIBLE COATING WITH ANTIOXIDANT
POTENTIAL USING HYDROALCOHOLIC MORINGA OLEIFERA EXTRACT
IN BEEF HAMBURGERS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 06 de março de 2026.

Dr. Eduardo Mendes Ramos
Dra. Marielle Maria de Oliveira Paula
Dra. Monalisa Pereira Dutra Andrade

UFLA
UFLA
UFVJM

Documento assinado digitalmente
 **ALCINEIA DE LEMOS SOUZA RAMOS**
Data: 12/08/2026 10:01:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Alcinéia de Lemos Souza Ramos
Orientadora

**LAVRAS - MG
2026**

A Deus, pela vida e propósito.
Aos meus pais, Lúcio e Anatércia, meu porto seguro.
À minha mãe biológica, Mariamo (in memoriam), por fazer parte da minha história.
Com amor, dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder vida, saúde, força e sabedoria ao longo de toda a minha trajetória, bem como pelas oportunidades e bênçãos que me permitiram chegar até aqui.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade de realizar o mestrado e pelas condições oferecidas para minha formação acadêmica, científica e profissional. À CAPES, FAPEMIG e ao CNPq, pelo apoio à pesquisa, à ciência e à formação de recursos humanos, fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Lúcio Mussa José e Ana Teresa Américo Mainato, minha profunda gratidão pelo amor incondicional, apoio, compreensão e ensinamentos ao longo da vida. Aos meus irmãos, Deuteronômio Lúcio Mussa José, Olívia de Lourdes Lúcio Mussa José, Keila Aurora Lúcio Mussa José e Lúcio Mussa José Júnior, agradeço pelo carinho, incentivo e apoio contínuo, mesmo à distância. Vocês foram fundamentais nesta caminhada.

À minha orientadora, Profa. Dra. Alcinéia de Lemos Souza Ramos, agradeço pela orientação, confiança, dedicação e suporte durante todo o mestrado. Sua contribuição foi essencial para meu crescimento acadêmico, científico e pessoal.

Ao Prof. Dr. Eduardo Ramos, agradeço pelos ensinamentos, pela disponibilidade e pelas valiosas contribuições na área de carnes e derivados, importantes para minha formação e para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos integrantes do Lab. Carnes, agradeço pela receptividade, pelo apoio técnico e pelo ambiente acolhedor. Em especial, às colegas Isadora, Marielle, Roberta e Lorrany, agradeço pelo companheirismo, pela ajuda e pela convivência durante esta etapa. Aos colegas de Iniciação Científica (IC), agradeço pela colaboração, troca de conhecimentos e disponibilidade ao longo da pesquisa.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e para a concretização deste sonho.

A todos, minha eterna gratidão!

RESUMO GERAL

A oxidação lipídica e a degradação de pigmentos são os principais limitantes da vida útil de produtos cárneos. Esta dissertação objetivou desenvolver, caracterizar e aplicar um revestimento comestível à base de gelatina (8% p/v) incorporado com extrato hidroalcoólico de folhas de *Moringa oleifera* Lam. (MOL) para a preservação da qualidade de hambúrgueres bovinos. O trabalho foi estruturado em duas etapas: estabilidade sob refrigeração (4 ± 1 °C por 12 dias) e sob congelamento (-18 ± 1 °C por 60 dias). A caracterização do extrato revelou os ácidos gálico e clorogênico como majoritários e elevada concentração de linolenato de metila. Em ambos os estudos, os resultados indicaram que não houve diferença estatisticamente significativa ($P > 0,05$) entre os tratamentos (CONT, GEL, MOR2 e MOR5) para os valores de TBARS, pH e perda de peso, sendo as alterações nesses parâmetros determinadas pelo tempo de armazenamento ($P < 0,05$). Quanto à cor instrumental, a aplicação dos revestimentos aditivados com extrato promoveu uma redução na luminosidade (L^*) e aumento na intensidade de amarelo (b^*) e saturação (C^*), decorrentes da pigmentação natural do vegetal, sem, contudo, exercer efeito protetor estatístico sobre a cor vermelha (a^*) e estabilidade tonal (h°). Conclui-se que, embora a *Moringa oleifera* apresente potencial antioxidante *in vitro*, sua incorporação em revestimentos de gelatina, nas condições avaliadas, não resultou em ganhos significativos na estabilidade físico-química e oxidativa dos hambúrgueres em relação ao controle, evidenciando que o efeito conservante foi exercido predominantemente pelas condições de temperatura de estocagem.

Palavras-chave: *Moringa oleifera*; Revestimento comestível; Oxidação lipídica; Carne bovina; Conservação de alimentos.

GENERAL ABSTRACT

Lipid oxidation and pigment degradation are the main factors limiting the shelf life of meat products. This dissertation aimed to develop, characterize, and apply an edible gelatin-based coating (8% w/v) incorporated with a hydroalcoholic extract of *Moringa oleifera* Lam. leaves (MOL) to preserve the quality of beef hamburgers. The study was conducted in two stages: refrigerated storage (4 ± 1 °C for 12 days) and frozen storage (-18 ± 1 °C for 60 days). Characterization of the extract revealed gallic and chlorogenic acids as the predominant phenolic compounds, as well as a high concentration of methyl linolenate. In both studies, no statistically significant differences ($P > 0.05$) were observed among the treatments (CONT, GEL, MOR2, and MOR5) for TBARS values, pH, and weight loss, with changes in these parameters being primarily influenced by storage time ($P < 0.05$). Regarding instrumental color, the application of coatings containing the extract reduced lightness (L^*) and increased yellowness (b^*) and chroma (C^*), reflecting the natural pigmentation of the plant extract. However, no statistically significant protective effect was observed on redness (a^*) or hue angle (h°). It can be concluded that, although *Moringa oleifera* exhibits antioxidant potential *in vitro*, its incorporation into gelatin-based edible coatings, under the conditions evaluated, did not result in significant improvements in the physicochemical and oxidative stability of beef hamburgers compared with the control treatment. These findings indicate that the preservation of product quality was predominantly associated with storage temperature rather than the antioxidant activity of the coating.

Keywords: *Moringa oleifera*; Edible coating; Lipid oxidation; Beef; Food preservation.

INDICADORES DE IMPACTO

O desenvolvimento de revestimentos comestíveis ativos à base de gelatina incorporados com extrato de *Moringa oleifera* Lam para a preservação da qualidade de hambúrgueres bovinos apresenta potencial para gerar impactos positivos relevantes nos âmbitos social, tecnológico, econômico e ambiental. No âmbito social, a utilização de componentes naturais na conservação de alimentos está alinhada à crescente demanda dos consumidores por produtos *clean label*, contribuindo para a redução do uso de aditivos sintéticos e, consequentemente, para a diminuição da exposição a substâncias potencialmente indesejáveis. Além disso, a aplicação de revestimentos com propriedades antioxidantes favorece a manutenção da qualidade nutricional e sensorial da carne bovina ao longo do armazenamento, promovendo a segurança alimentar e a proteção da saúde do consumidor. Sob a perspectiva tecnológica, a pesquisa contribui para o avanço do conhecimento na área de embalagens ativas e biodegradáveis, ao propor o desenvolvimento de biofilmes à base de gelatina funcionalizados com extrato de *Moringa oleifera* Lam. uma matriz vegetal reconhecida por seu elevado teor de compostos bioativos. Os resultados obtidos podem subsidiar o aprimoramento de tecnologias sustentáveis de conservação de alimentos, bem como estimular futuras investigações voltadas à aplicação de extratos vegetais como agentes antioxidantes naturais em sistemas alimentares. No contexto econômico, a aplicação dessa tecnologia tem como objetivo prolongar a vida útil dos hambúrgueres bovinos, reduzindo perdas por deterioração oxidativa durante o armazenamento e a comercialização. Essa estratégia pode resultar em maior eficiência produtiva, diminuição do desperdício de alimentos e aumento da competitividade da indústria cárnea, setor de elevada relevância para a economia brasileira. Ademais, a adoção de revestimentos comestíveis e biodegradáveis reforça práticas mais sustentáveis ao longo da cadeia produtiva da carne, incentivando uma abordagem ambientalmente responsável tanto por parte da indústria quanto dos consumidores.

IMPACT INDICATORS

The development of active edible coatings based on gelatin incorporated with *Moringa oleifera* extract for preserving the quality of beef burgers has the potential to generate relevant positive impacts in the social, technological, economic, and environmental spheres. From a social perspective, the use of natural components in food preservation is aligned with the growing consumer demand for clean-label products, contributing to the reduction of synthetic additives and, consequently, to decreased exposure to potentially undesirable substances. In addition, the application of coatings with antioxidant properties favors the maintenance of the nutritional and sensory quality of beef during storage, promoting food safety and protecting consumer health. From a technological standpoint, this research contributes to the advancement of knowledge in the field of active and biodegradable packaging by proposing the development of gelatin-based biofilms functionalized with *Moringa oleifera* extract, a plant matrix recognized for its high content of bioactive compounds. The results obtained may support the improvement of sustainable food preservation technologies, as well as encourage further investigations focused on the application of plant extracts as natural antioxidant agents in food systems. In the economic context, the application of this technology aims to extend the shelf life of beef burgers, reducing losses caused by oxidative deterioration during storage and commercialization. This strategy may result in greater production efficiency, reduced food waste, and increased competitiveness of the meat industry, a sector of high relevance to the Brazilian economy. Moreover, the adoption of edible and biodegradable coatings reinforces more sustainable practices throughout the meat production chain, encouraging an environmentally responsible approach by both the industry and consumers.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

Figura 1. Esquema do processo de oxidação lipídica.....	8
Figura 2. Estrutura química de alguns ácidos fenólicos	12
Figura 3. Estrutura química básica de alguns flavonoides	13
Figura 4. Folhas e sementes de Moringa oleifera Lam	15
Figura 5. Esquema do processo de obtenção do revestimento	19

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

Figura 1. Comportamento dos valores de TBARs dos hambúrgueres bovinos durante o armazenamento refrigerado	42
Figura 2. Comportamento dos parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , c^* e h°) dos hambúrgueres ao longo do armazenamento refrigerado	45
Figura 3. Fotografia digital dos hambúrgueres bovinos durante o armazenamento refrigerado	46

ARTIGO 2

Figura 1. Comportamento dos valores de TBARs dos hambúrgueres bovinos durante o armazenamento congelado	61
Figura 2. Comportamento dos parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , c^* e h°) dos hambúrgueres ao longo do armazenamento congelado.....	63

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1. Exemplos de estudos com embalagens ativas e revestimentos à base de gelatina e sua aplicação em carnes e derivados.....	10
--	----

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

Tabela 1. Composição de compostos fenólicos identificados e quantificados por HPLC-DAD	34
Tabela 2. Composição de voláteis identificados no extrato de Moringa oleífera Lam por CG-EM e suas abundâncias relativas	36
Tabela 3. Efeitos dos tratamentos (T) e do tempo de armazenamento refrigerado (D) no pH, índice de TBARs e cor objetiva de hambúrgueres bovinos revestidos com gelatina e extrato de moringa	38

ARTIGO 2

Tabela 1. Efeitos dos tratamentos (T) e do tempo de armazenamento congelado (D) no pH, índice de TBARs e cor objetiva de hambúrgueres bovinos revestidos com gelatina e extrato de moringa	59
---	----

LISTA DE SIGLAS

- ABIEC** – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes
- ABTS** – Ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)
- ANOVA** – Análise de Variância
- BHA** – Butil-hidroxianisol
- BHT** – Butil-hidroxitolueno
- CG-EM** – Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (ou GC-MS)
- CiCarne** – Centro de Inteligência da Carne Bovina
- CIELAB** – Sistema de cores (L*, a*, b*)
- CLAE** – Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (ou HPLC)
- CONT** – Tratamento Controle (sem revestimento)
- DAD** – Detector de Arranjo de Diodos
- DPPH** – 2,2-difenil-1-picri-hidrazil
- EAG** – Equivalente em Ácido Gálico
- EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- EPM** – Erro Padrão da Média
- FPS** – Fator de Proteção Solar
- FRAP** – Poder Antioxidante de Redução do Ferro
- FTIR** – Infravermelho por Transformada de Fourier
- GAE** – *Gallic Acid Equivalent* (Equivalente em Ácido Gálico)
- GC** – Cromatografia Gasosa
- GEL** – Tratamento com revestimento de gelatina pura
- HPLC** – *High Performance Liquid Chromatography*
- IL-6** – Interleucina 6
- MAPA** – Ministério da Agricultura e Pecuária
- MDA** – Malonaldeído
- MMb** – Metamioglobina
- MOL** – *Moringa oleifera* Lam.
- MOR2** – Tratamento com gelatina + 2% de extrato de Moringa
- MOR5** – Tratamento com gelatina + 5% de extrato de Moringa
- MPa** – Mega Pascal
- ND** – Não Detectado
- PAL** – Fenilalanina amônia-liase

PIB – Produto Interno Bruto

RIISPOA – Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal

RNS – Espécies Reativas de Nitrogênio

ROS – Espécies Reativas de Oxigênio

RT – Tempo de Retenção (*Retention Time*)

SAS – *Statistical Analysis System*

TBA – Ácido 2-tiobarbitúrico

TBARs – Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico

TBHQ – Terc-butil-hidroquinona

TE – Equivalentes de Trolox

TEC – Toneladas em Equivalente Carcaça

TNF- α – Fator de Necrose Tumoral alfa

UFLA – Universidade Federal de Lavras

UPLC – *Ultra-Performance Liquid Chromatography*

USDA – *United States Department of Agriculture*

UV/VIS – Ultravioleta-Visível

UNIDADES DE MEDIDA E SÍMBOLOS

μg – Micrograma

μL – Microlitro

μM – Micromol

m/v – Massa/Volume

mg/L – Miligramas por litro

nm – Nanômetro

p/v – Peso/Volume

v/v – Volume/Volume

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	1
1 INTRODUÇÃO	2
2. REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 Carne bovina	4
2.2 Uso de extratos vegetais na conservação de hambúrgueres	5
2.3 Deterioração e oxidação lipídica em produtos cárneos	7
2.4 Fontes naturais de antioxidantes	9
2.5 Compostos fenólicos	11
2.5.1 Mecanismos de ação antioxidante em matrizes alimentares	13
2.6 Moringa oleifera Lam.	15
2.7 Revestimentos comestíveis	17
2.7.1 Gelatina	18
2.7.2 Incorporação de compostos bioativos em matrizes poliméricas	19
ARTIGO 1	27
3.1 Caracterização do extrato de Moringa oleifera Lam.	34
3.1.1 Perfil dos compostos fenólicos por HPLC-DAD	30
3.1.2 Perfil dos compostos voláteis (COVs)	31
3.2 Aplicação dos revestimentos em hambúrgueres bovinos armazenados sob refrigeração.....	32
3.2.1 Análise de cor instrumental	33
3.2.2 Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)	33
Tabela 1. Composição dos compostos fenólicos identificados e quantificados por HPLC-DAD	34
ARTIGO 2	54
4.1 Avaliação da aplicação dos revestimentos em hambúrgueres armazenados sob congelamento	58
4.1.1 Análise de cor	58
4.1.2 Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)	58
CONSIDERAÇÕES FINAIS	67

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a carne bovina é amplamente reconhecida como um alimento importante para a alimentação humana, por apresentar elevado valor nutricional, como proteínas de alta qualidade, vitaminas e minerais como o ferro, zinco, fósforo, potássio, Selênio. No Brasil, seu consumo está fortemente associado à cultura alimentar da população, estando frequentemente presente nas refeições diárias. No entanto, em razão de sua elevada qualidade nutricional e ampla aceitação, a conservação da carne bovina tem sido uma preocupação constante da indústria alimentícia, que busca aprimorar processos tecnológicos capazes de garantir produtos mais seguros, com melhor qualidade e maior vida útil. Em produtos cárneos que se destacam por fornecer proteínas de alta qualidade, além de lipídeos, vitaminas e minerais essenciais, a deterioração está frequentemente associada a processos oxidativos que afetam tanto lipídios quanto proteínas. Fatores como O elevado teor de gordura naturalmente presente na carne, juntamente com a exposição ao calor, à luz e a agentes pró-oxidantes, favorece intensamente a oxidação lipídica, comprometendo a qualidade e a estabilidade do produto significativa para a degradação desses produtos, comprometendo sua estabilidade durante o armazenamento. Assim, a oxidação lipídica, além de afetar negativamente atributos sensoriais como sabor, cor e textura, pode resultar também na redução do valor nutricional da carne e de seus derivados.

Dentre os produtos cárneos, o hambúrguer bovino destaca-se pelo amplo consumo em escala global, principalmente em função de seu sabor, praticidade e versatilidade. No entanto, esse produto apresenta elevada suscetibilidade à deterioração devido à sua composição, caracterizada por elevados teores de proteínas, lipídios e água, que favorecem o crescimento microbiano, a oxidação lipídica e alterações sensoriais, especialmente quando submetido a condições inadequadas de processamento e armazenamento. Essas alterações comprometem a qualidade, a segurança e a vida útil do produto, além de contribuírem para o aumento das perdas econômicas e do desperdício de alimentos, aspectos de grande relevância no contexto atual da sustentabilidade. Nesse sentido, a indústria de alimentos tem buscado alternativas para prevenir ou retardar os processos oxidativos durante o processamento e a estocagem de produtos cárneos, sendo o uso de antioxidantes uma das principais estratégias adotadas. No entanto, o crescente interesse por alternativas naturais tem se intensificado em função dos potenciais efeitos adversos à saúde associados aos antioxidantes sintéticos, os quais, quando consumidos

em excesso, podem apresentar riscos tóxicos e potencialmente cancerígenos. Dessa forma, observa-se um aumento na demanda por antioxidantes naturais, especialmente de origem vegetal, os quais, além de apresentarem maior segurança, atendem às exigências por alimentos mais saudáveis e sustentáveis. Entre as estratégias estudadas, os revestimentos comestíveis têm se destacado como uma alternativa promissora, uma vez que podem ser aplicados diretamente sobre a superfície dos alimentos, proporcionando benefícios como a redução da oxidação lipídica, o controle da perda de umidade, a inibição da contaminação microbiana e o controle da atividade enzimática, fatores diretamente relacionados à deterioração dos produtos cárneos. Revestimentos elaborados a partir de polímeros biodegradáveis, como a gelatina, apresentam importância tecnológica por melhorarem propriedades como elasticidade, textura e estabilidade, além de atuarem como barreira contra a desidratação e a exposição ao oxigênio e à luz.

Diante do aumento da demanda por alimentos processados, seguros e livres de aditivos químicos, torna-se fundamental o desenvolvimento de estratégias naturais e inovadoras para a conservação de alimentos perecíveis. Nesse contexto, a *Moringa oleifera* Lam. tem despertado interesse por apresentar elevada concentração de compostos bioativos distribuídos em diferentes partes da planta, como folhas, raízes, casca, flores e frutos. Estudos indicam que a concentração desses compostos pode variar em função das condições de cultivo, época de colheita e métodos de extração, o que pode influenciar diretamente a padronização e a eficácia das matérias-primas utilizadas. Entre as fontes naturais de compostos bioativos com potencial aplicação na conservação de alimentos, a *Moringa oleifera* Lam. destaca-se pelo elevado valor funcional, apresentando altas concentrações de polifenóis, flavonoides, ácidos fenólicos e outros metabólitos secundários associados a relevantes atividades antioxidantes e antimicrobianas.

Desse modo, este trabalho está dividido em duas partes, cujo objetivo foi a incorporação do extrato de folhas de *Moringa oleifera* Lam. em matrizes de gelatina como uma abordagem promissora para o desenvolvimento de revestimentos comestíveis, capazes de potencializar a proteção contra processos de deterioração química em hambúrgueres bovinos sob diferentes condições de armazenamento, como a refrigeração e congelamento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CARNE BOVINA

A bovinocultura de corte consolidou-se como um dos principais pilares da segurança alimentar global e como componente estratégico do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Segundo o Centro de Inteligência da Carne Bovina (CiCarne), da Embrapa (2025), o rebanho mundial estimado para o ano de 2025 é de aproximadamente 914 milhões de cabeças, representando uma retração marginal de 0,86% em relação a 2024.

No contexto nacional, a relevância do setor é ainda mais expressiva. Em 2023, o PIB total da cadeia produtiva da carne bovina alcançou USD 179,2 bilhões, correspondendo a 34,68% do PIB do agronegócio brasileiro e a 8,2% de toda a riqueza gerada no país (Embrapa, 2025). O faturamento do segmento produtivo primário, considerado dentro da porteira, totalizou R\$ 185,76 bilhões, evidenciando a ampla capilaridade econômica da atividade e sua importância socioeconômica em diferentes regiões do território brasileiro.

No que se refere à dinâmica produtiva, a produção mundial de carne bovina atingiu, em 2024, o volume de 61,37 milhões de toneladas em equivalente carcaça (TEC), registrando crescimento de 2,36% em comparação ao ano anterior (Embrapa, 2025). A estrutura do mercado global caracteriza-se por elevada concentração produtiva, com destaque para os Estados Unidos, que lideram a produção mundial com participação de 20,04%, seguidos de perto pelo Brasil, responsável por 19,31% do volume total. Ao longo da última década, observa-se um deslocamento geográfico da produção, uma vez que a União Europeia apresentou retração de 16,84% em sua participação de mercado entre 2014 e 2024, enquanto o Brasil registrou crescimento de 14,30%, aproximando-se progressivamente da liderança norte-americana (USDA, 2025; Embrapa, 2025).

Do ponto de vista do consumo, a demanda mundial por carne bovina em 2024 foi estimada em 59,55 milhões de toneladas. Nesse cenário, a China consolidou-se como o principal vetor de crescimento da demanda global, apresentando aumento expressivo de 78,05% no período de 2014 a 2024 (Embrapa, 2025). Entretanto, a análise do consumo por pessoa revela disparidades estruturais entre os países consumidores. A Argentina mantém a liderança no ranking global, com consumo médio de 49,4 kg por habitante ao ano, enquanto o Brasil ocupa a quarta posição, com 37,5 kg por habitante ao ano, valor

semelhante ao observado nos Estados Unidos, que apresentam consumo médio de 37,6 kg por habitante ao ano (ABIEC, 2025; Embrapa, 2025). Esses dados evidenciam que, embora países emergentes exerçam papel central no crescimento da demanda global, o consumo per capita permanece fortemente influenciado por fatores culturais, econômicos e estruturais.

2.2 HAMBÚRGUER BOVINO

De acordo com o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (Riispoa.,2017), produtos cárneos são derivados de carnes e miúdos cujas características originais são modificadas por processos físicos, químicos ou biológicos. O hambúrguer, especificamente, é um produto processado elaborado a partir de carne moída, com limites estabelecidos de 25% de gordura, mínimo de 15% de proteína e até 3% de carboidratos totais (Mapa., 2022).

2.2.1 Uso de extratos vegetais na conservação de hambúrgueres

A indústria de produtos cárneos tem sido pressionada a desenvolver formulações mais saudáveis e alinhadas ao conceito de *clean label*, visando atender à crescente demanda dos consumidores por alimentos mais naturais e com menor uso de aditivos sintéticos (Souza, 2023; Silva et al., 2021). Nesse contexto, o hambúrguer destaca-se pela elevada suscetibilidade à oxidação lipídica, uma vez que o processo de moagem fragmenta a estrutura da carne, rompendo membranas celulares e aumentando a exposição dos fosfolipídios e ácidos graxos poli-insaturados ao oxigênio (Santos et al., 2020; Souza, 2023).

A oxidação compromete a vida útil do produto, promovendo alterações nutricionais e sensoriais indesejáveis, como o aparecimento de sabores e odores de ranço, além da formação de compostos potencialmente tóxicos (Santos et al., 2020; Souza, 2023; Kotovicz et al., 2019). Embora antioxidantes sintéticos como o hidroxitolueno butilado (BHT), o hidroxianisol butilado (BHA) e os nitritos sejam tradicionalmente utilizados para controlar esses processos, preocupações quanto à sua segurança e toxicidade têm impulsionado a busca por substitutos naturais (Santos et al., 2020; Silva et al., 2021; Monteiro et al., 2025).

Extratos vegetais ricos em compostos bioativos emergem como alternativas naturais promissoras para a conservação de hambúrgueres. Diversos estudos relatam que

esses extratos apresentam elevada capacidade antioxidante, sendo capazes de igualar ou até superar a eficácia de conservantes sintéticos na inibição da oxidação lipídica, geralmente avaliada por meio do índice de TBARs. Exemplos incluem os extratos de romã (*Punica granatum*), obtidos tanto da polpa quanto das sementes, demonstraram desempenho comparável ao BHT no controle da oxidação lipídica em hambúrgueres de frango durante o armazenamento congelado. Além da eficiência antioxidante, esses extratos não promoveram alterações significativas na coloração do produto, o que reforça seu potencial tecnológico (Santos et al., 2020).

De forma semelhante, extratos provenientes de subprodutos da uva Isabel e da acerola mostraram-se altamente eficazes na inibição da peroxidação lipídica em hambúrgueres de frango. Após 30 dias de armazenamento, os valores de TBARS das amostras tratadas com esses extratos foram significativamente inferiores aos observados nas amostras contendo BHA, evidenciando o elevado potencial antioxidante dessas matrizes vegetais (Monteiro et al., 2025).

O gengibre (*Zingiber officinale*), na forma de óleo essencial e extrato obtido por fluido supercrítico, também apresentou resultados expressivos. Em hambúrgueres de frango, esses extratos reduziram a oxidação lipídica de maneira mais eficiente que o sal de cura convencional, indicando sua viabilidade como substituto parcial ou total de antioxidantes sintéticos (Kotovicz et al., 2019).

O extrato de alecrim (*Rosmarinus officinalis*), amplamente reconhecido por seu alto teor de diterpenos fenólicos, como carnosol e ácido carnósico, demonstrou elevada atividade antioxidante quando utilizado em combinação com emulsões de óleos vegetais. Além de contribuir para a estabilidade oxidativa, essa estratégia possibilitou a redução do teor de gorduras saturadas no produto final, agregando valor nutricional ao hambúrguer (Dias., 2019).

Os estudos revisados confirmam que os extratos vegetais são tecnologicamente viáveis e conferem propriedades funcionais aos hambúrgueres (Dias, 2019; Souza, 2023; Monteiro et al., 2025), muitas vezes apresentando desempenho semelhante ou superior aos conservantes sintéticos em termos de estabilidade oxidativa e saudabilidade (Kotovicz et al., 2019; Santos et al., 2020; Monteiro et al., 2025). No entanto, a busca por extratos ideais que atendam à multifuncionalidade, atuando simultaneamente como antioxidante, antimicrobiano e fixador de cor, de forma tão eficaz quanto os aditivos

tradicionais (como o nitrito), continua sendo uma fronteira aberta e um desafio complexo para a ciência de alimentos (Silva et al., 2021).

2.3 DETERIORAÇÃO E OXIDAÇÃO LIPÍDICA EM PRODUTOS CÁRNEOS

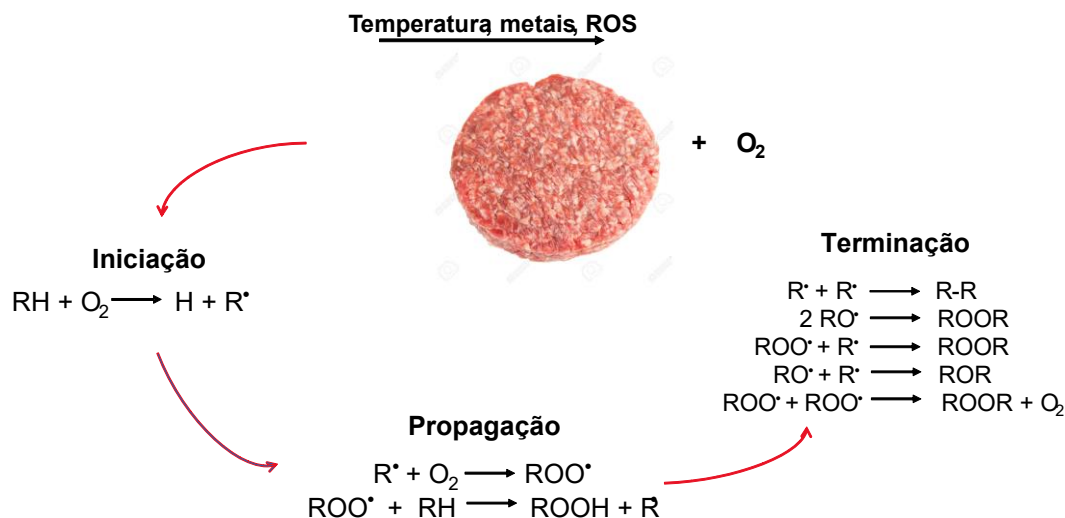
A carne e os produtos cárneos ocupam papel relevante na alimentação de consumidores no Brasil e no mundo, principalmente em função de seu elevado valor nutricional. No entanto, assegurar a manutenção da qualidade ao longo da vida útil ainda constitui um dos principais desafios da indústria cárnea, especialmente no que diz respeito à preservação do frescor e das características sensoriais apreciadas pelos consumidores (Hadidi et al., 2022).

A oxidação lipídica é uma das principais causas de perda de qualidade em produtos cárneos, independentemente da ação de microrganismos. Esse processo afeta diretamente atributos sensoriais importantes, como cor, odor e sabor, além de reduzir o valor nutricional dos alimentos devido à degradação de ácidos graxos essenciais e vitaminas (Bellucci et al., 2022). Ainda, é importante ressaltar que, além da oxidação lipídica, a oxidação proteica também contribui de forma significativa para a perda de qualidade. Esse tipo de oxidação resulta na formação de grupos carbonila e está relacionado à degradação das proteínas musculares, afetando propriedades tecnológicas importantes, como a retenção de água e a capacidade de formar géis (Santos et al., 2022; Bellucci et al., 2022).

A oxidação lipídica ocorre em três etapas principais: iniciação, propagação e terminação, como representada na figura 1. Durante esse processo, são formados compostos indesejáveis, como o malonaldeído (MDA), hexanal e outros aldeídos, que estão associados ao sabor de ranço e podem apresentar efeitos negativos à saúde (Cerqueira, 2024).

No curso da reação, há uma reação de radical livre que reage com a cadeia de hidrocarbonetos do ácido graxo formando peróxidos, que, por sua vez, reagem com outras cadeias de hidrocarbonetos abstraindo hidrogênios originando hidroperóxidos. A cadeia de carbono, da qual os hidrogênios foram abstraídos, atuará como novo peróxido, perpetuando o ciclo (Estevez, 2015., Domínguez et al., 2019). De um modo geral, a oxidação de lipídios pode ocorrer tanto de forma auto catalítica (autooxidação e fotoxidação), quanto de forma enzimática pela ação da lipoxigenase. Entretanto, a autooxidação é a principal reação causadora de ranço nos alimentos (Santos et al., 2019).

Figura 1. Esquema do processo de oxidação lipídica.



RH: carbono alfa-metileno; -R•: radical livre; -H•: hidrogênio removido; -ROO•: radical peroxila; -ROOH: hidroperóxido.

Fonte: Adaptado de Santos (2024).

As reações durante a oxidação lipídica podem levar à formação de odores e sabores desagradáveis, alterações de textura e cor, devido à oxidação da mioglobina que causa descoloração, o que influencia a escolha e aceitação do consumidor (Domínguez et al., 2018). Além disso, essas reações estão associadas à formação de produtos tóxicos considerados nocivos para a saúde, estando associados a patologias como arteriosclerose, câncer e processos inflamatórios (Ribeiro et al., 2019). Com objetivo de prevenir ou retardar reações de oxidação em carnes e produtos derivados, a indústria adiciona antioxidantes, sendo a maioria sintéticos, como o butil hidroxianisol (BHA), hidroxitolueno butilado (BHT) e propil galato (PG) (Cunha et al., 2018).

Portanto, a oxidação lipídica é um processo natural, desencadeado especialmente em lipídios insaturados, mas pode ser acelerada por diversos fatores, como alta concentração desses lipídios, presença de mioglobina, metais de transição, espécies reativas de oxigênio (ROS) e de nitrogênio (RNS), além de condições inadequadas de processamento e armazenamento. (Domínguez et al., 2019,).

2.4. ESTRATÉGIAS PARA CONTROLE DA OXIDAÇÃO EM PRODUTOS CÁRNEOS

2.4.1 Fontes naturais de antioxidantes

A substituição de antioxidantes sintéticos por extratos vegetais naturais tem sido amplamente discutida na literatura científica, principalmente em função das crescentes preocupações dos consumidores relacionadas à saúde, à sustentabilidade e à demanda por alimentos com rótulos mais limpos (*clean-label*). (Mendonça, 2025). Nesse contexto, diversos estudos têm investigado a incorporação de extratos naturais em revestimentos comestíveis como estratégia para retardar processos oxidativos e controlar o crescimento microbiano em produtos de origem animal.

Entre os extratos vegetais mais estudados, destaca-se o extrato de alho (*Allium sativum* L.), cuja atividade antioxidante e antimicrobiana é atribuída, principalmente, à presença de compostos organossulfurados, como a alicina. A literatura relata que sua aplicação em revestimentos comestíveis promove redução significativa da oxidação lipídica e do crescimento de microrganismos patogênicos em produtos à base de pescado, incluindo almôndegas de tilápia (Silva, 2025).

De forma semelhante, o extrato de folhas de goiabeira (*Psidium guajava* L.) apresenta elevado teor de compostos fenólicos, como quercetina e ácidos fenólicos, que atuam retardando a oxidação de lipídios e pigmentos cárneos. Nascimento (2022) observou que extratos hidroetanólicos dessas folhas, quando incorporados a revestimentos poliméricos, apresentaram maior eficiência antioxidante, contribuindo para a manutenção da cor e do frescor da carne bovina fresca.

Além das fontes vegetais tradicionais, estudos recentes têm destacado o potencial de resíduos agroindustriais como matrizes ricas em compostos bioativos. O bagaço da acerola (*Malpighia emarginata*) constitui um subproduto com elevado conteúdo de compostos fenólicos, como os ácidos salicílico, gentísico e protocatecuico, além de flavonoides como catequina e rutina. Santos et al. (2022) relataram que filmes de gelatina incorporados com 4% de extrato de bagaço de acerola foram capazes de reduzir significativamente a formação de malonaldeído e de compostos carbonílicos em hambúrgueres bovinos congelados, entre outros estudos como observados na Tabela 1.

A literatura também documenta a eficácia de outras fontes botânicas quando incorporadas a revestimentos comestíveis. Extratos de folhas e polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) retardam a oxidação da mioglobina e a formação de metmioglobina em sistemas cárneos (Nascimento, 2022; Bellucci et al., 2022). Frutas brasileiras, como

pitanga, açaí e pitaya, ricas em antocianinas e betacianinas, apresentam elevada capacidade antioxidante, com redução de valores de TBARS em níveis comparáveis aos antioxidantes sintéticos comumente utilizados na indústria de carnes (Bellucci et al., 2022).

Tabela 1. Exemplos de estudos com embalagens ativas e revestimentos à base de gelatina e sua aplicação em carnes e derivados.

Estudo	Biopolímero utilizado	Aditivo empregado	Aplicação	Principais resultados	Citação
Qualidade da cavala revestida com gelatina de atum e TBHQ	Gelatina da pele de atum amarelo (Thunnus albacares)	TBHQ (terc-butil-hidroquinona)	Postas de cavala-verdadeira (Scomberomorus cavalla) – carne in natura	A solução filmogênica com 0,03% de TBHQ foi a mais eficiente no controle da oxidação lipídica, estabilidade do pH, inibição do crescimento bacteriano e preservação da cor por 20 dias a 4 °C.	Cerqueir a (2024)
Filme de gelatina e extrato de acerola em hambúrguer bovino	Gelatina bovina comercial	Extrato aquoso do resíduo de acerola (Malpighia emarginata)	Hambúrguer bovino – produto cárneo processado	A incorporação de 4% do extrato reduziu a oxidação lipídica e proteica e manteve a cor vermelha durante 60 dias a -18 °C.	Santos et al. (2022)
Revestimento de gelatina com subprodutos de tomate em carne suína	Gelatina de pele suína	Hidrolisado de subprodutos de tomate (TBPH)	Carne suína – carne in natura	O revestimento reduziu significativamente a oxidação lipídica e manteve a estabilidade físico-química da carne durante o armazenamento.	Gallego et al. (2020)
Tecnologia de encapsulação em filmes edíveis	Gelatina e quitosana	Extratos vegetais, polifenóis, óleos essenciais e probióticos	Carnes e derivados	A gelatina apresenta elevada capacidade de proteção contra a oxidação, especialmente quando associada a outros biopolímeros.	Chaudhary et al. (2021)
Extratos naturais e qualidade de	Gelatina como matriz para bioativos	Extratos de frutas e plantas	Produtos cárneos diversos	Extratos vegetais incorporados à gelatina reduziram a oxidação lipídica e proteica,	Bellucci et al. (2022)

produtos cárneos				melhorando a estabilidade da cor.	
Produção de gelatina e colágeno hidrolisado	Gelatina e colágeno	Ênfase no processo de obtenção	Indústria de alimentos	As propriedades de bloom e viscosidade são determinantes para a aplicação da gelatina em revestimentos.	Mendonça (2025)
Antioxidantes naturais derivados de plantas em carnes	Gelatina e quitosana	Ervas, especiarias e frutas	Carne e produtos cárneos	Antioxidantes naturais retardam a oxidação lipídica e proteica, embora desafios sensoriais ainda existam.	Revisão científica

Fonte: Do Autor (2025).

2.5 COMPOSTOS FENOLICOS

Os compostos fenólicos constituem um dos grupos mais amplos de metabólitos secundários sintetizados por vegetais, desempenhando funções essenciais na defesa contra estresses bióticos e abióticos, como a radiação ultravioleta e o ataque de patógenos. Estruturalmente, caracterizam-se pela presença de ao menos um anel aromático ligado a um ou mais grupos hidroxila substituintes (Vargas; Bellaver, 2022).

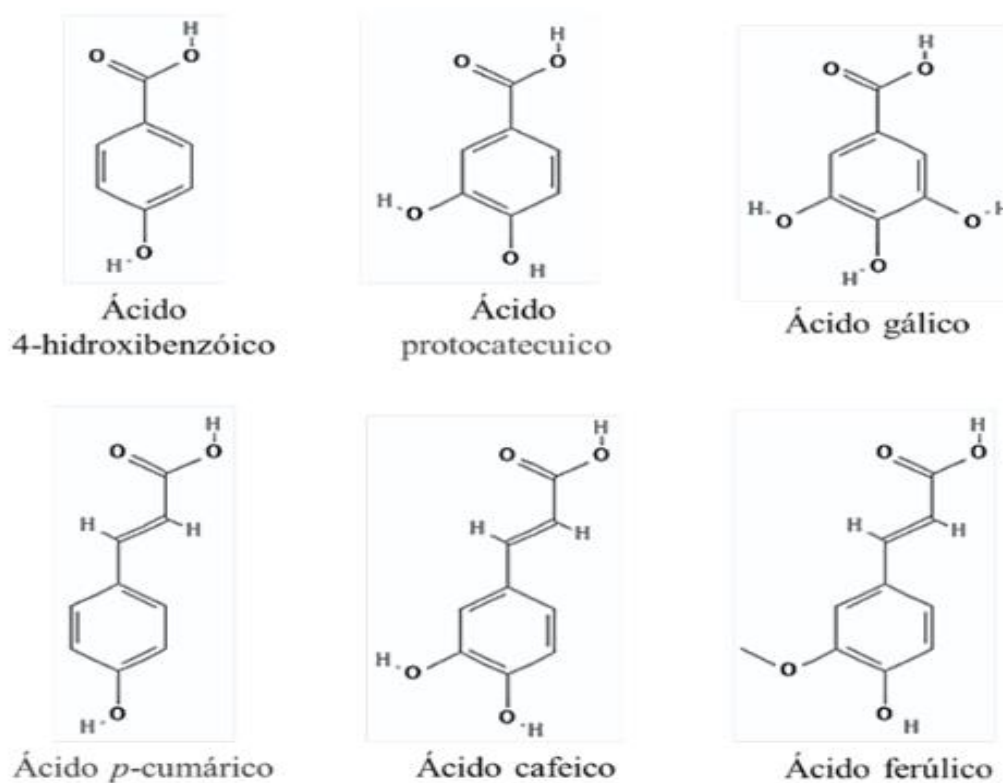
A biossíntese dessas moléculas ocorre predominantemente pela via dos fenilpropanoides, na qual a enzima fenilalanina amônia-liase (PAL) atua como ponto regulador chave do processo. Estudos realizados com mutantes de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) demonstram que a concentração desses compostos é fortemente influenciada por fatores genéticos e estímulos luminosos. Mutações que conferem hipersensibilidade à luz, como aquelas observadas no genótipo *hpl*, resultam em frutos com concentrações significativamente superiores de compostos fenólicos e maior capacidade antioxidante (Dias et al., 2015).

2.5.1 Ácidos Fenólicos

Os ácidos fenólicos estão amplamente distribuídos em matrizes vegetais, sendo encontrados de maneira generalizada em frutos como a mama-cadela (*Brosimum gaudichaudii* Tréc.) e em subprodutos de frutas tropicais (Land et al., 2017). Moléculas como o ácido gálico e o ácido cafeico são reconhecidas por seu elevado potencial redutor,

atuando no sequestro de radicais livres e na proteção de neurônios e células periféricas contra a apoptose induzida pelo estresse oxidativo (Vargas; Bellaver, 2022).

Figura 2. Estrutura química de alguns ácidos fenólicos.



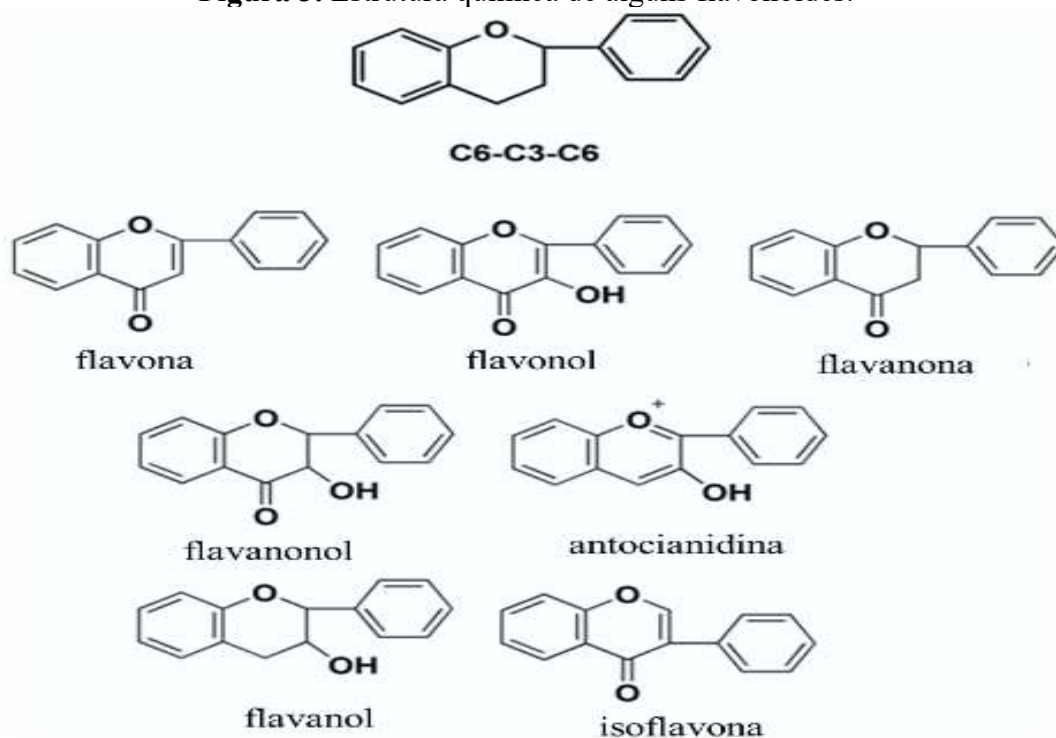
Fonte: Magalhães e Santos (2021)

2.5.2 Flavonoides

Os flavonoides representam uma classe polifenólica diversa, incluindo flavonóis, antocianinas e catequinas, caracterizando-se por sua elevada capacidade de doação de elétrons. No jabolão (*Syzygium cumini* L.), observa-se que folhas e frutos verdes apresentam maior densidade de flavonoides em comparação aos frutos maduros, evidenciando que o estágio de maturação constitui um fator determinante da bioatividade desses compostos (Veber et al., 2015).

Além de sua ação antioxidante, os flavonoides apresentam propriedades anti-inflamatórias e gastroprotetoras, destacando-se como compostos promissores para a formulação de alimentos funcionais (Vargas; Bellaver, 2022).

Figura 3. Estrutura química de alguns flavonoides.



Fonte: Magalhães e Santos (2021).

2.5.3 Mecanismos de Ação Antioxidante em Matrizes Alimentares

A oxidação lipídica representa a principal causa de deterioração em produtos cárneos, resultando no desenvolvimento de ranço, perda de valor nutricional e redução da vida útil. Nesse contexto, os compostos fenólicos presentes em extratos vegetais atuam como antioxidantes primários e secundários.

De acordo com Vargas e Bellaver (2022), os antioxidantes primários interrompem as reações em cadeia da oxidação por meio da inativação de radicais livres, enquanto os antioxidantes secundários atuam por mecanismos complementares, como a complexação de íons metálicos pró-oxidante especialmente o ferro livre presente na carne e a regeneração de antioxidantes primários.

A eficácia antioxidante em sistemas alimentares está diretamente relacionada à correlação entre o teor de fenólicos totais e a capacidade de redução, frequentemente avaliada por métodos como DPPH, ABTS e FRAP. Em extratos de *Clitoria ternatea* L., observou-se que a capacidade de redução de ferro (FRAP) apresentou correlação quase perfeita ($r = 0,9928$) com a concentração de fenólicos totais, validando o uso desse extrato como agente estabilizante (Nascimento et al., 2021).

A substituição de aditivos sintéticos por extratos naturais tem se mostrado viável por meio do aproveitamento de subprodutos agroindustriais, promovendo sustentabilidade e agregação de valor. Cascas de frutos como o pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) e o jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) destacam-se como fontes expressivas de compostos bioativos.

Narita et al. (2022) observaram que, no caso do pequi, a farinha obtida a partir da casca apresenta concentração de fenólicos totais (9475,69 mg GAE/100 g) significativamente superior à da polpa, refletindo elevada capacidade antioxidante, com valor de EC₅₀ de 45,71 g/g de DPPH. Os autores destacam ainda que a bioacessibilidade desses compostos é influenciada pelo pH da matriz alimentar, sugerindo que a eficácia do extrato pode variar conforme a acidez do produto cárneo ao qual é incorporado.

Para o jatobá, a aplicação da metodologia de superfície de resposta possibilitou a otimização da extração simultânea de polifenóis e flavonoides da casca do fruto, utilizando etanol a 60,6% e temperatura de 64,18 °C. Os extratos obtidos apresentaram elevada estabilidade térmica, tornando-se adequados para processos industriais de extração rápidos e eficientes (Silva et al., 2019).

Adicionalmente, farinhas produzidas a partir de subprodutos de frutas, como cascas de banana e abacaxi, apresentam elevados teores de fibras e compostos fenólicos totais, resultando em alta atividade antioxidante. O Índice Antioxidante de fenólicos tem sido empregado como ferramenta para classificar a qualidade desses extratos, indicando, por exemplo, que sementes de abóbora possuem fenólicos com maior potencial de captura de elétrons por unidade de massa (Fortes et al., 2020).

Quanto a estabilidade dos compostos bioativos durante o armazenamento constitui um fator determinante para sua aplicação tecnológica. No caso do chá obtido a partir do caule de *Pereskia aculeata* Miller (ora-pro-nóbis), o armazenamento sob congelamento (-18 °C) por até 21 dias não promoveu alterações estatisticamente significativas no potencial antioxidante nem no teor de flavonoides, assegurando a viabilidade de seu uso em escala industrial (Moraes et al., 2020).

Entretanto, a segurança toxicológica desses compostos deve ser cuidadosamente avaliada. Embora os flavonoides apresentem, em geral, baixa toxicidade, concentrações elevadas de determinados compostos podem induzir efeitos adversos, como mutagenicidade ou inibição de citocromos hepáticos. Dessa forma, reforça-se a

necessidade de estudos de dosagem adequados para sua aplicação segura em produtos cárneos (Vargas; Bellaver, 2022).

2.6 MORINGA OLEÍFERA LAM.

A *Moringa oleifera* Lam. (MOL), pertencente à família Moringaceae, é uma espécie vegetal de elevada relevância científica e tecnológica, devido à sua ampla adaptabilidade agrônômica, alto valor nutricional e expressivo potencial funcional. Nativa das regiões sub-himalaias do sul da Ásia, a espécie encontra-se atualmente amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais, em razão de sua elevada plasticidade ecológica e rápido crescimento (Kumar et al., 2024; Nzeyimana; Mary, 2024).

Figura 4. Folhas e sementes de *Moringa Oleífera Lam*



Fonte: Autor (2025)

A *Moringa oleifera* Lam caracteriza-se como uma árvore caducifólia de rápido crescimento, dotada de sistema radicular tuberoso e robusto, caule lenhoso e folhas compostas tripinadas de coloração verde-intensa. Um dos aspectos mais relevantes dessa espécie reside no aproveitamento integral de suas estruturas vegetais, incluindo folhas, sementes, flores e raízes, conforme ilustrado na Figura 5, as quais apresentam elevado valor econômico, nutricional e biológico. Tradicionalmente empregada na medicina popular e no tratamento de efluentes por meio de coagulação natural, a moringa tem despertado crescente interesse na indústria de alimentos e no desenvolvimento de embalagens ativas, especialmente em virtude da elevada concentração de metabólitos bioativos presentes em suas folhas e sementes (Kumar et al., 2024; Nzeyimana; Mary, 2024).

Sob a perspectiva nutricional, a *Moringa oleífera* Lam é frequentemente classificada como um superalimento, devido à sua composição química altamente concentrada. As folhas secas podem apresentar teores de proteína bruta superiores a 20% em base seca, além de elevado conteúdo de aminoácidos essenciais, vitaminas antioxidantes, como A, C e E, e minerais de importância fisiológica (Men et al., 2024). Para além do valor nutricional convencional, estudos recentes têm evidenciado o potencial funcional das proteínas da moringa, com a identificação de peptídeos bioativos capazes de exercer efeitos fisiológicos específicos. (Men et al., 2024), por meio de abordagens integradas de farmacologia de rede e ancoragem molecular, identificaram o peptídeo DPYLGK em frações proteicas foliares, o qual apresentou potencial atividade osteogênica, promovendo a formação óssea e inibindo a reabsorção, evidenciando a multifuncionalidade bioativa da espécie.

No âmbito da ciência e tecnologia de alimentos, a relevância da *Moringa oleífera* Lam. está fortemente associada à sua riqueza em metabólitos secundários, com destaque para os compostos fenólicos. A composição fitoquímica da espécie inclui alcaloides, taninos, saponinas, glucosinolatos e, de forma predominante, flavonoides, os quais desempenham papel central na atividade antioxidante dos extratos vegetais (Kumar et al., 2024; Peng et al., 2024). Análises realizadas por cromatografia líquida de ultraeficiência acoplada à espectrometria de massas de alta resolução (UPLC-Q Exactive/MS) demonstram que os principais flavonoides presentes no extrato foliar da *Moringa oleífera* Lam incluem quercetina-3- β -D-glucosídeo, rutina, caempferol-3-O-glucosídeo e vitexina (Peng et al., 2024).

Esses compostos apresentam elevada capacidade antioxidante, atuando como doadores de elétrons ou hidrogênio e como agentes quelantes de íons metálicos, interrompendo reações em cadeia responsáveis pela oxidação lipídica e proteica em sistemas alimentares. Ensaio *in vitro*, como DPPH, ABTS e FRAP, demonstram que os extratos foliares da moringa apresentam elevada capacidade de sequestro de radicais livres, fortemente correlacionada com o teor total de flavonoides (Peng et al., 2024). Além da ação antioxidante direta, evidências indicam que esses extratos exercem efeitos citoprotetores, reduzindo o estresse oxidativo intracelular induzido por peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e preservando a integridade das membranas celulares, aspecto de grande relevância para a conservação da qualidade nutricional e sensorial dos alimentos.

A incorporação da *Moringa oleifera* Lam. em matrizes poliméricas tem sido explorada como uma estratégia inovadora no desenvolvimento de embalagens ativas e revestimentos comestíveis. A adição de pó de semente de moringa ou de extratos a base de folhas a biopolímeros, como a quitosana e a gelatina, promove alterações significativas nas propriedades mecânicas, físico-químicas e funcionais dos filmes obtidos.

Estudos conduzidos por Venkatesan et al. (2024) demonstraram que a incorporação de 10% de pó de semente de *Moringa oleifera* Lam. em filmes de quitosana reticulados com ácido tânico resultou em aumento da resistência à tração e da elongação na ruptura, bem como em maior hidrofobicidade, evidenciada pelo aumento do ângulo de contato da água e pela redução da permeabilidade ao vapor de água.

Adicionalmente, os filmes contendo moringa apresentaram elevada eficiência como barreira ao oxigênio e à radiação ultravioleta, além de expressiva atividade antimicrobiana frente a microrganismos patogênicos, como *escherichia coli*, *staphylococcus aureus* e *aspergillus niger*. A aplicação desses revestimentos em frutas altamente perecíveis, como o morango (*fragaria ananassa*), resultou na preservação da textura e da coloração, estendendo a vida útil de armazenamento de 1 para até 12 dias sob condições controladas (Venkatesan et al., 2024). Esses resultados consolidam a *moringa oleifera* como um ingrediente bioativo de elevado potencial tecnológico, capaz de atuar simultaneamente na mitigação da oxidação, no controle microbiológico e na melhoria da estabilidade de sistemas alimentares complexos.

2.7 REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS

Atualmente, as embalagens de alimentos não têm apenas a função de conter e proteger os produtos, mas também de contribuir para a conservação e a sustentabilidade. Os revestimentos comestíveis são camadas finas aplicadas diretamente sobre a superfície dos alimentos, formadas por materiais naturais, capazes de reduzir a passagem de oxigênio e umidade (Galus et al., 2020; Nascimento., 2022).

A aplicação dos revestimentos, comestíveis ou não, em alimentos são tecnologias que vêm auxiliando em sua conservação. Os revestimentos comestíveis são definidos como sendo uma fina camada de material feita de biopolímeros naturais, que são aplicadas diretamente sobre a superfície dos alimentos como representada na **figura 2** (Fernández et al., 2017).

De acordo Zhao et al., (2019) os revestimentos comestíveis apresentam mais vantagens do que os materiais sintéticos, isso porque são mais baratos e por não serem tóxicos. Para manter as características de comestíveis, todos os componentes utilizados para o revestimento não devem ser tóxicos ou nocivos à saúde humana e os vegetais devem ser sanitizados e todas as áreas de processamento devem estar de acordo com os padrões de higiene (Zhao et al., 2019).

2.7.1 Gelatina

A gelatina é um material natural obtido a partir do colágeno, uma proteína presente em tecidos animais como pele, ossos e tendões. Esse material é produzido por meio de processos de hidrólise parcial e aquecimento, que transformam a estrutura rígida do colágeno em cadeias proteicas mais flexíveis, formadas principalmente por glicina, prolina e hidroxiprolina (Mendonça, 2025., Cerqueira, 2024).

O uso da gelatina em revestimentos comestíveis ocorre devido à sua capacidade de formar filmes contínuos, transparentes e flexíveis, além de apresentar boa compatibilidade com alimentos. Esses revestimentos atuam como uma barreira física, reduzindo o contato do alimento com o oxigênio e evitando a perda de compostos voláteis responsáveis pelo aroma (Cerqueira, 2024).

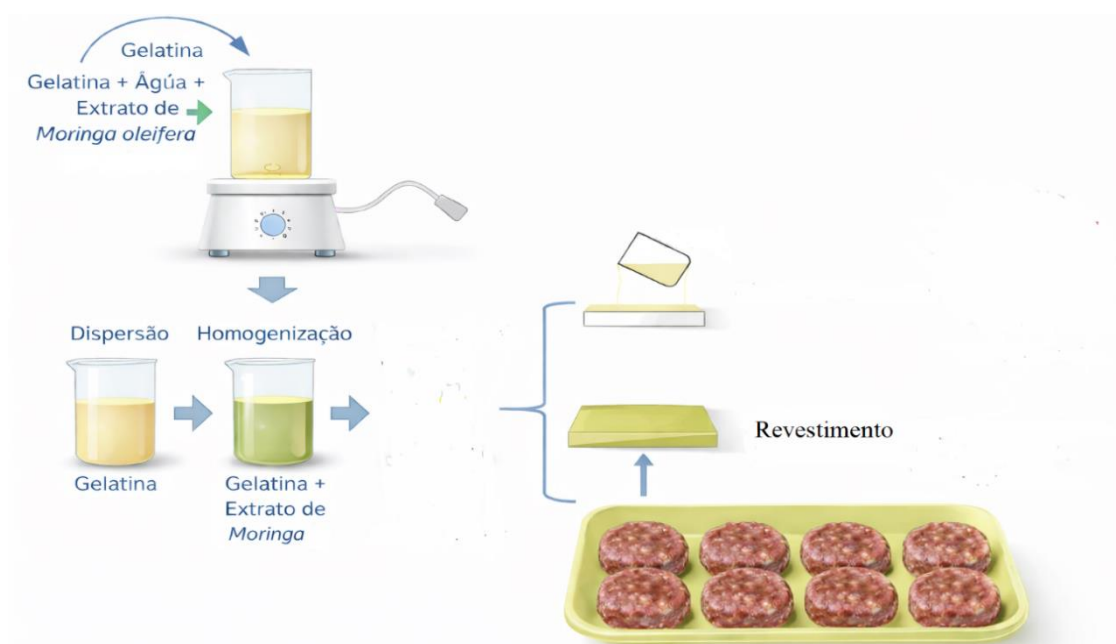
As propriedades da gelatina estão diretamente relacionadas à sua origem e ao método de extração. A literatura classifica a gelatina em Tipo A, obtida por tratamento ácido, com ponto isoelétrico entre pH 7 e 9, e Tipo B, obtida por tratamento alcalino, com ponto isoelétrico entre pH 4,7 e 5,4 (Mendonça, 2025).

Nos últimos anos, tem-se destacado o uso de resíduos da indústria pesqueira como fontes alternativas de gelatina. A extração a partir de peles de peixe contribui para a redução de resíduos e para o aproveitamento integral da matéria-prima. Cerqueira (2024) demonstrou que a gelatina extraída da pele do atum-amarelo (*Thunnus albacares*) apresenta rendimento adequado e características físicas e térmicas suficientes para a formação de revestimentos estáveis, capazes de serem aplicados na conservação de pescados.

No Brasil, a gelatina é muito produzida, tem baixo custo e apresenta características bem apropriadas para a elaboração de revestimentos, apresenta baixa toxicidade, é biodegradável, é ambientalmente correta e possui alta solubilidade em água (Lucena et al., 2017; Wang et al., 2019). A gelatina apresenta potencial em várias áreas, como em

aplicações biomédicas, ambientes fisiológicos, adesivos e aplicações farmacêuticas (Avérous e Pollet, 2012). o desenvolvimento de revestimentos poliméricos ativos combinados com extratos de plantas está na vanguarda da pesquisa de embalagens e revestimentos de alimentos (Bertolo *et al.*, 2022).

Figura 5. Esquema do processo de obtenção do revestimento.



2.7.2. Incorporação de compostos bioativos em matrizes poliméricas

Apesar das reconhecidas propriedades de barreira da gelatina, diversos estudos relatam que seu uso isolado pode não ser suficiente para garantir proteção prolongada contra processos oxidativos e o crescimento microbiano. Nesse contexto, a incorporação de compostos antioxidantes e antimicrobianos tem sido amplamente investigada como estratégia para aumentar a eficiência funcional dos revestimentos comestíveis à base de gelatina (Nascimento, 2022). O terc-butil-hidroquinona (TBHQ) é um antioxidante sintético amplamente descrito na literatura como eficaz no retardo da oxidação lipídica, especialmente em produtos ricos em ácidos graxos insaturados. Seu mecanismo de ação está relacionado à neutralização de radicais livres, o que reduz a formação de compostos responsáveis pelo desenvolvimento do ranço. (Cerqueira, 2024).

Estudos reportam que a incorporação de TBHQ em baixas concentrações (0,03%) em revestimentos de gelatina obtida de pele de atum foi eficiente na redução da oxidação

lipídica e na manutenção da cor de postas de cavala (*Scomberomorus cavalla*) durante o armazenamento refrigerado, evidenciando o potencial desse sistema na conservação de produtos pesqueiros (Cerqueira, 2024).

No entanto, a literatura recente destaca uma tendência crescente de substituição de antioxidantes sintéticos, como BHA, BHT e TBHQ, por compostos naturais. Essa mudança está associada à demanda por alimentos com rótulos mais limpos (*clean-label*) e às preocupações relacionadas aos possíveis efeitos toxicológicos do uso contínuo de aditivos químicos (Bellucci et al., 2022; Nascimento, 2022).

CONCLUSÕES

Diante da crescente demanda dos consumidores por produtos alimentícios com formulações mais naturais e rótulos simplificados, observa-se um avanço significativo na investigação por revestimentos ativos à base de biopolímeros naturais, destacando-se a gelatina por suas propriedades filmogênicas e capacidade de incorporação de compostos bioativos. Paralelamente, estudos apontam a *Moringa oleifera* Lam. como uma fonte relevante de compostos fenólicos e flavonoides, reconhecidos por sua atividade antioxidante e potencial aplicação em sistemas alimentares. Entretanto, apesar do potencial antioxidante da Moringa ser bem reconhecido em matrizes vegetais e em ensaios *in vitro*, ainda há poucas evidências que comprovem sua eficácia tecnológica quando incorporada a revestimentos aplicados a hambúrgueres bovinos, sob diferentes condições de armazenamento térmico. Assim, a revisão de literatura destaca a necessidade de estudos que avaliem o desempenho de revestimentos ativos à base de gelatina com extrato de Moringa, contribuindo para ampliar o conhecimento e desenvolver estratégias naturais de conservação de produtos cárneos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Mercado internacional: carne bovina**. São Paulo: ABIEC, mar. 2025. 17 p.

BELLUCCI, Elisa Rafaela Bonadio; BIS-SOUZA, Camila Vespúcio; DOMÍNGUEZ, Rubén; BERMÚDEZ, Roberto; BARRETTO, Andrea Carla da Silva. Addition of Natural Extracts with Antioxidant Function to Preserve the Quality of Meat Products. **Biomolecules**, [s. l.], v. 12, n. 1506, p. 1-19, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom12101506>.

BERTOLO, M. R. V.; DIAS, L. D.; OLIVEIRA FILHO, J. G.; ALVES, F.; MARANGON, C. A.; MARTINS, V. C. A.; FERREIRA, M. D.; BAGNATO, V. S.; PLEPIS, A. M. G.; BOGUSZ JUNIOR, S. Central composite design optimization of active and physical properties of food packaging films based on chitosan/gelatin/pomegranate peel extract. **Food Packaging and Shelf Life**, Amsterdam, v. 34, p. 100986, dez. 2022.

CERQUEIRA, Davi Araujo. **Avaliação da qualidade da cavala (*Scomberomorus cavalla*) revestida com gelatina da pele do atum (*Thunnus albacares*) enriquecida com TBHQ**. 2024. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Pesca) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.

CHAUDHARY, Vandana; THAKUR, Neha; KAJLA, Priyanka; THAKUR, Shubham; PUNIA, Sneha. Application of Encapsulation Technology in Edible Films: Carrier of Bioactive Compounds. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, art. 734921, p. 1-18, 2021. DOI: 10.3389/fsufs.2021.734921.

CUNHA, Luis Carlos M.; MONTEIRO, Maria L. G.; LORENZO, Jose M.; MUNEKATA, Paulo E. S.; MUCHENJE, Voster; DE CARVALHO, Fábio A. L.; CONTE-JUNIOR, Carlos A. Natural antioxidants in processing and storage stability of sheep and goat meat products. **Food Research International**, Ottawa, v. 111, p. 379-390, 2018

DIAS, Maiara Fonseca. **Emulsões gelificadas de óleos vegetais como substituto parcial da gordura suína e uso de extrato de alecrim em hambúrgueres**. 2019. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, Rio Pomba, 2019.

DIAS, Tiago; MELO, Hyrandir Cabral de; ALVES, Frederico Rocha Rodrigues; CARVALHO, Rogério Falleiros; CARNEIRO, Karla da Silva; SOUSA, Cleiton Mateus. Compostos fenólicos e capacidade antioxidante em frutos de tomateiros mutantes fotomorfogenéticos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 5, p. 782-787, maio 2015. DOI: 10.1590/0103-8478cr20140098.

DOMÍNGUEZ, Rubén; BARBA, Francisco J.; GÓMEZ, B.; PUTNIK, P.; BURSAC KOVAČEVIĆ, D.; PATEIRO, Mirian; SANTOS, E. M.; LORENZO, Jose M. Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. **Food Research International**, Ottawa, v. 113, p. 93-101, 2018.

DOMÍNGUEZ, Rubén; PATEIRO, Mirian; GAGAOUA, Mohammed; BARBA, Francisco J.; ZHANG, Wangang; LORENZO, Jose M. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. **Antioxidants**, Basel, v. 8, n. 10, p. 429, set. 2019.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Anuário CiCarne da cadeia produtiva da carne bovina 2024–2025**. Documentos 322. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2025. 25 p.

ESTEVEZ, Mario. Oxidative damage in poultry: from farm to table. *Poultry Science*, Champaign, v. 94, n. 6, p. 1368-1378, 2015.

FERNÁNDEZ, N. M.; ECHEVERRIA, D. C.; MOSQUERA, S. A.; PAZ, S. P. Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. **Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, Popayán, v. 15, n. 1, p. 134-141, 2017.

GALUS, Sabina. Novel materials in the preparation of edible films and coatings: a review. **Coatings**, v. 10, n. 7, art. 674, p. 1-20, 2020. DOI: 10.3390/coatings10070674.

GALLEGO, Marta; ARNAL, Milagros; TALENS, Pau; TOLDRÁ, Fidel; MORA, Leticia. Effect of Gelatin Coating Enriched with Antioxidant Tomato By-Products on the Quality of Pork Meat. **Polymers**, v. 12, n. 5, art. 1032, p. 1-18, 2020. DOI: 10.3390/polym12051032.

HADIDI, Milad; ORELLANA-PALACIOS, Jose C.; AGHABABAEI, Fatemeh; GONZALEZ-SERRANO, Diego J.; MORENO, Andres; LORENZO, Jose M. Plant by-product antioxidants: **Control of protein-lipid oxidation in meat and meat products**. **LWT**, v. 169, art. 114003, p. 1-11, 2022. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.114003.

HUANG, Linda. Estudo dos fatores que influenciam o comércio de exportação de carne bovina do Brasil: uma análise com base nos países da América Latina. **Revista Acadêmica Online**, v. 11, n. 55, p. 1–27, 2025.

KOTOVICZ, Valesca; MORETO, Laís Juliana; BIASI, Deise Caroline; BAINY, Eduarda Molardi; KRUGER, Roberta Letícia; BOMBARDELLI, Michele Cristiane Mesomo. Potencial antioxidante de extratos de gengibre aplicados em hambúrguer de frango. In: SILVA, Flávio Ferreira (org.). **Qualidade de produtos de origem animal 2**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. cap. 21, p. 165-173. DOI: 10.22533/at.ed.66619121121.

KUMAR, Shivendra; KUMAR, Shrawan; PANDEY, Pratibha; KUMAR, Arvind; SINGH, Mahendra; KUMAR, Neeraj. Exploring the therapeutic potential of Moringa oleifera Lam. in Traditional Chinese Medicine: A comprehensive review. **Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine**, [s. l.], v. 12, 100473, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2024.100473>.

LAND, Lucas Rogério Braz; BORGES, Florença Maria; BORGES, Danielle Oliveira; PASCOAL, Grazieli Benedetti. Composição centesimal, compostos bioativos e parâmetros físico-químicos da mama-cadela (*Brosimum gaudichaudii* Tréc) proveniente do Cerrado Mineiro. **Demetra: Alimentação, Nutrição & Saúde**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 509-518, 2017. DOI: 10.12957/demetra.2017.25465.

LUCENA, D. A.; COSTA, S. C.; ELEAMEN, G. R. A.; MENDONÇA, E.; OLIVEIRA, E. Desenvolvimento de biofilmes à base de xilana e xilana/gelatina para produção de embalagens biodegradáveis. **Polímeros**, São Carlos, v. 27, n. 1, p. 35-41, 2017.

MAGALHÃES, B. E. A.; SANTOS, W. N. L. Capacidade antioxidante e conteúdo fenólico de infusões e decocções de ervas medicinais. In: SANTOS, W. N. L. (org.). **Produtos naturais e suas aplicações**: da comunidade para o laboratório. Belo Horizonte: Poisson, 2021. p. 235–247.

MANESSIS, Georgios; KALOGIANNI, Aphrodite I.; LAZOU, Thomai; MOSCHOVAS, Marios; BOSSIS, Ioannis; GELASAKIS, Athanasios I. Plant-Derived Natural Antioxidants in Meat and Meat Products. **Antioxidants**, Basel, v. 9, n. 12, p. 1215, dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox9121215>.

MATTE, Alessandra; OLIVEIRA, Alisson Machado de; SOUZA, Leonardo de Lima de; MACHADO, João Armando Dessimon; RECH, Mateus; STEFANIE, Jovani. Mudanças alimentares no consumo de proteína animal durante a pandemia de Covid-19 na Região Sul do Brasil. **Redes**, Santa Cruz do Sul, v. 29, 2024.

MEN, Deying; DAI, Jiahe; YUAN, Yuxue; JIANG, Haifen; WANG, Xinyu; WANG, Yifan; TAO, Liang; SHENG, Jun; TIAN, Yang. Exploration of anti-osteoporotic peptides from *Moringa oleifera* leaf proteins by network pharmacology, molecular docking, molecular dynamics and cellular assay analyses. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 116, 106144, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106144>.

MENDONÇA, G. V. S. **Produção de gelatina e colágeno hidrolisado**: uma revisão. 2025. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2025.

MONTEIRO, Vitória Bezerra da Silva; NASCIMENTO, Juan Carlos da Silva; RODRIGUES, Patrícia Ianara Pontes; RODRIGUES, Marianne de Siqueira; ALBUQUERQUE, Krause Gonçalves Silveira; CHINELATE, Gerla Castello Branco; ARAÚJO, Liderlânio de Almeida; SILVA, Edvane Borges da; BERNADINO FILHO, Raimundo; CARVALHO, Leila Moreira de. Produção de hambúrguer adicionado de extratos de subprodutos de uva Isabel e acerola como antioxidantes naturais. **Revista Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 22, n. 7, p. 1-22, 2025. DOI: 10.54033/cadpedv22n7-003.

MORAES, Thiago Vieira de; FERREIRA, João Paulo Gonçalves; SOUZA, Mariana Rangel Alves de; MOREIRA, Ricardo Felipe Alves. Atividade antioxidante e conteúdo de compostos fenólicos do chá do caule da *Pereskia aculeata* Miller fresco e armazenado sob congelamento. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 5, e34953140, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3140>.

NARITA, Isabela Mendes Pacheco; FILBIDO, Gabriel Silvério; FERREIRA, Bruno Araujo; PINHEIRO, Ana Paula de Oliveira; SILVA, Daphane da Cruz e; NASCIMENTO, Edgar; VILLA, Ricardo Dalla; OLIVEIRA, Adriana Paiva de. Bioacessibilidade in vitro de carotenoides e compostos fenólicos e capacidade antioxidante de farinhas do fruto pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 25, e2021068, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.06821>.

NASCIMENTO, Clarissa Pacheco Fernandes. **Revestimentos de pectina adicionados de extrato hidroalcoólico de folhas de goiabeira (*Psidium guajava* L.) aplicados em**

carne bovina fresca. 2022. 122 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

NASCIMENTO, João Vítor do; GIULIANGELI, Vanessa Cipriani; KATO, Talita; CALLIARI, Caroline Maria; SHIRAI, Marianne Ayumi. Compostos fenólicos e capacidade antioxidante de extratos de flor de *Clitoria ternatea* L. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 11, e218101119450, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19450>.

NZEYIMANA, B. S.; MARY, A. D. C. Sustainable sewage water treatment based on natural plant coagulant: Moringa oleifera. **Discover Water**, v. 4, n. 15, 2024.

PENG, Weilong; WANG, Xiaoguang; WANG, Weimei; WANG, Yaya; HUANG, Junjie; ZHOU, Ruigang; BO, Ruonan; LIU, Mingjiang; YIN, Shaojie; LI, Jingui. Comparison, optimization and antioxidant activity of ultrasound-assisted natural deep eutectic solvents extraction and traditional method: A greener route for extraction of flavonoid from Moringa oleifera Lam. leaves. **Ultrasonics Sonochemistry**, [s. l.], v. 109, 107003, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107003>.

RIBEIRO, J. S.; SANTOS, M. J. M. C.; SILVA, L. K. R.; PEREIRA, L. C. L.; SANTOS, I. A.; DA SILVA LANNES, S. C.; DA SILVA, M. V. Natural antioxidants used in meat products: A brief review. *Meat Science*, Barking, v. 148, p. 181-188, fev. 2019.

SANTOS, Edilayane da Nóbrega; SOUSA, Thamyres Cesar de Albuquerque; SANTANA NETO, Deocleciano Cassiano de; GRISI, Cristiani Viegas Brandão; FERREIRA, Valquíria Cardoso da Silva; SILVA, Fábio Anderson Pereira da. Edible active film based on gelatin and Malpighia emarginata waste extract to inhibit lipid and protein oxidation in beef patties. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 154, 112837, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112837>.

SANTOS, J. M.; BORGES, A. S.; CONSTANT, P. B. L. Estabilidade oxidativa em hambúrguer de frango adicionado de antioxidantes da romã (*Punica granatum* L.). **Scientia Plena**, v. 16, n. 10, 101502, 2020.

SILVA, Auygna Pamyda Gomes da; GUERRA, Jenyffer Medeiros Campos; OLIVEIRA, Marina Maria Barbosa de; VIEIRA, Danilo David da Silva; SILVA, Maria José Cristiane da; FERREIRA, Mikaella Cavalcante; MELO, Tayonara dos Santos; BARBOSA FILHO, José Pedro Martins. Aplicação de extrato vegetal no processamento de produtos cárneos como alternativa de substituição de nitrito residual: uma revisão integrativa. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 9, p. 89816-89827, set. 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n9-240.

SILVA, A. C. G. et al. Bioactive compounds from jatoba (*Hymenaea courbaril* L.) bark: Optimization of the extraction process. *Journal of Food Science and Technology*, Mysore, v. 56, n. 1, p. 1-10, 2019.

SILVA, Alynne Rodrigues da. **Uso de extrato de alho conjugado a revestimento de quitosana na estabilidade de almôndegas de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*).**

2025. 78 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Pesca) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2025.

SOUZA, Danubia Perpetua Maioto de. **Extrato de pitaya e açaí em hambúrguer híbrido (carne bovina e proteína de soja)**. 2023. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – UNESP, São José do Rio Preto, 2023.

VARGAS, G. C.; BELLAYER, E. H. Atividade antioxidante dos compostos fenólicos na medicina preventiva. **Visão Acadêmica**, v. 23, n. 1, 2022.

VENKATESAN, Raja; VETCHER, Alexandre A.; AL-ASBAHI, Bandar Ali; KIM, Seong-Cheol. Chitosan-Based Films Blended with Tannic Acid and Moringa Oleifera for Application in Food Packaging: The Preservation of Strawberries (*Fragaria ananassa*). **Polymers**, Basel, v. 16, n. 7, 937, mar. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym16070937>.

VÉROUS, Luc; POLLET, Eric. Environmental Silicate Nano-Biocomposites. London: Springer, 2012. (Série: Green Energy and Technology).

VEBER, J.; PETRINI, L. A.; ANDRADE, L. B.; SIVIERO, J. Determinação dos compostos fenólicos e da capacidade antioxidante de extratos aquosos e etanólicos de Jambolão (*Syzygium cumini* L.). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 267-273, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/1983-084X/12_181.

VILANOVA, M. E. M.; BAZANINI, R. Indicadores sustentáveis para a cadeia produtiva da carne bovina brasileira: combate ao greenwashing. **REUNIR**, v. 13, n. 4, p. 177–198, 2023.

WANG, Q. I.; WANG, L.; LI, J.; ZHOU, J.; GUO, J.; HAO, G.; CAO, W. The effects of EGCG on the mechanical, bioactivities, cross-linking and release properties of gelatin film. *Food Chemistry*, Oxford, v. 271, p. 204-210, 2019.

WANG, Q. et al. Effects of tea polyphenols on the mechanical, physical and ethoxyquin-antioxidant activities of gelatin-based edible films. *Polymer Testing*, Amsterdam, v. 71, p. 204-210, 2019.

ZHAO, Y. Edible coatings for extending shelf-life of fresh produce during postharvest storage. In: *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*. [S. l.]: Elsevier, 2019. p. 506-510.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

Artigo redigido conforme a norma do periódico Meat Science

“Versão Preliminar”

Revestimento comestível como extrato da *Moringa oleifera* para prolongar a vida útil de hambúrgueres bovino sob refrigeração

Edible Coating Containing Moringa oleifera Extract to Extend the Shelf Life of Refrigerated Beef Burgers

Resumo: Este estudo teve como objetivo desenvolver um revestimento comestível à base de gelatina (8% p/v) incorporado com extrato hidroalcoólico de folhas de *Moringa oleifera* (MOL) e avaliar sua eficiência na qualidade físico-química e estabilidade oxidativa em hambúrgueres bovinos armazenados sob refrigeração (4 ± 1 °C) por 12 dias. A caracterização do extrato revelou como principais compostos fenólicos o ácido gálico (11,81 mg/L), o ácido clorogênico (11,65 mg/L) e a vanilina (10,13 mg/L), além do alcaloide teobromina. Pela (CG-EM), observou-se predominância de ésteres de ácidos graxos insaturados e fitosteróis, com destaque para linolenato de metila (54,28%), ácido hexadecanoico (18,42%) e β -sitosterol (12,10%). O experimento contou com quatro tratamentos: CONT (sem revestimento), GEL (gelatina), MOR2 (2% de extrato) e MOR5 (5% de extrato). Os resultados demonstraram que não houve diferença estatística ($P > 0,05$) entre os tratamentos para o pH, perda de peso e índice de TBARS, embora a oxidação lipídica tenha aumentado de forma acentuada no tratamento controle ao longo do tempo em relação aos tratamentos com revestimento. Na cor instrumental, a adição de extrato ao revestimento ocasionou redução inicial da luminosidade (L^*) e aumento de b^* e do croma (C^*), mas não foram observadas diferenças significativas na retenção do componente vermelho (a^*) entre as amostras revestidas e o controle ao final do experimento. Portanto, nas concentrações testadas, a aplicação do revestimento funcionalizado com *Moringa oleifera* não promoveu benefícios estatisticamente detectáveis na preservação oxidativa e físico-química de hambúrgueres bovinos refrigerados.

Palavras-chave: Embalagem ativa; antioxidação natural; *moringa oleifera* lam; carne bovina; conservação.

1. Introdução

A carne bovina e seus derivados desempenham um papel central na dieta humana devido ao seu alto valor nutricional. No entanto, produtos cárneos especificamente o hambúrguer, apresentam uma estabilidade oxidativa limitada durante o armazenamento refrigerado. (EMBRAPA, 2025). O processo de moagem rompe a integridade das fibras musculares, aumentando a superfície de contato com o oxigênio e liberando constituintes intracelulares pró-oxidantes, como o ferro heme e enzimas endógenas (Santos et al., 2020; Souza., 2023). Essa exposição acelera as reações de oxidação lipídica e proteica, resultando na formação de compostos secundários indesejáveis, como o malonaldeído, que comprometem atributos sensoriais críticos como cor, odor e sabor e reduzem o valor nutricional do produto (Bellucci et al., 2022).

Para retardar esses processos deteriorantes, a indústria cárnea tem recorrido historicamente ao uso de antioxidantes sintéticos, como butil-hidroxianisol (BHA) e hidroxitolueno butilado (BHT). (Monteiro et al., 2025; Nascimento, 2022). Contudo, o cenário atual de consumo reflete em uma crescente aversão a aditivos artificiais, impulsionada por preocupações relacionadas à toxicidade potencial e possíveis efeitos carcinogênicos associados à ingestão crônica dessas substâncias (Nascimento, 2022). Em resposta, observa-se uma forte demanda por produtos *clean label*, o que pressiona a comunidade científica e indústrias a busca por sistemas de conservação baseados em compostos naturais que garantam a segurança alimentar sem comprometer a aceitação do consumidor (Monteiro et al., 2025)

Nesse contexto, os revestimentos comestíveis ativos emergem como uma estratégia tecnológica eficiente e sustentável. Diferentemente da adição direta de antioxidantes na massa, que pode sofrer interações complexas com a matriz proteica, os revestimentos formam uma barreira física semipermeável na superfície do alimento, local onde a oxidação é iniciada (Galus et al., 2020). Entre os biopolímeros disponíveis, a gelatina destaca-se por sua excelente capacidade filmogênica, abundância e biodegradabilidade. Além de atuar como barreira a gases e umidade, a matriz de gelatina serve como um veículo ideal para a incorporação e liberação controlada de compostos bioativos (Mendonça, 2025; Silva, 2025).

Para dar funcionalidade a esses revestimentos, a escolha da fonte antioxidante é crucial. A *Moringa oleifera* Lam. tem sido amplamente investigada devido ao seu robusto

perfil fitoquímico. Extratos de suas folhas são ricos em ácidos fenólicos (como ácido gálico e clorogênico) e flavonoides, que atuam como potentes doadores de hidrogênio e quelantes de metais, interrompendo as reações em cadeia dos radicais livres (Kumar et al., 2024; Peng et al., 2024). Estudos prévios sugerem que a incorporação de extratos de moringa em filmes biopoliméricos não apenas confere atividade antioxidante, mas pode também melhorar as propriedades mecânicas e de barreira do material de embalagem (Peng et al., 2024, Venkatesan et al., 2024).

Apesar do potencial individual da gelatina como matriz e da *Moringa oleifera* Lam como agente antioxidante, a literatura científica ainda apresenta lacunas quanto à eficiência sinérgica desse sistema compósito aplicado especificamente na conservação de produtos cárneos moídos frescos. A interação entre os polifenóis da moringa e a rede proteica da gelatina, bem como seu impacto real na extensão da vida útil de hambúrgueres, carece de elucidação aprofundada. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo desenvolver um revestimento comestível à base de gelatina o com adição de extrato hidroalcoólico de *Moringa oleifera* Lam e avaliar sua eficácia na estabilidade oxidativa e instrumental em hambúrgueres bovinos armazenados sob refrigeração.

2. Metodologia

O experimento foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Carnes e Derivados, vinculado ao Departamento de Ciência dos Alimentos, da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

2.1. Obtenção da matéria-prima

As folhas de *Moringa oleifera* Lam. foram coletadas na Universidade Federal de Lavras (UFLA), no Departamento de Agricultura, na *Plataforma de Pesquisas Energéticas (G-Óleos)*, e posteriormente transportadas para o Laboratório de Tecnologia de Carnes e Derivados (LabCarnes) do Departamento de Ciência dos Alimentos, da Universidade Federal de Lavras. A carne bovina utilizada no estudo foi adquirida em estabelecimento comercial do município de Lavras, Minas Gerais, Brasil, e conduzida ao mesmo laboratório para o processamento e as análises.

2.2. Obtenção do extrato de *Moringa oleifera* Lam.

As folhas de *Moringa oleifera* Lam. foram previamente lavadas e higienizadas em solução de água clorada (200 ppm) por 15 minutos. Em seguida, foram submetidas à

secagem em estufa com circulação de ar (FANEM®, São Paulo, Brasil) a 40–45 °C, por 48 horas, até atingirem peso constante, onde, em seguida foram trituradas em liquidificador (Mondial Turbo Power L-99 FB) de acordo com a metodologia descrita por Paiva et al. (2021).

A obtenção do extrato foi realizada conforme a metodologia descrita por Al-Baidhani et al. (2024), com adaptações. Foram utilizados 20 g de folhas secas de *Moringa oleifera* Lam, submetidas à extração na proporção peso/volume (w/v) de 1:20, utilizando-se como solvente etanol a 70% (v/v). As amostras foram mantidas sob agitação constante em agitador vertical, à temperatura ambiente, por 24 horas. Após esse período, os extratos obtidos foram filtrados em papel de filtro e, posteriormente, concentrados em banho-maria a 40 °C por 2 horas. Por fim, os extratos alcoólicos foram acondicionados em frascos de vidro opacos com tampas herméticas e armazenados sob refrigeração (6° C) até o momento das análises.

2.3. Caracterização do extrato de *Moringa oleifera* Lam.

2.3.1. Perfil dos compostos fenólicos (HPLC)

A análise de identificação e quantificação dos compostos fenólicos dos extratos hidroalcoólicos foi realizada pela metodologia descrita por Meireles et al. (2022). O equipamento utilizado foi um cromatógrafo líquido de alta eficiência (HPLC-DAD/UV-Vis) modelo Shimadzu (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) equipado com quatro bombas de alta pressão (modelo LC-20AT), com um detector de arranjo de diodos (modelo SPD-M20A), degaseificador (modelo DGU-20A5), interface de CBM-20A, forno CTO-20AC e amostrador automático (modelo SIL-20A). As separações foram realizadas usando uma coluna Shimadzu Shim-pack ODS GVP-C18 (4,6 x 250 mm, 5 mm) ligada a uma pré-coluna (Shimadzu-pack ODS GVP-C18, 4,6 x 10 mm, 5µm). A fase móvel utilizada foi 2% (v/v) de ácido acético em água deionizada (Fase móvel A) e 70:28:2 (v/v) de metanol/água/ácido acético (Fase móvel B), a um fluxo de 1,0 mL.min⁻¹. A eluição dos compostos foi por gradiente (0% à 20% solvente B em 5 minutos, de 20% à 40% do solvente B em 20 min, 40% à 45% do solvente B em 18 min, 45% à 80% do solvente B em 7 minutos e 80% à 0% do solvente B em 5 min, permanecendo por 10 min para equilíbrio da coluna). O volume de injeção dos padrões e amostra foi de 20 µL. As análises foram realizadas a 35°C e os compostos fenólicos e alcalóides foram detectados a 280 nm.

2.3.2. Perfil dos compostos voláteis (COVs)

Os constituintes químicos do extrato foram identificados por cromatografia em fase gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM- Shimadzu, GCMSQP2010) utilizando-se uma coluna capilar de sílica fundida SBLTM-5MS 30m x 0,25mm x 0,25µm (fase ligada; 5% diphenyl, 95% dimethyl polysiloxane) (30 m x 0,25 mm). O gás de arraste utilizado foi He a um fluxo de 1,37 mL min⁻¹. A temperatura iniciou-se em 80 °C (mantido por 2 min), seguida de um aumento de 8 °C até 320 °C (mantendo por 13min). A temperatura do injetor foi de 300 °C e da fonte de ions e interface de 200°C e 280 °C, respectivamente. O corte de solvente foi realizado em 2.5min e os compostos analisados na faixa espectral de 40 a 500 m/z. Foram injetados 2 µL de amostra diluída a XX% em etanol a uma taxa de SPLIT de 1:10. Os constituintes foram identificados comparando os índices de retenção calculados pela equação de Van Den Dool e Kratz (1963), levando em consideração a relação da série homóloga de alcanos (nC₈- nC₄₀), com os índices de retenção da literatura. Os espectros de massas obtidos foram comparados aos da biblioteca do equipamento Willey 2008 e FFNSC. A abundância relativa (AR, %) foi determinada conforme a Equação (1).

$$\text{Abundancia relativa (\%)} = \frac{\text{Area do pico}}{\text{Area total consideravel}} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

2.4. Produção dos hambúrgueres e aplicação do revestimento comestível ativo

2.4.1. Elaboração dos hambúrgueres

A elaboração dos hambúrgueres foi realizada a partir de uma formulação composta por carne bovina moída de acém (70%), peito bovino (18%), água gelada (10%), sal (1,5%), alho (0,2%), cebola (0,2%) e pimenta (0,1%). Inicialmente, os cortes cárneos foram moídos com uso de moedor (BECARRO boca 8 Bivolt) separadamente e, em seguida, misturados de forma homogênea. Posteriormente, os demais ingredientes foram incorporados à massa cárnea, com adição gradual da água gelada, visando assegurar adequada homogeneização e funcionalidade da mistura. Após a completa incorporação dos ingredientes, a massa obtida foi moldada manualmente em porções padronizadas de aproximadamente 100 gramas, formando hambúrgueres uniformes

destinados à condução do experimento. Cada hambúrguer foi moldado entre folhas plásticas e encaminhados ao freezer por 5 minutos a -18°C para congelamento superficial antes da aplicação do revestimento.

2.4.2. Obtenção dos revestimentos e aplicação

O revestimento dos hambúrgueres foi preparado de acordo com a metodologia descrita por Chin et al. (2017), com adaptações. A solução de gelatina a 8% (p/v) foi obtida pela dissolução de 8 g de gelatina em pó (L 154036B 23 M, Dr. Oetker) em 100 mL de água destilada. A mistura foi submetida à agitação com aquecimento em agitador magnético, a 70°C e 1100 rpm, por 30 minutos, até completa solubilização. Após o resfriamento à temperatura ambiente, o extrato de *Moringa oleifera* Lam foi adicionado às soluções correspondentes, seguido de agitação por 10 minutos para garantir a homogeneização.

O experimento foi conduzido com quatro tratamentos: CONT (sem revestimento), GEL (revestimento de gelatina sem extrato), MOR2 (revestimento de gelatina contendo 2% de extrato de *Moringa oleifera* Lam) e MOR5 (revestimento de gelatina contendo 5% de extrato de *Moringa oleifera* Lam). Os hambúrgueres foram totalmente imersos nas soluções de revestimento por tempo padronizado de 5 s e, posteriormente escorridos e dispostos em bandejas descartáveis de poliestireno expandido (EPS) de forma circular, com posterior cobertura por filme plástico de PVC. Em seguida, foram armazenados sob refrigeração a $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ por um período de 12 dias. As análises de perda de peso, cor instrumental, pH e oxidação lipídica foram realizadas nos dias 0, 3, 6, 9 e 12 de armazenamento.

2.5. Avaliação dos hambúrgueres com revestimento armazenados sob refrigeração

2.5.1 Perda de peso

Os hambúrgueres foram pesados individualmente no primeiro dia de armazenamento, sendo registrado o peso inicial de cada amostra. Em seguida, as pesagens foram realizadas a cada três dias, sempre sob as mesmas condições e no mesmo horário, a fim de assegurar a padronização e a confiabilidade das medições. A perda de peso foi calculada pela diferença entre o peso inicial e o peso obtido em cada período de avaliação, sendo os resultados expressos em porcentagem em relação ao peso inicial de acordo com a metodologia descrita por Campanone et al. (2002), conforme a Equação 2.

$$\text{Perda de peso (\%)} = \frac{\text{Peso}_{\text{inicial}} - \text{Peso}_{\text{final}}}{\text{Peso}_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

2.5.2. Análise de cor instrumental

A análise de cor dos hambúrgueres foi realizada por meio de leituras diretas em três pontos distintos de cada amostra, utilizando um colorímetro Nix Mini Color Sensor (Nix Sensor Ltd., Canadá). As medições foram efetuadas de acordo com o sistema de cor CIELAB (L^* , a^* e b^*), empregando o iluminante D65 e ângulo de observação de 10°.

2.5.3. Determinação do pH

Os valores de pH foram medidos por leitura direta em um medidor portátil de pH (pHmetro Testo 206, Testo SE e Co. KGaA, Alemanha), previamente calibrados com soluções tampão de pH em pH 7,0 e 4,0, conforme os parâmetros descritos pela AOAC (2012).

2.5.4. Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBARs)

O grau de oxidação lipídica foi analisado pelo método de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARs) modificado de Pikul et al. (1989), foi determinado mediante a pesagem de 5 g de amostra previamente triturada, à qual foram adicionados 15 mL da solução EXT e 1 mL de BHT a 0,15%, em tubo Falcon de 50 mL. A mistura foi submetida à trituração em Turrax por aproximadamente 15 segundos, tempo suficiente para promover a completa homogeneização. Em seguida, o material foi filtrado em peneira de nylon ou metálica com poros de 1 mm, e alíquotas de 1,5 a 2,0 mL do filtrado foram transferidas para tubos de Eppendorf, os quais foram centrifugados a 3000 g por 5 minutos. Para a reação de cor, foram adicionados 1,0 mL do sobrenadante e 1,0 mL da solução de TBA a 0,02 M; paralelamente, foi preparado um branco contendo 1,0 mL de água destilada e 1,0 mL de TBA a 0,02 M. As amostras foram incubadas em banho-maria a 90 °C por 30 minutos e, posteriormente, resfriadas em banho de água gelada por 5 minutos. A leitura das absorbâncias foi realizada em espectrofotômetro UV/VIS a 532 nm. A curva de calibração usando concentrações conhecidas de MDA foi usada para quantificar os TBARs. Os resultados foram expressos como mg de malonaldeído (MDA) por kg de amostra (mg MDA/kg amostra).

2.5.5. Análise estatística

O experimento foi conduzido em um Delineamento Inteiramente Casualizado, em arranjo fatorial 4x5 (4 tratamentos x 5 períodos de armazenamento). Os resultados foram avaliados através de análise de variância (ANOVA) e, quando necessário, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, usando programa estatístico SAS® System (2012) Versão 9.0.

3. Resultados e discussão

3.1. Caracterização do extrato de *Moringa oleifera* Lam.

Conforme observado na Tabela 1, foram identificados e quantificados diversos compostos fenólicos no extrato de *Moringa oleifera* Lam. por HPLC-DAD.

Tabela 1. Composição de compostos fenólicos identificados e quantificados por HPLC-DAD.

Classe química	Composto fenólico	RT (min)	Área (%)	Teor (mg/L)
Alcaloides e outros	Trigonelina	3,58	-	ND
	Teobromina	9,299	13,24	9,34
Ácidos fenólicos	Ácido gálico	6,54	28,27	11,81
	Ácido clorogênico	11,831	16,38	11,65
	Ácido cafeico	13,605	-	ND
	Ácido sirínico	14,826	-	ND
	Ácido p-cumárico	19,150	-	ND
	Ácido ferúlico	21,901	-	ND
	Ácido m-cumárico	23,713	8,38	1,35
	Ácido o-cumárico	29,310	-	ND
	Ácido rosmarínico	40,078	-	ND
	Ácido trans-cinâmico	46,863	-	ND
Aldeídos e estilbenos	Vanilina	15,549	33,73	10,13
	Resveratrol	34,546	-	ND

ND: não detectado nas condições analíticas empregadas. RT: Tempo de retenção; Resultados expressos por miligramas por litro

Foram identificados 5 compostos fenólicos no extrato de *Moringa oleifera* Lam, sendo: 1 Alcaloides, 3 Ácidos fenólicos e 1 Aldeídos e estilbenos. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, observou-se o predomínio de três compostos fenólicos majoritários, ácido gálico (11,81 mg/L), ácido clorogênico (11,65 mg/L) e vanilina (10,13 mg/L), além da presença relevante do alcaloide teobromina (9,34 mg/L). Esse perfil é considerado de elevada importância, uma vez que o estabelecimento de um (fingerprint) cromatográfico confiável é essencial para assegurar a reprodutibilidade, a padronização e a correlação entre composição química e bioatividade, conforme descrito por Bonta (2017).

A predominância do ácido gálico e do ácido clorogênico confere ao extrato alto valor biológico. O ácido gálico, pertencente à classe dos ácidos hidroxibenzoicos, apresenta reconhecida capacidade antioxidante devido à presença de múltiplos grupos hidroxila, que facilitam a neutralização de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, reduzindo processos oxidativos em sistemas biológicos e alimentares (Nascimento et al., 2021; Moraes et al., 2020). De forma complementar, o ácido clorogênico, classificado como ácido hidroxicinâmico, destaca-se por sua atuação na proteção de lipídios e proteínas frente à autooxidação, além de contribuir para a modulação do estresse oxidativo celular, reforçando o potencial funcional do extrato (Moraes et al., 2020).

A presença da vanilina, em concentração expressiva (10,13 mg/L), e do ácido m-cumárico (1,35 mg/L), ainda que em menor quantidade, amplia o espectro de ação antioxidante do extrato. O ácido m-cumárico, mesmo em baixa concentração, pode atuar de forma sinérgica com os compostos majoritários, potencializando a atividade antioxidante total. Ainda, ressalta-se que, a vanilina, por sua vez, além de contribuir para características sensoriais, apresenta função tecnológica relevante, atuando como antioxidante secundário e inibidor da peroxidação lipídica em diferentes matrizes alimentares, conforme demonstrado em estudos envolvendo revestimentos ativos aplicados à carne bovina e a produtos à base de tilápia (Nascimento, 2022; Silva, 2025).

A capacidade antioxidante do extrato, portanto, não deve ser atribuída apenas à ação isolada de cada composto, mas principalmente ao efeito sinérgico da mistura fitoquímica. A concentração total aproximada de fenólicos majoritários (~35 mg/L) indica elevado potencial antioxidante, especialmente em ensaios baseados na transferência de elétrons, como FRAP, e no sequestro de radicais livres, como o método DPPH. Resultados semelhantes foram observados por Nascimento et al. (2021) em

extratos de *Clitoria ternatea* e por Moraes et al. (2020) em chás de *Pereskia aculeata*, os quais evidenciaram correlação positiva entre o teor de compostos fenólicos quantificados por HPLC e a atividade antioxidante determinada por FRAP.

Ainda, a ausência de detecção de compostos como ácido cafeico, ferúlico, rosmarínico e resveratrol nas condições analíticas empregadas pode estar relacionada às características do método de extração utilizado. Fatores como polaridade do solvente, temperatura e tempo de extração influenciam diretamente o rendimento e a solubilidade de flavonoides e outros compostos bioativos, especialmente aqueles mais sensíveis ao calor ou menos polares, conforme discutido por Mendonça (2025). Esses resultados indicam a necessidade de estudos futuros voltados à otimização dos processos de extração, visando ampliar a recuperação de compostos fenólicos específicos. Conforme observado na Tabela 2, foram identificados diversos compostos voláteis no extrato de *Moringa oleífera* Lam., cujas abundâncias relativas variaram entre os diferentes constituintes.

Tabela 2. Compostos de voláteis identificados no extrato de *Moringa oleífera* Lam por CG-EM e suas abundancias relativas

Composto volátil	TR (min)	IR (Exp.)	IR (Teo.)	Abundância Relativa (%) [*]
Pyranone	7,00	1149,0	1154,4	3,15%
Hexadecanoic acid	19,31	1997,67	1995,5	18,42%
Methyl (9z,12z,15z)-octadecatrienoate	21,44	2045,0	2098,0	54,28%
B-Sitosterol	32,39	3221,34	3203,0	12,10%
TOTAL				87,95%

TR (min): Tempo de retenção, IR (Exp.): Índice de retenção experimental, IR (Teo.): Índice de retenção teórico

A cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM) do extrato de *Moringa oleífera* Lam possibilitou a identificação de quatro constituintes majoritários, que, em conjunto, corresponderam a 87,95% da abundância relativa total (Tabela 2). O

perfil cromatográfico evidenciou a predominância de ésteres de ácidos graxos insaturados e fitosteróis, sendo o Methyl (9Z,12Z,15Z)-octadecatrienoate o composto mais abundante (54,28%), seguido pelo ácido hexadecanoico (18,42%) e pelo β -sitosterol (12,10%). Em menor proporção, foi identificada a presença de pyranone (3,15%).

A elevada concentração de derivados de ácidos graxos insaturados, especialmente o linolenato de metila, é característica das frações lipídicas de *Moringa oleífera* Lam. Esse composto é precursor de ácidos graxos da série ômega-3, reconhecidos por suas propriedades anti-inflamatórias e fotoprotetoras. Segundo Araújo (2021), ácidos graxos mono e poli-insaturados presentes em emulsões de *Moringa oleífera* Lam contribuem para a estabilidade oxidativa e para o aumento do Fator de Proteção Solar (FPS), atuando de forma sinérgica com outros constituintes bioativos.

O ácido hexadecanoico (ácido palmítico), com 18,42% de abundância relativa, está de acordo com os resultados de Barreto et al. (2009), que o identificaram como um dos principais constituintes voláteis em folhas e flores de *Moringa oleífera* Lam. Esse ácido graxo é amplamente descrito por sua atividade antioxidante e por sua contribuição à manutenção da integridade da barreira cutânea, sendo relevante para aplicações cosméticas. Destaca-se ainda a presença expressiva de β -sitosterol (12,10%), um fitosterol de elevada importância biológica. Conforme Yoon et al. (2025), os fitosteróis são componentes estruturais das membranas celulares vegetais e, devido à similaridade com o colesterol, atuam na modulação da fluidez e permeabilidade lipídica.

Estudos indicam que o β -sitosterol apresenta propriedades neuroprotetoras, antidiabéticas e anti-inflamatórias. Raafat e Hdaib (2017) demonstraram sua atuação na redução do estresse oxidativo e da peroxidação lipídica em modelos de neuropatia diabética, enquanto Dwivedi et al. (2025) relataram sua ação reguladora sobre citocinas pró-inflamatórias, como TNF- α e IL-6. Adicionalmente, Larayetan et al. (2025) observaram que extratos de *Moringa oleífera* ricos em fitosteróis podem inibir a hiperplasia prostática induzida por hormônios, por meio da modulação de vias associadas ao estresse oxidativo.

A detecção de pyranone (3,15%) sugere a presença de compostos fenólicos voláteis, possivelmente relacionados à atividade antimicrobiana do extrato. Agboke et al. (2021) relataram atividade bactericida significativa de extratos de *Moringa oleífera* Lam

frente a patógenos multirresistentes, atribuída à ação conjunta de seus metabólitos secundários.

Em síntese, a composição química apresentada na Tabela 2 evidencia um extrato de *Moringa oleifera* Lam com elevado potencial biotecnológico, no qual a sinergia entre o alto teor de linolenato de metila e a fração significativa de β -sitosterol confere propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e neuroprotetoras relevantes.

3.2. Aplicação dos revestimentos em hambúrgueres bovinos armazenadas sob refrigeração

A eficácia do revestimento comestível à base de gelatina, incorporado com extrato hidroalcoólico de *Moringa oleifera* Lam, foi avaliada por meio de parâmetros físico-químicos e instrumentais (pH, TBARs, perda de peso e cor) além da degradação visual dos hambúrgueres bovinos durante o armazenamento refrigerado (4 °C) por 12 dias. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Efeitos dos tratamentos (T) e do tempo de armazenamento refrigerado (D) no pH, índice de TBARs e cor objetiva de hambúrgueres bovinos revestidos com gelatina e extrato de moringa.

Efeitos	pH	TBARs	Perda de Peso (%)	Índices de cor				
				L*	a*	b*	C*	h (°)
Tratamento								
CONT	5,63	0,94	13,12	32,09 ^a	1,42	7,98 ^a	8,68 ^a	83,67
GEL	5,59	0,81	12,62	30,49 ^a	1,89	10,07 ^b	10,78 ^b	80,91
MOR2	5,53	0,74	11,86	27,17 ^b	2,27	10,60 ^b	11,33 ^b	79,08
MOR5	5,55	0,73	11,33	27,81 ^b	2,31	10,59 ^b	11,35 ^b	80,70
Dia								
0	5,80 ^a	0,50 ^a	0,00 ^a	28,54	7,36 ^a	9,94	12,41 ^a	53,48 ^a
3	5,51 ^b	0,60 ^a	6,44 ^b	30,28	3,55 ^b	10,70	11,39 ^a	72,13 ^b
6	5,42 ^b	0,78 ^{a,b}	12,65 ^c	29,73	0,10 ^c	8,43	8,65 ^b	92,40 ^c
9	5,52 ^b	0,95 ^{a,b}	18,72 ^d	29,06	-0,17 ^c	10,18	10,28 ^{a,b}	90,01 ^c
12	5,63 ^a	1,19 ^b	23,34 ^c	29,36	-0,97 ^c	9,78	9,95 ^b	97,43 ^c
EPM	0,030	0,056	1,126	0,428	0,445	0,267	0,298	2,386
Pr > F ¹								
T	0,635	0,496	0,222	<0,001	0,428	0,001	0,001	0,643
D	0,002	0,001	<0,001	0,623	<0,001	0,062	<0,001	<0,001
T×D	1,000	1,000	0,980	0,664	0,998	0,997	0,991	0,990

TBARS = índice de oxidação; L^* = luminosidade; a^* = índice de vermelho; b^* = índice de amarelo; C^* = saturação; h = ângulo de tonalidade; e EPM = erro padrão da média ($n = 60$). Tratamentos: hambúrgueres bovinos sem revestimento (CONT), com revestimento de gelatina (GEL), com revestimento de gelatina com 2% de extrato de moringa (MOR2) e com revestimento de gelatina com 5% de extrato de moringa (MOR5). ¹Efeitos significativos ($P < 0,05$) foram representados em negrito. ^(a-c) Médias seguidas por letras diferentes na coluna, entre efeitos, diferem ($P < 0,05$).

Fonte: Do autor (2026)

3.2.1 pH

O pH constitui um parâmetro intrínseco essencial na avaliação da qualidade de carnes e produtos cárneos, uma vez que influencia diretamente a capacidade de retenção de água, a textura, a estabilidade microbiológica e na coloração do produto. Conforme apresentado na Tabela 3, os valores para o pH não apresentaram ($P > 0,05$) efeito quanto ao tipo de tratamento, com médias ao de, 5,63 (CONT), 5,59 (GEL), 5,53 (MOR2) e 5,55 (MOR5). Logo, fica evidenciado que, a incorporação do extrato de moringa à matriz de gelatina não promoveu alterações indesejáveis na acidez natural do produto cárneo.

Em contrapartida, o fator tempo exerceu efeito ($P < 0,05$) sobre o pH, sendo observada uma variação progressiva ao longo do período de estocagem, com redução de 5,80 no dia 0 para 5,63 no dia 12. Esse comportamento é característico de carnes refrigeradas e pode ser atribuído, principalmente, à atividade metabólica de microrganismos psicotróficos e bactérias ácido-láticas, que utilizam carboidratos residuais e produzem ácidos orgânicos. (Ibrahim et al. 2022)

Resultados semelhantes foram reportados por Pedrosa et al., (2021), que não observaram alterações significativas de pH em linguças toscanas formuladas com farinha de *Moringa oleifera* Lam., mantendo os valores dentro de faixas compatíveis com a estabilidade do produto. De forma complementar, Ibrahim et al. (2022) relataram que a adição de extratos de moringa oleifera em hambúrgueres de frango promoveu uma leve redução do pH ao longo do armazenamento, contribuindo para a criação de um ambiente menos favorável ao crescimento microbiano, sem comprometer a integridade das proteínas miofibrilares.

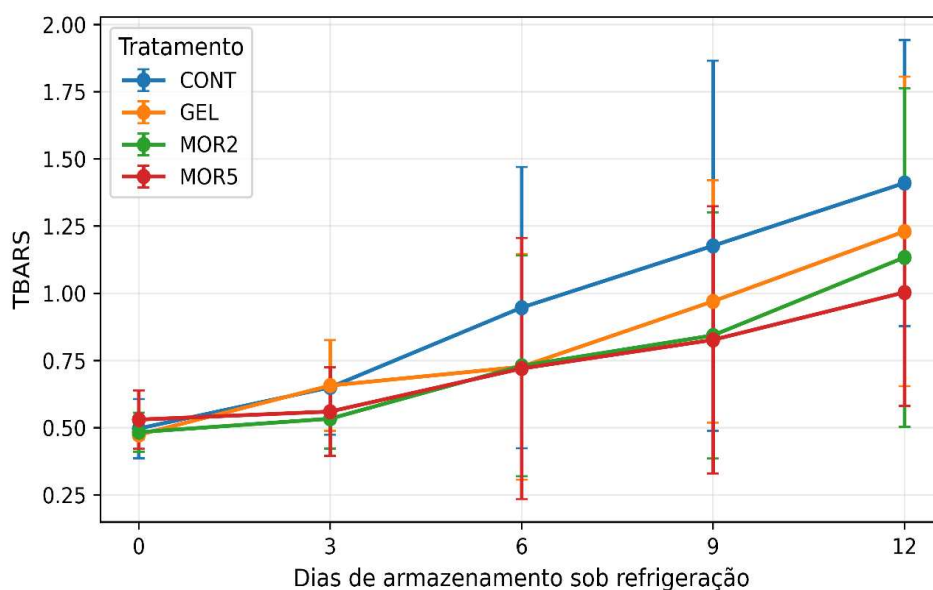
3.2.2 Oxidação Lipídica

Os resultados de TBARS dos hambúrgueres bovinos estão apresentados na Tabela 3. As médias obtidas indicaram valores de 0,94; 0,84; 0,76 e 0,73 mg MDA/kg para os tratamentos CONT, GEL, MOR2 e MOR5, respectivamente. Embora os tratamentos contendo extrato de *Moringa oleifera* tenham apresentado médias numericamente

inferiores às do controle, essas diferenças não foram estatisticamente significativas ($P > 0,05$). Dessa forma, a interpretação dos resultados deve considerar apenas tendências de comportamento oxidativo ao longo do armazenamento, sem inferir efeito significativo do tratamento sobre os valores de TBARS.

A evolução temporal da oxidação lipídica está representada na Figura 1. No início do armazenamento (dia 0), todos os tratamentos apresentaram valores próximos de 0,5 mg MDA/kg, evidenciando a boa qualidade da matéria-prima e o baixo grau de oxidação inicial da carne. Independentemente do tratamento aplicado, observou-se aumento significativo ($P < 0,05$) dos valores de TBARS ao longo do período de armazenamento refrigerado, confirmando que o tempo constitui o principal fator responsável pela progressão da oxidação lipídica.

Figura 1. Comportamento dos valores de TBARS dos hamburques bovinos durante o armazenamento refrigerado.



Embora não tenham sido verificadas diferenças estatísticas entre os tratamentos em cada período de armazenamento, a avaliação gráfica dos resultados permite observar tendências distintas de evolução dos valores de TBARS. O tratamento CONT apresentou incremento gradual durante o armazenamento, atingindo 1,408 mg MDA/kg no 12º dia. O revestimento contendo apenas gelatina (GEL) apresentou comportamento semelhante, com valor final de 1,230 mg MDA/kg. Por sua vez, os tratamentos contendo extrato de *Moringa oleifera* (MOR2 e MOR5) apresentaram valores finais de 1,132 e 1,002 mg MDA/kg, respectivamente. Essas diferenças, embora numericamente evidentes, não

foram suficientes para caracterizar efeito estatisticamente significativo dos tratamentos sobre a oxidação lipídica.

A ausência de diferença estatística pode estar relacionada à variabilidade inerente aos sistemas cárneos, bem como ao número de repetições experimentais, fatores que podem reduzir o poder estatístico para detectar diferenças de pequena magnitude. Ainda assim, a tendência de menores valores de TBARS nos tratamentos contendo extrato de *Moringa oleifera* sugere um possível efeito antioxidante, o qual merece ser interpretado com cautela e não como evidência conclusiva de maior eficiência do revestimento.

Do ponto de vista tecnológico, o revestimento constituído apenas por gelatina pode ter contribuído parcialmente para retardar a oxidação por atuar como uma barreira física à difusão de oxigênio, reduzindo a disponibilidade desse reagente para as reações de peroxidação lipídica. Entretanto, como a gelatina não apresenta atividade antioxidante expressiva, esse efeito tende a ser limitado, conforme descrito por Bellucci et al. (2022).

A tendência observada nos tratamentos MOR2 e MOR5 pode estar associada à presença de compostos fenólicos no extrato de *Moringa oleifera*, especialmente ácido gálico e ácido clorogênico, identificados na caracterização fitoquímica (Tabela 1), além de flavonoides como rutina e quercetina descritos na literatura (Peng et al., 2024). Esses compostos são reconhecidos pela capacidade de atuar como doadores de hidrogênio para neutralização de radicais livres e pela atividade quelante de íons metálicos pró-oxidantes, mecanismos que contribuem para retardar a propagação da oxidação lipídica (Hadidi et al., 2022; Bellucci et al., 2022). Contudo, no presente estudo, esse possível mecanismo não se refletiu em diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.

Resultados semelhantes têm sido relatados na literatura quanto ao potencial antioxidante da *Moringa oleifera* em produtos cárneos. Solichah et al. (2022), avaliando nuggets elaborados com carne de bagre gigante (*Arius thalassinus*) adicionados de diferentes concentrações de folhas frescas de *Moringa oleifera*, observaram elevada capacidade antioxidante do ingrediente, com até 41,26% de inibição de radicais livres. Da mesma forma, Madane et al. (2019) verificaram redução significativa da oxidação lipídica em nuggets de frango contendo 2% de extrato da flor de *Moringa oleifera* durante armazenamento refrigerado, evidenciada por menores valores de TBARS em comparação ao controle.

As diferenças observadas entre esses estudos e os resultados obtidos no presente trabalho podem ser atribuídas a diversos fatores, como a matriz cárnea utilizada, a parte da planta empregada (folhas ou flores), o método de obtenção do extrato, a concentração dos compostos bioativos, a forma de incorporação do extrato ao alimento e as condições de armazenamento. Assim, embora a literatura demonstre o potencial antioxidante da *Moringa oleifera*, sua eficácia depende das características específicas de cada sistema alimentar.

Em síntese, os resultados demonstram que o armazenamento refrigerado promoveu aumento significativo da oxidação lipídica em todos os tratamentos. Embora os revestimentos contendo extrato de *Moringa oleifera* tenham apresentado tendência de menores valores de TBARS ao longo do armazenamento, essas diferenças não foram estatisticamente significativas ($P > 0,05$). Portanto, nas condições experimentais deste estudo, não foi possível comprovar efeito antioxidante significativo do revestimento ativo sobre a estabilidade oxidativa dos hambúrgueres bovinos, ainda que as tendências observadas sejam compatíveis com o potencial antioxidante descrito para os compostos fenólicos presentes na *Moringa oleifera*.

3.2.3 Avaliação Instrumental e Visual da Cor

Os parâmetros instrumentais de cor (L^* , a^* , b^* , C^* e h°) dos hambúrgueres bovinos durante os 12 dias de armazenamento refrigerado estão apresentados na Tabela 3 e ilustrados na Figura 3.

A luminosidade (L^*) foi influenciada significativamente pelos tratamentos ($P < 0,001$), enquanto o tempo de armazenamento e a interação tratamento $\times$ tempo não exerceram efeito significativo ($P > 0,05$). Os tratamentos contendo extrato de *Moringa oleifera* (MOR2 e MOR5) apresentaram menores valores médios de L^* (27,17 e 27,81, respectivamente) em comparação ao tratamento controle (32,09), indicando uma superfície visualmente mais escura. Essa diferença está relacionada à pigmentação natural do extrato vegetal, rica em clorofilas e carotenoides, que reduz a refletância da superfície do produto (Verma et al., 2020; Al-Baidhani et al., 2024). Como não houve efeito do tempo nem interação significativa entre tratamento e armazenamento, essa diferença permaneceu constante ao longo do período experimental, indicando que o revestimento modificou a coloração inicial dos hambúrgueres, mas não promoveu alterações adicionais na luminosidade durante o armazenamento.

O parâmetro a^* , que representa a intensidade da coloração vermelha da carne, apresentou efeito significativo apenas do tempo de armazenamento ($P < 0,001$), sem influência dos tratamentos ($P = 0,428$) ou da interação tratamento $\times$ tempo ($P = 0,998$). Independentemente do tratamento aplicado, observou-se redução progressiva dos valores de a^* ao longo dos 12 dias de armazenamento, evidenciando a perda gradual da coloração vermelha característica da carne fresca. Esse comportamento é amplamente descrito na literatura e está associado à oxidação da oximioglobina em metamioglobina, pigmento responsável pela coloração marrom característica da carne oxidada (Rahman et al., 2020; Al-Baidhani et al., 2024). Embora os tratamentos contendo extrato de *Moringa oleifera* tenham apresentado valores numericamente superiores aos do controle em alguns períodos, essas diferenças não foram estatisticamente significativas, não sendo possível atribuir ao revestimento efeito protetor sobre a manutenção da vermelhidão nas condições experimentais deste estudo.

A avaliação visual apresentada na Figura 3 corroborou as alterações observadas instrumentalmente. Ao longo do armazenamento, verificou-se escurecimento progressivo da superfície dos hambúrgueres em todos os tratamentos, característico das modificações naturais dos pigmentos cárneos durante o armazenamento refrigerado. As diferenças visuais observadas entre os tratamentos devem ser interpretadas apenas como tendências qualitativas, uma vez que a avaliação visual não foi submetida à análise estatística.

Os parâmetros b^* e C^* foram significativamente influenciados pelos tratamentos ($P = 0,001$). Para b^* , o tratamento controle apresentou menor valor médio (7,98), diferindo estatisticamente dos tratamentos revestidos, cujos valores variaram entre 10,07 e 10,60. Esse aumento do componente amarelo é atribuído à incorporação de pigmentos naturais presentes no extrato de *Moringa oleifera*, especialmente carotenoides e flavonoides, que apresentam coloração amarelada e alteram diretamente o perfil cromático do revestimento (Verma et al., 2020; Al-Baidhani et al., 2024). O tempo de armazenamento não influenciou significativamente esse parâmetro ($P = 0,062$), indicando que as diferenças observadas decorreram predominantemente da composição do revestimento.

Para a croma (C^*), verificou-se efeito significativo tanto dos tratamentos ($P = 0,001$) quanto do tempo de armazenamento ($P < 0,001$), sem interação significativa entre esses fatores ($P = 0,991$). Os tratamentos contendo extrato de *Moringa oleifera*

apresentaram maiores valores médios de C^* em relação ao controle, refletindo maior saturação da cor em decorrência da presença dos pigmentos naturais do extrato vegetal. Além disso, todos os tratamentos apresentaram redução da intensidade da cor ao longo do armazenamento, comportamento esperado em produtos cárneos refrigerados e frequentemente associado às modificações oxidativas dos pigmentos e à perda gradual da vivacidade da cor (Ashrafi et al., 2024; Rahman et al., 2020). Como não houve interação tratamento $\times$ tempo, a redução de C^* ocorreu de forma semelhante entre os tratamentos.

O ângulo de matiz (h°) apresentou efeito significativo apenas do tempo de armazenamento ($P < 0,001$), não sendo observadas diferenças entre os tratamentos ($P = 0,643$). Independentemente do revestimento aplicado, ocorreu aumento progressivo dos valores de h° , indicando deslocamento da coloração para tonalidades mais amareladas e amarronzadas ao longo do armazenamento, comportamento característico da perda de frescor em produtos cárneos. Embora estudos anteriores relatem que compostos fenólicos presentes em *Moringa oleifera* podem retardar alterações oxidativas dos pigmentos musculares (Ibrahim et al., 2022), esse efeito não foi evidenciado estatisticamente nas condições experimentais do presente estudo.

De forma geral, os resultados demonstram que o extrato de *Moringa oleifera* influenciou significativamente apenas os parâmetros relacionados ao perfil cromático inicial dos hambúrgueres, reduzindo a luminosidade (L^*) e aumentando os valores de b^* e C^* , efeitos atribuídos à coloração característica dos compostos naturais presentes no extrato. Em contrapartida, a evolução temporal da vermelhidão (a^*) e do ângulo de matiz (h°) foi determinada principalmente pelo armazenamento refrigerado, sem diferenças significativas entre os tratamentos. Esses resultados indicam que, embora o revestimento ativo tenha modificado a aparência inicial dos hambúrgueres, sua influência sobre a estabilidade da cor durante o armazenamento foi limitada nas condições avaliadas.

Figura 2. Comportamento dos parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , c^* e h°) dos hambúrgueres ao longo do armazenamento refrigerado.

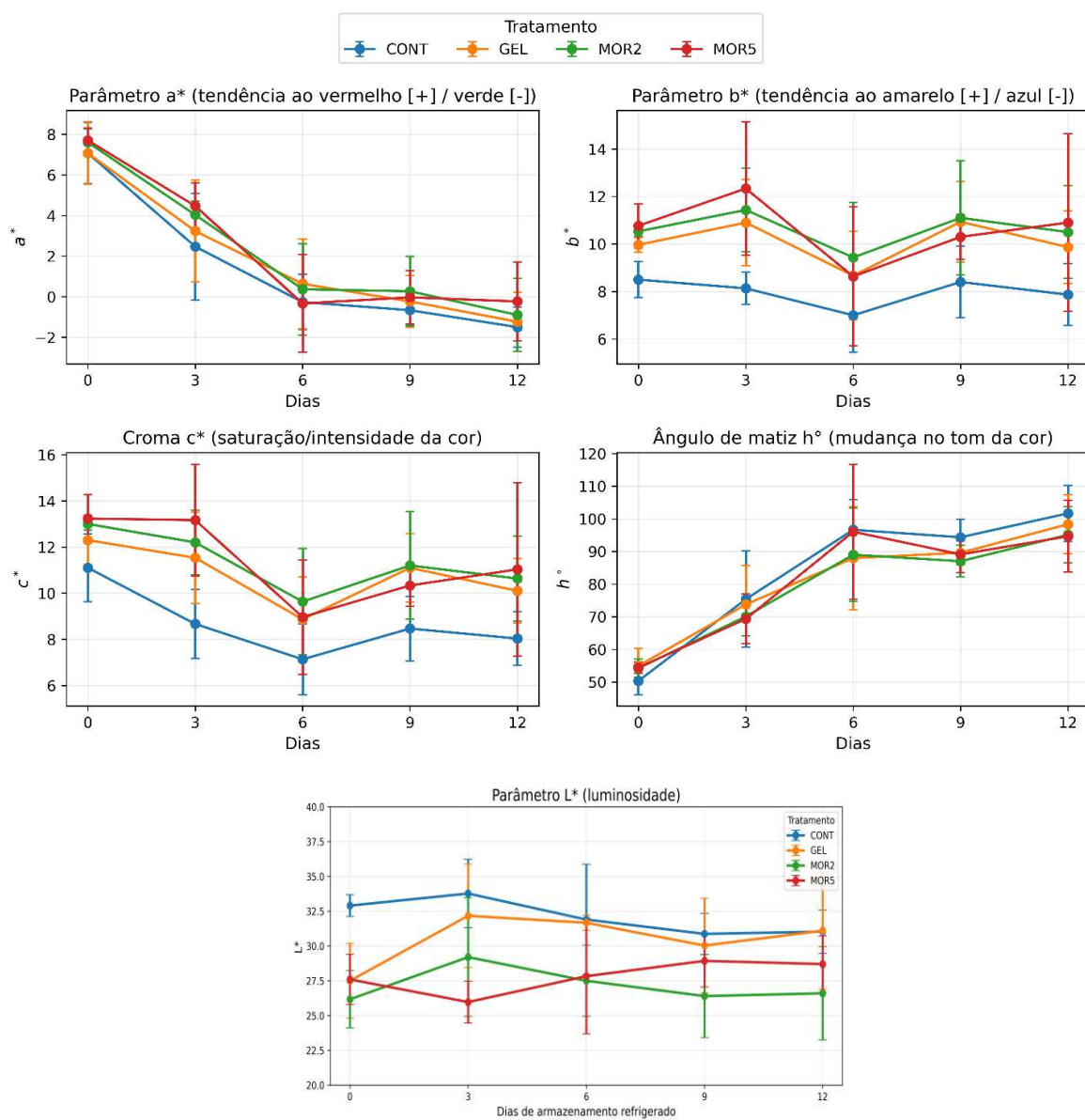
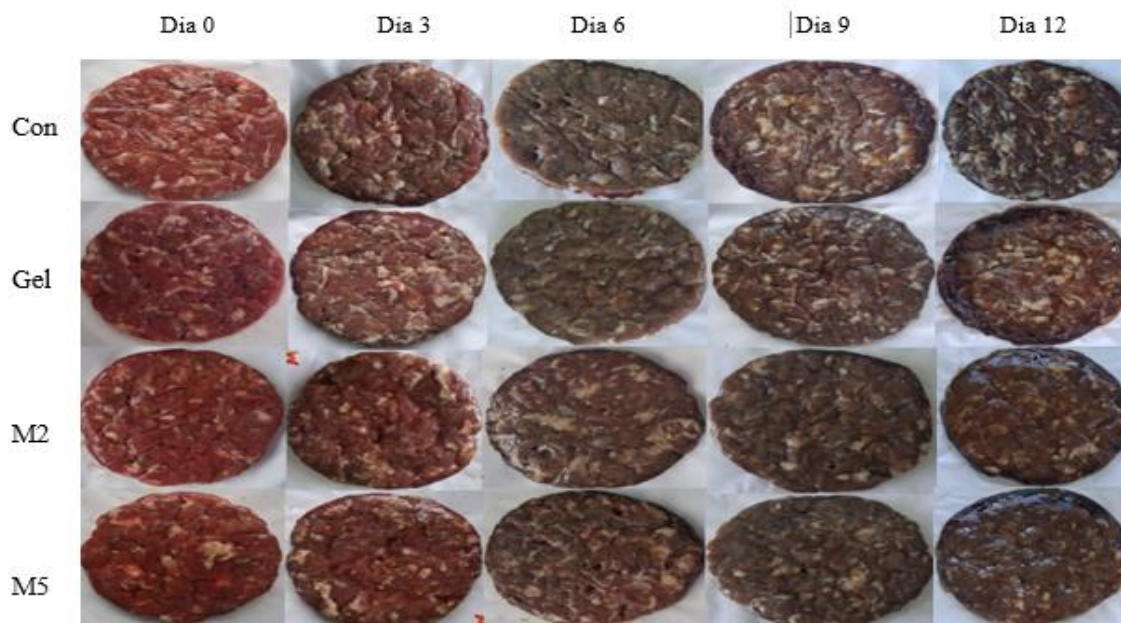


Figura 3. Fotografia digital dos hambúrgueres bovinos durante o período de armazenamento refrigerado.



Fonte: Do Autor (2026).

3.2.4 Perda de peso

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 3, observou-se que o tempo de armazenamento refrigerado exerceu uma influência ($P < 0,05$) sobre a perda de peso dos hambúrgueres bovinos. No dia inicial (dia 0), a perda era nula, progredindo de forma acentuada até atingir a média de 23,34% ao final dos 12 dias de estocagem sob refrigeração a 4° C. Esse aumento progressivo é esperado em sistemas de armazenamento refrigerado, devido à diferença de pressão de vapor entre a superfície do produto e o ambiente, favorecendo a migração de água para o meio externo (SANTOS et al., 2022).

Quanto ao efeito dos tratamentos, apesar de os revestimentos apresentarem valores numericamente menores de perda, não houve diferença ($P > 0,05$) entre as amostras ainda assim, a tendência de menor perda em MOR2 e MOR5 sugere que o extrato de *Moringa oleifera* Lam. pode reforçar a barreira do revestimento, possivelmente pela interação de compostos fenólicos com a matriz proteica da gelatina, aumentando a retenção de água. Este comportamento pode ser confirmado pelo estudo de Mezhoudi et al. (2022), que ao utilizarem revestimentos de gelatina de peixe enriquecidos com extrato de *Moringa oleifera* Lam. em filés de peixe, observaram uma redução de 26% na perda de peso em comparação aos controles não revestidos. Além disso, Santos et al. (2022) observaram que, em hambúrgueres bovinos revestidos com filmes de gelatina e extrato

de acerola, a gelatina funciona como um agente de sacrifício porque, por ser hidrofílica, ela perde primeiro a própria umidade para o ambiente, fazendo com que a água presente dentro da carne demore mais para evaporar; assim, o revestimento atua como uma barreira física que ajuda a retardar a desidratação do músculo. No presente estudo, GEL, MOR2 e MOR5 podem ter desempenhado esse papel, mas sem alcançar significância, possivelmente por características do revestimento (espessura/porosidade) nas condições testadas. A ausência de interação Tratamento $\times$ Dia ($p=0,980$) indica que o padrão de perda ao longo do tempo foi semelhante entre os tratamentos.

Sendo assim, embora não tenha havido diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos revestidos em relação ao CONT, observou-se tendência de menores perdas de peso nos hambúrgueres contendo extrato de *Moringa oleifera* ao longo do armazenamento. Esse comportamento sugere potencial do revestimento na retenção de umidade, ainda que nas condições avaliadas tal efeito não tenha sido estatisticamente confirmado.

4. Conclusão

Diante do estudo, conclui-se que a incorporação do extrato hidroalcoólico de folhas de *Moringa oleifera* em revestimentos comestíveis de gelatina (8% p/v) não promoveu ganhos estatisticamente significativos ($P > 0,05$) na estabilidade físico-química e oxidativa de hambúrgueres bovinos mantidos sob refrigeração por 12 dias. Embora o tratamento com 5% de extrato (MOR5) tenha apresentado uma redução numérica de 28,8% nos valores de TBARS em relação ao controle ao final do experimento, essa variação não foi suficiente para caracterizar uma superioridade tecnológica do revestimento ativo sob as condições avaliadas. O uso do extrato alterou o perfil cromático inicial dos produtos, resultando em menor luminosidade e maior intensidade de amarelo devido à pigmentação natural do vegetal, mas não foi eficaz na retenção estatística da cor vermelha (a^*) ou na manutenção do pH. Portanto, o efeito conservante observado foi exercido predominantemente pelas condições de temperatura de estocagem, evidenciando que, nas concentrações testadas, o revestimento funcionalizado não superou a eficácia do armazenamento refrigerado convencional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdallah, R., Gad, S. A., & El-Barbary, H. A. (2023). Antimicrobial effect of *Moringa oleifera* leaves extract on foodborne pathogens in ground beef. *Foods*, 12(4), Article 766. <https://doi.org/10.3390/foods12040766>
- Agboke, A. A., Attah, A. F., Osungunna, M. O., & Oyeyemi, O. T. (2021). In vitro evaluation of anti-MRSA properties and GC-MS bioactive compounds of methanol extract fractions of *Moringa oleifera* Lam. root bark. *European Journal of Biotechnology and Bioscience*, 9(3), 53–62.
- Al-Baidhani, A. M. S., Hashim, A. Z., Al-Qutaifi, H. K., Al-Hilphy, A. R., Waseem, M., Madilo, F. K., & Manzoor, M. F. (2024). Extração assistida por ultrassom de compostos bioativos das folhas de *Moringa oleifera* para preservação de hambúrgueres bovinos: Atividades antioxidantes e inibitórias, meia-vida e atributos sensoriais. *Food Science & Nutrition*, 12, 7737–7750. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4395>
- AOAC International. (2012). *Official methods of analysis of AOAC International* (19th ed.). AOAC International.
- Araújo, B. M. (2021). *Avaliação de emulsões fotoprotetoras produzidas com óleo de sementes de Moringa oleifera* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Sergipe].
- Ashrafi, A., Ahari, H., Asadi, G., & Mohammadi Nafchi, A. (2024). Enhancement of the quality and preservation of frozen burgers by active coating containing *Rosa canina* L. extract nanoemulsions. *Food Chemistry: X*, 23, Article 101749. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101749>
- Barreto, M. B., Souza, J. S. N., Souza, L. A. G., Souza, A. G., & Souza, R. O. L. S. (2009). Constituintes químicos voláteis e não-voláteis de *Moringa oleifera* Lam., Moringaceae. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 19(4), 893–897.
- Bellucci, E. R. B., Bis-Souza, C. V., Domínguez, R., Bermúdez, R., & Barretto, A. C. S. (2022). Addition of natural extracts with antioxidant function to preserve the

- quality of meat products. *Biomolecules*, 12(10), Article 1506. <https://doi.org/10.3390/biom12101506>
- Bonta, R. K. (2017). Application of HPLC and ESI-MS techniques in the analysis of phenolic acids and flavonoids from green leafy vegetables (GLVs). *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 7, 349–364.
- Campañone, L. A., Giner, S. A., & Mascheroni, R. H. (2002). Generalized model for the simulation of food refrigeration: Development and validation. *International Journal of Refrigeration*, 25(7), 975–984.
- Chin, S. S., Lyn, F. H., & Hanani, Z. N. (2017). Effect of *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) gel on the physical and functional properties of fish gelatin films as active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, 128–134.
- Dwivedi, J., Paliwal, S., Paliwal, S. K., & Sharma, S. (2025). Aspects of β -sitosterol's pharmacology, nutrition and analysis. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 26(14), 2234–2256.
- Freire, J. M. M. (2021). *Efeito antioxidante do extrato de resíduos do processamento da acerola (Malpighia emarginata) na estabilidade oxidativa de hambúrguer de carne bovina* [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Ceará].
- Ibrahim, M. E. E.-D., Alqurashi, R. M., & Alfaraj, F. Y. (2022). Antioxidant activity of *Moringa oleifera* and Olive *Olea europaea* L. leaf powders and extracts on quality and oxidation stability of chicken burgers. *Antioxidants*, 11(3), Article 496. <https://doi.org/10.3390/antiox11030496>
- Ibrahim, S. M., Abu-Salem, F. M., Hamed, M. G. E., & Sobhy, H. M. (2022). Antioxidant activity of *Moringa oleifera* and Olive *Olea europaea* L. leaf powders and extracts on quality and oxidation stability of chicken burgers. *Antioxidants*, 11(2), Article 232. <https://doi.org/10.3390/antiox11020232>
- Larayetan, R., Oyewumi, O. J., Adebayo, O., & Oluwafemi, O. S. (2025). Synthesis of silver nanoparticles with aqueous extract of *Moringa oleifera* Lam leaves and its ameliorative effect on benign prostatic hyperplasia (BPH). *Journal of Phytomedicine and Therapeutics*, 24(1), 2210–2230.

- Madane, P., Das, A. K., Pateiro, M., Nanda, P. K., Bandyopadhyay, S., Jagtap, P., Barba, F. J., Shewalkar, A., Maity, B., & Lorenzo, J. M. (2019). Drumstick (*Moringa oleifera*) flower as an antioxidant dietary fibre in chicken meat nuggets. *Foods*, 8(8), Article 307.
- Mashau, M. E., Ramatsetse, K. E., & Ramashia, S. E. (2021a). Effects of adding *Moringa oleifera* leaves powder on the nutritional properties, lipid oxidation and microbial growth in ground beef during cold storage. *Applied Sciences*, 11(7), Article 2944. <https://doi.org/10.3390/app11072944>
- Mashau, M. E., Ramatsetse, K. E., & Ramashia, S. E. (2021b). The incorporation of *Moringa oleifera* leaves powder in mutton patties: Influence on nutritional value, technological quality, and sensory acceptability. *Open Agriculture*, 6, 738–748.
- Massingue, A. A., Bueno, L. O., Carmo, L. R., Fontes, P. R., Ramos, A. L. S., & Ramos, E. M. (2022). Retail display life extension of beef by gelatin-chitosan edible coating incorporated with allspice leaves extract. *Research, Society and Development*, 11(6), Article e26611629143.
- Meireles, B. R. L. D. A., Alcantara, M. A., Polari, I. D. L. B., Souza, A. G. D., Santos, N. A. D., Grisi, C. V. B., & Cordeiro, A. M. T. D. M. (2022). Catole coconut (*Syagrus cearensis*) oil: Physicochemical characterization and thermo-oxidative stability by TG/DTG/DTA and Rancimat. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(5), 3591–3598.
- Mendonça, G. V. S. (2025). *Produção de gelatina e colágeno hidrolisado: Uma revisão* [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Lavras].
- Mezhoudi, M., Salem, A., Abdelhedi, O., Fakhfakh, N., Mabrouk, M., Khorchani, T., Debeaufort, F., Jridi, M., & Zouari, N. (2022). Development of active edible coatings based on fish gelatin enriched with *Moringa oleifera* extract: Application in fish (*Mustelus mustelus*) fillet preservation. *Food Science & Nutrition*, 10(11), 3979–3992. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2993>
- Moraes, T. V., Ferreira, G. L. S., Silva, J. P., Lima, J. P., Ribeiro, M. S., & Coutinho, J. P. (2020). Atividade antioxidante e conteúdo de compostos fenólicos do chá

- do caule da *Pereskia aculeata* Miller fresco e armazenado sob congelamento. *Research, Society and Development*, 9(5), Article e34953140.
- Mwankunda, L. J., Nyamete, F., & Kilima, B. (2023). Exploring the influence of *Moringa oleifera* leaves extract on the shelf life of ground beef during refrigerated storage. *European Journal of Medicinal Plants*, 34(10), 42–52. <https://doi.org/10.9734/EJMP/2023/v34i101164>
- Nascimento, C. P. F. (2022). *Revestimentos de pectina adicionados de extrato hidroalcoólico de folhas de goiabeira (Psidium guajava L.): Caracterização e aplicação em carne bovina fresca* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará].
- Nascimento, J. V., Silva, M. G., Costa, R. S., & Figueiredo, R. W. (2021). Compostos fenólicos e capacidade antioxidante de extratos de flor de *Clitoria ternatea* L. *Research, Society and Development*, 10(11), Article e218101119450.
- Nascimento, M. H. (2022). *Avaliação do potencial antimicrobiano de extratos de folhas e sementes de Moringa oleifera Lam. frente à microrganismos patogênicos* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba].
- Nogueira, S. M. S. (2024). *Efeito do revestimento à base de gelatina extraída de escamas de Oreochromis niloticus na avaliação da qualidade de Penaeus vannamei congelado* [Tese de doutorado, Universidade Federal do Ceará].
- Paiva, M. V., et al. (2021). Convective drying of Roselle calyx: Kinetics and drying rate. *Research, Society and Development*, 10(2), 1–9.
- Pedrosa, J. R., Silva, C. C. A., Terán-Ortiz, G. P., & Furtado, M. L. B. (2025). Avaliação da *Moringa oleifera* como antioxidante e antimicrobiano em linguiça Toscana. In C. A. M. Cordeiro, N. S. Evangelista-Barreto, & A. G. Sanches (Eds.), *Avanços, inovações e saberes em ciência e tecnologia de alimentos: Volume 4* (pp. 374–384). Científica Digital.
- Peng, W., Wang, X., Wang, W., Wang, Y., Huang, J., Zhou, R., Bo, R., Liu, M., Yin, S., & Li, J. (2024). Comparison, optimization and antioxidant activity of ultrasound-assisted natural deep eutectic solvents and traditional method

- extraction of flavonoids from *Moringa oleifera* Lam. leaves. *Ultrasonics Sonochemistry*, 109, Article 107003.
- Pikul, J., Leszczynski, D. E., & Kummerow, F. A. (1983). Elimination of sample autoxidation by butylated hydroxytoluene additions before thiobarbituric acid assay for malonaldehyde in fat from chicken meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 31(6), 1338–1342.
- Raafat, K., & Hdaib, F. (2017). Neuroprotective effects of *Moringa oleifera*: Bio-guided GC-MS identification of active compounds in diabetic neuropathic pain model. *Chinese Journal of Integrative Medicine*, 1–10.
- Rahman, M. H., Alam, M. S., Monir, M. M., & Rahman, P. M. E. (2020). Efeito do extrato da folha de *Moringa oleifera* e antioxidante sintético na qualidade e vida útil de nuggets de carne de cabra congelados. *International Journal of Food Research*, 7, 34–45.
- Rosmini, M. R., Perlo, F., Pérez-Álvarez, J. A., Pagán-Moreno, M. J., Gago-Gago, A., López-Santoveña, F., & Aranda-Catalá, V. (1996). TBA test by an extractive method applied to ‘paté’. *Meat Science*, 42(1), 103–110.
- Solichah, E., Iwansyah, A. C., Pramesti, D., Desnilasari, D., Agustina, W., Setiaboma, W., & Herminiati, A. (2022). Evaluation of physicochemical, nutritional, and organoleptic properties of nuggets based on moringa (*Moringa oleifera*) leaves and giant catfish (*Arius thalassinus*). *Food Science and Technology*, 42, e72020. <https://doi.org/10.1590/fst.72020>
- Santos, E. N. (2020). *Incorporação de extrato de resíduo agroindustrial de acerola em embalagem biodegradável e seu efeito sobre a qualidade de hambúrguer bovino* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba].
- Santos, E. N., Sousa, T. C. A., Santana Neto, D. C., Grisi, C. V. B., Ferreira, V. C. S., & Silva, F. A. P. (2022). Edible active film based on gelatin and *Malpighia emarginata* waste extract to inhibit lipid and protein oxidation in beef patties. *LWT - Food Science and Technology*, 154, Article 112837.
- SAS Institute. (2012). *SAS® System for Windows* (Version 9.0) [Software]. SAS Institute Inc.

- Silva, A. R. (2025). *Uso de extrato de alho conjugado a revestimento de quitosana na estabilidade em almôndegas elaboradas à base de carne mecanicamente separada de tilápia do Nilo (Oreochromis niloticus)* [Tese de doutorado, Universidade Federal do Ceará].
- Smaoui, S., Ben Moussa, S., Khachane, I., & Ben Hmida, N. (2022a). Application of essential oils in meat packaging: A systemic review of recent literature. *Food Control*, 132, Article 108566.
- Smaoui, S., Hmida, N., Ben Moussa, S., Abdellatif, A., & Khachane, I. (2022b). Application of eco-friendly active films and coatings based on natural antioxidant in meat products: A review. *Progress in Organic Coatings*, 166, Article 106780.
- Tayade, S., Ghule, S., Patil, S., & Patil, V. (2022). Phytochemical characterization of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) using Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS). *Biological Forum – An International Journal*, 14(4), 1209–1220.
- United States Department of Agriculture. (2025). *Livestock and poultry: World markets and trade*. Foreign Agricultural Service. <https://www.fas.usda.gov/>
- Verma, A. K., Rajkumar, V., Kumar, M. S., & Jayant, S. K. (2020). Efeito antioxidante da flor de coxinha (*Moringa oleifera* L.) na qualidade e estabilidade de nuggets de carne caprina. *Nutrição e Ciência Alimentar (NFS)*, 50(1), 84–95.
- Yoon, B. H., Truong, V. L., & Jeong, W. S. (2025). Phytosterols: Extraction methods, analytical techniques, and biological activity. *Molecules*, 30(12), Article 2488.

ARTIGO 2

Artigo redigido conforme a norma do periódico Meat Science

“Versão Preliminar”

Potencial antioxidante do extrato da *Moringa oleífera* incorporado em revestimentos comestíveis aplicados a hambúrgueres bovinos armazenados sob congelamento

Antioxidant Potential of Moringa oleífera Extract Incorporated into Edible Coatings Applied to Frozen Beef Burgers

Resumo: Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial antioxidante e a eficácia de um revestimento comestível à base de gelatina (8% p/v) incorporado com extrato hidroalcoólico de folhas de *Moringa oleífera* Lam. na conservação de hambúrgueres bovinos armazenados sob congelamento (-18 ± 1 °C) por um período de 60 dias. O experimento foi conduzido em quatro tratamentos: CONT (sem revestimento), GEL (revestimento de gelatina), MOR2 (gelatina + 2% de extrato de *Moringa oleífera* Lam.) e MOR5 (gelatina + 5% de extrato de *Moringa oleífera* Lam.). As amostras foram avaliadas nos dias 0, 30 e 60 quanto aos parâmetros de pH, estabilidade oxidativa (TBARS) e cor instrumental (L^* , a^* , b^* , C^* e h°). Os resultados indicaram a ausência de diferença estatisticamente significativa ($P > 0,05$) entre os tratamentos para os parâmetros de pH, estabilidade oxidativa (TBARS) e cor instrumental (L^* , a^* , b^* , C^* e h°) ao final do período de estocagem. Houve uma elevação do pH e uma degradação acentuada do componente vermelho (a^*) em todos os tratamentos em função do tempo de congelamento ($P < 0,05$). Embora os revestimentos aditivados tenham apresentado tendências numéricas de menores índices de oxidação, essas variações não foram suficientes para caracterizar um efeito protetor superior ao tratamento controle. Conclui-se que o revestimento de gelatina com extrato de *Moringa oleífera*, nas condições e concentrações avaliadas, não potenciou a estabilidade físico-química de hambúrgueres bovinos congelados, sendo o congelamento o principal fator responsável pela manutenção dos índices de oxidação dentro dos limites aceitáveis.

Palavras-chave: Carne bovina. Estabilidade oxidativa; Congelamento. Produto cárneo, oxidação lipídica,

1. Introdução

O hambúrguer bovino é um produto de ampla aceitação comercial devido à sua praticidade e características sensoriais. No entanto, o processo de moagem necessário para sua fabricação aumenta a área de superfície exposta e rompe as membranas celulares, facilitando a interação de lipídios insaturados com agentes pró-oxidantes (Santos et al., 2022). Embora o congelamento seja o método de conservação mais utilizado para estender a vida útil desses produtos, retardando o crescimento microbiano e as reações enzimáticas, a oxidação lipídica não é totalmente interrompida em temperaturas de -18°C (Zahid et al., 2020).

Durante o armazenamento congelado prolongado, a oxidação dos lipídios e da mioglobina resulta na formação de compostos secundários, como o malonaldeído, que são responsáveis pelo desenvolvimento de sabores e odores de ranço, além da descoloração da carne (Zahid et al., 2022). Para mitigar esses efeitos, a indústria cárnea tradicionalmente utiliza antioxidantes sintéticos. Contudo, a crescente demanda dos consumidores por produtos *clean label* tem impulsionado a busca por alternativas naturais que garantam a estabilidade oxidativa sem comprometer a segurança toxicológica (Bellucci et al., 2022). Nesse cenário, o desenvolvimento de embalagens ativas, como os revestimentos comestíveis, surge como uma estratégia tecnológica promissora. Revestimentos à base de biopolímeros, como a gelatina, funcionam como uma barreira física contra o oxigênio atmosférico e a perda de umidade por sublimação (Gallego et al., 2020). Além disso, essas matrizes podem servir como veículos para a incorporação de extratos vegetais ricos em compostos bioativos, permitindo uma liberação controlada de antioxidantes na superfície do alimento (Moura-Alves et al., 2023).

A *Moringa oleífera* Lam. é reconhecida por seu elevado potencial funcional, apresentando altas concentrações de polifenóis, como flavonoides e ácidos fenólicos, que atuam no sequestro de radicais livres e na quelatação de metais (Ibrahim et al., 2022). Estudos recentes indicam que a incorporação de extratos naturais em matrizes proteicas pode retardar significativamente a oxidação proteica e lipídica em produtos cárneos mantidos sob baixas temperaturas (Santos et al., 2022).

Apesar dos benefícios potenciais da *Moringa oleífera* Lam. em sistemas refrigerados, as evidências sobre sua eficácia em revestimentos aplicados a hambúrgueres

bovinos durante o armazenamento congelado de longa duração ainda são limitadas. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a aplicação de um revestimento comestível à base de gelatina incorporado com extrato hidroalcoólico de *Moringa oleifera* Lam. na preservação da qualidade físico-química e na estabilidade oxidativa de hambúrgueres bovinos armazenados a -18°C por 60 dias.

2. Metodologia

O experimento foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Carnes e Derivados, vinculado ao Departamento de Ciência dos Alimentos, da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

2.1. Obtenção da matéria-prima

As folhas de *Moringa oleifera* Lam. foram coletadas na Universidade Federal de Lavras (UFLA), no Departamento de Agricultura, na *Plataforma de Pesquisas Energéticas (G-Óleos)*, e posteriormente transportadas para o Laboratório de Tecnologia de Carnes e Derivados. A carne bovina utilizada no estudo foi adquirida em estabelecimento comercial do município de Lavras, Minas Gerais, Brasil, e conduzida ao mesmo laboratório para o processamento e as análises.

2.2. Obtenção do extrato de *Moringa oleifera* Lam.

As folhas de *Moringa oleifera* Lam. foram previamente lavadas e higienizadas em solução de água clorada (200 ppm) por 15 minutos. Em seguida, foram submetidas à secagem em estufa com circulação de ar (FANEM®, São Paulo, Brasil) a 40–45 °C, por 48 horas, até atingirem peso constante, em seguida moídas em liquidificador de acordo com a metodologia descrita por Paiva et al. (2021).

A extração foi realizada conforme a metodologia descrita por Al-Baidhani et al. (2024), com adaptações. Foram utilizados 20 g de folhas secas de *Moringa oleifera* Lam, submetidas à extração na proporção peso/volume (w/v) de 1:20, utilizando-se como solvente etanol a 70% (v/v). As amostras foram mantidas sob agitação constante em agitador vertical, à temperatura ambiente, por 24 horas. Após esse período, os extratos obtidos foram filtrados em papel de filtro e, posteriormente, concentrados em banho-maria a 40 °C por 2 horas. Por fim, os extratos alcoólicos foram acondicionados em frascos de vidro opacos com tampas herméticas e armazenados sob refrigeração até o momento das análises.

2.3 Desenvolvimento do revestimento comestível ativo e aplicação em hambúrgueres bovinos

2.3.1 Elaboração dos hambúrgueres

A elaboração dos hambúrgueres foi realizada a partir de uma formulação composta por carne bovina moída de acém (70%) e peito bovino (18%), água gelada (10%), sal (1,5%), alho (0,2%), cebola (0,2%) e pimenta (0,1%). Inicialmente, os cortes cárneos foram moídos com uso de moedor (BECARRO boca 8 Bivolt) separadamente e, em seguida, misturados de forma homogênea. Posteriormente, os demais ingredientes foram incorporados à massa cárnea, com adição gradual da água gelada, visando assegurar adequada homogeneização e funcionalidade da mistura. Após a completa incorporação dos ingredientes, a massa obtida foi moldada manualmente em porções padronizadas de aproximadamente 100 gramas, formando hambúrgueres uniformes destinadas à condução do experimento.

2.3.2 Elaboração dos revestimentos e aplicação

O revestimento dos hambúrgueres foi preparado de acordo com a metodologia descrita por Chin et al. (2017), com adaptações. A solução de gelatina a 8% (p/v) foi obtida pela dissolução de 8 g de gelatina em pó (L 154036B 23 M, Dr. Oetker) em 100 mL de água destilada. A mistura foi submetida à agitação com aquecimento em agitador magnético, a 70 °C e 1100 rpm, por 30 minutos, até completa solubilização. Após o resfriamento à temperatura ambiente, o extrato de *Moringa oleifera* Lam. foi adicionado às soluções correspondentes, seguido de agitação por 10 minutos para garantir a homogeneização.

O experimento foi conduzido com quatro tratamentos: CONT (sem revestimento), GEL (revestimento de gelatina sem extrato), MOR2 (revestimento de gelatina contendo 2% de extrato de *Moringa oleifera* Lam.) e MOR5 (revestimento de gelatina contendo 5% de extrato de *Moringa oleifera* Lam.). Os hambúrgueres foram totalmente imersos nas soluções de revestimento por tempo padronizado de 5 s e, posteriormente escorridos e dispostos em bandejas descartáveis de poliestireno expandido (EPS) de forma circular, com posterior cobertura por filme plástico de PVC. Em seguida, foram armazenados sob congelamento a -18 ± 1 °C por um período de 60 dias. As análises foram realizadas nos dias 0, 30 e 60 de armazenamento.

2.4. Avaliação da aplicação dos revestimentos em hambúrgueres armazenados sob congelamento

2.4.1. Análise de cor

A análise de cor dos hambúrgueres foi realizada por meio de leituras diretas em três pontos distintos de cada amostra, utilizando um colorímetro Nix Mini Color Sensor (Nix Sensor Ltd., Canadá). As medições foram efetuadas de acordo com o sistema de cor CIELAB (L^* , a^* e b^*), empregando o iluminante D65 e ângulo de observação de 10° .

2.4.2 Determinação do pH

Os valores de pH foram medidos por leitura direta em um medidor portátil de pH (pHmetro Testo 206, Testo SE e Co. KGaA, Alemanha), previamente calibrados com soluções tampão de pH em pH 7,0 e 4,0, conforme os parâmetros descritos pela AOAC (2012).

2.4.3 Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBARs)

O grau de oxidação lipídica foi analisado pelo método de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARs) modificado de Pikul et al. (1989), foi determinado mediante a pesagem de 5 g de amostra previamente triturada, à qual foram adicionados 15 mL da solução EXT e 1 mL de BHT a 0,15%, em tubo Falcon de 50 mL. A mistura foi submetida à trituração em Turrax por aproximadamente 15 segundos, tempo suficiente para promover a completa homogeneização. Em seguida, o material foi filtrado em peneira de nylon ou metálica com poros de 1 mm, e alíquotas de 1,5 a 2,0 mL do filtrado foram transferidas para tubos de Eppendorf, os quais foram centrifugados a 3000 g por 5 minutos. Para a reação de cor, foram adicionados 1,0 mL do sobrenadante e 1,0 mL da solução de TBA a 0,02 M; paralelamente, foi preparado um branco contendo 1,0 mL de água destilada e 1,0 mL de TBA a 0,02 M. As amostras foram incubadas em banho-maria a 90°C por 30 minutos e, posteriormente, resfriadas em banho de água gelada por 5 minutos. A leitura das absorbâncias foi realizada em espectrofotômetro UV/VIS a 532 nm. A curva de calibração usando concentrações conhecidas de MDA foi usada para quantificar os TBARS. Os resultados foram expressos como mg de malonaldeído (MDA) por kg de amostra (mg MDA/kg amostra).

2.5. Análise estatística

O experimento foi conduzido em um Delineamento Inteiramente Casualizado, em arranjo fatorial 4x5 (4 tratamentos x 5 períodos de armazenamento). Os resultados

foram avaliados através de análise de variância (ANOVA) e, quando necessário, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, usando programa estatístico SAS® System (2012) Versão 9.0.

3. Resultados e discussão

A eficácia do revestimento comestível à base de gelatina, incorporado com extrato hidroalcoólico de *Moringa oleifera*, foi avaliada por meio do monitoramento de parâmetros físico-químicos e instrumentais como pH, TBARS e a cor instrumental dos hambúrgueres bovinos durante o armazenamento congelado (-18 °C) por 60 dias. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Efeitos dos tratamentos (T) e do tempo de armazenamento congelado (D) no pH, índice de TBARS e cor objetiva de hambúrgueres bovinos revestidos com gelatina e extrato de moringa.

Efeitos	Índices de cor						
	pH	TBARS	L*	a*	b*	C*	h (°)
Tratamento							
CONT	5,82	0,530	29,99	4,19	9,38	10,49	65,98
GEL	5,82	0,474	26,12	4,22	9,47	10,56	67,25
MOR2	5,86	0,436	28,52	4,63	10,08	11,26	66,52
MOR5	5,83	0,436	28,69	4,34	9,84	10,94	67,07
Dia							
0	5,75 ^a	0,462	29,75 ^a	7,21 ^a	9,93	12,38 ^a	53,67
30	5,81 ^b	0,491	29,50 ^a	3,29 ^b	9,37	9,96	70,95
60	5,93 ^c	0,454	25,74 ^b	2,53 ^c	9,78	10,10	75,49
EPM	0,015	0,014	0,592	0,365	0,244	0,315	1,667
Pr > F¹							
T	0,1631	0,0752	0,0621	0,5193	0,6955	0,6801	0,7380
D	<0,001	0,5250	0,0035	<0,001	0,6016	0,0008	<0,001
T×D	0,4827	0,5002	0,4875	0,1719	0,1155	0,1751	0,0150

TBARS = índice de oxidação; L* = luminosidade; a* = índice de vermelho; b* = índice de amarelo; C* = saturação; h = ângulo de tonalidade; e EPM = erro padrão da média (n = 36). Tratamentos: hambúrgueres

bovinos sem revestimento (CONT), com revestimento de gelatina (GEL), com revestimento de gelatina com 2% de extrato de moringa (MOR2) e com revestimento de gelatina com 5% de extrato de moringa (MOR5). ¹Efeitos significativos ($P < 0,05$) foram representados em negrito. ^(a-c) Médias seguidas por letras diferentes na coluna, entre efeitos, diferem ($P < 0,05$).

Fonte: Do autor (2026).

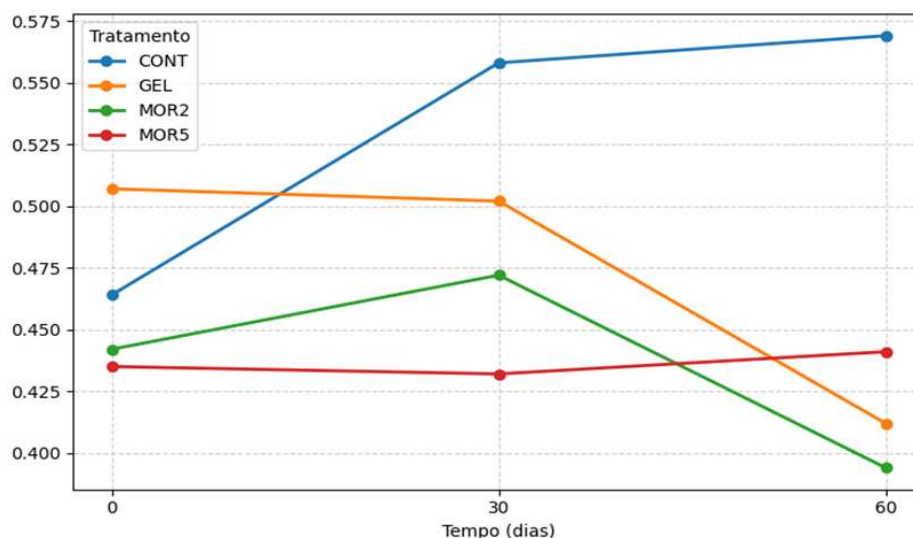
3.1. pH

Os valores de pH dos hambúrgueres bovinos apresentaram uma elevação significativa ($P < 0,001$) ao longo dos 60 dias de armazenamento congelado, partindo de uma média inicial de 5,75 para 5,93 no final do período experimental Tabela 1. Este incremento está associado à proteólise endógena e à produção de compostos nitrogenados básicos, como amônia e aminas, resultantes da atividade enzimática residual e degradação de aminoácidos, mesmo sob temperaturas de congelamento. Embora o fator tratamento não tenha apresentado diferença estatística isolada ($P = 0,1631$), observa-se que os tratamentos revestidos com extrato de moringa (MOR2 e MOR5) mantiveram numericamente o pH mais estável em comparação ao controle (CONT) e à gelatina (GEL). Esse comportamento corrobora os achados de Yan et al. (2024), que atribuem a estabilização do pH à capacidade dos revestimentos ativos em criar uma barreira física que limita a difusão de metabólitos voláteis. Além disso, estudos feitos com extratos naturais em carne bovina moída, observou-se que a presença de compostos fenólicos presente nos extratos, podem inibir processos de degradação proteica, retardando a liberação de substâncias alcalinas, conforme discutido por Zahid et al. (2022)

3.2. Oxidação Lipídica

Os resultados de TBARs dos hambúrgueres bovinos expressos na Tabela 1 e ilustrados na Figura 1, observa-se que os tratamentos contendo extrato de moringa apresentaram os menores índices de oxidação (0,436 mg MDA/kg) em comparação ao CONT (0,530 mg MDA/kg), embora a diferença não tenha atingido significância estatística ($P = 0,0752$).

Figura 1. Comportamento dos valores de TBARs dos hamburgueses bovinos durante o armazenamento congelados.



A tendência de redução nos valores de TBARs nos tratamentos MOR2 e MOR5 sugere uma ação antioxidante promissora do extrato de moringa incorporado à matriz de gelatina. Segundo Santos et al., (2022), o uso de filmes ativos baseados em gelatina e extratos vegetais ricos em flavonoides atua de forma sinérgica, a gelatina provê uma barreira seletiva ao oxigênio, enquanto os compostos fenólicos do extrato como a quercetina e kaempferol, presentes na Moringa atuam como sequestradores de radicais livres e quelantes de metais pró-oxidantes como o ferro heme. Essa eficácia em retardar a formação de malonaldeído é corroborada por Zahid et al. (2020), que demonstraram que extratos naturais podem substituir antioxidantes sintéticos como o BHT em produtos cárneos congelados, mantendo os índices de oxidação abaixo dos limites de aceitabilidade sensorial (1,0 mg MDA/kg).

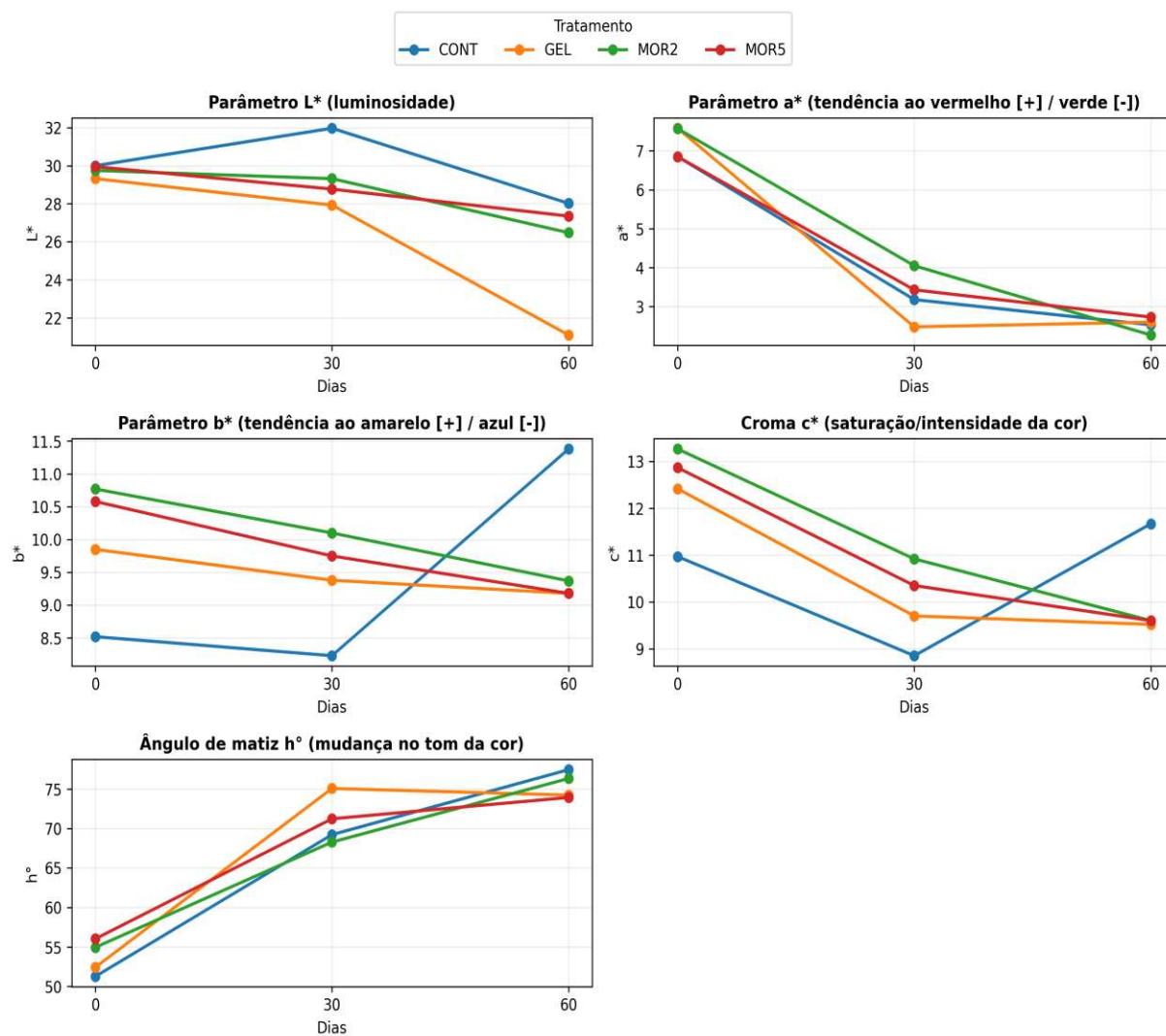
3.3. Avaliação instrumental da Cor

A cor é o atributo determinante para a aceitação do consumidor e sua preservação é um desafio em sistemas de alta permeabilidade ao oxigênio (Cardoso, 2015). Os resultados apresentados na Tabela 1, revelam uma degradação severa da cor vermelha (a^*) em todos os tratamentos ao longo do tempo ($P < 0,001$), com os valores decrescendo de 7,21 (dia 0) para 2,53 (dia 60). Simultaneamente, houve um aumento ($P < 0,001$), no ângulo de tonalidade (h) indicando a transição da cor vermelho-brilhante para tons acinzentados ou marrons, característicos da formação de metamioglobina (MMb). De acordo com Yan et al. (2024) É digno de nota que houve uma interação significativa entre

tratamento e dia para o parâmetro h ($P = 0,0150$). O tratamento MOR2 apresentou o menor valor de h no dia 60, sugerindo que a incorporação de 2% de extrato de *Moringa oleifera* Lam. foi a mais eficiente em retardar a oxidação da oximioglobina. De acordo com Yan et al. (2024), a MMb começa a ser percebida visualmente quando atinge cerca de 20% do total de pigmentos, o que está diretamente relacionado ao aumento do ângulo h . Ouve uma redução da luminosidade (L^*) de 29,75 para 25,74 indicando um escurecimento da superfície, fenômeno explicado por Cardoso (2015) como consequência da perda de água e alteração do índice de refração da superfície da carne devido à exsudação e congelamento. Contudo, o fato de os tratamentos com revestimento (GEL, MOR2, MOR5) apresentarem valores de L^* estatisticamente semelhantes ao CONT indica que a transparência e aderência do filme foram adequadas, não prejudicando a visibilidade do produto (Ashrafi et al., 2024).

Em síntese, o uso da gelatina como matriz filmogênica mostrou-se uma estratégia viável para embalagem ativa. Conforme indicado por Song et al. (2021) e Cardoso (2015), filmes à base de gelatina podem apresentar boa barreira ao oxigênio, especialmente em condições de baixa umidade, o que é relevante para limitar a oxidação proteica e lipídica. A eficácia dos tratamentos MOR2 e MOR5 em manter a estabilidade oxidativa sob estresse de congelamento por 60 dias pode ser atribuída à liberação controlada de antioxidantes da matriz polimérica para a superfície da carne (Ashrafi et al., 2024). Comparando com o estudo de Santos et al. (2022), que utilizou extrato de acerola, e de Zahid et al. (2020), com extrato de cravo, a *Moringa oleifera* Lam. se posiciona como um aditivo natural de rótulo limpo (*clean label*) de alto valor biológico. A ausência de diferença estatística em alguns parâmetros de oxidação entre os níveis de 2% e 5% de moringa sugere que a concentração de 2% (MOR2) já é suficiente para atingir o platô de proteção antioxidante, tornando-a uma opção mais econômica e com menor risco de interferência sensorial no produto final.

Figura 2. Comportamento dos parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , c^* e h°) dos hambúrgueres ao longo do armazenamento congelado.



Conclusão

Os resultados deste estudo demonstram que a aplicação de revestimentos de gelatina aditivados com extrato de *Moringa oleifera* não potenciou a estabilidade de hambúrgueres bovinos armazenados sob congelamento (-18 °C) por 60 dias. Não foram detectadas diferenças estatisticamente significativas ($P > 0,05$) entre os tratamentos para os parâmetros de pH, estabilidade oxidativa e cor instrumental ao final do período de estocagem. O congelamento mostrou-se como o principal fator responsável pela manutenção dos índices de oxidação lipídica dentro dos limites aceitáveis em todas as amostras, independentemente da presença do revestimento. Além disso, a degradação acentuada do componente vermelho (a^*) ocorreu de forma uniforme em todos os grupos em função do tempo, indicando que o revestimento não atuou como uma barreira antioxidante eficaz para a preservação da mioglobina sob congelamento. Assim, nas concentrações de 2% e 5%, o extrato de Moringa não conferiu vantagens tecnológicas mensuráveis que justifiquem sua aplicação para a extensão da vida útil de hambúrgueres bovinos congelados."

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- AOAC International. (2012). *Official methods of analysis of AOAC International* (19th ed.). AOAC International.
- Araújo, B. M. (2021). *Avaliação de emulsões fotoprotetoras produzidas com óleo de sementes de Moringa oleifera* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Sergipe].
- Ashrafi, A., Ahari, H., Asadi, G., & Nafchi, A. M. (2024). Enhancement of the quality and preservation of frozen burgers by active coating containing Rosa canina L. extract nanoemulsions. *Food Chemistry: X*, 23, Article 101749.
- Bellucci, E. R. B., Bis-Souza, C. V., Domínguez, R., Bermúdez, R., & Barretto, A. C. S. (2022). Addition of natural extracts with antioxidant function to preserve the quality of meat products. *Biomolecules*, 12(1506), 1–19.
- Campañone, L. A., Giner, S. A., & Mascheroni, R. H. (2002). Generalized model for the simulation of food refrigeration: Development and validation. *International Journal of Refrigeration*, 25(7), 975–984.
- Cardoso, G. P. (2015). *Revestimento comestível para comercialização de carne bovina refrigerada* [Tese de Doutorado, Universidade Federal de Lavras].
- Chin, S. S., Lyn, F. H., & Hanani, Z. N. (2017). Effect of Aloe vera (Aloe barbadensis Miller) gel on the physical and functional properties of fish gelatin films as active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, 128–134.
- Da Nóbrega Santos, E., De Albuquerque Sousa, T. C., De Santana Neto, D. C., Grisi, C. V. B., Ferreira, V. C. S., & Da Silva, F. A. P. (2022). Edible active film based on gelatin and Malpighia emarginata waste extract to inhibit lipid and protein oxidation in beef patties. *LWT - Food Science and Technology*, 154, Article 112837.
- Gallego, M., Arnal, M., Talens, P., Toldrá, F., & Mora, L. (2020). Effect of gelatin coating enriched with antioxidant tomato by-products on the quality of pork meat. *Polymers*, 12(1032), 1–18.

- Ibrahim, M. E. E.-D., Alqurashi, R. M., & Alfaraj, F. Y. (2022). Antioxidant activity of *Moringa oleifera* and Olive *Olea europaea* L. leaf powders and extracts on quality and oxidation stability of chicken burgers. *Antioxidants*, *11*(496), 1–14.
- Meireles, B. R. L. D. A., Alcantara, M. A., Polari, I. D. L. B., Souza, A. G. D., Santos, N. A. D., Grisi, C. V. B., & Cordeiro, A. M. T. D. M. (2022). Catole coconut (*Syagrus cearensis*) oil: Physicochemical characterization and thermo-oxidative stability by TG/DTG/DTA and Rancimat. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *147*(5), 3591–3598.
- Moura-Alves, M., Esteves, A., Ciríaco, M., Silva, J. A., & Saraiva, C. (2023). Antimicrobial and antioxidant edible films and coatings in the shelf-life improvement of chicken meat. *Foods*, *12*(2308), 1–13.
- Paiva, M. V., et al. (2021). Convective drying of Roselle calyx: Kinetics and drying rate. *Research, Society and Development*, *10*(2), 1–9.
- Pikul, J., Leszczynski, D. E., & Kummerow, F. A. (1983). Elimination of sample autoxidation by butylated hydroxytoluene additions before thiobarbituric acid assay for malonaldehyde in fat from chicken meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *31*(6), 1338–1342.
- Rosmini, M. R., Perlo, F., Pérez-Álvarez, J. A., Pagán-Moreno, M. J., Gago-Gago, A., López-Santoveña, F., & Aranda-Catalá, V. (1996). TBA test by an extractive method applied to 'paté'. *Meat Science*, *42*(1), 103–110.
- SAS Institute. (2012). *SAS® System for Windows* (Version 9.0) [Software de computador]. SAS Institute Inc.
- Song, D.-H., Hoa, V. B., Kim, H. W., Khang, S. M., Cho, S.-H., Ham, J.-S., & Seol, K.-H. (2021). Edible films on meat and meat products. *Coatings*, *11*(11), Article 1344.
- United States Department of Agriculture. (2025). *Livestock and poultry: World markets and trade*. Foreign Agricultural Service. <https://www.fas.usda.gov/>
- Yan, J., He, S., Chen, L., Chen, H., Ouyang, K., & Wang, W. (2024). Effect of gelatin-chitosan-Cyclocarya paliurus flavonoids edible coating film on the preservation of chilled beef. *LWT - Food Science and Technology*, *199*, Article 116138.

- Zahid, M. A., Eom, J.-U., Parvin, R., Seo, J.-K., & Yang, H.-S. (2022). Changes in quality traits and oxidation stability of *Syzygium aromaticum* extract-added cooked ground beef during frozen storage. *Antioxidants*, *11*(3), Article 534.
- Zahid, M. A., Seo, J.-k., Parvin, R., Ko, J., Park, J.-Y., & Yang, H.-S. (2020). Assessment of the stability of fresh beef patties with the addition of clove extract during frozen storage. *Food Science of Animal Resources*, *40*(4), 601–612

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa permitiu concluir que, embora o extrato hidroalcoólico das folhas de *Moringa oleifera* Lam. apresente um perfil fitoquímico robusto, com predominância de compostos bioativos de elevado valor antioxidante — como os ácidos gálico e clorogênico e o linolenato de metila — sua aplicação em revestimentos de gelatina para hambúrgueres bovinos apresentou limitações tecnológicas nas concentrações testadas. Sob condições de armazenamento refrigerado (4 °C), observou-se que o tratamento com 5% de extrato (MOR5) apresentou a melhor tendência numérica na redução da oxidação lipídica (28,8% inferior ao controle), porém, sem atingir significância estatística ($P > 0,05$). Da mesma forma, no armazenamento congelado (-18 °C), a temperatura de estocagem atuou como o fator primário de conservação, tornando o efeito dos revestimentos ativos imperceptível estatisticamente, uma vez que todos os tratamentos mantiveram índices de oxidação dentro dos limites de aceitabilidade. Quanto aos atributos de cor, o extrato promoveu uma modificação visual imediata nos hambúrgueres, tornando-os inicialmente mais escuros e com tonalidade amarelada, devido à presença de pigmentos naturais do vegetal (clorofilas e carotenoides). No entanto, não houve um efeito protetor significativo na manutenção da cor vermelha (a^*) ao longo do tempo em nenhum dos experimentos.

Em suma, o revestimento desenvolvido representa uma via promissora devido ao seu caráter sustentável e *clean label*, mas os resultados indicam que as concentrações de 2% e 5% não são suficientes para gerar uma proteção antioxidante superior à conservação pelo frio isolada. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a investigação de concentrações mais elevadas do extrato, o estudo de possíveis interações entre os polifenóis da *Moringa* e as proteínas da carne que possam ter inibido a ação antioxidante, além da realização de análises sensoriais para verificar se as alterações de cor causadas pelo extrato impactariam a intenção de compra do consumidor.