



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

BRUNA SILVA ARAUJO

**CARACTERIZAÇÃO COMPARATIVA DE DOIS FILMES
ATIVOS BIODEGRADÁVEIS: UM À BASE DE CEBOLA
BRANCA E OUTRO DE CEBOLA ROXA (*Allium cepa* L.) E SUA
APLICABILIDADE NA CONSERVAÇÃO DE
HAMBÚRGUERES BOVINOS**

UFBA

SALVADOR

2024



BRUNA SILVA ARAUJO

**CARACTERIZAÇÃO COMPARATIVA DE DOIS FILMES
ATIVOS BIODEGRADÁVEIS: UM À BASE DE CEBOLA
BRANCA E OUTRO DE CEBOLA ROXA (*Allium cepa* L.) E SUA
APLICABILIDADE NA CONSERVAÇÃO DE
HAMBÚRGUERES BOVINOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (PGAli) da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos.

Prof. Dr. Ronaldo Lopes Oliveira

Orientador

Prof. Dr. Leilson Rocha Bezerra

Coorientador

SALVADOR

2024

Dados internacionais de catalogação-na-publicação
(SIBI/UFBA/Biblioteca Universitária Reitor Macedo Costa)

Araujo, Bruna Silva.

Caracterização comparativa de dois filmes ativos biodegradáveis: um à base de cebola branca e outro de cebola roxa (*Allium cepa* L.) e sua aplicabilidade na conservação de hambúrgueres bovinos / Bruna Silva Araujo. - 2024.

84 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Lopes Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. Leilson Rocha Bezerra.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Farmácia, Salvador, 2024.

1. Alimentos - Embalagens. 2. Alimentos - Conservação. 3. Acondicionamento e conservação de alimentos. 4. Hambúrgueres - Embalagens. 5. Hambúrgueres - Conservação. 6. Biopolímeros. 7. Filmes comestíveis. 8. Cebola. I. Oliveira, Ronaldo Lopes. II. Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Farmácia. III. Título.

CDD - 664.09

CDU - 664.8./9



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

TERMO DE APROVAÇÃO

BRUNA SILVA ARAÚJO

CARACTERIZAÇÃO COMPARATIVA DE DOIS FILMES ATIVOS BIODEGRADÁVEIS: UM À BASE DE CEBOLA BRANCA E OUTRO DE CEBOLA ROXA (ALLIUM CEPA L.) E SUA APLICABILIDADE NA CONSERVAÇÃO DE HAMBÚRGUERES BOVINOS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (nível Mestrado Acadêmico) da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciência de Alimentos.

Aprovada em 10 de dezembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Dr. RONALDO LOPES OLIVEIRA (ORIENTADOR)
Universidade Federal da Bahia (UFBA, BA)

Dr. EDERLAN DE SOUZA FERREIRA (EXAMINADOR)
Universidade Federal da Bahia (UFBA, BA)

Dr^a. KATARINE ÁRABE RIMÁ DE OLIVEIRA (EXAMINADORA)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB, PB)

Dedico este trabalho,

*À minha mãe, ao meu pai a toda minha família, amigos e as
pessoas que fizeram parte dessa caminhada.*

Meus agradecimentos,

À Deus, em primeiro lugar, por me conceder a graça de vivenciar esta experiência única. Ele foi o meu alicerce inabalável ao longo de toda esta jornada, provendo-me sabedoria, paciência e determinação para superar os desafios e alcançar os objetivos traçados.

Aos meus pais, Ângela Araújo e Hélio Araújo, cuja dedicação e amor incondicionais foram os pilares que sustentaram os meus sonhos. Agradeço profundamente pelo apoio irrestrito, pelos ensinamentos valiosos e pelas abdições feitas em prol do meu sucesso. Amo-os imensamente!

Ao meu esposo, Thiago Magnavita, cuja paciência e compreensão foram essenciais nesta trajetória. Reconheço que não foi um caminho fácil, especialmente durante as noites em claro. Sou grata pelo amor e pelo incentivo constantes, que me fortaleceram em momentos desafiadores.

Aos meus irmãos, Breno Araújo, Bruno Araújo e Jonas Torres, e a toda a minha família, por serem fontes de amor, apoio e motivação. A cada conquista minha, sei que vibraram ao meu lado, e por isso lhes dedico minha eterna gratidão. A Deus, agradeço pelo privilégio de tê-los em minha vida.

Aos meus orientadores, Dr. Leilson Rocha e Dr. Ronaldo Lopes, por me acolherem com generosidade e assumirem, com excelência, a responsabilidade de guiar este percurso acadêmico. Sou imensamente grata pelos ensinamentos compartilhados, pela paciência, pela disponibilidade e pela confiança em mim depositada. As chamadas de atenção foram igualmente valiosas, impulsionando meu aprimoramento constante.

À Prof^a Dra. Carolina Oliveira, pela orientação em bancada, pelo acolhimento no laboratório e pelos inestimáveis ensinamentos. Suas advertências, sempre construtivas, foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Prof. Dr. Lucas Cardoso, cujo apoio foi imprescindível para o desenvolvimento deste trabalho. Manifesto minha gratidão à equipe do Laboratório de Inspeção e Tecnologia de Carnes e Derivados (LABCARNE), pela paciência, disponibilidade e parceria. Os ensinamentos e a troca de experiências com vocês enriqueceram profundamente este processo.

À equipe do Laboratório de Nutrição Animal (LANA), ao Laboratório de Pescado e Cromatografia Aplicada (LAPESCA) e ao Laboratório de Nutrição, expresso meu respeito e admiração pela dedicação e pelo compartilhamento de conhecimentos que tanto contribuíram para este projeto.

Ao Dr. Diógenes dos Santos Dias, da BioSmart Nanotechnology (BioSmart®, Araraquara, São Paulo, Brasil), pelo suporte técnico e fornecimento dos filmes utilizados nesta pesquisa.

Agradeço também às instituições de fomento que tornaram este trabalho possível: à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Brasil), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pelos recursos concedidos, que foram fundamentais para a condução deste projeto.

À Universidade Federal da Bahia, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos e ao seu corpo docente, sou grata pela oportunidade de integrar este ambiente acadêmico de excelência. Os conhecimentos e as experiências adquiridos aqui foram fundamentais para meu crescimento pessoal e profissional.

A todos vocês, registro os meus mais sinceros e profundos agradecimentos.

RESUMO

A crescente preocupação ambiental relacionada à produção global de plásticos impulsiona a busca por alternativas sustentáveis, especialmente no setor de embalagens alimentares, onde polímeros derivados do petróleo ainda predominam. Neste contexto, biomateriais à base de compostos fenólicos vegetais emergem como uma solução promissora para aumentar a estabilidade e segurança microbiológica dos alimentos. A carne bovina, devido à sua alta susceptibilidade à deterioração autolítica, oxidativa e microbiológica, demanda estratégias eficazes de conservação. Assim, este estudo investiga o potencial de biopolímeros funcionais de origem vegetal como matriz inovadora para embalagens ativas destinadas à proteção e extensão da vida útil de hambúrgueres bovinos, reduzindo a dependência de plásticos convencionais e minimizando impactos ambientais. Nesse contexto, foi caracterizado o filme e avaliado o efeito da aplicação de filmes comestíveis biodegradáveis à base de cebola roxa e de cebola branca sobre parâmetros indicadores de qualidade nos respectivos intervalos dias (0, 3, 6 e 9 a temperatura de 4°C). Os filmes de cebola roxa apresentaram maior espessura, permeabilidade ao vapor d'água (PVA) e atividade antioxidante (DPPH - 2,2-difenil-1-picrilhidrazil e ABTS- 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)), enquanto os de cebola branca exibiram maior resistência mecânica (força máxima, tensão na ruptura e módulo elástico). Não houve diferença significativa na umidade entre os filmes ($P=0,7896$). O filme de cebola roxa demonstrou melhor desempenho antioxidante, sugerindo maior eficácia na conservação de hambúrgueres bovinos. Quanto ao comportamento térmico (TG/DTG-DSC, Termogravimetria e Calorimetria Exploratória Diferencial), pequenas diferenças foram observadas em temperaturas mais elevadas, resultando em variações sutis na perda de massa final e na massa residual. A aplicação de filmes biodegradáveis à base de cebola influenciou significativamente os parâmetros de qualidade dos hambúrgueres bovinos ao longo do armazenamento. O filme de cebola roxa preservou melhor a coloração, estabilizando os índices de luminosidade, vermelhidão e cromaticidade, além de reduzir a oxidação lipídica. O pH dos hambúrgueres revestidos foi menor, sugerindo efeito conservante, enquanto a capacidade de retenção de água foi superior, mantendo a suculência. A perda por cocção foi reduzida nos hambúrgueres embalados com os filmes, especialmente os de cebola roxa, que também retardaram a degradação do ferro heme. Esses resultados evidenciam o potencial dos filmes de cebola como alternativa sustentável para a conservação de carnes, promovendo estabilidade físico-química e prolongamento da vida útil.

Palavras-chaves: *Allium cepa* L. Bioplástico. Carne bovina. Compostos Bioativos. Filmes comestíveis.

ABSTRACT

The growing environmental concern related to the global production of plastics drives the search for sustainable alternatives, especially in the food packaging sector, where petroleum-derived polymers still predominate. In this context, biomaterials based on plant-based phenolic compounds emerge as a promising solution to increase the stability and microbiological safety of foods. Beef, due to its high susceptibility to autolytic, oxidative and microbiological deterioration, demands effective preservation strategies. Thus, this study investigates the potential of functional biopolymers of plant origin as an innovative matrix for active packaging intended for the protection and extension of the shelf life of beef burgers, reducing the dependence on conventional plastics and minimizing environmental impacts. In this context, the film was characterized and the effect of the application of biodegradable edible films based on red onion and white onion on quality indicator parameters was evaluated in the respective day intervals (0, 3, 6 and 9 at a temperature of 4°C). The red onion films showed greater thickness, water vapor permeability (WVP) and antioxidant activity (DPPH - 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl and ABTS-2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)), while the white onion films exhibited greater mechanical resistance (maximum strength, tensile strength and elastic modulus). There was no significant difference in moisture content between the films ($P=0.7896$). The red onion film demonstrated better antioxidant performance, suggesting greater efficacy in the preservation of beef burgers. Regarding thermal behavior (TG/DTG-DSC, Thermogravimetry and Differential Scanning Calorimetry), small differences were observed at higher temperatures, resulting in subtle variations in final mass loss and residual mass. The application of onion-based biodegradable films significantly influenced the quality parameters of beef burgers during storage. The red onion film preserved the color better, stabilizing the brightness, redness and chromaticity indices, in addition to reducing lipid oxidation. The pH of the coated burgers was lower, suggesting a preservative effect, while the water retention capacity was higher, maintaining juiciness. Cooking loss was reduced in burgers packaged with the films, especially those with red onion, which also slowed the degradation of heme iron. These results demonstrate the potential of onion films as a sustainable alternative for meat preservation, promoting physical-chemical stability and extending shelf life.

Keywords: *Allium cepa L. Beef. Bioactive compounds. Bioplastic. Edible films.*

LISTA DE FIGURAS

<i>Dissertação – Caracterização Comparativa de dois Filmes Ativos Biodegradáveis: um à Base de Cebola Branca e outro de Cebola Roxa (Allium cepa L.) e sua Aplicabilidade na Conservação de Hambúrgueres Bovinos</i>	12
Figura 1 Os principais alvos dos radicais livres em produtos à base de carne.....	19
Figura 2 Esquema transformação da mioglobina em suas diferentes formas oxidadas e reduzidas.....	22
Figura 3 Estrutura química de polissacarídeos naturais (pectina, celulose).....	26
Figura 4 Esquema classificação dos compostos fenólicos presentes na cebola.....	29
Figura 5 Ilustração da estrutura química de alguns componentes bioativos na cebola.....	30
 <i>Manuscrito: Caracterização Comparativa de Filmes Biodegradáveis à Base de Cebola Branca e Cebola Roxa (Allium cepa L.): Avaliação de sua Eficiência na Conservação de Hambúrgueres Bovinos</i>	41
Figura 1 Blend e moldagem dos hamburgueres.....	49
Figura 2 Curvas de TG (A) das amostras de cebola branca e cebola roxa. Curvas de DTG (B) das amostras de cebola branca e cebola roxa.....	54
Figura 3 Curva de aquecimento Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) das amostras de filmes de cebola branca e cebola roxa.....	54
Figura 4 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FT-IR) para as amostras de filmes de cebola branca (curva cinza) e cebola roxa (curva preta).....	56
Figura 5 Aplicação dos filmes à base de cebola branca e roxa em hamburgueres bovinos. A. Filme de cebola roxa; B. Filme de cebola branca.....	57
Figura 6 Hamburguer de carne com aplicação dos revestimentos de filme de cebola roxa e branca) e sem revestimento nos tempos de armazenamento.....	58

LISTA DE TABELAS

Manuscrito: Caracterização Comparativa de Filmes Biodegradáveis à Base de Cebola Branca e Cebola Roxa (Allium cepa L.): Avaliação de sua Eficiência na Conservação de Hambúrgueres Bovinos..... 41

Tabela 1	Caracterização das propriedades físicas e mecânicas dos filmes à base de cebola roxa e branca.....	52
Tabela 2	Valores de variação de perda de massa (Δm) em função da variação da temperatura (ΔT), e de massa residual ao final da análise térmica dos filmes a base de cebola.....	53
Tabela 3	Caracterização da atividade antioxidante dos filmes à base de cebola roxa e branca.....	55
Tabela 4	Parâmetros de cor de hambúrgueres bovinos com filmes comestíveis de cebola branca e roxa, durante o armazenamento refrigerado (4°C/ 9 dias).....	57
Tabela 5	Parâmetros de índice de qualidade por tempo de armazenamento de hambúrgueres (controle) e revestidos com cebola comestível realizados sob fator de armazenamento (4 °C).....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABTS	ácido 2,2- azino- bis 3-etiebenzotiazolina6-sulfônico
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATP	Adenosina Trifosfato
BIO SMART	Bio Smart nanotechnology
CRA	Capacidade de retenção de água
DFD	Escuro, Firme, Seco
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazil
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
FOS	Frutooligossacarídeos
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho
KN	QuiloNewton
LAB	Bactérias do ácido láctico
MAP	Embalagem em atmosfera modificada
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
OD	Densidade optica
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PET	Polietileno Tereftalato
pH	Potencial Hidrogeniônico
PP	Polipropileno
PPC	Perda por cocção
PS	Poliestireno
PSE	Pálido, Macio, Exsudativo
PVA	Permeação ao vapor de água
PVC	Policloreto de Vinila
STEC	<i>Escherichia coli</i> produtora de toxina Shiga
TBARS	Ácido tiobarbitúrico
TCA	Ácido tricloroacético
TG	Termogravimetria
TG-DSC	Termogravimetria simultânea-calorimetria de varredura
UR	Umidade relativa

SUMÁRIO

<i>Dissertação – Caracterização Comparativa de dois Filmes Ativos Biodegradáveis: um à Base de Cebola Branca e outro de Cebola Roxa (<i>Allium cepa</i> L.) e sua Aplicabilidade na Conservação de Hambúrgueres Bovinos.....</i>		12
1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
3	REFERENCIAL TEORICO.....	15
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
5	RESULTADOS.....	50
5.1	Manuscrito: Caracterização Comparativa de Filmes Biodegradáveis à Base de Cebola Branca e Cebola Roxa (<i>Allium cepa</i> L.): Avaliação de sua Eficiência na Conservação de Hambúrgueres Bovinos.....	41
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
	REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da cadeia produtiva da carne, abrangendo processamento, armazenamento e distribuição, a deterioração pode ocorrer devido a modificações químicas e microbiológicas (Zhu *et al.*, 2024). Esse processo é exacerbado por condições inadequadas de refrigeração, nas quais a atividade microbiana, embora reduzida, ainda persiste (Coombs *et al.*, 2017).

Além disso, a composição intrinsecamente rica em lipídios, proteínas e aminas biogênicas torna os produtos cárneos suscetíveis a alterações físico-químicas significativas. Fatores como a exposição ao oxigênio, que intensifica a oxidação lipídica, incidência luminosa e níveis elevados de umidade, que elevam a atividade de água e favorecem o crescimento microbiano, desempenham um papel determinante na degradação da qualidade da carne (Barcenilla *et al.*, 2022).

Na indústria alimentícia, a vida útil de um alimento corresponde ao período em que suas propriedades sensoriais, físico-químicas e microbiológicas permanecem dentro dos padrões aceitáveis de qualidade e segurança para o consumo (Han, 2014). No caso da carne, sua estabilidade é determinada por fatores como cor, carga microbiana, temperatura de armazenamento, disponibilidade de oxigênio, atividade de enzimas endógenas e exposição à luz, os quais influenciam diretamente as reações oxidativas, enzimáticas e microbianas que afetam sua conservação (Felderhoff *et al.*, 2020).

Nesse sentido, a aplicações de filmes/revestimentos comestíveis e embalagens ativas são uma estratégia para prevenir processos de degradação em carnes (Wu; Richards; Undelan, 2022). São chamadas de embalagens ativas aquelas com capacidade de liberar ou absorver substâncias e dessa forma reduzem perda de umidade, reações químicas e crescimento bacteriano, aumentando a vida útil do produto (Jiang; Zhang; Deng, 2023). Podem ser utilizados para revestir alimentos como carnes, frutas, vegetais, queijos e frutos do mar, porém, devem ser desenvolvidos levando em conta necessidades específicas como propriedades mecânicas, barreira à permeabilidade de gás e ao vapor de água, solubilidade, propriedades organolépticas e suas características bioativas (Sharma; Kaushik, 2021).

Os avanços tecnológicos na engenharia de biomateriais têm impulsionado melhorias significativas nas propriedades mecânicas e de barreira de filmes ativos, ampliando sua aplicabilidade na preservação de alimentos. Essas otimizações decorrem, em grande parte, da incorporação de compostos fenólicos, amplamente encontrados em óleos essenciais, extratos vegetais e subprodutos agroindustriais (Fabra *et al.*, 2018). A adição de agentes antioxidantes a essas matrizes permite mitigar processos oxidativos e microbiológicos, retardando a deterioração e prolongando a vida útil de produtos cárneos, como a carne bovina (Hanani *et al.*, 2019; Ju & Song, 2020; Cecchi *et al.*, 2020).

Além disso, a biodegradabilidade dos filmes ativos desempenha um papel crucial na liberação controlada dos compostos bioativos, contribuindo para a retenção de umidade e conferindo proteção adicional contra contaminantes. Esse atributo não apenas atende às demandas da sociedade e da indústria por soluções ambientalmente sustentáveis, mas também desperta crescente interesse no meio acadêmico (Alexandre *et al.*, 2020). A taxa de degradação desses filmes está diretamente relacionada às características da matriz polimérica e às condições de armazenamento, permitindo ajustes direcionados para otimizar sua funcionalidade conforme a necessidade (Yang *et al.*, 2020).

A cebola (*Allium cepa* L.) é um dos vegetais mais amplamente cultivados e consumidos globalmente, destacando-se não apenas pelo seu valor nutricional, mas também pelo seu potencial na formulação de biomateriais funcionais. Sua estrutura é rica em compostos bioativos, como flavonoides e polissacarídeos, que conferem propriedades antioxidantes, antimicrobianas e estruturais para o desenvolvimento de filmes comestíveis (Mohanty *et al.*, 2022).

Dentre esses compostos, a quercetina se sobressai por sua elevada capacidade antioxidante e pela atuação na inibição do crescimento microbiano, tornando os filmes à base de cebola uma alternativa promissora para a conservação de alimentos (Dosoky *et al.*, 2021). Além disso, a presença de fibras e polissacarídeos naturais em sua composição favorece a formação de matrizes poliméricas com propriedades mecânicas e barreira, potencializando sua aplicação como embalagem biodegradável.

Nesse contexto, este capítulo tem como objetivo explorar os processos degradativos que impactam a qualidade da carne bovina, bem como discutir a viabilidade do uso de filmes comestíveis como alternativa sustentável para sua preservação. Será dada especial atenção ao uso de filmes formulados a partir da cebola branca e de cebola roxa, explorando seus potenciais bioativo e tecnológico na conservação de hambúrguer bovino e sua relevância como solução inovadora na indústria alimentícia.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Caracterizar e avaliar o efeito da aplicação de filmes comestíveis biodegradáveis à base de cebola roxa e branca sobre parâmetros indicadores de qualidade de hambúrgueres de carne bovina.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar propriedades mecânicas e físico-químicas de filmes à base de cebola branca e roxa;
- ✓ Analisar o impacto da aplicação dos filmes à base de cebola sobre o processo de oxidação lipídica de hambúrgueres bovinos durante o armazenamento a temperatura de refrigeração;
- ✓ Determinar as características físico-químicas dos hambúrgueres bovinos embalados com filmes comestíveis à base de cebola.

3 REFERENCIAL TEORICO

3.1 Carne bovina

A carne é um produto de alta relevância econômica e uma fonte essencial de proteínas na dieta humana (You *et al.*, 2022). Sua conservação e segurança microbiológica exigem rigoroso controle, dada sua alta perecibilidade (Terjung *et al.*, 2021).

Fatores como raça, idade, alimentação e tempo de maturação influenciam características sensoriais como maciez e sabor (López-Pedrouso *et al.*, 2020; Salzano *et al.*, 2021). No entanto, seu perfil nutricional e as condições ambientais—temperatura, oxigênio, umidade e luz—favorecem a proliferação microbiana (Barcenilla *et al.*, 2022; Van Reckem *et al.*, 2021). Entre os fatores extrínsecos, a temperatura é a variável mais determinante na multiplicação de microrganismos patogênicos e deteriorantes (Silva, Borges ; Ferreira, 1999).

Mesmo proveniente de animais saudáveis, a carne pode ser contaminada ao longo da cadeia produtiva, desde o abate até a comercialização, sendo os perfis microbianos influenciados pelo armazenamento (Tyuftin; Kerry, 2023). A colonização bacteriana ocorre na superfície, onde espécies deteriorantes comprometem sua qualidade e reduzem sua vida útil (Zagorec ; Champomier-Vergès, 2023).

3.2 Os principais mecanismos de deterioração da carne

A deterioração da carne refere-se a uma alteração que a transforma de uma condição inicial adequada para uma insatisfatória, caracterizada por mudanças no odor, sabor, cor e até na textura. Esse processo pode ocorrer devido a: deterioração autolítica, oxidativa e microbiológica (Abril *et al.*, 2023; Amaral *et al.*, 2018; Zhu *et al.*, 2024).

Nesse contexto, a carne moída é um dos produtos cárneos mais suscetíveis à deterioração microbiológica e contaminação por patógenos, devido ao aumento da superfície de exposição e ao processamento intensivo, que favorecem o crescimento de microrganismos e aceleram reações bioquímicas degradativas (Instituto Adolfo Lutz, 2008). Esse produto apresenta uma elevada carga microbiana, pois, durante a moagem, estruturas celulares são rompidas, liberando substratos como proteínas e lipídios que servem como fonte energética para bactérias deteriorantes e patogênicas (King *et al.*, 2023)

A manipulação extensiva da carne moída, desde o processamento até a comercialização, contribui para a contaminação cruzada e a introdução de microrganismos presentes no equipamento e nas superfícies de contato (Lima *et al.*, 2021). Além disso, variações térmicas ao longo da cadeia produtiva, como flutuações de temperatura em balcões refrigerados ou armazenamento inadequado, favorecem o crescimento de bactérias psicotróficas, como *Pseudomonas spp.*, principais agentes da

deterioração aeróbica, promovendo ranço, descoloração e alteração da textura. (Oliveira *et al.*, 2008).

Em se tratando da segurança microbiológica, a carne moída tem sido frequentemente associada a surtos de doenças veiculadas por alimentos, envolvendo patógenos de alto risco, como *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* produtora de toxina Shiga (STEC), *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* e *Clostridium perfringens*. A presença dessas bactérias é particularmente crítica, pois a estrutura moída favorece sua disseminação homogênea no produto, aumentando o risco de infecção em carnes mal-cozidas (King *et al.*, 2023).

Estudos epidemiológicos indicam alta contaminação da carne moída por *Salmonella spp.*, com taxas de 100% em algumas amostras analisadas (Gomes *et al.*, 2017). *Listeria monocytogenes* representa outro risco, pois sobrevive à refrigeração e forma biofilmes em superfícies de processamento, dificultando sua eliminação na indústria cárnea (Dos Reis *et al.*, 2024).

O perigo de *Escherichia coli* O157:H7 e STEC na carne moída é agravado pela presença natural desses patógenos no trato intestinal bovino, facilitando sua disseminação durante o abate e a moagem. Esses microrganismos estão associados a surtos de colite hemorrágica e síndrome hemolítico-urêmica, representando um desafio crítico à segurança alimentar (Pequeno *et al.*, 2024). A mitigação desses riscos exige a aplicação de medidas rigorosas de controle (Furtini *et al.*, 2006), incluindo:

- Boas Práticas de Fabricação (BPF) e Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), reduzindo a carga microbiana durante o processamento (Mendes, 2021).
- Controle rigoroso de temperatura durante o armazenamento e transporte, mantendo a carne moída abaixo de 4°C e congelamento a -18°C para inibir a multiplicação de patógenos. (Mendes, 2021).
- Monitoramento microbiológico contínuo, especialmente para *Salmonella spp.* e STEC, visando garantir padrões de segurança alimentar estabelecidos por legislações nacionais e internacionais (Figuerola, *et al.*, 2023)
- Tecnologias de barreira, como embalagem em atmosfera modificada (MAP) aditivos antimicrobianos naturais, prolongando a vida útil do produto (Figuerola, *et al.*, 2023)

3.2.1 Deterioração Autolítica

Deterioração autolítica está diretamente influenciada pela temperatura, pH e tempo de armazenamento, resultando na degradação de proteínas e lipídios (Cao *et al.*, 2023). As características sensoriais da carne são impactadas por proteases e lipases, cujas atividades enzimáticas modificam sua textura, cor e suculência.

Segundo Chun *et al.* (2023), a fosfolipase A2 está associada a defeitos na qualidade da carne, como a condição pálida, macia e exsudativa (PSE), devido à ação de enzimas musculares que degradam proteínas, lipídios e carboidratos logo após o abate. Esse processo ocorre independentemente da ação microbiana, caracterizando-se como um fenômeno autodegradativo intrínseco ao tecido muscular. A progressão dessa deterioração pode ser um indicativo inicial de comprometimento da qualidade e frescor da carne (Abril *et al.*, 2023)

A carne em estado PSE (Pale, Soft, and Exudative) apresenta coloração esbranquiçada, textura macia e, frequentemente, consistência pastosa. Sua elevada exsudação hídrica pode conferir uma aparência suculenta, porém, resulta em baixa retenção de umidade, levando ao ressecamento do produto. Essa condição reduz a disponibilidade de água livre, limitando o crescimento bacteriano (Warner *et al.*, 2022).

Em contraste, a carne DFD (Dark, Firm, and Dry) exibe coloração avermelhada intensa, textura firme e superfície seca. A menor exsudação compromete a suculência, enquanto o pH elevado favorece a solubilidade proteica e a ação bacteriana, aumentando a disponibilidade de nutrientes para os microrganismos e reduzindo sua vida útil (Warner *et al.*, 2022).

3.2.2 Deterioração Oxidativa

A composição lipídica da carne desempenha um papel essencial na definição de suas características sensoriais, como sabor, maciez e suculência, sendo um fator determinante de sua qualidade e valor nutricional (Cheng, 2016). No entanto, os lipídios são altamente suscetíveis à oxidação, o principal mecanismo não microbiano de deterioração durante a estocagem e comercialização (Amaral *et al.*, 2018). Esse processo leva à perda de cor, modificação do aroma e desenvolvimento de sabores desagradáveis (Shah *et al.*, 2014).

A peroxidação lipídica ocorre em três etapas:

1. Iniciação – A luz e o calor removem hidrogênios dos ácidos graxos insaturados, formando radicais livres.
2. Propagação – Esses radicais reagem com o oxigênio, gerando peróxidos e hidroperóxidos instáveis, que resultam em aldeídos, cetonas, álcoois e hidrocarbonetos, comprometendo a qualidade sensorial da carne (Amaral *et al.*, 2018).
3. Término – A formação de compostos estáveis, como os produtos secundários de oxidação, dos quais os aldeídos, incluindo o malondialdeído (MDA), são biomarcadores amplamente utilizados para avaliar o grau de oxidação lipídica (Al-Rawashdeh *et al.*, 2022).

Além da oxidação lipídica, ocorre oxidação proteica, que envolve a modificação de aminoácidos, a clivagem peptídica e a formação de ligações cruzadas com produtos da peroxidação

lipídica (Lobo *et al.*, 2010). Aminoácidos como metionina, cisteína e histidina são particularmente vulneráveis, resultando na formação de carbonilos e peróxidos proteicos, comprometendo a funcionalidade das proteínas e afetando sua estabilidade térmica e digestibilidade (Reddy; Reddy; Mandal, 2018). A oxidação proteica também pode desencadear danos estruturais, impactando funções celulares em membranas biológicas (Tomasevic *et al.*, 2021).

A temperatura e o tempo de armazenamento influenciam diretamente a oxidação da carne. Temperaturas elevadas aumentam a mobilidade molecular, acelerando reações oxidativas, enquanto variações térmicas em produtos congelados induzem a formação de cristais de gelo, resultando em ruptura celular e liberação de compostos pró-oxidantes (Zagorec; Champomier-Vergès, 2023). O armazenamento prolongado intensifica a liberação de ferro de heme-proteínas, facilitando a interação com lipídios e promovendo a degradação oxidativa (Domínguez *et al.*, 2019).

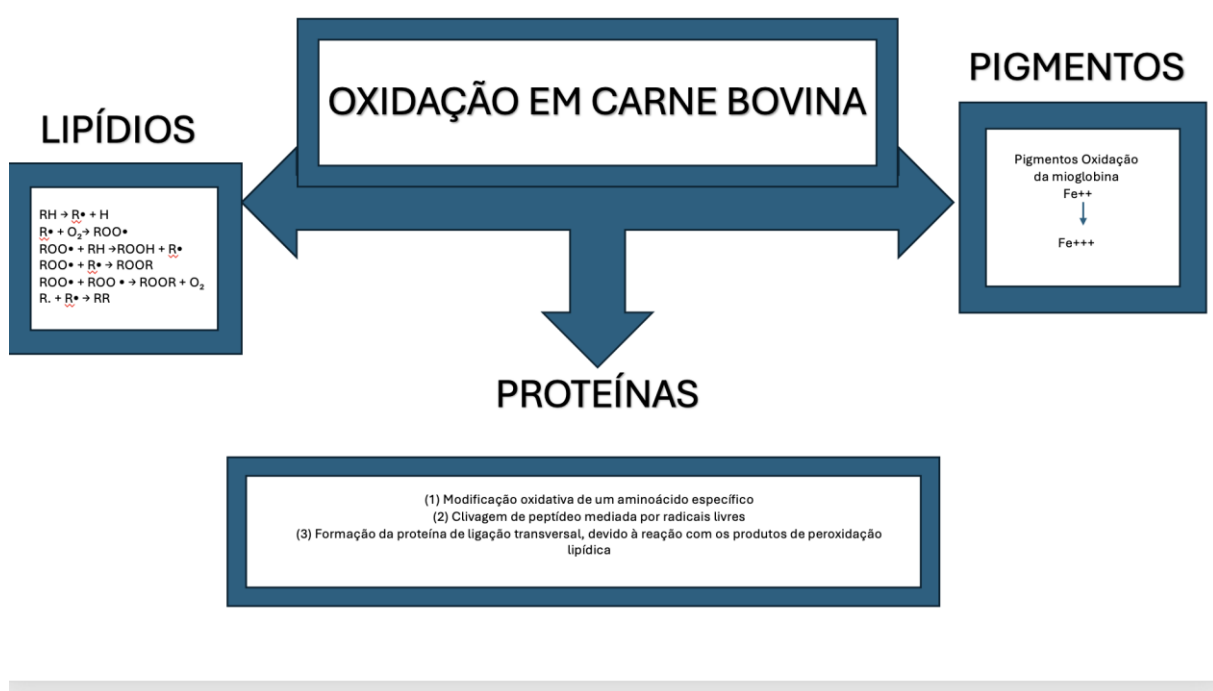
Para mitigar esses processos, a indústria cárnea utiliza antioxidantes sintéticos, como galato de propila e BHT, para inibir reações oxidativas e prolongar a estabilidade do produto (Beya *et al.*, 2021). No entanto, preocupações com a segurança alimentar e potenciais efeitos adversos têm impulsionado a substituição desses compostos por antioxidantes naturais extraídos de fontes vegetais.

Estudos indicam que compostos fenólicos possuem elevada capacidade antioxidante e podem preservar a qualidade da carne (Beya *et al.*, 2021). Essas substâncias atuam na eliminação de espécies reativas de oxigênio (ERO), na inibição da lipoxigenase (LOX) e na redução da metamioglobina, responsável pela descoloração da carne (Papuc *et al.*, 2017). Destacam-se ácidos fenólicos (gálico, protocatecúico e ferúlico), flavonoides (quercetina, kaempferol, luteolina e catequinas), diterpenos fenólicos (ácido carnósico e carnosol), isoflavonas (genisteína e daidzeína) e óleos essenciais (timol e eugenol) (Beya *et al.*, 2021; Khan *et al.*, 2024).

Entre as principais rotas da oxidação lipídica, destaca-se a via mediada por proteína heme, como a mioglobina e a hemoglobina, onde a oxidação do ferro heme de Fe^{2+} para Fe^{3+} no período pós-morte libera ferri-protoporfirina IX, facilitando a quebra de hidroperóxidos lipídicos pré-formados (LOOH) em radicais alcoxila e peroxila, promovendo a propagação da oxidação lipídica (Wu; Richards; Undeland, 2022). Assim, além dos lipídios, outros constituintes, como pigmentos e proteínas estruturais, tornam-se alvos vulneráveis aos radicais livres gerados durante o armazenamento e processamento da carne (Figura 1).

Dessa forma, a substituição de antioxidantes sintéticos por alternativas naturais representa uma estratégia promissora para garantir a segurança alimentar e atender à demanda do consumidor por produtos mais saudáveis e sustentáveis.

Figura 1 – Os principais alvos dos radicais livres em produtos à base de carne



Fonte: adaptado Lobo *et al.*, 2010.

3.2.3 Deterioração Microbiana

A degradação da qualidade da carne bovina ocorre, principalmente, devido à ação de microrganismos deteriorantes, incluindo bactérias, leveduras e bolores, comprometendo a estabilidade sensorial e microbiológica do produto durante o armazenamento (Iulietto *et al.*, 2015). A contaminação pode ocorrer em diversos estágios da cadeia produtiva, como abate, processamento, manuseio e armazenamento, sendo influenciada por fatores como temperatura, tempo de estocagem e tipo de embalagem, que favorecem o crescimento microbiano e a formação de metabólitos secundários responsáveis por alterações organolépticas (Zhu *et al.*, 2024).

Microrganismos deteriorantes, como *Pseudomonas spp.*, *Brochothrix thermosphacta* e bactérias ácido-láticas (LAB), incluindo *Leuconostoc spp.*, *Carnobacterium spp.*, *Lactobacillus spp.* e *Pediococcus spp.*, produzem compostos como aminas biogênicas, ácidos orgânicos, sulfetos, álcoois, aldeídos e cetonas. Esses metabólitos provocam descoloração, formação de biofilme, odor desagradável e ranço, reduzindo significativamente a aceitação do produto pelo consumidor (Shao *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2023). A contaminação por LAB pode resultar na formação de gás e de um limo viscoso, frequentemente associado a carnes processadas (Iulietto *et al.*, 2015).

Além da deterioração sensorial, a carne bovina pode atuar como veículo de patógenos, representando um risco significativo à segurança alimentar. Dentre os principais microrganismos envolvidos destacam-se *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* (STEC), *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens* e *Staphylococcus aureus* (Da Silva *et al.*, 2016).

A *Salmonella spp.* está amplamente associada a surtos alimentares, sendo predominante em carnes cruas e mal processadas (De Araújo, 2024). A carne moída apresenta risco elevado de contaminação devido à maior superfície de contato e ao tempo prolongado de exposição, condições que favorecem a proliferação bacteriana (Da Rocha, 2020). Estudos demonstram a presença de *Salmonella spp.* em amostras de carne moída e em estabelecimentos comerciais, reforçando a necessidade de controles rigorosos ao longo da cadeia produtiva (Gomes *et al.*, 2017).

O *Clostridium botulinum* produz neurotoxinas que causam botulismo, um dos mais graves riscos à segurança alimentar. Sua resistência decorre da capacidade de esporulação e crescimento sob condições anaeróbicas, tornando essencial o uso de processos térmicos eficazes e a manutenção da carne sob refrigeração adequada (Cereser *et al.*, 2008).

A *Listeria monocytogenes* destaca-se por sua elevada resistência a baixas temperaturas e tolerância a NaCl e nitratos. Sua capacidade de formar biofilmes facilita a contaminação cruzada, tornando-se um risco especialmente grave para gestantes e neonatos, podendo resultar em abortos espontâneos e natimortalidade (Demaître *et al.*, 2020).

O *Clostridium perfringens*, amplamente presente no meio ambiente e na microbiota intestinal, é um dos principais agentes de toxinfecções alimentares, sendo transmitido pelo consumo de carnes contaminadas (Bendary *et al.*, 2022). Da mesma forma, o *Staphylococcus aureus* representa um risco significativo, pois produz enterotoxinas termoestáveis frequentemente associadas a surtos de intoxicação alimentar por carnes in natura e processadas (Zhang, 2024).

A *Escherichia coli* (STEC), produtora da toxina Shiga, é um dos patógenos mais preocupantes na indústria alimentícia. Naturalmente presente no trato intestinal de ruminantes, pode ser transmitida aos humanos por meio do consumo de carne contaminada, causando colite hemorrágica e síndrome hemolítico-urêmica (Singha *et al.*, 2023).

Em condições aeróbicas e sob refrigeração, a *Pseudomonas spp.* é o principal agente da deterioração da carne, destacando-se as espécies *Pseudomonas fragi*, *Pseudomonas lundensis* e *Pseudomonas fluorescens*, capazes de degradar proteínas e lipídios, levando à liberação de compostos voláteis responsáveis por odores desagradáveis (Wickramasinghe *et al.*, 2019). Outras bactérias relevantes na deterioração incluem *Brochothrix spp.* (Fang *et al.*, 2022), *Lactobacillus spp.* (Säde *et al.*, 2020) e *Weissella spp.* (Bassey *et al.*, 2021), especialmente sob condições anaeróbicas.

A compreensão da microbiota deteriorante e dos fatores ambientais que influenciam sua proliferação é essencial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de controle microbiológico ao longo da cadeia produtiva (Amorim, 2022). Medidas preventivas rigorosas, como controle de temperatura, uso de embalagens que minimizem a atividade microbiana e incorporação de agentes

antimicrobianos naturais, são fundamentais para prolongar a vida útil da carne bovina e garantir a segurança alimentar (Roma, 2021).

Além disso, a adoção de boas práticas de higiene, monitoramento microbiológico, processamento térmico adequado e armazenamento sob temperaturas controladas são exigências normativas essenciais para minimizar riscos e assegurar a qualidade dos produtos cárneos (Queiroz, 2022).

3.3 Parâmetros de qualidade de carnes e derivados

3.3.1 Cor

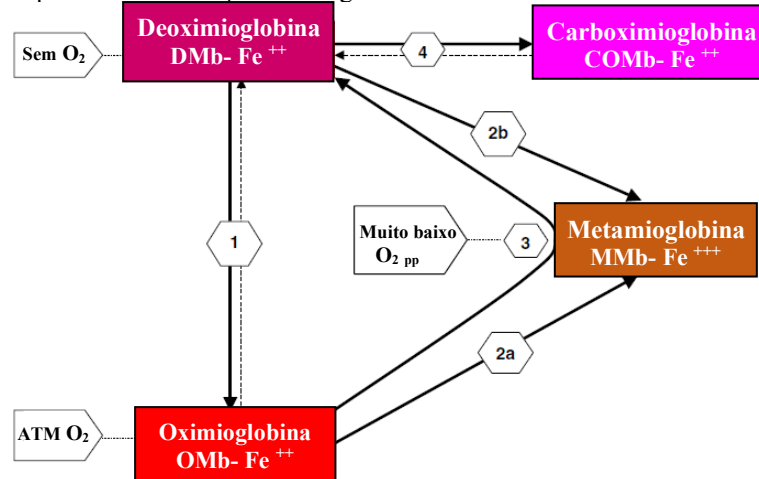
A avaliação da coloração é um critério fundamental na determinação da qualidade da carne bovina e na sua aceitabilidade pelos consumidores. Esse parâmetro pode ser mensurado de forma instrumental ou por avaliação sensorial, sendo especialmente relevante diante de variações resultantes do processamento e armazenamento (Holman *et al.*, 2018). Alterações na cor podem ocorrer em poucos dias de estocagem e estão associadas a fatores como pH, carga microbiana e estabilidade oxidativa, impactando diretamente a vida útil das carnes in natura.

A temperatura de armazenamento e a exposição ao oxigênio são determinantes para a estabilidade da coloração. A carne armazenada acima de 4°C e sob alta oxigenação apresenta redução significativa da vida útil, não ultrapassando três dias. O vermelho característico da carne bovina é atribuído à presença de mioglobina e hemoglobina, proteínas que, dependendo da concentração e do estado de oxidação, resultam em variações de cor. Essas alterações são evidentes nos casos de carne PSE (Pálida, Flácida e Exsudativa) e DFD (Escura, Firme e Seca) (Borges; Souza, 2019).

A conversão da oximioglobina em metamioglobina é um dos principais mecanismos responsáveis pela degradação da coloração da carne, reduzindo sua aceitação comercial (Choe *et al.*, 2016). A exposição da carne ao oxigênio induz oxidação do Ferro (Fe) presente no grupamento heme da mioglobina da carne, passando do estado de desoximioglobina (cor vermelho púrpura) para oximioglobina (cor vermelho vivo), que possui uma coloração desejada (Rx 1, Figura 2). Por outro lado, períodos mais longos e baixa pressão parcial de oxigênio dentro da embalagem, fazem com que prótons reajam com o dioxigênio ligado ao heme (oximioglobina), o que resulta na remoção de um elétron do anel do heme, e a dissociação subsequente do superóxido do heme, com isso provoca a mudança da cor característica da carne de vermelho para um tom mais amarronzado típico da metamioglobina (Rx 2, Figura 2) (Tomasevic *et al.*, 2021; Ramanathan; Suman; Faustman, 2020). Além disso, a oxidação lipídica contribui para a degradação da cor, o acúmulo de produtos

provenientes dessa reação como α - e β -aldeídos também favorecem a oxidação do grupamento heme, portanto Estratégias para mitigar essa degradação incluem embalagens com permeabilidade parcial ao oxigênio, que ajudam a preservar a cor, prolongando a percepção de frescor e qualidade da carne (Tomasevic *et al.*, 2021).

Figura 2 – Esquema transformação da mioglobina em suas diferentes formas oxidadas e reduzidas



Rx 1 (Oxigenação): $DMb + O_2 \rightarrow OMb$

Rx 2a (Oxidação): $OMb + [\text{consumo de oxigênio ou baixa pressão parcial de } O_2] - e^- \rightarrow MMb$

Rx 2b (Oxidação): $[DMb - \text{íon hidroxila} - \text{complexo de íon hidrogênio}] + O_2 \rightarrow MMb + O_2 -$

Rx 3 (Redução): $MMb + \text{consumo de oxigênio} + \text{atividade redutora de metamioglobina} \rightarrow DMb$

Rx 4 (CarboxiMb): $DMb + \text{monóxido de carbono} \rightarrow COMb$

Fonte: Adaptado de Mancine e Hunt (2005)

3.3.2 pH

O pH é um indicador fundamental da qualidade da carne, sofrendo variações significativas ao longo do processo de abate. Durante o abate, mantém-se em níveis adequados devido à disponibilidade de oxigênio, circulação sanguínea e reservas de glicogênio muscular. No entanto, com a interrupção do fluxo sanguíneo, inicia-se a via glicolítica anaeróbica, gerando ATP e ácido lático. Como o ácido lático não pode ser transportado para o fígado para metabolização, acumula-se no tecido muscular, reduzindo o pH (López-Bote; Calvo, 2023).

O pH pós-abate influencia diretamente a luminosidade e coloração da carne (Polli *et al.*, 2020). Inicialmente, varia entre 7,2 e 7,4, estabilizando-se após 24 horas em valores entre 5,8 e 5,4. Carnes de coloração mais escura apresentam pH mais elevado, o que impacta sua qualidade e reduz sua vida útil (Ribeiro *et al.*, 2022).

3.3.3 Perdas de peso por cocção (PPC)

A perda de peso por cocção é um parâmetro essencial na avaliação da qualidade da carne, pois afeta diretamente suas propriedades físicas, como maciez, rendimento e aparência (Ježek *et al.*,

2020). Esse processo está associado à expulsão de água, impactando a suculência e a percepção sensorial do produto (Ferreira *et al.*, 2023).

Fatores como genótipo do animal, condições de manejo pré e pós-abate, variações de temperatura e método de cocção influenciam significativamente essas alterações (Alexandre *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2023)

3.3.4 Capacidade de retenção de água (CRA)

Uma das propriedades fundamentais da carne destinada ao consumo ou para a indústria de processamento é a capacidade de retenção de água (CRA), a qual é determinada pela habilidade de reter água na presença de forças externas, como moagem e corte. Essas características são importantes para a qualidade sensorial da carne impactando na aceitabilidade visual, perda de peso e rendimento (Warner, 2023). Quando há um aumento da exposição da superfície da carne, há uma maior suscetibilidade para perda de água.

A CRA é dependente de interações entre água e proteína, sendo fortemente influenciada pelo pH da carne. Tecidos cárneos com baixa CRA apresentam perdas significativas durante o armazenamento, o que implica em perdas nutricionais devido ao exsudato, resultando em carne mais seca e menos macias. A utilização de ácidos orgânicos na carne pode causar a desnaturação das proteínas, fazendo com que percam sua capacidade de retenção de água, o que leva ao aumento de perda de peso. No entanto, quando as proteínas não são desnaturadas, formam um filme protetor que ajuda a evita a perda de umidade (Silva, 2024).

CRA impacta diretamente a qualidade tecnológica da carne, afetando processos como a fabricação de embutidos e produtos cárneos processados. A manutenção de uma alta CRA é essencial para garantir um produto final suculento e de alta qualidade. Estratégias para melhorar a CRA incluem a modificação do pH, o uso de marinadas, e a adição de ingredientes como fosfatos, ácido cítrico, que ajudam a estabilizar as proteínas e melhorar a retenção de água (Shi *et al.*, 2022; Da Silva *et al.*, 2019).

3.4 Plásticos *versus* filmes biodegradáveis e suas particularidades como embalagens para alimentos.

3.4.1 Impactos dos plásticos como embalagens de alimentos

A descoberta de materias para embalagens resistentes a condições ambientais (temperatura e umidade) e a tração trouxe diversos benefícios em termos de praticidade, na maleabilidade e armazenamento, tornando-se amplamente utilizados nos âmbitos industrial e doméstico. No

decorrer dos anos, os impactos negativos desses materiais foram ilustrados e enumerados, sendo um deles o longo tempo de sua degradação. A durabilidade, estabilidade e resistência fazem com que sua decomposição extremamente prolongada, podendo ultrapassar 450 anos (Gutiérrez, Cortés; Bañuelos, 2023).

O plástico é derivado principalmente do petróleo, e os seis tipos mais utilizados no mundo são: polietileno tereftalato (PET), polietileno de alta densidade (PEAD), policloreto de vinila (PVC), polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP) e poliestireno (PS) (Liu *et al.*, 2022). O Brasil está entre os maiores produtores de lixo plástico no mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia (WWF, 2019). Esse elevado nível de produção, aliado à baixa taxa de reciclagem, contribui significativamente para a poluição ambiental no país (WWF, 2022).

Pesquisas recentes têm evidenciado os diversos danos que o plástico causa à saúde humana, seja através da ingestão, inalação (pelo ar atmosférico), presença na água ou no solo (Ragusa *et al.*, 2022). Esses estudos demonstram que a exposição ao plástico pode resultar em uma série de problemas de saúde, incluindo distúrbios gastrointestinais e respiratórios, resposta inflamatórias, stresses oxidativos, danos celulares que podem levar a anomalias e aumentar o risco de câncer (Mota; Batista; Cunha, 2021). Além disso, no sistema reprodutivo também pode ser afetado. Diante dessas evidências, surgem estudos focados em encontrar soluções naturais para reverter o impacto tecnológico e ecológico do uso de plástico (Gutiérrez; Cortés; Bañuelos, 2023, Bugatti *et al.*, 2023).

3.4.2 Biopolímeros como alternativa para embalagens

Os biopolímeros são polímeros derivados de matérias-primas procedentes de fontes renováveis, apresentando menor impacto ambiental. Sendo os produtos resultantes da sua degradação biocompatíveis e não tóxicos, porém apresentam menor resistência, deformidade e durabilidade em comparação aos plásticos convencionais (Milani *et al.*, 2017).

Estudos recentes têm focado no desenvolvimento de biopolímeros com composições melhoradas que possam competir com os parâmetros dos plásticos (Bandopadhyay *et al.*, 2018). Em termos de propriedades de barreira, os biopolímeros são inferiores aos plásticos (Sander, 2019). Contudo, embalagens ativas de biopolímeros mostram potencial singificativos para aplicações para embalagens alimentares, principalmente quando componentes naturais ou extratos são incorporados à base polimérica, resultando em melhorias nas propriedades dos filmes e na qualidade do produto embalado (Jiang; Zhang; Deng, 2023). Dessa forma, além de cumprir suas funções tecnológicas, essas embalagens podem ser uma opção sustentável para o ambiente (Xue *et al.*, 2021).

Dentre os biopolímeros usados como embalagem de alimentos, os filmes comestíveis são compostos que podem ser consumidos com o produto alimentício que embalam, apresentando a

vantagem de preservar o alimento e não geram resíduos (Butler *et al.*, 2023). Apesar do crescente interesse por essas tecnologias, ainda existem poucas pesquisas sobre filmes biopoliméricos produzidos à base de frutas e vegetais (Chhikara; Kumar, 2021). Essa área de pesquisa pouco explorada evidencia um campo amplo e promissor para o desenvolvimento e aplicação dos biofilmes.

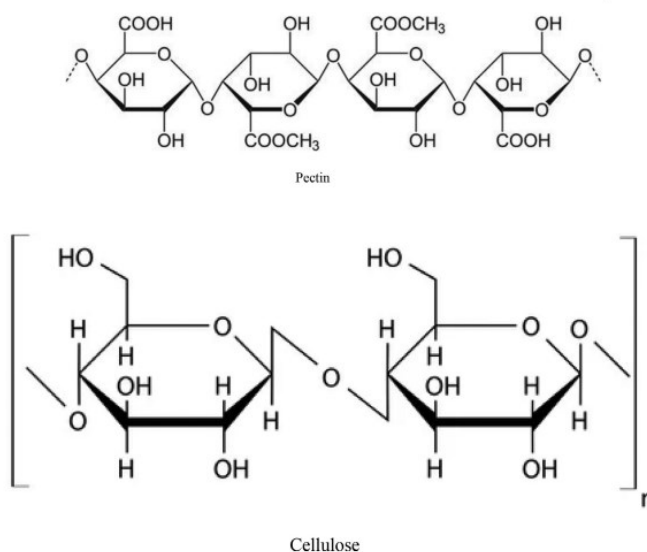
Enquanto que as embalagens tradicionais são polímeros de origem fóssil, os filmes feitos com biopolímeros podem ser obtidos com uso de polisacarídeos, como é o caso da celulose, pectina, amido e quitosana. No caso da celulose, consistindo de uma cadeia de polímero unida por unidades d-glucopiranosil por meio de ligações 1,4-glicosídicas (Figura 3). Além disso, os grupos hidroxila em C6, C3 e C2 de cada unidade de glicose podem estabelecer ligações de hidrogênio entre e dentro das macromoléculas de celulose ajudando na formação de estrutura polimérica (Gupta; Guha; Srivastav, 2022). Com relação a pectina, sua composição química consiste em unidades de poli α 1-4-ácidos galacturônicos (Figura 3). Os filmes com carboximetilcelulose (CMC) são descritos como muito hidrofílicos, com espessura fina e baixa força de tensão, bem como alta solubilidade e permeabilidade a vapor de água (Pinpru; Woramongkolchai, 2020). Porém já foi relatado que como embalagens os filmes de carboximetilcelulose associados a pectina 10% (v/v) são descritos como flexíveis e transparentes, oferecendo uma barreira moderada ao oxigênio e umidade (Panahirad *et al.*, 2021).

Portanto, tipo de substrato utilizado na produção dos filmes vai influenciar nas propriedades mecânicas dos filmes, bem como requerer a adição de plastificantes ou emulsificantes. Por exemplo em filmes obtidos a partir do amido da mandioca, inhame, semente de jaca e caroço de manga, Rodrigues *et al.* (2021) ao aumentarem a concentração do amido (em 2, 3 e 3,5% da composição) obtiveram filmes mais espessos, com menor permeabilidade ao vapor de água, melhorando a resistência à tração e força de perfuração. Os polissacarídeos do amido que são o caráter altamente hidrofílico faz com que os filmes de amido sejam uma barreira fraca ao vapor de água. Porém, A incorporação de compostos fenólicos nos filmes tem sido apontado como uma forma de reduzir a permeabilidade a vapor de água em filmes de polissacarídeos, pelo aumento da ligação de hidrogênio entre moléculas reduz a exposição de grupos hidrofílicos, resultando em uma menor interação do filme com moléculas de água (Sadi *et al.*, 2024)

Filmes feitos a partir de alginato de sódio apresentam flexibilidade, transparência e baixa permeabilidade a óleo, ao adicionar extrato de casca de cebola roxa (concentrações de 0, 10, 20 e 30%)— com alto teor de compostos fenólicos e glicerol como plastificante, foi observada uma melhora reduzindo a solubilidade em água dos filmes de alginato, aumentando espessura e também

atividade antioxidante Dessa forma foram considerados como filme promissor para alimentos com alta atividade de água e suceptíveis a oxidação lipídica (Santos *et al.*, 2021)

Figura 3 – Estrutura química de polissacarídeos naturais (pectina, celulose).



Fonte: Adaptado de Gupta; Guha; Srivastav (2022)

3.4.3 Filmes como transportadores de bioativos

Filmes ativos são materiais com capacidade de liberar substâncias como compostos com propriedades antioxidantes, antibacterianas, ou absorver gases, dessa forma reduzem perda de umidade, reações químicas e crescimento bacteriano, melhorando características sensoriais do produto e aumentando a vida útil (Jiang; Zhang; Deng, 2023). Sendo classificadas em dois tipos: embalagens ativas não migratórias e embalagens de liberação ativa – quando há migração de substâncias para o ambiente da embalagem e do produto, através da incorporação de substâncias na matriz polimérica (Ahmed *et al.*, 2022).

Dentre as embalagens migratórias, existem filmes que emitem CO₂ em embalagem contendo produtos cárneos pela presença de sachês contendo bicarbonato de sódio visando reduzir a concentração de oxigênio e crescimento do microorganismos (Cheikh *et al.*, 2022). Além desse, uma série de técnicas como incorporação, revestimento, imobilização na superfície das embalagens estão sendo empregados para substâncias antimicrobianas, como zeólitas, niacina e quitosana em embalagens visando inibir ou eliminar microorganismos (Ahmed *et al.*, 2022).

Porém, visando a incorporação de compostos bioativos termolábeis, o método de processamento hidrotérmico permite a obtenção da solução filmogênica com processamento mínimo, preservando a integridade dos compostos. Este método assegura que os compostos bioativos resistam melhor ao tratamento térmico, mantendo o máximo de sua atividade para aplicações subsequentes, como em embalagens alimentares funcionais (Dias *et al.*, 2020).

3.5 Cebola (*Allium Cepa* L.)

A cebola (*Allium cepa* L.) é um vegetal bem conhecido e consumido em todo o mundo em variadas cores, possuindo uma complexa rede de nutrientes (Nile *et al.*, 2018). Atualmente, a cebola é a segunda cultura hortícola mais importante em termos de produção mundial. Possui produção mundial anual de aproximadamente 93 milhões de toneladas, das quais 15% são consideradas resíduos componentes do processamento que não são integrados aos produtos e por isso são descartados (Santiago *et al.*, 2020). Dentre os países, Índia e China lideram a produção global de cebola, desempenhando papéis cruciais neste mercado (FAOSTAT, 2022).

Atualmente, o Brasil se destaca como um dos maiores produtores e exportadores de produtos agrícolas no cenário global, ocupando a posição de segundo maior exportador e terceiro maior produtor de alimentos, o que ressalta seu significativo potencial em termos de geração de resíduos agrícolas (Embrapa, 2019). No Nordeste, destacam-se como principais regiões de cultivo o Vale do São Francisco (PE/PA) e a região de Irecê (BA) (HF BRASIL, 2021). Especificamente na produção de cebola, o Brasil registrou um volume aproximado de 1 milhão de toneladas em 2023, com a Bahia contribuindo com mais de 298 mil toneladas nesse total (IBGE, 2024). Assim, é propício a utilização da cebola, um vegetal amplamente apreciado na culinária mundial e de baixo custo em novas aplicações como em embalagens biopoliméricas (Falguera *et al.*, 2011).

Existe uma grande diversidade de cebolas, com variações de cor, características sensoriais e valor nutricional. As diferentes cores das cebolas – branca, amarela, vermelha e roxa – apresentam variações na concentração e no tipo de compostos bioativos presentes, o que confere características únicas a cada variedade (Benítez *et al.*, 2012; Elattar *et al.*, 2024). A extração de corantes alimentícios a partir da casca de cebola roxa, por exemplo, tem mostrado que a antocianina extraída apresenta boa estabilidade diante das condições de processamento e armazenamento de alimentos (Prodromidis *et al.* 2022).

Estudos já identificaram o potencial da cebola como substrato para produção de filmes comestíveis, isso se deve a composição carboidratos estruturais na parede celular como celulose, hemiceluloses (como xilanas) e pectinas que interagem entre si e conferem propriedade viscoelástica e estrutural (Lopez-Sanchez *et al.*, 2020; O'Donoghue *et al.*, 2004). As pectinas desempenham papel estrutural importante, aderindo células e contribuindo para a resistência mecânica e porosidade da parede celular (O'Donoghue *et al.*, 2004). É possível produzir filmes utilizando somente a polpa do bulbo da cebola, como foi demonstrado por Dias *et al.* (2020) que testaram uma produção em larga escala, produzindo filmes sem a necessidade de adicionar outros aditivos como ocorre em outros filmes obtidos de vegetais. Além disso, filmes comestíveis de cebola podem ser considerados

seguros para consumo e como embalagens primárias, sua toxicidade já foi avaliada por testes de genotoxicidade e citotoxicidade (Barreto *et al.*, 2020).

Outra característica vantajosa em termos de propriedades mecânicas observadas pelos filmes de cebola, é a presença de açúcares, que agem como plastificantes, reduzindo interações intermoleculares entre as cadeias dos polímeros, melhorando a flexibilidade do filme, como foi evidenciado ao testar as propriedades mecânicas de filmes feitos com polpa de cebola lavados e não lavados, este último apresentou alongamento na ruptura (ϵ_R) de 22% (Dias *et al.*, 2020).

3.5.1 Compostos ativos da cebola e sua atividade

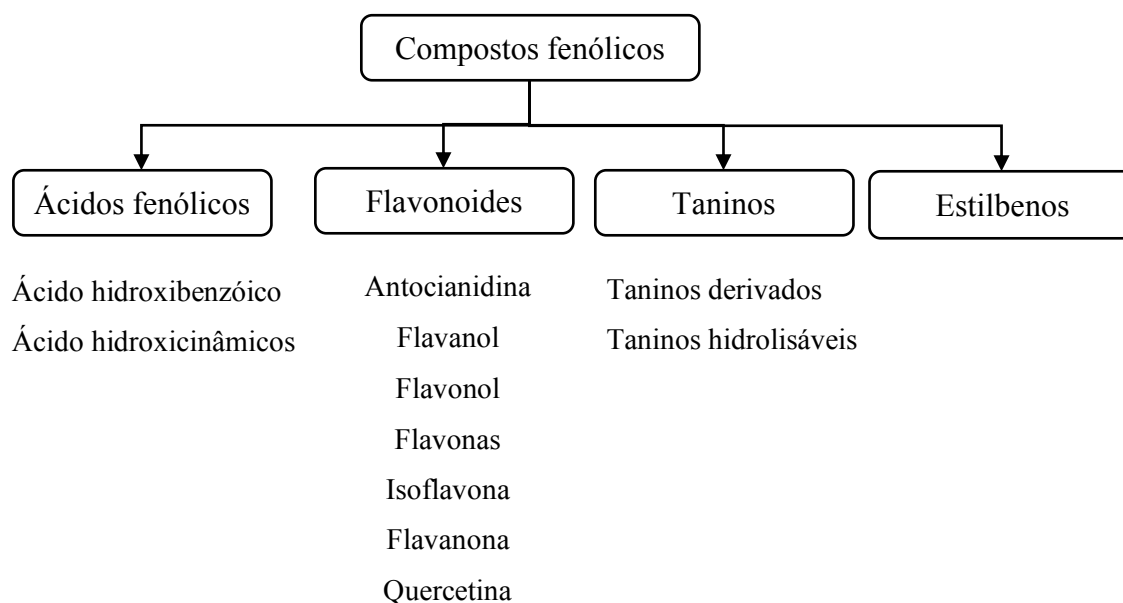
Além da cebola possuir polissacarídeos estruturais localizados na parede celular, apresenta também outros compostos como alto teor de flavonoides com destaques as quercetinas livres e ligadas as lectinas, frutanos, vitaminas B1, B2, B6, C e E, ácidos graxos, glicolipídios, fosfolipídios, compostos sulfurosos e compostos fenólicos (Patra, 2013; Zhang *et al.*, 2016; Ren; Zhou, 2021).

São relatados na literatura a utilização de resíduos para a produção de filmes, extratos bioativos e aprimoramento de produtos já existentes como melhoramento de suplementações em capsulas, como na confecção de filmes para revestimentos de alimentos produzidos ou com adição de seu extrato com a intenção da substituição dos revestimentos de alimentos produzidos de material sintéticos como o plástico de origem fóssil, não renováveis(Kumar *et al.*, 2022).

3.5.2 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários de plantas, desempenhando um papel essencial na defesa contra agentes externos. Na cebola, esses compostos derivam das vias biossintéticas do ácido cinâmico e benzóico, sendo responsáveis por atributos sensoriais como cor, sabor, amargor e odor. Eles podem estar presentes tanto na forma livre quanto ligada, influenciando suas propriedades bioativas e tecnológicas (Shah *et al.*, 2018).

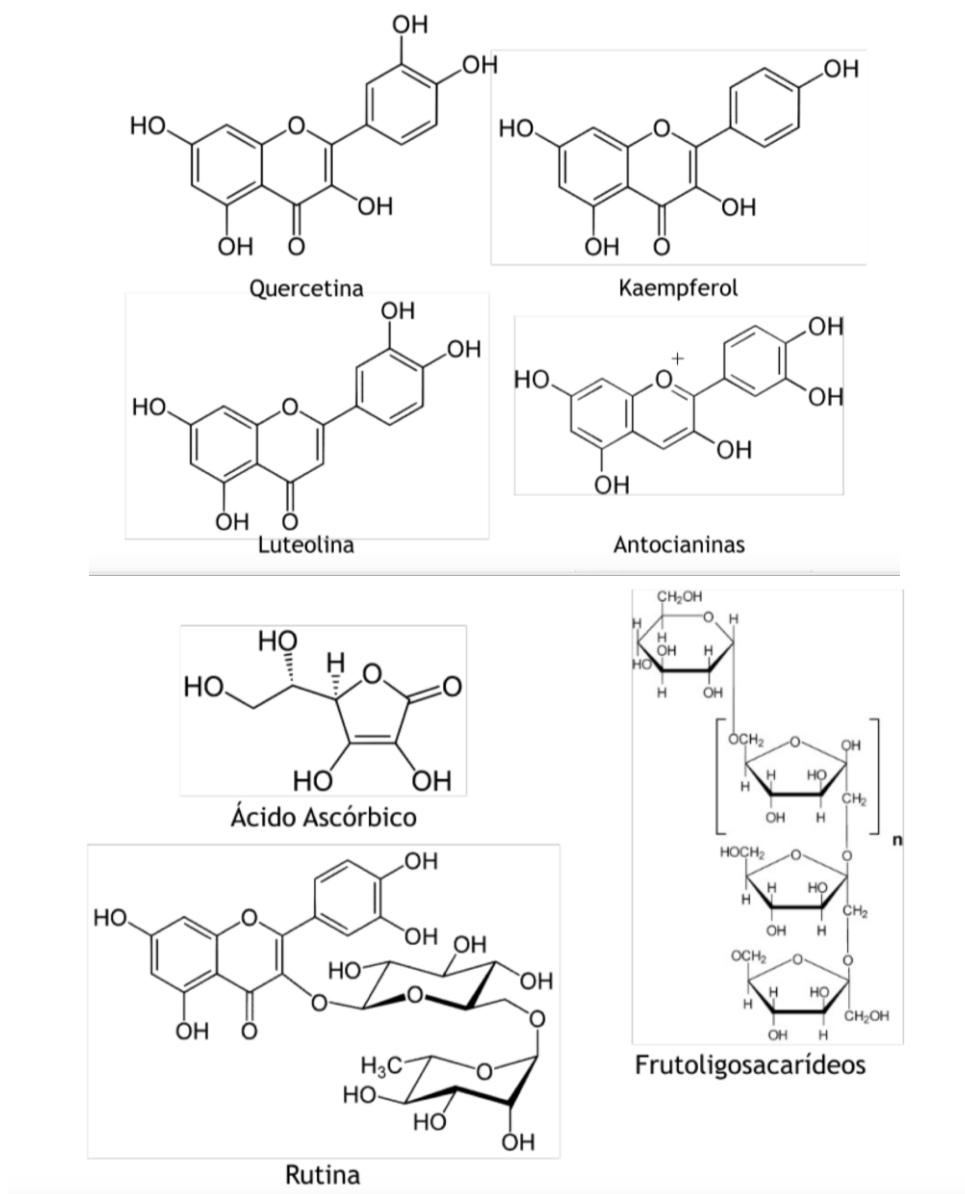
Figura 4 – Esquema classificação dos compostos fenólicos presentes na cebola.



Fonte: Adaptado de Alara, Abdurahman; Ukaegbu (2021).

Os compostos fenólicos em suas estruturas químicas se destacam pela presença de anéis aromáticos e hidroxilas (-OH) diretamente ligados a eles, responsáveis pelas suas propriedades Alara, Abdurahman; Ukaegbu (2021). Os principais compostos fenólicos encontrados na cebola e suas classes tais como ácidos fenólicos, flavonoides, taninos e estilbenos, com prevalência dos flavonoides tetrahidroxilados (Figura 5). Os flavonoides estão ligados diretamente ao sabor, coloração e ao aroma e por isso a indústria utiliza como corante, flavorizante beneficiando a indústria alimentícia e a estética (Kamiloglu *et al.*, 2021). A quantidade de flavonóides depende da variedade, para a cebola branca, amarela e roxa foi quantificado respectivamente 0, 36.64 e 111.10 mg 100 g⁻¹ (Zhang *et al.*, 2016). Entre estes, destaca-se a quercetina, um flavonoide predominante que varia entre 34 a 83 g/ kg de massa seca de cebola (Sagar *et al.*, 2022).

Figura 5 - Ilustração da estrutura química de alguns componentes bioativos na cebola.



Fonte: Pubchem,2023; Sato; Numata ,2024

3.5.3 Quercetina

Os flavonoides, como a quercetina possuem em maior abundância na cebola amarela (Corzo-Martinez; Corzo; Villamiel, 2007). Esses compostos antioxidantes atuam na proteção das células, do DNA e outras moléculas importantes contra o dano oxidativo, sendo capaz de promover maior estabilidade, sendo uma alternativa de antioxidantes naturais, e essa característica está sendo utilizada como conservantes naturais a fim de prolongar a vida útil dos alimentos, através de revestimentos/ embalagem (Dosoky *et al.*, 2021).

A quercetina em diversos estudo tem sido apontado como o principal flavonoide encontrado no resíduo da cebola, pertencente a subclasse dos flavonóis. É um composto fenólico com as ações antimicrobiana e antioxidante, porém é sensível a fatores externos de degradação como: luz, oxigênio, calor e a composição do alimento podendo reduzir significativamente ao decorrer do processamento e armazenamento dos alimentos, limitando sua aplicação (Akolade; Oloyede; Onyenekwe, 2017; Damodaran, 2018; Farooqui, 2018).

A quercetina tem uma configuração de cristal amarelo-lima e é solúvel em lipídios, álcool, soluções alcalinas aquosas e ácido acético, mas insolúvel em água (Crnivec *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2019). Diversas possibilidades estão sendo estudadas em áreas distintas (Galo, 2018) para uma melhor estabilização e veiculação desse composto, e a aplicação em bioplásticos/ revestimentos estão sendo cogitados como uma melhor estratégia empregadas na indústria de alimentos (revestimentos antimicrobianos e alimentação funcional) e outras funcionalidade na indústria como o encapsulamento para efeito neuroprotetor (Grewal *et al.*, 2021), tratamento da síndrome metabólica (Shatylo *et al.*, 2021), melhora do metabolismo da glicose (Fang *et al.*, 2021), além de propriedades anti-inflamatória, anticarcinogênica, antiviral, hepatoprotetora, gastroprotetora e de melhora do sistema imunológico, evidenciando sua eficácia como antioxidante (Costa, 2010; Kumar, *et al.*, 2022).

Uma revisão apontou que a quercitina apresenta ação antimicrobiana, inibindo o crescimento de diversas bactérias tanto Gram-positivas quanto Gran-negativas, porém menos estuda atividade contra fungos e vírus também. Os mecanismos observados decorrem da interação dos grupos funcionais com a membrana e parede celular dos microorganismos podendo levar a alteração na permeabilidade e dano, ligação a ácidos nucleicos impedindo a sua síntese e de proteínas, prevenção da formação de biofilme bacteriano, disfunção mitocondrial e redução da expressão de fatores de virulência (Nguyen; Bhattacharya, 2022). Sua atividade foi testada contra *Pseudomonas aeruginosa*, bactérias envolvida na deterioração de alimentos, apresentando concentração mínima de inibição foi de 3.75 mg/mL (Tagrida *et al.*, 2023). Seu uso visando um sistema de embalagem também já foi testada contra *Pseudomonas fluorescens*, adicionaram quercitina e lactoferrina complexados com hidroxiapatita, uso combinado provocou um efeito sinérgico aumentando a eficácia contra a bactéria, também observaram que concentração mínima de quercetina sozinha para inibição para *P. fluorescens* foi de 500ppm (Montone *et al.*, 2021).

Já a ação antioxidante da quercetina foi testada *in vitro* como eliminação direta de radicais livres (Oh; Ambigaipalan; Shahidi, 2019). Foi identificado que esse flavanoide pode atuar prevenindo a oxidação lipídica mediada por hemoglobina, isso porque elimina os radicais livres gerados durante a decomposição de hidroperóxidos lipídicos, além de reduzir a metahemoglobina e

formando oxihemoglobina ao se ligar covalentemente ao grupo heme da hemoglobina (Wu *et al.*, 2022). Sendo, portanto, um bioativo promissor para compor filmes com finalidade de embalar produtos cárneos.

3.5.4 Antocianinas

Outro importante metabolito secundário presente nas cebolas, as antocioninas são um grupo de substâncias que possuem atividade antioxidante, além de serem corantes naturais (Samota *et al.*, 2022). Sua concentração depende da variedade da cebola, em maior concentração na cebola roxa de 29.99mg/100g enquanto para cebola branca é de 0.75mg/100g. Já foi descrito que na cebola há Delfinidina 3,5-diglicosídeos, cianidina 3,5-diglicosídeos, cianidina 3-glicosídeos e cianidina 3-(6''-malonil)-glicopiranosídeo são as quatro principais antocianinas (Zhang *et al.*, 2016). Sua atividade antioxidante é atribuída a dois mecanismos, transferência de átomos de hidrogênio – no qual um radical livre remove o átomo de hidrogênio do antioxidante, tornando-o mais estável; e a transferência de elétron único do radical livre para o antioxidante (Sadowska-Bartosz; Bartosz, 2024).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Preparação do filme à base de cebola

Os filmes foram produzidos e fornecidos pela empresa BioSmart Nanotechnology (BioSmart®, Araraquara, São Paulo, Brasil). Fabricados utilizando Cebolas (*Allium cepa* L.), um dos tipos de filmes a partir da cebola branca e o outro tipo de filme a partir da roxa, obtidos conforme metodologia descrita para filmes comestíveis sem lavagem ou retirada de solúveis (Dos Santos Dias *et al.*, 2020).

4.2 Caracterização das propriedades físicas, físico-químicas e mecânicas dos filmes

4.2.1 Permeabilidade ao vapor d'água (pva) dos filmes de cebola

A permeabilidade dos filmes foi determinada utilizando o método dessecante, conforme a norma ASTM E 96/E 96M – 05 (ASTM, 2005), com algumas adaptações. Para isso, potes plásticos contendo 15 g de cloreto de cálcio anidro foram selados hermeticamente na junção entre o filme e o pote, utilizando fita adesiva. Os potes foram acondicionados em câmara dessecadora contendo solução saturada de cloreto de sódio em seu interior, em temperatura média de 25,7°C e umidade relativa média de 63,6%. E então o peso foi registrado em duas pesagens diárias até um total de 30 pesagens. O ganho de peso, associado à umidade permeada pelo filme, em função do tempo foi representado graficamente e, os pontos correspondentes ao trecho linear foram usados para cálculo da taxa de transmissão ao vapor de água (TTVA), permeância e permeabilidade, conforme equações abaixo:

$$TTVA(g/h.m^2) = \frac{G}{t} \times A$$

Equação 1

Onde:

G/t = coeficiente angular do trecho linear da reta ganho de peso *versus* tempo (g/h)

A = área do filme por onde o vapor de água pode permear (m²)

$$permeância(g/h.m^2.mmHg) = \frac{TTVA}{\Delta P} = \frac{TTVA}{S(R_1 - R_2)}$$

Equação 2

Onde:

ΔP = diferença de pressão de vapor (mmHg)

S = pressão de vapor de saturação na temperatura do teste (mmHg):

R_1 = umidade relativa na câmara dessecadora expressa como uma fração

R_2 = umidade relativa no interior dos potes vedados com o filme expressa como uma fração (0% desde que a umidade do cloreto de cálcio não seja superior a 10%)

$$permeabilidade(g/h.m.mmHg) = permeância \times e$$

Equação 3

Onde:

e = espessura do filme (m)

4.2.2 Determinação de umidade por infravermelho dos filmes de cebola

A determinação de umidade por infravermelho foi realizada conforme o método descrito por Park *et al.* (2007), utilizando a balança modelo MX-50 MOISTURE ANALYZER (A&D Instruments, EUA). A amostra do filme foi cortada em pequenos pedaços e colocada em um prato de alumínio. O equipamento permitiu a evaporação de água do analito, com a quantificação da massa durante o processo. As amostras foram mantidas a 105 °C, e a balança foi calibrada para essa faixa de temperatura.

4.2.3 Propriedades mecânicas dos filmes de cebola

A caracterização mecânica dos filmes foi realizada utilizando equipamento DL-2000MF (EMIC, BRA) de acordo com a norma ASTM D882-09 (ASTM, 2009). A velocidade de extensão foi de 50 mm-min e uma célula de carga 100 N foi usada. Filmes pré-condicionados (50% UR a 23 °C) em uma solução saturada de nitrato de magnésio por 48h.

Foram submetidos a ensaios mecânicos para avaliação da tensão máxima, deformação na ruptura, deformação máxima e módulo de elasticidade, de acordo com a norma ASTM D882-09 (ASTM, 2009), utilizando a máquina Universal de Testes Mecânicos DL-200MF (EMIC, BRA). Foram testados dez corpos de prova de cada tratamento, seguindo as dimensões 9,0 cm (tamanho do corpo de prova); 5,0 cm (distância entre as garras) e 2,5 cm (largura). A máquina foi operada com célula de carga de 1 KN a uma velocidade de tração de 5 mm/min.

4.2.4 Determinação da espessura dos filmes de cebola

A espessura dos filmes foi realizada de acordo com metodologia adaptado por Luchese *et al.* (2015) utilizando Micrômetro Externo Digital IP65 (Mitutoyo, BRA), por meio de média

aritmética de 10 medições e em cada filme medindo em 3 (três) pontos distintos na superfície do filme, sendo um no centro do filme e os demais pontos distribuídos equitativamente próximos à borda dos filmes.

4.2.5 Análise termogravimétrica/ termogravimétrica derivada e calorimetria exploratória diferencial (TG/DTG-DSC) dos filmes de cebola

Curvas TG/DTG-DSC das amostras foram obtidas em equipamento SDT Q600 (TA Instruments, EUA) com razão de aquecimento de 10 °C/min de temperatura ambiente até 610°C, sob um fluxo de nitrogênio de 100 mL/min. Foi utilizado cadinho de alumina e massa de amostra em torno de 7 mg (Ruggero *et al.*, 2020).

4.2.6 Espectroscopia de infravermelho em modo de refletância total atenuada (FTIR-ATR) dos filmes de cebola

As amostras foram analisadas por FTIR-ATR, utilizando o espectrômetro Cary 630 FTIR (Agilent, EUA) em modo de transmitância na região de 4000 a 500 cm⁻¹ com resolução de 4 cm⁻¹ e 32 varreduras em modo ATR (refletância total atenuada) (Campos *et al.*, 2014).

4.3 Avaliação da atividade antioxidante dos filmes de cebola

A atividade antioxidante do filme de cebola roxa e cebola branca foi avaliada utilizando o método de eliminação do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) descrito por De Veras *et al.* (2020). As análises foram realizadas em triplicata e as atividades de inibição foram calculadas com base na porcentagem de DPPH removido. Um análogo da vitamina E (Trolox®) foi usado como padrão. O percentual de inibição (I%) foi calculado utilizando a seguinte equação: $I\% = [(Ac - As)/(Ac)] \times 100$, onde Ac é a absorbância do controle e As é a absorbância da amostra. Densidade óptica (OD) foi medida no comprimento de 515nm por espectrofotometria (PerkinElmer Lambda 35 UV/VIS). Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

A atividade antioxidante dos filmes de cebola roxa e cebola branca foram avaliadas pelo ensaio ABTS (ácido 2,2'-azino-bis 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) e foi baseada na geração do radical cromóforo catiônico obtido a partir da oxidação do ABTS (De Veras *et al.*, 2020). As medições foram realizadas em triplicata e as atividades de inibição foram calculadas com base na porcentagem de ABTS removido. Um análogo da vitamina E (Trolox®) foi usado como padrão. A porcentagem de inibição (I%) foi calculada usando a seguinte equação: $I\% = [(Ac - As)/(Ac)] \times 100$, onde Ac é a absorbância do controle e As é a absorbância da amostra. Densidade óptica (OD)

foi medida no comprimento de 734nm por espectrofotometria (PerkinElmer Lambda 35 UV/VIS). Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

4.4 Processos de preparação e aplicação dos filmes em hambúrgueres bovinos

As amostras de carne bovina utilizadas na formulação dos hambúrgueres foram adquiridas de um frigorífico localizado em Salvador, Bahia, e transportadas sob condições refrigeradas até os laboratórios responsáveis pelas análises: Laboratório de Pescado e Cromatografia Aplicada (LAPESCA) e Laboratório de Inspeção e Tecnologia de Carnes e Derivados (LABCARNE), onde foram conduzidas as avaliações laboratoriais e os testes de estabilidade durante o armazenamento.

Os hambúrgueres foram formulados utilizando músculo quadríceps femoral (*Quadriceps femoris*), seguindo a metodologia descrita por Ramos *et al.* (2021), na proporção de 80% de carne bovina e 20% de gordura suína (bacon). As matérias-primas foram pesadas individualmente, moídas em disco de 9 mm utilizando um moedor de carne ECCEL® (modelo MCIE-10) e acondicionadas em recipientes plásticos devidamente identificados.

A homogeneização da massa foi realizada manualmente, sob condições controladas de higiene e com o uso de luvas descartáveis estéreis, durante 20 minutos. Após a mistura, a massa foi mantida sob refrigeração (4 °C) por 12 horas, a fim de promover melhor integração dos componentes estruturais e estabilização da emulsão lipídica. Posteriormente, os hambúrgueres foram moldados em uma prensa manual, utilizando 100 g da massa para cada unidade, com diâmetro padronizado de 9,5 cm.

Os filmes comestíveis foram aplicados diretamente sobre a superfície dos hambúrgueres, os quais foram embalados em plástico específico para armazenamento refrigerado (4 °C) e identificados. As amostras foram submetidas a análises nos tempos 0, 3, 6 e 9 dias, conforme as recomendações metodológicas para avaliação da estabilidade oxidativa e microbiológica durante a vida útil (De Gouvêa *et al.*, 2016).

4.5 Caracterização de parâmetros de qualidade dos hamburgueres bovinos

4.5.1 Avaliação da Oxidação Lipídica dos hamburgueres bovinos

A oxidação lipídica foi estimada em triplicata usando o ensaio de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) de acordo com o método descrito por Triki *et al.* (2013) com pequenas modificações. Cada amostra (5 g) foi homogeneizada em 35 ml de ácido tricloroacético 7,5% (Êxodo Científica, São Paulo, Brasil) por 30 segundos em um Stomacker (LS Logen 1901,

Logen Científica, São Paulo, Brasil). Depois disso, a mistura foi filtrada, e então 5 ml foram coletados e misturados com 5 ml de ao ácido tiobarbitúrico 20 mM. (TBA) (Êxodo Científica). Por fim, a solução foi mantida no escuro a $20 \pm 1,5$ °C durante 20 horas. A cor formada foi determinada espectrofotometricamente (SP-22, Biospectro, Curitiba, Brasil) a 532 nm. A curva de calibração foi obtida com 1,1,3,3-tetraetoxipropano e os resultados foram expressos em miligramas de malondialdeído (MDA)/kg de amostra hambúrguer bovino, em cada um dos quatro tempos de maturação avaliados.

4.5.2 Avaliação da cor dos hamburgueres bovinos

Os índices de cor dos hambúrgueres de carne bovina foram avaliados conforme Ramos e Gomide (2009) e AMSA (2012) nos tempos referidos a partir da padronização na espessura de 1 cm, seguido de exposição ao ar por 30 min em ambiente refrigerado (4 °C) as leituras foram avaliadas com o auxílio de um colorímetro (Konica Minolta, modelo CR-400), operando no sistema CIELAB (L^* , a^* , b^*), onde L^* é a luminosidade, variando de preto (0%) a branco (100%); a^* é a intensidade da cor vermelha, variando de verde ($-a$) a vermelho ($+a$); e b^* a intensidade da cor amarela, variando de azul ($-b$) a amarelo ($+b$). A porta de abertura foi com tampa de vidro e as amostras de hambúrguer de carne foram medidas com o iluminante D65. Este dispositivo foi calibrado antes de cada análise com um azulejo branco padrão. Três medidas foram realizadas em diferentes pontos dos hambúrgueres de carne bovina, usando os valores médios para representar a cor. A determinação do índice de saturação de cor (Chroma C^*) utilizou a equação descrita por Suman, *et al.*, 2014.

$$*C (croma) = (a^{*2} + b^{*2})^{0,5}$$

Equação 4

4.5.3 Avaliação do pH dos hamburgueres bovinos

O pH foi determinado com auxílio de um pHmetro (HANNA HI981036), introduzido em uma amostra até sua estabilização (Zapata et al., 2000).

4.5.4 Teor total de ferro heme dos hamburgueres bovinos

O teor total de ferro heme foi determinado conforme descrito por Jridi *et al.* (2018), para esse processo 5 g de cada amostra de hambúrguer bovino, em triplicata, foi homogeneizado com 18 mL de acetona acidificada (90% acetona, 8% água deionizada, 2% HCl). Em seguida, o homogenato

foi colocado por 1 h a 25°C no escuro e posteriormente centrifugado (Himac CR22N) em 1,2 rpm em 4 °C por 20 min. A absorbância do filtrado foi determinada a 640 nm por espectrofotometria (PerkinElmer Lambda 35 UV/VIS). A quantidade de ferro heme foi expressa em µg/g de hambúrguer bovino e calculada pela seguinte equação:

$$\text{Ferro heme } (\mu\text{g/g de carne}) = A_{640} \times 680 \times 0,0882$$

Equação 5

Onde:

A_{640} = absorbância medida a 640 nm

4.5.5 Capacidade de retenção de água (CRA) dos hambúrgueres bovinos

A CRA foi determinada mediante o posicionamento de amostras dos hambúrgueres com aproximadamente 300 mg em papel filtro previamente pesado (P1), e prensadas por cinco minutos, utilizando-se um peso de 3,4 kg. Após a prensagem, as amostras de músculo foram removidas e o papel foi novamente pesado (P2), foram realizadas medições em triplicata nos quatro tratamentos. A CRA foi calculada com auxílio da fórmula (equação 6), segundo método proposto por Sierra (1973).

$$\text{CRA}(\%) = (P2 - P1)/S \times 100$$

Equação 6

Onde:

S = peso da amostra.

4.5.6 Perda de peso por cocção dos hambúrgueres bovinos

Os hambúrgueres foram assados em forno pré-aquecido a temperatura de 200 °C, até atingir 70 °C no centro geométrico, sendo a temperatura monitorada por meio de um termômetro especializado para cocção de carne (Acurite 00993st). As perdas durante a cocção foram calculadas pela diferença de peso das amostras antes e depois da cocção e expressas conforme a equação 7 (Duckett *et al.*, 1998).

$$\% \text{ Perda por cozimento} = \frac{\text{Peso da amostra cozida}}{\text{Peso da amostra crua}} \times 100$$

Equação 7

4.6 Análise de dados

Estatística 1

O delineamento utilizado foi um experimento de comparação simples entre os dois tipos de filmes, sem a interação de outras variáveis. Ambos os filmes foram testados sob as mesmas condições e os resultados fossem exclusivamente atribuíveis às diferenças nos materiais dos filmes.: A análise dos dados foi realizada utilizando testes estatísticos paramétricos. O teste de t de Student foi empregado para comparar as médias das propriedades mecânicas dos dois filmes, O valor de p foi utilizado para avaliar a significância estatística das diferenças entre os filmes, considerando um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) através do software SAS (OnDemand for Academics, EUA, 2025).

Estatística 2

Os hambúrgueres bovinos foram distribuídos aleatoriamente em delineamento inteiramente casualizado, distribuídos em esquema fatorial 3×4 , com três tratamentos e quatro tempos de armazenamento dos hambúrgueres bovinos (0, 3, 6 e 9 dias) e as repetições de acordo com as análises realizadas. O seguinte modelo estatístico foi usado: $Y_{ijk} = u + O_i + T_j + (OT)_{ij} + E_{ijk}$ (onde: u é a média geral, O_i é o efeito da adição de filme de cebola comestível, T_j é o efeito da vida útil ou armazenamento, $(OT)_{ij}$ é a interação entre filme de cebola comestível e vida útil e E_{ijk} é erro aleatório. Os resultados foram expressos com valor de P . Os dados foram avaliados estatisticamente usando o software SAS (OnDemand for Academics, EUA, 2025). As médias de três dos grupos foram comparadas usando o teste t de Student. Os dados estatísticos foram considerados significativos quando $p < 0,05$.

5 RESULTADOS

Como resultado da presente dissertação foi produzido um (1) manuscrito em processo de submissão.

5.1

Manuscrito: Caracterização Comparativa de Filmes Biodegradáveis à Base de Cebola Branca e Cebola Roxa (*Allium cepa* L.): Avaliação de sua Eficiência na Conservação de Hambúrgueres Bovinos

CARNE CARACTERIZAÇÃO COMPARATIVA DE DOIS FILMES ATIVOS BIODEGRADÁVEIS: UM À BASE DE CEBOLA BRANCA E OUTRO DE CEBOLA ROXA (*Allium cepa* L.) E SUA APLICABILIDADE NA CONSERVAÇÃO DE HAMBÚRGUERES BOVINOS

Periódico a ser submetido (1ª submissão):	<i>Meat Science</i> ISSN: 1873-4138
Maior percentil (Scopus):	96% Food Science
Periódico a ser submetido (2ª submissão):	<i>Polymers</i> ISSN: 2073-4360
Maior percentil (Scopus):	45% General Chemical Engineering

RESUMO

Os filmes biodegradáveis são uma alternativa para conservar alimentos, mantendo ou aprimorando características sensoriais e reduzindo o impacto ambiental de embalagens. Este estudo caracterizou e avaliou os efeitos da aplicação de filmes biodegradáveis à base de cebola branca e roxa (*Allium cepa* L.) em hambúrgueres de carne bovina. Para isso foram caracterizados dois tipos de filmes, um à base de cebola roxa (CR) e outro de cebola branca (CB). Esses filmes foram aplicados sobre hambúrgueres de carne bovina e a qualidade dos hambúrgueres revestidos foi avaliada em quatro intervalos de tempo (dias 0, 3, 6 e 9). Foram analisados as propriedades mecânicas, as características físico-químicas, o comportamento térmico, a permeabilidade ao vapor d'água, a umidade, a espectrometria de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), a oxidação lipídica, bem como a ação antioxidante dos filmes. Os filmes CB apresentaram melhores características mecânicas (força máxima, tensão de ruptura e módulo elástico em comparação ao filme de CR). Porém nos parâmetros de espessura e na permeabilidade ao vapor d'água, atividade antioxidante medida pelo DPPH e ABTS o filme CR apresentou valores melhores. Quanto ao comportamento térmico (TG/DTG-DSC), pequenas diferenças foram observadas em temperaturas mais elevadas, resultando em variações sutis na perda de massa final e na massa residual. Ao longo do armazenamento foi observado diferença no índice de luminosidade, coloração vermelha, amarela e saturação, tendo o filme CR estabilizado melhor a cor vermelha dos hambúrgueres, os filmes ajudaram a preservar a cor, evitando que a carne ficasse com uma cor exageradamente saturada, desejável para uma carne de melhor qualidade. O teor de ferro heme nos hambúrgueres ao longo do armazenamento apresentou uma diminuição rápida no controle, enquanto essa diminuição foi mais lenta e estável nos hambúrgueres com filme, tendo o filme CR mantido maior concentração de ferro heme. Em comparação com o filme controle, os filmes de cebola reduziram o pH dos hambúrgueres e apresentaram menores perdas por cocção e maior capacidade de retenção de água (CRA) e oxidação lipídica. Portanto, o filme CR se mostrou mais eficaz na conservação dos hambúrgueres bovinos, sendo capaz de retardar as alterações e estabilizar os parâmetros avaliados, especialmente no que se refere à oxidação lipídica, qualidade sensorial. Assim, os filmes de cebola são

promissores na conservação e qualidade dos hambúrgueres bovinos, com melhor capacidade antioxidante e de preservação para o filme CR, sendo uma alternativa sustentável para embalagens comestíveis na indústria alimentícia e redução do desperdício de alimentos.

Palavras-chaves: *Antioxidante. Allium cepa L. Carne bovina. Conservação.. Filmes comestíveis.*

ABSTRACT

Biodegradable films are an alternative for preserving food, maintaining or enhancing sensory characteristics while reducing the environmental impact of packaging. This study characterized and evaluated the effects of applying biodegradable films based on white and red onion (*Allium cepa* L.) to beef burgers. Two types of films were characterized: one based on red onion (RO) and the other on white onion (WO). These films were applied to beef burgers, and the quality of the coated burgers was assessed at four-time intervals (days 0, 3, 6, and 9). The study analyzed mechanical properties, physicochemical characteristics, thermal behavior, water vapor permeability, moisture content, Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), lipid oxidation, and the antioxidant action of the films. The WO films exhibited better mechanical properties (higher maximum force, tensile strength, and elastic modulus compared to the RO film). However, regarding thickness, water vapor permeability, and antioxidant activity measured by DPPH and ABTS, the RO film showed better values. In terms of thermal behavior (TG/DTG-DSC), minor differences were observed at higher temperatures, resulting in slight variations in final mass loss and residual mass. Throughout storage, differences were observed in lightness, red and yellow coloration, and saturation index, with the RO film better stabilizing the red color of the burgers. The films helped preserve the color, preventing excessive saturation, which is desirable for higher-quality meat. The heme iron content in the burgers showed a rapid decrease in the control group during storage, whereas this reduction was slower and more stable in the film-coated burgers, with the RO film maintaining a higher heme iron concentration. Compared to the control film, the onion-based films lowered the pH of the burgers, resulted in lower cooking losses (CL), and exhibited higher water-holding capacity (WHC) and reduced lipid oxidation. Therefore, the RO film proved to be more effective in preserving beef burgers, as it was capable of delaying changes and stabilizing the evaluated parameters, especially in terms of lipid oxidation and sensory quality. Thus, onion-based films show promise for preserving the quality of beef burgers, with the RO film demonstrating superior antioxidant capacity and preservation potential. These films represent a sustainable alternative for edible packaging in the food industry, contributing to food waste reduction.

Keywords: *Antioxidant; Beef; Bioplastics from Allium cepa L; Conservation; Edible Coating*

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com os impactos ambientais gerados pelo uso de polímeros sintéticos derivados de fontes fósseis tem impulsionado a busca por materiais biodegradáveis e sustentáveis na indústria de embalagens alimentícias (Soares *et al.*, 2022). Apesar de suas propriedades vantajosas, como baixo custo, resistência mecânica e versatilidade, os plásticos convencionais apresentam limitações críticas, incluindo baixa taxa de degradação e dificuldades associadas ao reaproveitamento industrial, o que compromete sua viabilidade em longo prazo (Cox *et al.*, 2019). Diante desse cenário, o desenvolvimento de filmes biodegradáveis e embalagens comestíveis surge como uma estratégia promissora para mitigar impactos ambientais, reduzir a dependência de polímeros sintéticos e aprimorar a conservação de alimentos (Bartolucci *et al.*, 2023).

Entre os biomateriais emergentes, a cebola (*Allium cepa* L.) tem se destacado como uma matriz promissora para a formulação de filmes biodegradáveis, devido à sua abundância, baixo custo e composição estrutural rica em polissacarídeos (celulose, hemicelulose e pectinas), os quais conferem propriedades mecânicas adequadas para formação de biopolímeros estruturais (Lopez-Sanchez *et al.*, 2020; O'donoghue *et al.*, 2004). Além disso, a cebola contém compostos fenólicos e flavonoides, com destaque para a quercetina, um antioxidante de alto desempenho, capaz de reduzir a peroxidação lipídica e conferir maior estabilidade oxidativa a produtos perecíveis (Marefati *et al.*, 2021; Bains *et al.*, 2023).

A composição bioativa da cebola apresenta variações entre suas diferentes variedades, impactando diretamente suas propriedades tecnológicas e funcionais. A cebola roxa, por exemplo, contém maiores concentrações de antocianinas e resveratrol, ampliando sua capacidade antioxidante e antimicrobiana, enquanto a cebola branca apresenta um perfil distinto de compostos fenólicos, influenciando sua resistência mecânica e permeabilidade ao vapor de água (Zhan *et al.*, 2016; Oliveira *et al.*, 2022). Tais diferenças estruturais podem afetar a estabilidade térmica, a funcionalidade e a aplicabilidade dos filmes em embalagens biodegradáveis, tornando fundamental a realização de estudos comparativos para a otimização dessas formulações.

A aplicação de filmes comestíveis à base de cebola em produtos cárneos, particularmente em hambúrgueres bovinos, representa uma abordagem inovadora para preservação da qualidade sensorial e microbiológica, retardando processos de oxidação lipídica e crescimento microbiano (Slimestad; Fossen; Vagen, 2007). Estudos demonstram que revestimentos de cebola branca foram eficazes na estabilização da coloração e inibição da deterioração microbiológica em produtos cárneos (Soares, 2022). Entretanto, a ausência de investigações comparativas abrangentes sobre as

propriedades mecânicas, antioxidantes e de barreira dos filmes de diferentes tipos de cebola justifica a necessidade de aprofundamento científico para determinar sua eficiência e aplicabilidade em larga escala.

Dessa forma, este estudo tem como objetivo avaliar e comparar as propriedades físico-químicas e funcionais dos filmes comestíveis à base de cebola branca e cebola roxa, investigando sua eficácia na conservação de hambúrgueres bovinos. Serão analisados parâmetros críticos, incluindo estabilidade oxidativa, modificação da coloração, pH, perda por cocção e capacidade de retenção de água, a fim de estabelecer a viabilidade desses filmes como alternativas sustentáveis às embalagens plásticas convencionais. A elucidação dessas propriedades permitirá otimizar a formulação de biomateriais ativos, contribuindo para a inovação na conservação de alimentos e redução do impacto ambiental associado ao uso de polímeros sintéticos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Preparação do filme à base de cebola

Os filmes foram produzidos e fornecidos pela empresa BioSmart Nanotechnology (BioSmart®, Araraquara, São Paulo, Brasil). Fabricados utilizando Cebolas (*Allium cepa* L.), um dos tipos de filmes a partir da cebola branca e o outro tipo de filme a partir da roxa, obtidos conforme metodologia descrita para filmes comestíveis sem lavagem ou retirada de solúveis (Dos Santos Dias *et al.*, 2020).

2.2 Caracterização das propriedades físicas, físico-químicas e mecânicas dos filmes

2.2.1 Permeabilidade ao vapor d'água (pva) dos filmes de cebola

A permeabilidade dos filmes foi determinada utilizando o método dessecante, conforme a norma ASTM E 96/E 96M – 05 (ASTM, 2005), com algumas adaptações. Para isso, potes plásticos contendo 15 g de cloreto de cálcio anidro foram selados hermeticamente na junção entre o filme e o pote, utilizando fita adesiva. Os potes foram acondicionados em câmara dessecadora contendo solução saturada de cloreto de sódio em seu interior, em temperatura média de 25,7°C e umidade relativa média de 63,6%. E então o peso foi registrado em duas pesagens diárias até um total de 30 pesagens. O ganho de peso, associado à umidade permeada pelo filme, em função do tempo foi representado graficamente e, os pontos correspondentes ao trecho linear foram usados para cálculo da taxa de transmissão ao vapor de água (TTVA), permeância e permeabilidade, conforme equações abaixo:

$$TTVA(g/h.m^2) = \frac{G}{t} \times A$$

Equação 1

Onde:

G/t = coeficiente angular do trecho linear da reta ganho de peso *versus* tempo (g/h)

A = área do filme por onde o vapor de água pode permear (m²)

$$permeância(g/h.m^2.mmHg) = \frac{TTVA}{\Delta P} = \frac{TTVA}{S(R_1 - R_2)}$$

Equação 2

Onde:

ΔP = diferença de pressão de vapor (mmHg)

S = pressão de vapor de saturação na temperatura do teste (mmHg):

R₁ = umidade relativa na câmara dessecadora expressa como uma fração

R₂ = umidade relativa no interior dos potes vedados com o filme expressa como uma fração (0% desde que a umidade do cloreto de cálcio não seja superior a 10%)

$$permeabilidade(g/h.m.mmHg) = permeância \times e$$

Equação 3

Onde:

e = espessura do filme (m)

2.2.2 Determinação de umidade por infravermelho dos filmes de cebola

A determinação de umidade por infravermelho foi realizada conforme o método descrito por Park *et al.* (2007), utilizando a balança modelo MX-50 MOISTURE ANALYZER (A&D Instruments, EUA). A amostra do filme foi cortada em pequenos pedaços e colocada em um prato de alumínio. O equipamento permitiu a evaporação de água do analito, com a quantificação da massa durante o processo. As amostras foram mantidas a 105 °C, e a balança foi calibrada para essa faixa de temperatura.

2.2.3 Propriedades mecânicas dos filmes de cebola

A caracterização mecânica dos filmes foi realizada utilizando equipamento DL-2000MF (EMIC, BRA) de acordo com a norma ASTM D882-09 (ASTM, 2009). A velocidade de extensão foi de 50 mm-min e uma célula de carga 100 N foi usada. Filmes pré-condicionados (50% UR a 23 °C) em uma solução saturada de nitrato de magnésio por 48h.

Foram submetidos a ensaios mecânicos para avaliação da tensão máxima, deformação na ruptura, deformação máxima e módulo de elasticidade, de acordo com a norma ASTM D882-09 (ASTM, 2009), utilizando a máquina Universal de Testes Mecânicos DL-200MF (EMIC, BRA). Foram testados dez corpos de prova de cada tratamento, seguindo as dimensões 9,0 cm (tamanho do corpo de prova); 5,0 cm (distância entre as garras) e 2,5 cm (largura). A máquina foi operada com célula de carga de 1 kN a uma velocidade de tração de 5 mm/min.

2.2.4 Determinação da espessura dos filmes de cebola

A espessura dos filmes foi realizada de acordo com metodologia adaptado por Luchese *et al.* (2015) utilizando Micrômetro Externo Digital IP65 (Mitutoyo, BRA), por meio de média aritmética de 10 medições e em cada filme medindo em 3 (três) pontos distintos na superfície do filme, sendo um no centro do filme e os demais pontos distribuídos equitativamente próximos à borda dos filmes.

2.2.5 Análise termogravimétrica/ termogravimetrica derivada e calorimetria exploratória diferencial (TG/DTG-DSC) dos filmes de cebola

Curvas TG/DTG-DSC das amostras foram obtidas em equipamento SDT Q600 (TA Instruments, EUA) com razão de aquecimento de 10 °C/min de temperatura ambiente até 610°C, sob um fluxo de nitrogênio de 100 mL/min. Foi utilizado cadinho de alumina e massa de amostra em torno de 7 mg (Ruggero *et al.*, 2020).

2.2.6 Espectroscopia de infravermelho em modo de refletância total atenuada (FTIR-ATR) dos filmes de cebola

As amostras foram analisadas por FTIR-ATR, utilizando o espectrômetro Cary 630 FTIR (Agilent, EUA) em modo de transmitância na região de 4000 a 500 cm⁻¹ com resolução de 4 cm⁻¹ e 32 varreduras em modo ATR (refletância total atenuada) (Campos *et al.*, 2014).

2.3 Avaliação da atividade antioxidante dos filmes de cebola

A atividade antioxidante do filme de cebola roxa e cebola branca foi avaliada utilizando o método de eliminação do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) descrito por De Veras *et al.* (2020). As análises foram realizadas em triplicata e as atividades de inibição foram calculadas com base na porcentagem de DPPH removido. Um análogo da vitamina E (Trolox®) foi usado como padrão. O percentual de inibição (I%) foi calculado utilizando a seguinte equação: $I\% = [(Ac - As)/(Ac)] \times 100$, onde Ac é a absorbância do controle e As é a absorbância da amostra. Densidade

optica (OD) foi medida no comprimento de 515nm por espectrofotometria (PerkinElmer Lambda 35 UV/VIS). Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

A atividade antioxidante dos filmes de cebola roxa e cebola branca foram avaliadas pelo ensaio ABTS (ácido 2,2'-azino-bis 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) e foi baseada na geração do radical cromóforo catiônico obtido a partir da oxidação do ABTS (De Veras *et al.*, 2020). As medições foram realizadas em triplicata e as atividades de inibição foram calculadas com base na porcentagem de ABTS removido. Um análogo da vitamina E (Trolox®) foi usado como padrão. A porcentagem de inibição (I%) foi calculada usando a seguinte equação: $I\% = [(Ac - As)/(Ac)] \times 100$, onde Ac é a absorbância do controle e As é a absorbância da amostra. Densidade optica (OD) foi medida no comprimento de 734nm por espectrofotometria (PerkinElmer Lambda 35 UV/VIS). Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

2.4 Processos de preparação e aplicação dos filmes em hambúrgueres bovinos

As amostras de carne bovina utilizadas na formulação dos hambúrgueres foram adquiridas de um frigorífico localizado em Salvador, Bahia, e transportadas sob condições refrigeradas até os laboratórios responsáveis pelas análises: Laboratório de Pescado e Cromatografia Aplicada (LAPESCA) e Laboratório de Inspeção e Tecnologia de Carnes e Derivados (LABCARNE), onde foram conduzidas as avaliações laboratoriais e os testes de estabilidade durante o armazenamento.

Os hambúrgueres foram formulados utilizando músculo quadríceps femoral (*Quadriceps femoris*), seguindo a metodologia descrita por Ramos *et al.* (2021), na proporção de 80% de carne bovina e 20% de gordura suína (bacon). As matérias-primas foram pesadas individualmente, moídas em disco de 9 mm utilizando um moedor de carne ECCEL® (modelo MCIE-10) e acondicionadas em recipientes plásticos devidamente identificados.

A homogeneização da massa foi realizada manualmente, sob condições controladas de higiene e com o uso de luvas descartáveis estéreis, durante 20 minutos. Após a mistura, a massa foi mantida sob refrigeração (4 °C) por 12 horas, a fim de promover melhor integração dos componentes estruturais e estabilização da emulsão lipídica. Posteriormente, os hambúrgueres foram moldados em uma prensa manual, utilizando 100 g da massa para cada unidade, com diâmetro padronizado de 9,5 cm.

Os filmes comestíveis foram aplicados diretamente sobre a superfície dos hambúrgueres, os quais foram embalados em plástico específico para armazenamento refrigerado (4 °C) e identificados. As amostras foram submetidas a análises nos tempos 0, 3, 6 e 9 dias, conforme as recomendações metodológicas para avaliação da estabilidade oxidativa e microbiológica durante a vida útil (De Gouvêa *et al.*, 2016).

Figura 1 – *Blend* e moldagem dos hamburgueres.



Fonte: Autor, 2024.

2.5 Caracterização de parâmetros de qualidade dos hamburgueres bovinos

2.5.1 Avaliação da Oxidação Lipídica dos hamburgueres bovinos

A oxidação lipídica foi estimada em triplicata usando o ensaio de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) de acordo com o método descrito por Triki *et al.* (2013) com pequenas modificações. Cada amostra (5 g) foi homogeneizada em 35 ml de ácido tricloroacético 7,5% (Êxodo Científica, São Paulo, Brasil) por 30 segundos em um Stomacker (LS Logen 1901, Logen Científica, São Paulo, Brasil). Depois disso, a mistura foi filtrada, e então 5 ml foram coletados e misturados com 5 ml de ao ácido tiobarbitúrico 20 mM. (TBA) (Êxodo Científica). Por fim, a solução foi mantida no escuro a $20 \pm 1,5$ °C durante 20 horas. A cor formada foi determinada espectrofotometricamente (SP-22, Biospectro, Curitiba, Brasil) a 532 nm. A curva de calibração foi obtida com 1,1,3,3-tetraetoxipropano e os resultados foram expressos em miligramas de malondialdeído (MDA)/kg de amostra hambúrguer bovino, em cada um dos quatro tempos de maturação avaliados.

2.5.2 Avaliação da cor dos hamburgueres bovinos

Os índices de cor dos hambúrgueres de carne bovina foram avaliados conforme Ramos e Gomide (2009) e AMSA (2012) nos tempos referidos a partir da padronização na espessura de 1 cm, seguido de exposição ao ar por 30 min em ambiente refrigerado (4 °C) as leituras foram avaliadas com o auxílio de um colorímetro (Konica Minolta, modelo CR-400), operando no sistema

CIELAB (L^*, a^*, b^*), onde L^* é a luminosidade, variando de preto (0%) a branco (100%); a^* é a intensidade da cor vermelha, variando de verde ($-a$) a vermelho ($+a$); e b^* a intensidade da cor amarela, variando de azul ($-b$) a amarelo ($+b$). A porta de abertura foi com tampa de vidro e as amostras de hambúrguer de carne foram medidas com o iluminante D65. Este dispositivo foi calibrado antes de cada análise com um azulejo branco padrão. Três medidas foram realizadas em diferentes pontos dos hambúrgueres de carne bovina, usando os valores médios para representar a cor. A determinação do índice de saturação de cor (Chroma C^*) utilizou a equação descrita por Suman, *et al.*, 2014.

$$*C (croma) = (a^{*2} + b^{*2})^{0,5}$$

Equação 4

2.5.3 Avaliação do pH dos hamburgueres bovinos

O pH foi determinado com auxílio de um pHmetro (HANNA HI981036), introduzido em uma amostra até sua estabilização (Zapata et al., 2000).

2.5.4 Teor total de ferro heme dos hamburgueres bovinos

O teor total de ferro heme foi determinado conforme descrito por Jridi *et al.* (2018), para esse processo 5 g de cada amostra de hambúrguer bovino, em triplicata, foi homogeneizado com 18 mL de acetona acidificada (90% acetona, 8% água deionizada, 2% HCl). Em seguida, o homogenato foi colocado por 1 h a 25°C no escuro e posteriormente centrifugado (Himac CR22N) em 1,2 rpm em 4 °C por 20 min. A absorbância do filtrado foi determinada a 640 nm por espectrofotometria (PerkinElmer Lambda 35 UV/VIS). A quantidade de ferro heme foi expressa em µg/g de hambúrguer bovino e calculada pela seguinte equação:

$$\text{Ferro heme } (\mu\text{g/g de carne}) = A_{640} \times 680 \times 0,0882$$

Equação 5

Onde:

A_{640} = absorbância medida a 640 nm

2.5.5 Capacidade de retenção de água (CRA) dos hambúrgueres bovinos

A CRA foi determinada mediante o posicionamento de amostras dos hambúrgueres com aproximadamente 300 mg em papel filtro previamente pesado (P1), e prensadas por cinco minutos, utilizando-se um peso de 3,4 kg. Após a prensagem, as amostras de músculo foram removidas e o papel foi novamente pesado (P2), foram realizadas medições em triplicata nos quatro tratamentos. A CRA foi calculada com auxílio da fórmula (equação 6), segundo método proposto por Sierra (1973).

$$CRA(\%) = (P2 - P1)/S \times 100$$

Equação 6

Onde:

S = peso da amostra.

2.5.6 Perda de peso por cocção dos hambúrgueres bovinos

Os hambúrgueres foram pesados inicialmente em seguida a cocção das amostras através de um *grill* pré-aquecido a temperatura de 200 °C, até atingir 70 °C no centro geométrico, sendo a temperatura monitorada por meio de um termômetro especializado para cocção de carne (BGR27I 2). As perdas durante a cocção foram calculadas pela diferença de peso das amostras antes e depois da cocção e expressas conforme a equação 7 (Duckett *et al.*, 1998).

$$\% \text{ Perda por cozimento} = \frac{\text{Peso da amostra cozida}}{\text{Peso da amostra crua}} \times 100$$

Equação 7

2.6 Análise de dados

Estatística 1

O delineamento utilizado foi um experimento de comparação simples entre os dois tipos de filmes, sem a interação de outras variáveis. Ambos os filmes foram testados sob as mesmas condições e os resultados fossem exclusivamente atribuíveis às diferenças nos materiais dos filmes.: A análise dos dados foi realizada utilizando testes estatísticos paramétricos. O teste de *t* de Student foi empregado para comparar as médias das propriedades mecânicas dos dois filmes, O valor de *p* foi utilizado para avaliar a significância estatística das diferenças entre os filmes, considerando um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) através do software SAS (OnDemand for Academics, EUA, 2025).

Estatística 2

Os hambúrgueres bovinos foram distribuídos aleatoriamente em delineamento inteiramente casualizado, distribuídos em esquema fatorial 3×4 , com três tratamentos e quatro tempos de armazenamento dos hambúrgueres bovinos (0, 3, 6 e 9 dias) e as repetições de acordo com as análises realizadas. O seguinte modelo estatístico foi usado: $Y_{ijk} = u + O_i + T_j + (OT)_{ij} + E_{ijk}$ (onde: u é a média geral, O_i é o efeito da adição de filme de cebola comestível, T_j é o efeito da vida útil ou armazenamento, $(OT)_{ij}$ é a interação entre filme de cebola comestível e vida útil e E_{ijk} é erro aleatório. Os resultados foram expressos com valor de P. Os dados foram avaliados estatisticamente usando o software SAS (OnDemand for Academics, EUA, 2025). As médias de três dos grupos foram comparadas usando o teste t de Student. Os dados estatísticos foram considerados significativos quando $p < 0,05$.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização das propriedades mecânicas dos filmes de cebola

Foi identificado que com relação aos parâmetros mecânicos como Força máxima, Tensão de ruptura, módulo elástico e alongamento na força máxima dos dois tipos de filmes. Foi identificado que Filmes de cebola roxa e branca apresentaram diferença para força máxima ($P=0,0059$), tensão na ruptura ($P=0,0165$) e módulo elástico ($P=0,0033$), sendo os valores encontrados para o filme de cebola branca maiores na força máxima (32,5 N), tensão na ruptura (3,99Mpa) e módulo elástico (37,9 Mpa). Além disso, a espessura dos filmes diferiu de forma significativa ($P<0,0001$), os tipos cebola branca e roxa apresentaram valores de 0,38 mm e 0,45 mm, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1 – Caracterização das propriedades físicas e mecânicas dos filmes à base de cebola roxa e branca

Caracterização Item	Filme		CV	EPM	P-Valor
	Cebola Branca	Cebola Roxa			
Força máxima (N)	32,5 ^A	23,1 ^B	24,25	2,77	0,0059
Tensão na ruptura (Mpa)	3,99 ^A	2,65 ^B	31,83	0,47	0,0165
Módulo elástico (Mpa)	37,9 ^A	35,0 ^B	24,05	3,45	0,0033
Alongamento na força máxima (%)	9,13 ^A	9,59 ^A	6,16	0,30	0,1553
Espessura (mm)	0,38 ^B	0,45 ^A	9,96	0,01	<0,0001
PVA gmm/m ² diakPa	1,85 ^B	2,61 ^A	19,86	0,14	0,0055
Umidade (%)	19,0 ^A	19,3 ^A	4,99	0,61	0,7896

Legenda - CV: Coeficiente de Variação, EPM: Erro Padrão da Média. As médias na mesma linha com diferentes letras maiúsculas ABCD diferem significativamente ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey. Permeabilidade ao vapor de água (PVA), Umidade, Espessura E Propriedades mecânicas valores descritos em média \pm desvio padrão ($n = 10$).

Fonte: Autor, 2024.

Neste estudo, foi verificado que o revestimento à base de cebola roxa apresentou maior permeabilidade ao vapor de água, com valor de 2,61 gmm/m²diakPa, apresentando diferenças estatisticamente significativas ($P=0,0055$) em relação ao revestimento de cebola branca (Tabela 1). O revestimento à base de cebola branca apresentou menor permeabilidade ao vapor de água, indicando maior eficiência como barreira à umidade. Já a umidade dos filmes à base de cebola roxa e branca não apresentou diferenças significativas, com valores de $P=0,7896$. O teor de umidade foi de 19,0% para a cebola branca e 19,3% para a cebola roxa. Esses valores indicam que ambas as amostras possuem frações semelhantes de água incorporada em sua estrutura.

3.2 Curvas TG/DTG-DSC dos filmes de cebola

A Tabela 2 apresenta as etapas de degradação térmica de cada amostra, que demonstram o perfil térmico semelhante até aproximadamente 265 °C. A primeira etapa de perda de massa foi até 120 °C, o que pode ser atribuído a umidade residual ainda presente e de outros componentes voláteis originados no processo de produção dos filmes. De 120 até 169 °C, ocorreu a perda de massa de 16,3%. A terceira etapa, entre 169 e 265 °C, apresentou a maior degradação em massa, cerca de 24,9% para ambas as amostras. Acima dessas temperaturas (367 °C), a perda de massa diminuiu gradativamente, com um perfil característico da decomposição térmica da celulose e de frações da lignina, apresentando diferenças mínimas entre a cebola branca e a cebola roxa. Ao final da análise, as massas residuais foram de 30,3% para a cebola branca e 28,5% para a cebola roxa (Tabela 2).

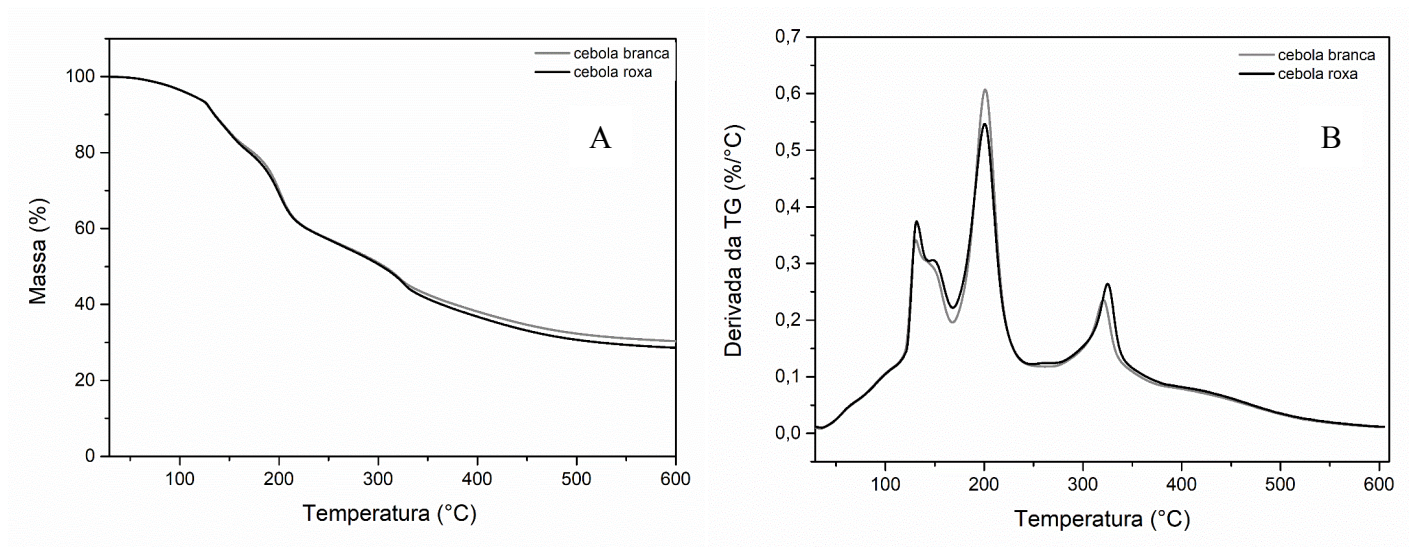
Tabela 2 – Valores de variação de perda de massa (Δm) em função da variação da temperatura (ΔT), e de massa residual ao final da análise térmica dos filmes a base de cebola.

Eventos	Cebola branca		Cebola roxa	
	ΔT (°C)	Δm (%)	ΔT (°C)	Δm (%)
1	29 – 120	3,6	29 – 100	3,6
2	120 - 169	16,3	100 - 169	16,3
3	169 – 265	24,9	169 – 265	24,9
4	265 – 367	14,4	265 – 367	15,6
5	367 – 483	7,9	367 – 483	8,3
6	483 – 604	2,6	483 - 604	2,8
Massa residual	30,3		28,5	

Fonte: Autor, 2024.

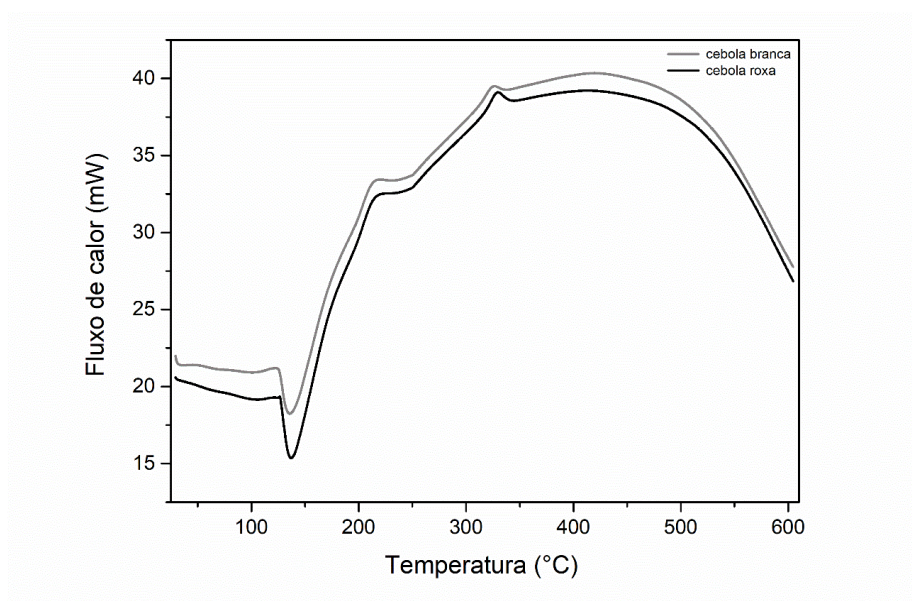
Figura 2 representa graficamente a perda de massa dos filmes de cebola. A figura 2-B demonstra os bandos de perda de massa ao longo do aquecimento, indicando os principais eventos de perda de massa, semelhante para ambos os filmes testados. Já as curvas DSC (Figura 3) apresentam pico endotérmico largo até 120 °C e pico endotérmico mais intenso próximo de 140 °C e entre 200 e 500 °C teve-se picos endotérmicos de baixa intensidade.

Figura 2 – Curvas de TG (A) das amostras de cebola branca e cebola roxa. Curvas de DTG (B) das amostras de cebola branca e cebola roxa.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 3 – Curva de aquecimento Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) das amostras de filmes de cebola branca e cebola roxa.



Fonte: Autor, 2024.

3.3 Atividade antioxidante dos filmes de cebola

A atividade de eliminação do radical DPPH e ABTS tiveram diferença do filme de cebola branca ($P=0,0029$) e roxa ($P=0,0213$) (Tabela 3). Nesse estudo o radical DPPH teve maior ação antioxidante, mas a cebola branca apresentou menor atividade antioxidante, já na cebola roxa evidenciou uma maior atividade antioxidante, o que pode ser benéfico na conservação.

Tabela 3 – Caracterização da atividade antioxidante dos filmes à base de cebola roxa e branca

Caracterização	Filme		CV	EPM	P-valor
	Cebola Branca	Cebola Roxa			
DPPH (%)	76,7 ^B	85,7 ^A	6,38	0,99	0,0029
ABTS (%)	50,8 ^B	63,8 ^A	13,60	2,92	0,0213

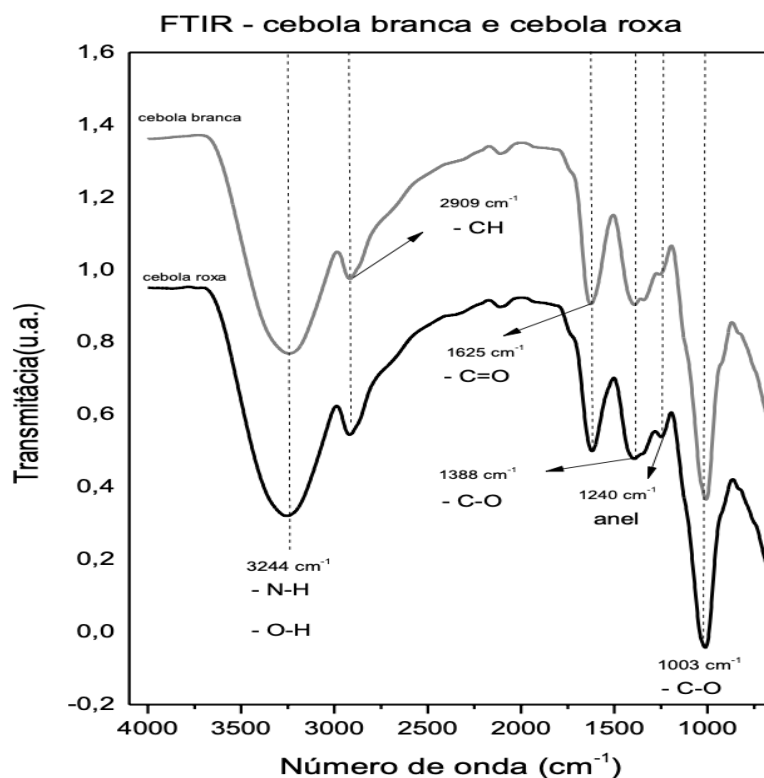
Legenda - CV: Coeficiente de Variação, EPM: Erro Padrão da Média., DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidrazil e ABTS-2,2'-azinobis, ABTS: 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico). As médias na mesma linha com diferentes letras maiúsculas AB diferem significativamente ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor, 2024.

3.4 Espectroscopia de infravermelho com reflectancia total atenuada dos filmes de cebola

A espectroscopia no infravermelho (FTIR) dos filmes é um indicativo das diferenças moleculares na composição entre a cebola branca e a cebola roxa (Figura 4), o perfil do espectro foi semelhante entre os filmes, diferindo na intensidade das bandas - estiramento e encurtamento em diferentes n° de onda (cm^{-1}).

Figura 4 – Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FT-IR) para as amostras de filmes de cebola branca (curva cinza) e cebola roxa (curva preta).



Fonte: Autor, 2024.

3.5 Parâmetros de qualidade dos hambúrgueres

Houve interações entre o tipo de filme aplicado e o tempo de armazenamento dos hambúrgueres ($P < 0,0001$) para todos os parâmetros de cor. O parâmetro luminosidade dos hambúrgueres de com filmes de cebola branca apresentaram aumento com o tempo de estocagem de 43,65 no início para 51,48 no 9º dia. A aplicação do filme melhorou a cor da carne, mas com o excesso de luminosidade pode influenciar na oxidação da carne, na cebola roxa a Luminosidade variou de 42,99 no início para 45,85 no 9º dia, com um aumento, menos pronunciado do que na cebola branca (Tabela 4). Conforme explicado por Ugalde (2014), valores próximos de 100 para luminosidade, indicam uma superfície mais clara, o que, neste caso, pode estar relacionado aos tons amarelados e amarronzados observados nos filmes (Figura 5).

No controle (sem filme) não foram observadas grandes variações, porém com maior estabilidade da luminosidade nos primeiros dias de armazenamento. Durante os demais tempos de avaliação, as variações observadas podem refletir deterioração acentuada.

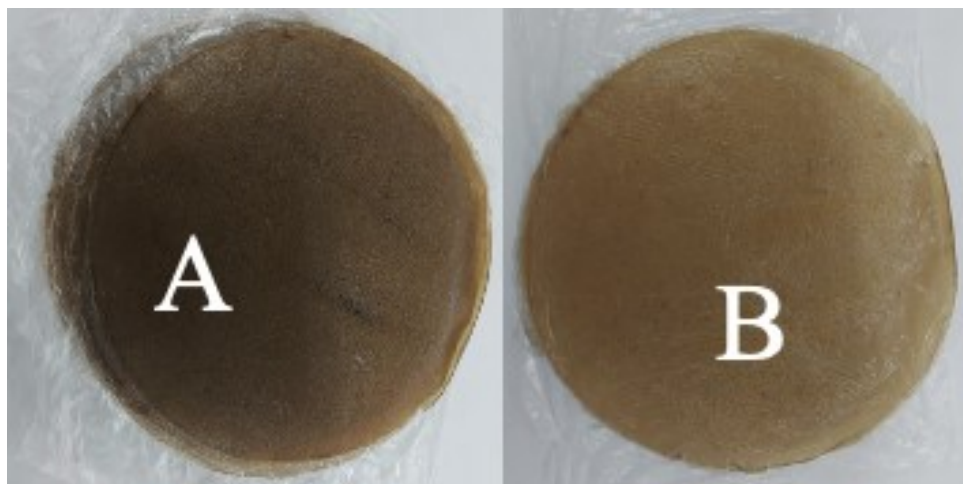
Tabela 4 – Parâmetros de cor de hambúrgueres bovinos com filmes comestíveis de cebola branca e roxa, durante o armazenamento refrigerado (4°C/ 9 dias).

Aplicação do filme		Tempo de estocagem				p-valor			
Índices de Cor	Filme	0	3	6	9	EPM	Filme	Tempo	Filme × Tempo
<i>Luminosity (L*)</i>	Controle	43,19 ^{Aa}	41,02 ^{Cb}	42,04 ^{Bc}	42,47 ^{Bc}	0,347	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Cebola Branca	43,65 ^{Ca}	46,45 ^{Ba}	47,23 ^{Ba}	51,48 ^{Aa}				
	Cebola Roxa	42,99 ^{Ba}	40,75 ^{Cb}	43,69 ^{Bb}	45,85 ^{Ab}				
<i>Redness (a*)</i>	Controle	22,86 ^{Bb}	22,00 ^{Bc}	42,16 ^{Aa}	41,44 ^{Aa}	0,426	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Cebola Branca	21,91 ^{Bb}	26,11 ^{Db}	30,99 ^{Cb}	33,76 ^{Ab}				
	Cebola Roxa	24,87 ^{Ca}	27,87 ^{Ba}	28,74 ^{Bc}	31,84 ^{Ac}				
<i>Yellowness (b*)</i>	Controle	10,16 ^{Ab}	8,43 ^{Bc}	7,43 ^{Cc}	7,99 ^{Bc}	0,229	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Cebola Branca	9,92 ^{Cb}	10,98 ^{Ba}	10,74 ^{Ba}	14,61 ^{Aa}				
	Cebola Roxa	10,90 ^{Aa}	9,13 ^{Bb}	9,34 ^{Bb}	11,51 ^{Ab}				
<i>Chroma (C*)</i>	Controle	33,02 ^{Bb}	30,43 ^{Cb}	49,40 ^{Aa}	49,42 ^{Aa}	0,626	0,0003	<0,0001	<0,0001
	Cebola Branca	31,83 ^{Db}	37,09 ^{Ca}	47,73 ^{Bb}	48,38 ^{Aa}				
	Cebola Roxa	35,77 ^{Ca}	37,00 ^{Ba}	38,09 ^{Bc}	42,99 ^{Ab}				

Legenda - EPM: Erro Padrão da Média; As médias na mesma linha com diferentes letras maiúsculas ABCD diferem significativamente ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey. As médias na mesma coluna com diferentes letras minúsculas abcd diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor, 2024.

Figura 5 – Aplicação dos filmes à base de cebola branca e roxa em hambúrgueres bovinos. A. Filme de cebola roxa; B. Filme de cebola branca.

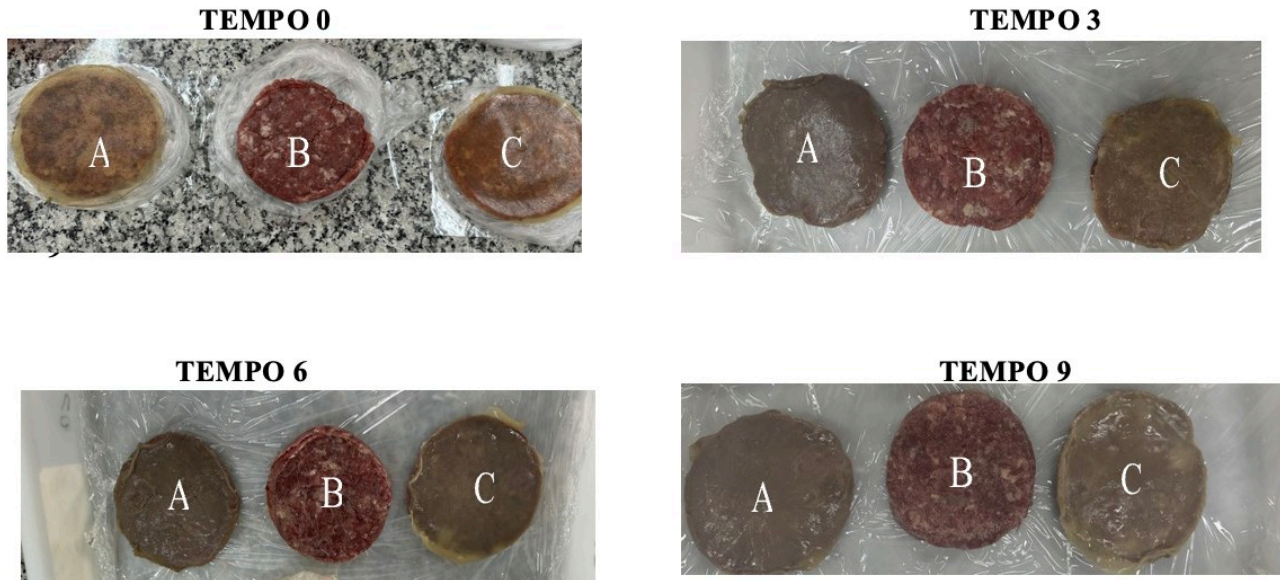


Fonte: Autor, 2024.

As mudanças na cor da carne podem ser influenciadas por fatores como: pH, composição gasosa, pressão parcial de oxigênio, condições de estocagem e o processamento, além das condições do pré-abate, tipo de músculo, seu conteúdo de água, crescimento microbiano, temperatura e luz

(Ribeiro; Silva; Da Silva, 2020). Na figura 6 ilustra as características visuais da aplicação nos dias 0,3,6,e 9 de armazenamento à 4°C.

Figura 6 – Hamburguer de carne com aplicação dos revestimentos de filme de cebola roxa e branca) e sem revestimento nos tempos de armazenamento.



Legenda- A = Aplicado filme de cebola Roxa ;B= Sem filme (Controle) ;C= Aplicado filme de Cebola Branca.

Fonte: Autor, 2024.

Outros parâmetros de qualidade observados estão descritos na Tabela 5. Com a aplicação dos filmes de cebola, o pH dos hamburgueres alteraram, tendo interação com o tempo de aplicação dos filmes ($P < 0,0001$). No controle o pH aumenta ao longo do tempo, passando de 5,74 no início para 6,36 no 6º dia, no 9º dia houve uma leve diminuição. Na cebola branca o pH das carnes com filmes permanece mais constante, com valores mais baixos do que o controle, variando entre 5,82 e 4,88. Na cebola roxa o pH das carnes com filmes permanece mais constante, com valores mais baixos do que o controle, variando entre 5,80 e 4,82.

Outros efeitos observados com a aplicação dos filmes de cebola nos parâmetros de qualidade ao longo do armazenamento, como a capacidade de retenção de água (CRA) no qual Amostras com filmes de cebola branca mantiveram CRA mais estável ao longo do tempo 0, 3, 6 e 9 dias apresentando 25,32, 28,07, 30,03 e 26,10% de CRA, respectivamente (Tabela 5). A perda por cocção (PPC) no hamburguer controle aumentam significativamente de 66,7% no início para 86,99% no 9º dia. Já no tratamento com a cebola branca e roxa: as perdas por cocção são menores

nos filmes de cebola (com variações entre 56,09% a 69,72%), indicando uma melhor retenção de água e lipídios. O filme que teve uma menor PPC foi de cebola roxa (Tabela 5).

No teor de ferro heme observou-se que houve diferença entre os tratamentos e os tempos ($P=0,0054$). No controle o ferro heme diminui ao longo do tempo de 19,87 $\mu\text{g/g}$ no início para 9,04 $\mu\text{g/g}$ no 9º dia. Com a aplicação dos filmes de cebola branca e roxa: o conteúdo de ferro heme também diminui, mas de modo menos acentuada, mantendo-se mais estável ao longo do tempo, com os valores variando entre 10,90 $\mu\text{g/g}$ e 18,7 $\mu\text{g/g}$. Na avaliação por meio da mensuração dos valores de peroxidação lipídica (TBARS) por malonaldeído (MDA) foi observado uma diferença entre os filmes ($P=0,0005$). Sendo observado nas amostras controle que o nível de MDA aumenta significativamente ao longo do tempo (Tabela 5).

Tabela 5 – Parâmetros de índice de qualidade por tempo de armazenamento de hambúrgueres (controle) e revestidos com cebola comestível realizados sob fator de armazenamento (4 °C).

Índices de qualidade	Filmes	Tempo de estocagem				EPM	p-valor		
		0	3	6	9		Filme	Tempo	Filme × Tempo
pH	Controle	5,74 ^{Ca}	6,01 ^{Ba}	6,36 ^{Aa}	6,01 ^{Ba}	0,033	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Cebola Branca	5,82 ^{Aa}	4,95 ^{Bb}	4,88 ^{Bb}	4,95 ^{Bb}				
	Cebola Roxa	5,80 ^{Aa}	4,91 ^{Bb}	4,82 ^{Bb}	4,91 ^{Bb}				
CRA (%)	Controle	22,28 ^{Aa}	26,3 ^{Aa}	22,58 ^{ABb}	21,58 ^{Ba}	1,718	0,002	0,0245	0,0701
	Cebola Branca	25,32 ^{Aa}	28,07 ^{Aa}	30,03 ^{Aa}	26,10 ^{Aa}				
	Cebola Roxa	27,15 ^{Ba}	25,02 ^{Ba}	33,19 ^{Aa}	25,32 ^{Ba}				
Perdas por Cocção (%)	Controle	66,7 ^{Ba}	68,73 ^{Ba}	84,93 ^{Aa}	86,99 ^{Ab}	1,720	<0,0001	<0,0001	0,0001
	Cebola Branca	64,60 ^{Ba}	56,09 ^{Cc}	65,12 ^{ABc}	69,72 ^{Aa}				
	Cebola Roxa	61,73 ^{Ca}	64,77 ^{Bcb}	70,91 ^{Ab}	69,49 ^{ABa}				
Ferro Heme $\mu\text{g/g}$	Controle	19,87 ^{Aa}	11,2 ^{Bb}	10,30 ^{BCb}	9,04 ^{CAb}	0,643	0,0002	<0,0001	0,0054
	Cebola Branca	18,7 ^{Aa}	15,79 ^{Ba}	12,52 ^{Ca}	10,90 ^{Cb}				
	Cebola Roxa	19,01 ^{Aa}	15,67 ^{Ba}	12,65 ^{Ca}	11,32 ^{Ca}				
Oxidação lipídica (MDA)	Controle	0,750 ^{Ca}	1,249 ^{Ba}	1,076 ^{Ba}	1,796 ^{Aa}	0,170	0,0005	0,0001	0,0627
	Cebola Branca	0,155 ^{Aa}	0,510 ^{Ab}	0,524 ^{Ab}	0,643 ^{Ab}				
	Cebola Roxa	0,036 ^{Ba}	0,606 ^{Ab}	0,626 ^{Aab}	0,668 ^{Ab}				

Legenda - EPM: Erro Padrão da Média; MDA: malonaldeído. As médias na mesma linha com diferentes letras maiúsculas ABCD diferem significativamente ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey. As médias na mesma coluna com diferentes letras minúsculas abcd diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey

Fonte: Autor, 2024.

4 DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das propriedades físicas, físico-químicas e mecânicas dos filmes de cebola

As propriedades físicas e mecânicas dos filmes comestíveis estão diretamente associadas à sua microestrutura, que influencia tanto a resistência mecânica quanto o desempenho como barreira protetora (Oymaci; Altinkaya, 2016). Os resultados indicaram que o filme de cebola branca apresentou maior resistência mecânica e rigidez, evidenciado pelos valores de força máxima (32,5 N), tensão na ruptura (3,99 MPa) e módulo elástico (37,9 MPa). Esses atributos são essenciais para a integridade estrutural da embalagem durante o manuseio e armazenamento, garantindo maior estabilidade física ao material (Thivya *et al.*, 2022). No entanto, o alongamento na força máxima, parâmetro indicativo de flexibilidade, não apresentou diferença significativa entre os filmes avaliados, sugerindo que ambos possuem capacidade similar de deformação sem ruptura.

A espessura do filme apresentou diferenças significativas ($P < 0,0001$), sendo menor no filme de cebola branca (0,38 mm) e maior no filme de cebola roxa (0,45 mm). A menor espessura pode conferir maior flexibilidade, enquanto a maior espessura do filme de cebola roxa pode favorecer a formação de uma barreira mais eficiente contra contaminantes, influenciando diretamente sua aplicação na conservação de alimentos (Sobral; Amaral, 2000; Mali *et al.*, 2004).

Quanto à permeabilidade ao vapor de água (PVA), o filme de cebola roxa apresentou maior valor (2,61 g·mm/m²·dia·kPa), apesar da maior espessura. Esse comportamento sugere que a estrutura do material interfere mais na difusão de umidade do que a espessura isoladamente, uma vez que a maior presença de compostos hidrofílicos pode favorecer a absorção e a troca de vapor de água (Otoni *et al.*, 2017). Em contrapartida, o filme de cebola branca, com menor permeabilidade, se destaca para aplicações que exigem maior barreira à umidade, como em produtos altamente perecíveis, onde a minimização da perda de água é um fator crítico para a manutenção da qualidade (Singh *et al.*, 2022). Dessa forma, a escolha do tipo de revestimento deve ser pautada pela funcionalidade desejada, considerando as exigências do alimento a ser embalado.

A quantificação da umidade revelou valores semelhantes entre os filmes de cebola roxa e branca ($P = 0,7896$), indicando composição estrutural comparável entre os materiais. A umidade é um parâmetro crítico na estabilidade dos filmes, pois influencia diretamente sua resistência química, enzimática e microbiológica (Galus; Lenart, 2019). Níveis elevados de umidade podem intensificar processos de deterioração, acelerando reações químicas e microbiológicas que comprometem a funcionalidade do filme (Ursachi; Oroian, 2024). Assim, a similaridade nos teores de umidade sugere que ambos os filmes possuem comportamentos equivalentes em termos de estabilidade

estrutural e resistência à degradação, o que reforça sua viabilidade como materiais para embalagens comestíveis

4.2 Comportamento térmico dos filmes de cebola

A análise termogravimétrica (TG/DTG) revelou que ambas as amostras apresentaram comportamento térmico semelhante até 265 °C, com perfis de degradação bem definidos. A primeira etapa de degradação térmica, observada entre 120 e 169 °C, resultou em uma perda de massa de 16,3%, atribuída predominantemente à eliminação da água adsorvida e componentes orgânicos voláteis formados durante processos hidrotérmicos. A segunda etapa, compreendida entre 169 e 265 °C, demonstrou a maior taxa de degradação (24,9%), refletindo a decomposição térmica de polímeros estruturais, como hemicelulose e celulose, conforme descrito na literatura para biopolímeros lignocelulósicos (Lin; Lu, 2021).

Em temperaturas superiores a 367 °C, observou-se uma redução na taxa de perda de massa, indicando a degradação térmica progressiva da celulose e a decomposição parcial da lignina, com variações mínimas entre os filmes de cebola branca e cebola roxa. Ao final da análise, as massas residuais apresentaram diferenças sutis, sendo 30,3% para a cebola branca e 28,5% para a cebola roxa, o que sugere uma maior proporção de compostos carbonáceos na cebola branca. Essa diferença composicional pode estar associada à presença diferenciada de polissacarídeos estruturais e frações de lignina, afetando a resistência térmica do material em temperaturas mais elevadas (Dias *et al.*, 2020; Borges *et al.*, 2023).

A Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) reforçou esses achados, evidenciando um pico endotérmico largo até 120 °C, associado à perda de umidade residual, seguido por um pico endotérmico intenso em torno de 140 °C, atribuído à desidratação de moléculas orgânicas de baixo peso molecular. Entre 200 e 500 °C, foram identificados picos endotérmicos de baixa intensidade, indicativos da pirólise da hemicelulose, celulose e lignina, corroborando as perdas de massa observadas nas curvas TG/DTG (Dias *et al.*, 2020; Borges *et al.*, 2023).

Os resultados evidenciam que, apesar das similaridades gerais no comportamento térmico dos filmes, diferenças sutis na composição química impactam sua estabilidade térmica em temperaturas mais elevadas. A menor perda de massa final observada no filme de cebola branca sugere uma estrutura polimérica mais estável, possivelmente devido à maior densidade de ligações intermoleculares e presença diferenciada de macromoléculas estruturais. Assim, essas características podem influenciar a resistência térmica e a aplicabilidade dos filmes em condições que exijam maior estabilidade térmica, como em processos industriais que envolvem variações de temperatura.

4.3 Atividade antioxidante dos filmes de cebola

A atividade A avaliação da atividade antioxidante por meio da eliminação dos radicais DPPH e ABTS revelou diferenças estatisticamente significativas entre os filmes de cebola branca e cebola roxa ($P=0,0029$ e $P=0,0213$, respectivamente). O filme de cebola roxa apresentou maior atividade antioxidante, com 85,7% de eliminação do DPPH, em comparação ao filme de cebola branca, que demonstrou 76,7%.

A superioridade antioxidante do filme de cebola roxa pode estar relacionada à sua maior concentração de antocianinas, compostos fenólicos com elevada capacidade de neutralização de radicais livres por meio da doação de elétrons (-OH), interrompendo reações oxidativas em cadeia (Sadowska-Bartosz; Bartosz, 2024). A cebola branca, apesar de conter quercetina, ácidos fenólicos e sulfetos orgânicos, apresentou menor eficácia antioxidante em relação à cebola roxa, o que sugere variações na composição química dos filmes como um fator determinante para sua atividade antioxidante (Ye *et al.*, 2013; Vu *et al.*, 2020).

Esses achados ressaltam a importância da composição química específica dos filmes no desempenho antioxidante, sugerindo que o uso de cebola roxa como matéria-prima pode ser particularmente vantajoso para aplicações que demandam maior proteção antioxidante, como é o caso de hambúrgueres de carne.

4.4 Espectroscopia de infravermelho dos filmes de cebola

Os espectros de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) obtidos para os filmes de cebola branca e cebola roxa evidenciaram bandas características que refletem a presença de componentes lignocelulósicos e flavonoides, principais constituintes da cebola. A banda de alta energia observada próxima a 3244 cm^{-1} foi atribuída à vibração de estiramento dos grupos -N-H das proteínas e -OH dos carboidratos, como celulose, lignina e pectina, indicando a presença desses polímeros naturais nas amostras de cebola (Dias *et al.*, 2020; Krähmer *et al.*, 2021). A banda em 2909 cm^{-1} está relacionada ao estiramento de C-H, típico dos grupos metila e metileno, compostos comuns em carboidratos e proteínas vegetais.

A banda em 1625 cm^{-1} foi identificada como uma região importante para a presença de grupos carbonila (-C=O), típica das amidas de proteínas, sendo particularmente relevante para a caracterização das cebolas, especialmente nas variedades branca e roxa. Além disso, a identificação de flavonoides, como a quercetina e as antocianinas, foi confirmada pelas bandas de 1625 cm^{-1} (estiramento do anel -C-C), 1388 cm^{-1} (deformações angulares de ligações -C-O) e 1003 cm^{-1} , além da presença de anéis piranos na região de 1240 cm^{-1} . Essas bandas são típicas de flavonoides e

corroboram a presença de compostos bioativos importantes para as propriedades antioxidantes e antimicrobianas dos filmes (Zhan *et al.*, 2016; Safitri *et al.*, 2021).

Esses resultados confirmam que os filmes produzidos a partir de cebola branca e roxa apresentam uma composição química complexa, rica em celulose, lignina, proteínas, carboidratos e flavonoides, o que pode influenciar tanto as propriedades mecânicas quanto as funcionais dos filmes. A comparação entre as amostras de cebola não revelou diferenças significativas em termos de estabilidade térmica ou composição química, sugerindo que as variações observadas, possivelmente associadas aos compostos de antocianinas e resveratrol na cebola roxa, não alteram substancialmente as propriedades estruturais dos filmes. Embora existam pequenas variações entre as variedades de cebola, essas não indicam diferenças químicas ou estruturais significativas nos filmes, mas refletem a diversidade nas concentrações de compostos bioativos.

4.5 Parâmetros de qualidade dos hamburgers

4.5.1 Parâmetros de Cor

A análise colorimétrica indicou que os hambúrgueres controle (sem filme) apresentaram variação na estabilidade da luminosidade ao longo do armazenamento, com maior estabilidade nos primeiros dias e uma intensificação das variações a partir do 6º dia, possivelmente refletindo deterioração acentuada. Os valores de *a* (vermelho)* apresentaram uma tendência de aumento seguida por uma leve redução no 9º dia, sugerindo modificações na coloração da carne associadas à conversão da oximioglobina em metamioglobina devido à exposição ao oxigênio atmosférico (Venturini; Castillo; Farias, 2009).

Nos hambúrgueres revestidos com filme de cebola branca, observou-se um aumento progressivo nos valores de *a**, enquanto os hambúrgueres com filme de cebola roxa apresentaram valores superiores de *a** desde o início, com estabilização progressiva da vermelhidão, indicando maior controle na preservação da cor vermelha.

A estabilidade do parâmetro *b* (amarelo)* também variou conforme o tipo de filme aplicado. O filme de cebola roxa apresentou menores valores de *b** ao longo do tempo, enquanto os hambúrgueres com filme de cebola branca apresentaram um aumento mais expressivo na tonalidade amarela. No controle, a variação foi ainda mais acentuada, com uma redução drástica do *b**, sugerindo intensificação da oxidação e deterioração.

O parâmetro chroma (saturação de cor) indicou aumento significativo no controle, o que pode estar relacionado à intensificação da oxidação lipídica e ao impacto do armazenamento prolongado sobre os pigmentos da carne (Hughes *et al.*, 2020). Os filmes de cebola branca e roxa

ajudaram a controlar essa variação, evitando saturação excessiva da cor e preservando a estabilidade da coloração da carne.

4.5.2 Variação do pH

A elevação do pH nos hambúrgueres controle indicou uma redução da acidez, associada à degradação proteica e à produção de metabólitos alcalinos por microrganismos deteriorantes (Moghtadaei; Soltanizadeh, 2018; Alizadeh Behbahani, 2018; Ntzimani, 2018). Nos hambúrgueres revestidos com filmes de cebola, observou-se uma tendência oposta, com manutenção do pH mais baixo, possivelmente devido à atividade antimicrobiana e antioxidante da cebola, retardando a formação de compostos básicos (Kumar *et al.*, 2022).

4.5.3 Capacidade de Retenção de Água (CRA)

A capacidade de retenção de água (CRA) apresentou queda progressiva no controle, indicando perda de umidade e consequente deterioração da textura da carne (Bao; Ertbjerg *et al.*, 2019). As amostras revestidas com filme de cebola branca mantiveram a CRA mais estável, enquanto as amostras com filme de cebola roxa apresentaram ligeira redução, mas preservaram melhor a retenção hídrica em comparação ao controle. A estabilização da CRA nas amostras com filmes pode ser atribuída à barreira física proporcionada pelos biopolímeros, que reduzem a perda de umidade e a desidratação da carne (Figuerola-Enríquez *et al.*, 2024).

A análise do pH e da CRA no controle revelou que, apesar do aumento do pH, houve redução da capacidade de retenção de água, possivelmente devido à desnaturação proteica e à redução da interação proteína-água (Warner, 2023).

4.5.4 Perda por Cocção (PPC)

O tratamento controle apresentou um aumento significativo na perda por cocção (PPC) ao longo do tempo, sugerindo perda acentuada de água e gordura. Os hambúrgueres revestidos com filmes de cebola branca e roxa apresentaram PPC reduzida, indicando melhor retenção de líquidos e lipídios. O filme de cebola roxa apresentou os menores valores de PPC, reforçando seu papel na manutenção da umidade da carne durante a cocção (Ježek *et al.*, 2020).

A relação entre CRA e PPC sugere que a retenção hídrica proporcionada pelos filmes contribuiu para menor perda de umidade durante a cocção, preservando textura e qualidade sensorial (Zhu *et al.*, 2023).

4.5.5 Teor de Ferro Heme

O ferro heme, indicador de qualidade nutricional da carne, apresentou redução significativa ao longo do tempo em todas as amostras. No controle, houve uma queda, enquanto nos hambúrgueres com filmes de cebola a diminuição foi menos acentuada. O filme de cebola roxa apresentou maior estabilidade no teor de ferro heme, sugerindo menor degradação oxidativa da mioglobina (Domínguez et al., 2019).

4.5.6 Oxidação Lipídica (TBARS - Malonaldeído)

Os valores de TBARS (malonaldeído) variaram significativamente entre os tratamentos evidenciando maior oxidação lipídica no controle. O nível de MDA aumentou progressivamente no controle ao longo do armazenamento, indicando um processo acelerado de degradação lipídica. Os filmes de cebola branca e roxa reduziram significativamente a oxidação, com menores níveis de MDA ao longo do tempo, sendo o filme de cebola roxa o mais eficiente na minimização da oxidação.

A oxidação lipídica é um fator determinante para a deterioração sensorial e nutricional da carne, levando à perda de sabor, coloração e qualidade estrutural (Deuchande *et al.*, 2024). O aumento do MDA no controle reflete o avanço da oxidação, enquanto os compostos fenólicos e flavonoides presentes nos filmes de cebola atuaram na redução da formação de radicais livres, minimizando a progressão da oxidação lipídica (Sagar *et al.*, 2022).

A relação entre ferro heme e TBARS indica que a redução do ferro heme pode estar diretamente associada ao aumento da oxidação lipídica, sugerindo que estratégias que minimizem a formação de radicais livres podem contribuir para a estabilização da coloração e preservação da qualidade da carne (Poveda-Artega *et al.*, 2023; Lima *et al.*, 2011).

Os resultados demonstram que os filmes de cebola branca e roxa contribuíram significativamente para a preservação da qualidade dos hambúrgueres, minimizando perda de cor, oxidação lipídica, redução da retenção hídrica e aumento da perda por cocção. O filme de cebola roxa apresentou maior eficiência na estabilização da coloração, preservação do ferro heme e redução da oxidação, sugerindo maior aplicabilidade na conservação de produtos cárneos perecíveis.

5 CONCLUSÃO

Os filmes comestíveis formulados a partir de cebola branca e cebola roxa demonstraram características físico-químicas e funcionais distintas, oferecendo abordagens complementares para aplicação em embalagens biodegradáveis de produtos cárneos. O filme de cebola branca apresentou maior resistência mecânica, menor permeabilidade ao vapor de água e melhor retenção da umidade, tornando-se mais adequado para embalagens que exigem proteção contra desidratação e preservação

estrutural da carne. Já o filme de cebola roxa evidenciou atividade antioxidante superior, resultando em maior estabilidade da coloração e retardando a oxidação lipídica e proteica, contribuindo para a manutenção da qualidade sensorial e nutricional dos hambúrgueres ao longo do armazenamento.

A aplicação desses filmes pode representar uma alternativa tecnológica sustentável para a conservação de produtos cárneos, reduzindo a dependência de polímeros sintéticos e minimizando os impactos ambientais da indústria alimentícia. Dentre os materiais testados, o filme de cebola roxa mostrou-se a opção mais eficaz para prolongar a vida útil da carne, sendo recomendado especialmente para hambúrgueres, onde a estabilidade oxidativa e a preservação da coloração são fatores críticos para a qualidade do produto.

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSE

Todos os autores declaram não haver conflito de interesses em relação à pesquisa descrita, à publicação dos resultados e a questões financeiras.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Universidade Federal da Bahia (UFBA) por oportunizar o desenvolvimento da educação e as instalações para aplicação das pesquisas.

REFERÊNCIAS

ALIZADEH BEHBAHANI, Behrooz; IMANI FOOLADI, Abbas Ali. Development of a novel edible coating made by Balangu seed mucilage and Feverfew essential oil and investigation of its effect on the shelf life of beef slices during refrigerated storage through intelligent modeling. *Journal of food safety*, v. 38, n. 3, p. e12443, 2018

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. ASTM E 96/E 96M-05: Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. Philadelphia: **ASTM**, 2005. p. 11.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. 1990. Designation D882-09: standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. Philadelphia: **ASTM**. Annual book of ASTM standards.

AMSA. Meat color measurement guidelines, **American Meat Science Association, Champaign**, USA, 2012.

BAINS, Aarti *et al.* Valorization of onion peel waste: From trash to treasure. **Chemosphere**, v. 343, p. 140178, 2023.

BAJPAI, Anjali *et al.* Green composites for food packaging. In: *Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science*. **Elsevier**, 2022. p. 237-259.

BARTOLUCCI, Lorenzo *et al.* Sustainable valorization of bioplastic waste: A review on effective recycling routes for the most widely used biopolymers. **International journal of molecular sciences**, v. 24, n. 9, p. 7696, 2023.

BASCHETTI, Marco Giacinti; MINELLI, Matteo. Test methods for the characterization of gas and vapor permeability in polymers for food packaging application: A review. **Polymer Testing**, v. 89, p. 106606, 2020.

BAO, Yulong; ERTBJERG, Per. Effects of protein oxidation on the texture and water-holding of meat: A review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 59, n. 22, p. 3564-3578, 2019.

BORGES, Gabriel Lima *et al.* Síntese e caracterização de hidrogéis nanocompósitos magnéticos com possível aplicação em sistemas de remediação de água. 2023

CAMPOS, Márcio Inomata *et al.* The influence of crude glycerin and nitrogen concentrations on the production of PHA by *Cupriavidus necator* using a response surface methodology and its characterizations. **Industrial crops and products**, v. 52, p. 338-346, 2014.

COX, Kieran D. *et al.* Human consumption of microplastics. **Environmental science & technology**, v. 53, n. 12, p. 7068-7074, 2019.

DE GOUVÊA, Ana *et al.* Color, sensory and physicochemical attributes of beef burger made using meat from young bulls fed levels of licuri cake. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 11, p. 3668-3672, 2016.

SOARES, Camila Távora de Mello *et al.* Recycling of multi-material multilayer plastic packaging: Current trends and future scenarios. **Resources, conservation and recycling**, v. 176, p. 105905, 2022.

DEUCHANDE, Teresa *et al.* Protocatechuic acid as an inhibitor of lipid oxidation in meat. **Meat Science**, v. 213, p. 109519, 2024.

DE VERAS, Bruno Oliveira *et al.* Chemical composition and evaluation of the antinociceptive, antioxidant and antimicrobial effects of essential oil from *Hymenaea cangaceira* (Pinto, Mansano & Azevedo) native to Brazil: A natural medicine. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 247, p. 112265, 2020.

DIAS, Diogenes dos Santos *et al.* Large scale manufacturing of puree-only edible films from onion bulb (*Allium cepa* L.): Probing production and structure–processing–property correlations. **Industrial crops and products**, v. 145, p. 111847, 2020.

DOMÍNGUEZ, Rubén *et al.* A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. **Antioxidants**, v. 8, n. 10, p. 429, 2019.

DUCKETT, S. K. *et al.* Pre-harvest tenderization through oral calcium gel administration. **Journal of Animal Science**, v. 76, n. Suppl 1, p. 156, 1998.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Onions and shallots, green, 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 23 nov. 2024.

FAUSTMAN, Cameron *et al.* Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. **Meat science**, v. 86, n. 1, p. 86-94, 2010.

FERREIRA, Joyanne Mirelle *et al.* Parâmetros de qualidade avaliados em carne bovina: uma revisão: Quality parameters evaluated in cattle meat: a review. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 6, n. 2, p. 1319-1332, 2023.

FIGUEROA-ENRÍQUEZ, Cielo Estefanía *et al.* Aplicação de Filmes de Embalagem Ativos para Prolongar a Vida Útil de Carnes Vermelhas: Uma Revisão. **Processos**, v. 12, n. 10, 2024.

GALUS, Sabina; LENART, Andrzej. Optical, mechanical, and moisture sorption properties of whey protein edible films. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 6, p. e13245, 2019.

HUGHES, Joanne *et al.* Meat color is determined not only by chromatic heme pigments but also by the physical structure and achromatic light scattering properties of the muscle. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 1, p. 44-63, 2020.

JRIDI, Mourad *et al.* Effects of active gelatin coated with henna (*L. inermis*) extract on beef meat quality during chilled storage. **Food Control**, v. 84, p. 238-245, 2018.

KRÄHMER, Andrea *et al.* Application of ATR-FTIR spectroscopy for profiling of non-structural carbohydrates in onion (*Allium cepa* L.) bulbs. **Food Chemistry**, v. 360, p. 129978, 2021.

KUMAR, Manoj *et al.* Onion (*Allium cepa* L.) peel: A review on the extraction of bioactive compounds, its antioxidant potential, and its application as a functional food ingredient. **Journal of Food Science**, v. 87, n. 10, p. 4289-4311, 2022.

LIMA, Dorgival Moraes de *et al.* Alguns aspectos qualitativos da carne bovina: uma revisão. **Acta Veterinária Brasilica, Pernambuco**, v. 5, n. 4, p.351-358, 2011.

LIN, Cherng-Yuan; LU, Cherie. Development perspectives of promising lignocellulose feedstocks for production of advanced generation biofuels: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 136, p. 110445, 2021.

LONERGAN Elisabeth Huff; LONERGAN Steven. New frontiers in understanding drip loss in pork: recent insights on the role of postmortem muscle biochemistry. **Journal of Animal Breeding Genetics**, v.124, p.19-26, 2007

LOPEZ-SANCHEZ, Patricia *et al.* Nanostructure and poroviscoelasticity in cell wall materials from onion, carrot and apple: Roles of pectin. **Food Hydrocolloids**, v. 98, p. 105253, 2020.

LU, Xiaonan *et al.* Determination of quercetins in onion (*Allium cepa*) using infrared spectroscopy. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 59, n. 12, p. 6376-6382, 2011.

LUCHESI, Cláudia Leites *et al.* Synthesis and characterization of biofilms using native and modified pinhão starch. **Food hydrocolloids**, v. 45, p. 203-210, 2015.

MALI, Suzana *et al.* Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, n. 2, p. 129-135, 2004.

MAREFATI, Narges *et al.* A review of anti-inflammatory, antioxidant, and immunomodulatory effects of *Allium cepa* and its main constituents. **Pharmaceutical biology**, v. 59, n. 1, p. 285-300, 2021.

MOGHTADAEI, Maryam; SOLTANIZADEH, Nafiseh; GOLI, Sayed Amir Hossein. Production of sesame oil oleogels based on beeswax and application as partial substitutes of animal fat in beef burger. **Food Research International**, v. 108, p. 368-377, 2018.

MOHAMED, Salah AA; EL-SAKHAWY, Mohamed; EL-SAKHAWY, Mohamed Abdel-Monem. Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: A review. **Carbohydrate polymers**, v. 238, p. 116178, 2020.

NTZIMANI, Athina *et al.* Formation of biogenic amines and relation to microbial flora and sensory changes in smoked turkey breast fillets stored under various packaging conditions at 4 C. **Food Microbiology**, v. 25, n. 3, p. 509-517, 2008.

DE OLIVEIRA, Vinicius Maia *et al.* Composição fenólica e potencial antioxidante da casca da cebola roxa. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 6, p. 167-181, 2022.

O'DONOGHUE, Erin M. *et al.* Evaluation of carbohydrates in Pukekohe Longkeeper and Grano cultivars of *Allium cepa*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 17, p. 5383-5390, 2004.

OTONI, Caio *et al.* Recent advances on edible films based on fruits and vegetables—a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 5, p. 1151-1169, 2017.

OYMACI, Pelin; ALTINKAYA, Sacide Alsoy. Melhoria da barreira e das propriedades mecânicas dos filmes de embalagens de alimentos à base de isolado de proteína de soro de leite pela incorporação de nanopartículas de zeína como um novo bionanocompósito. **Hidrocolóides alimentares**, v. 54, p. 1-9, 2016

PARK, Kil Jin *et al.* Apostila de conceitos de processo e equipamentos de secagem. Campinas, CT&EA—Centro de Tecnologia e Engenharia Agroindustrial, 2007.

POVEDA-ARTEAGA, Alejandro *et al.* Intrinsic and extrinsic factors affecting the color of fresh beef meat—comprehensive review. **Applied Sciences**, v. 13, n. 7, p. 4382, 2023.

Ramos, Eduardo Mendes; Gomide, Lúcio Alberto de Miranda. **Avaliação da qualidade de carne: fundamentos e metodologia**. Viçosa: UFV, 2009, 599p

RAMOS, Layse Maria Gomes *et al.* Effects of feeding growing-finishing lambs with cashew nut shell liquid on the growth performance, physicochemical attributes, lipid peroxidation and sensorial parameters of burger. **Small Ruminant Research**, v. 202, p. 106468, 2021.

RIBEIRO, Jéssica Souza; SILVA, Larissa Kaully Rosa; DA SILVA, Marcondes Viana. Natural antioxidants used in meat products. **Plant Antioxidants and Health**, p. 1-29, 2020.

RUGGERO, Federica *et al.* Monitoring of degradation of starch-based biopolymer film under different composting conditions, using TGA, FTIR and SEM analysis. **Chemosphere**, v. 246, p. 125770, 2020.

SAFITRI, Eka *et al.* Optical pH Sensor based on immobilization anthocyanin from *Dioscorea alata* L. onto polyelectrolyte complex pectin–chitosan membrane for a determination method of salivary pH. **Polymers**, v. 13, n. 8, p. 1276, 2021.

SANI, Mahmood Alizadeh *et al.* Recent advances in the development of smart and active biodegradable packaging materials. **Nanomaterials**, v. 11, n. 5, p. 1331, 2021.

SADOWSKA-BARTOSZ, Izabela; BARTOSZ, Grzegorz. Antioxidant Activity of Anthocyanins and Anthocyanidins: A Critical Review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 22, p. 12001, 2024.

SAGAR, Narashans Alok *et al.* Onion (*Allium cepa* L.) bioactives: Chemistry, pharmacotherapeutic functions, and industrial applications. **Food Frontiers**, v. 3, n. 3, p. 380-412, 2022.

SOARES, Kallyne Sousa. Efeito do filme de cebola comestível (*Allium cepa* L.) na qualidade, propriedades sensoriais e vida útil de hambúrgueres de carne bovina. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciência e Saúde Animal), Universidade Federal de Campina Grande. 2022.

SHARMA, Meenakshi; KAUSHIK, Prashant. Vegetable phytochemicals: An update on extraction and analysis techniques. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 36, p. 102149, 2021.

SIERRA, Marcelino; TZAGOLOFF, Alexander. Assembly of the mitochondrial membrane system. Purification of a mitochondrial product of the ATPase. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 70, n. 11, p. 3155-3159, 1973.

SILVA, Maria Raquel Lopes. **Aplicação de revestimento à base de quitosana incorporado com o extrato do resíduo de cebola (*Allium cepa* L.) Em carne bovina.** Orientador: Patrícia de Oliveira Lima. 2019. Dissertação (Mestrado Em Produção Animal) – Universidade Federal Rural Do Semi-Árido, Rio Grande do Norte. 2019.

SINGH, Gurvendra Pal *et al.* Effect on the properties of edible starch-based films by the incorporation of additives: a review. **Polymers**, v. 14, n. 10, p. 1987, 2022.

SLIMESTAD, Rune; FOSSEN, Torgils; VÅGEN, Ingunn Molund. Onions: a source of unique dietary flavonoids. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 55, n. 25, p. 10067-10080, 2007.

SOARES, Kallyne Sousa. **Efeito do filme de cebola comestível (*Allium cepa* L.) na qualidade, propriedades sensoriais e vida útil de hambúrgueres de carne bovina.** Orientador: Leilson Rocha Bezerra. 2022. Dissertação (Mestrado em Em Ciência E Saúde Animal) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2022.

SOBRAL, Paulo José do Amaral; AMARAL, D. O. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. Pesquisa **Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 35, n. 6, p. 1-14, 2000.

SUMAN, Surendranath *et al.* Melhorando a estabilidade da cor da carne bovina: estratégias práticas e mecanismos subjacentes. **Ciência da carne**, v. 98, n. 3, p. 490-504, 2014.

THAKUR, Sourbh *et al.* Sustainability of bioplastics: Opportunities and challenges. **Current opinion in Green and Sustainable chemistry**, v. 13, p. 68-75, 2018

THIVYA, Perumal. *et al.* Study on the characteristics of gluten/alginate-cellulose/onion waste extracts composite film and its food packaging application. **Food Chemistry**, v. 390, p. 133221, 2022.

TORIMIRO, Nkem *et al.* Deterioration profile of postharvest onion (*Allium cepa* L.) bulbs induced by potential pathogenic microorganisms. **International Journal of Pathogen Research**, v. 5, n. 2, p. 39-45, 2020.

TRIKI, Mehdi *et al.* Chilled storage characteristics of low-fat, n-3 PUFA-enriched dry fermented sausage reformulated with a healthy oil combination stabilized in a konjac matrix. **Food Control**, v. 31, n. 1, p. 158-165, 2013.

UGALDE, Mariane Lobo. **Biofilmes ativos com incorporação de óleos essenciais**. Orientador: Geciane Toniazzi Backes. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Rio Grande do Sul. 2014.

URSACHI, Vasile-Florin; OROIAN, Mircea; SPINEI, Mariana. Development and characterization of biodegradable films based on cellulose derivatives and citrus pectin: A comparative study. **Industrial Crops and Products**, v. 219, p. 119052, 2024

VENTURINI, Anna Cecília; CONTRERAS-CASTILLO, Carmen Josefina; FARIA, José de Assis Fonseca. Revisão: sistemas de embalagem para carne bovina fresca em atmosfera modificada. **Brazilian Journal Of Food Technology**, v. 12, n. 2, p. 128-137, 2009.

VU, Ngoc Khanh *et al.* Antioxidant and antidiabetic activities of flavonoid derivatives from the outerskins of *Allium cepa* L. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, vol. 68, no. 33, pp. 8797-8811. 2020

WARNER, Robyn Dorothy. The eating quality of meat: IV—Water holding capacity and juiciness. In: **Lawrie's meat science**. Woodhead Publishing, 2023. p. 457-508.

WHEELER, Mark; STUSS, Donald; TULVING, Endel. Frontal lobe damage produces episodic memory impairment. **Journal of the International Neuropsychological Society**, v. 1, n. 6, p. 525-536, 1995.

YE, Chun-Lin; DAI, De-Hui; HU, Wei-Lian. Atividades antimicrobianas e antioxidantes do óleo essencial da cebola (*Allium cepa* L.). **Controle de alimentos**, v. 30, n. 1, p. 48-53, 2013

ZAPATA, José Francisco Ferreira *et al.* Estudo da qualidade da carne ovina do nordeste brasileiro: propriedades físicas e sensoriais. **Food Science and Technology**, v. 20, p. 274-277, 2000.

ZHANG, Shi Lin *et al.* Quantification and analysis of anthocyanin and flavonoids compositions, and antioxidant activities in onions with three different colors. **Journal of integrative agriculture** v. 15, n. 9, p. 2175-2181, 2016.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de filmes biodegradáveis na indústria alimentícia representa uma solução estratégica para mitigar os impactos ambientais decorrentes do uso excessivo de plásticos convencionais, ao mesmo tempo em que contribui para a preservação da qualidade e segurança dos alimentos. No caso de produtos cárneos, particularmente a carne bovina, a incorporação de biomateriais ativos com propriedades antioxidantes e antimicrobianas se mostra promissora na redução da oxidação lipídica e microbiológica, prolongando a vida útil e minimizando perdas. A compreensão aprofundada dos mecanismos de oxidação em produtos cárneos é crucial para o aprimoramento de estratégias eficazes de controle, permitindo a preservação da qualidade sensorial e nutricional. Dessa forma, a implementação de tecnologias inovadoras em embalagens sustentáveis, aliando polímeros biodegradáveis a compostos bioativos surge como um caminho promissor para a modernização do setor alimentício, alinhando eficiência, segurança e responsabilidade ambiental, exige pesquisa contínua para otimizar suas propriedades mecânicas e de barreira, garantindo eficiência tecnológica e viabilidade comercial. Assim, a transição para embalagens inovadoras não apenas atende às demandas ambientais e regulatórias, mas também estabelece um novo paradigma na conservação de alimentos, promovendo maior sustentabilidade e segurança alimentar.

REFERÊNCIAS

- ABRIL, Blanca *et al.* Role of Enzymatic Reactions in Meat Processing and Use of Emerging Technologies for Process Intensification. **Foods**, v. 12, n. 10, p. 1940, 2023.
- AHMED, Md Wadud *et al.* A review on active packaging for quality and safety of foods: Current trends, applications, prospects and challenges. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 33, p. 100913, 2022.
- AKOLADE, Jubril Olayinka; OLOYEDE, Hussein Oyelola B.; ONYENEKWE, Paul Chidozie. Encapsulation in chitosan-based polyelectrolyte complexes enhances antidiabetic activity of curcumin. **Journal of functional foods**, v. 35, p. 584-594, 2017.
- ALARA, Oluwaseun Ruth; ABDURAHMAN, Nour Hamid; UKAEGBU, Chinonso Ishamel. Extraction of phenolic compounds: A review. **Current research in food science**, v. 4, p. 200-214, 2021.
- ALEXANDRE, Amanda Divino Vieira *et al.* Perda de massa em hambúrgueres em diferentes meios de cocção. 2021.
- ALEXANDRE, Natália Porto. Desenvolvimento de filmes hierárquicos à base de celulose bacteriana e zeólita (Ca, Cu, Zn) A para liberação controlada de óxido nítrico. 2020
- ALIZADEH BEHBAHANI, Behrooz *et al.* Control of microbial growth and lipid oxidation in beef using a *Lepidium perfoliatum* seed mucilage edible coating incorporated with chicory essential oil. *Food science & nutrition*, v. 9, n. 5, p. 2458-2467, 2021.
- AMARAL, Ana Beatriz; SILVA, Marcondes Viana da; LANNES, Suzana Caetano da Silva. Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors—a review. *Food Science and Technology*, v. 38, p. 1-15, 2018
- HF BRASIL. Retrospectiva 2020 e Perspectiva 2021. **Revista Hortifruti Brasil**, v.19, p. 1-54, 2021.
- BASSEY, Anthony Pius *et al.* Transcriptomic-proteomic integration: A powerful synergy to elucidate the mechanisms of meat spoilage in the cold chain. **Trends in Food Science & Technology**, v. 113, p. 12-25, 2021.
- BANDOPADHYAY, Sreejata *et al.* Biodegradable plastic mulch films: impacts on soil microbial communities and ecosystem functions. **Frontiers in microbiology**, v. 9, p. 819, 2018.
- BARCENILLA, Coral *et al.* Application of lactic acid bacteria for the biopreservation of meat products: A systematic review. **Meat Science**, v. 183, p. 108661, 2022.
- BARRETO, Mariana Rodrigues *et al.* Genotoxicological safety assessment of puree-only edible films from onion bulb (*Allium cepa* L.) for use in food packaging-related applications. **Journal of food science**, v. 85, n. 1, p. 201-208, 2020.
- BENDARY, Mahmoud M. *et al.* *Clostridium perfringens* associated with foodborne infections of animal origins: Insights into prevalence, antimicrobial resistance, toxin genes profiles, and toxinotypes. **Biology**, v. 11, n. 4, p. 551, 2022.

- BEYA, Michel M. *et al.* Plant-based phenolic molecules as natural preservatives in comminuted meats: A review. **Antioxidants**, v. 10, n. 2, p. 263, 2021.
- BORGES, Ana Carolina Costa; SOUZA, Stefania Márcia. Controle de temperatura: importância e influência na qualidade da carne bovina. **Pubvet**, v. 13, p. 158, 2019.
- BUGATTI, Cauê *et al.* Microplásticos e Nanoplásticos e sua relevância na saúde humana: uma revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 1, p. e6712139302-e6712139302, 2023.
- CAO, Yinjuan *et al.* Chitosan coating with grape peel extract: A promising coating to enhance the freeze–thaw stability of beef. **Meat Science**, v. 204, p. 109262, 2023.
- CECCHI, Lorenzo *et al.* Characterization of volatile and flavonoid composition of different cuts of dried onion (*Allium cepa* L.) by HS-SPME-GC-MS, HS-SPME-GC× GC-TOF and HPLC-DAD. **Molecules**, v. 25, n. 2, p. 408, 2020.
- CERESER, Natacha Deboni *et al.* Foodborne botulism. **Ciência Rural** .2008, v. 38, n. 1 pp. 280-287.
- CHENG, Jen-hua. Lipid Oxidation in Meat. **Journal of Nutrition & Food Sciences**, v; 6, p. 1-3, 2016.
- CHHIKARA, Shubham; KUMAR, Dharmender. Edible coating and edible film as food packaging material: A review. **Journal of Packaging Technology and Research**, v. 6, n. 1, p. 1-10, 2022.
- CHEIKH, Dorsaf; MAJDOUB, Hatem; DARDER, Margarita. An overview of clay-polymer nanocomposites containing bioactive compounds for food packaging applications. **Applied Clay Science**, v. 216, p. 106335, 2022.
- CHOE, Ju-Hui; STUART, Adam; KIM, Yuan H. Brad. Effect of different aging temperatures prior to freezing on meat quality attributes of frozen/thawed lamb loins. **Meat Science**, v. 116, p. 158-164, 2016.
- CHOI, E.-Y. *et al.* Effect of onion peel extract on endothelial function and endothelial progenitor cells in overweight and obese individuals. **Nutrition**, v. 31, n. 9, p. 1131– 1135, set. 2015.
- CHUN, Colin KY *et al.* Exploring the potential effect of phospholipase A2 antibody to extend beef shelf-life in a beef liposome model system. **Meat Science**, v. 198, p. 109091, 2023.
- COOMBS, Cassius EO *et al.* Long-term red meat preservation using chilled and frozen storage combinations: A review. *Meat science*, v. 125, p. 84-94, 2017.
- CORZO-MARTÍNEZ, Marta; CORZO, Nieves; VILLAMIEL, Mar. Biological properties of onions and garlic. **Trends in food science & technology**, v. 18, n. 12, p. 609-625, 2007.
- COSTA, Laissa. Literatura Quercetina. **Via Farma Importadora**. 2010.
- DA SILVA, R. T. *et al.* Influência do ácido cítrico na capacidade de retenção de água e textura da carne bovina. **V encontro nacional da agroindústria**. 2019.

DA SILVA, Danilo Augusto Lopes *et al.* Hygiene and safety in the meat processing environment from butcher shops: microbiological contamination and *Listeria monocytogenes*. **Journal of food protection**, v. 79, n. 4, p. 628-634, 2016.

DA ROCHA, Rute Emanuela *et al.* Identificação de *Staphylococcus aureus* na carne bovina moída comercializada em municípios do Vale do Guaribas, no Estado do Piauí. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e90, 2020.

DE ARAÚJO, Francisca Raquel Vieira *et al.* Estudo da detecção de *Salmonella* spp. em alimentos comercializados na cidade de Fortaleza-CE através de método molecular (qPCR) e método convencional. **Nutrivisa-Revista de Nutrição e Vigilância em Saúde**, v. 11, n. 1, p. e12262-e12262, 2024

DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L. **Química de alimentos de Fennema**. Artmed editora, 2018.

DEMAÎTRE, Niels. *et al.* Occurrence, distribution and diversity of *Listeria monocytogenes* contamination on beef and pig carcasses after slaughter. **Meat science**, v. 169, p. 108177, 2020.

DIAS, Diogenes dos Santos *et al.* Large scale manufacturing of puree-only edible films from onion bulb (*Allium cepa* L.): Probing production and structure–processing–property correlations. **Industrial crops and products**, v. 145, p. 111847, 2020.

DOMÍNGUEZ, Rubén *et al.* A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. **Antioxidants**, v. 8, n. 10, p. 429, 2019.

DOS REIS, Jaqueline Oliveira *et al.* *Listeria monocytogenes* em carne bovina: um risco oculto. **Pesquisa em Microbiologia**, p. 104215, 2024.

DOSOKY, Waleed M. *et al.* Impacts of onion and cinnamon supplementation as natural additives on the performance, egg quality, and immunity in laying Japanese quail. **Poultry science**, v. 100, n. 12, p. 101482, 2021.

ELATTAR, Mariam M. *et al.* An ethnopharmacological, phytochemical, and pharmacological overview of onion (*Allium cepa* L.). **Journal of Ethnopharmacology**, p. 117779, 2024.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Perdas e desperdício de alimentos**. 2019.

FABRA, María José *et al.* Antiviral and antioxidant properties of active alginate edible films containing phenolic extracts. **Food Hydrocolloids**, v. 81, p. 96-103, 2018.

FALGUERA, Víctor *et al.* Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 6, p. 292-303, 2011.

FANG, Ge *et al.* The glucuronide metabolites of kaempferol and quercetin, targeting to the AKT PH domain, activate AKT/GSK3 β signaling pathway and improve glucose metabolism, **Journal of Functional Foods**, Amsterdã, v. 82, 104501, 2021.

FANG, Jinyu *et al.* Metabolomics reveals spoilage characteristics and interaction of *Pseudomonas lundensis* and *Brochothrix thermosphacta* in refrigerated beef. **Food Research International**, v. 156, p. 111139, 2022.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nation. **Rankings: Countries by commodity**. 2022. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity. Acesso em: 11 jan. 2025.

FAROOQUI, Akhlaq A. ; FAROOQUI, Tahira. Importância dos flavonóides derivados de frutas e vegetais na dieta mediterrânea: aspectos moleculares e patológicos. Em: **Papel da dieta mediterrânea no cérebro e doenças neurodegenerativas**. Imprensa Acadêmica, 2018. p. 417-427

FELDERHOFF, Chad *et al.* Beef quality preferences: Factors driving consumer satisfaction. **Foods**, v. 9, n. 3, p. 289, 2020

FERREIRA, Joyanne Mirelle *et al.* Parâmetros de qualidade avaliados em carne bovina: uma revisão: Quality parameters evaluated in cattle meat: a review. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 6, n. 2, p. 1319-1332, 2023.

FIGUEROA, Y., *et al.* Estudio epidemiológico y serotipificación por PCR múltiple de *Listeria monocytogenes* aislada de matrices alimentarias em Argentina. **Revista Argentina de Microbiología**, v. 55 n. 4. P. 387-394, 2023.

FURTINI, L. L. R.; ABREU L. R. Utilização de APPCC na indústria de alimentos. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 30, n. 2, p. 358-363, 2006.

GALO, Gustavo Tomas *et al.* Estudo da extração da quercetina a partir da cebola roxa (*Allium cepa* L.) e seu uso como conservante alimentar natural. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 4, n. 1, p. 0153-0162, 2018.

GÓMEZ-ESTACA, Joaquín *et al.* Advances in antioxidant active food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 35, n. 1, p. 42-51, 2014.

GOMES, Aline de Fátima Araújo *et al.* Avaliação microbiológica de carnes moídas bovinas em diferentes estabelecimentos comerciais/Microbiological evaluation of bovine ground meat in different commercial establishments. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 3, p. 95-100, 2017.

GREWAL, Amarjot Kaur *et al.* Mechanistic insights and perspectives involved in neuroprotective action of quercetin. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 140, p. 111729, 2021.

GUTIÉRREZ, Jesús Rivas; CORTÉS, María del Carmen Gracia; BAÑUELOS, José Ricardo Gómez. Los plásticos y el daño a la salud de los seres vivos ya los ecosistemas. **Biocenosis**, v. 34, n. 1, p. 93-103, 2023.

HAN, Jung H. Edible films and coatings: a review. **Innovations in food packaging**, p. 213-255, 2014.

HANANI, ZA Nur; YEE, F. Cheng; NOR-KHAIZURA, M. A. R. Effect of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel powder on the antioxidant and antimicrobial properties of fish gelatin films as active packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 89, p. 253-259, 2019.

HOLMAN, Benjamin WB *et al.* The effect of technical replicate (repeats) on Nix Pro Color Sensor™ measurement precision for meat: A case-study on aged beef colour stability. **Meat science**, v. 135, p. 42-45, 2018.

IBGE, Produção Agrícola Municipal 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/0?localidade2=0&localidade1=29>. Acesso em: 11 jan 2025.

IULIETTO, Maria F. *et al.* Depragação da carne: uma revisão crítica de uma alteração negligenciada devido ao lodo ropy produzindo bactérias. **Italian Journal of Animal Science**, v. 14, n. 3, p. 4011, 2015.

JEŽEK, František *et al.* Cooking of meat: effect on texture, cooking loss and microbiological quality—a review. **Acta Veterinaria Brno**, v. 88, n. 4, p. 487-496, 2020.

JIANG, Yongli; ZHANG, Yifeng; DENG, Yun. Latest Advances in Active Materials for Food Packaging and Their Application. **Foods**, v. 12, n. 22, p. 4055, 2023.

JU, Ahreum; SONG, Kyung Bin. Incorporation of yellow onion peel extract into the funoran-based biodegradable films as an antioxidant packaging material. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 55, n. 4, p. 1671-1678, 2020.

KAMILOGLU, Senem *et al.* Efeito da matriz alimentar no conteúdo e biodisponibilidade de flavonóides. **Tendências em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 117, p. 15-33, 2021

KING, D. A. *et al.* Research Article: American Meat Science Association Guidelines for Meat Color Measurement. **Meat and Muscle Biology**, v. 6, ed. 4. p. 1-81, 2023.

KUMAR, Manoj *et al.* Onion (*Allium cepa* L.) peels: A review on bioactive compounds and biomedical activities. **Biomedicine & pharmacotherapy**, v. 146, p. 112498, 2022

LOBO, Vijaya *et al.* Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. **Pharmacognosy reviews**, v. 4, n. 8, p. 118, 2010.

LOPEZ-SANCHEZ, Patricia *et al.* Nanostructure and poroviscoelasticity in cell wall materials from onion, carrot and apple: Roles of pectin. **Food Hydrocolloids**, v. 98, p. 105253, 2020.

LIMA, Joyce Almeida *et al.* Análise da qualidade da carne moída comercializada em um município no interior da Paraíba. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. 2, 2021

LIU, Xiaoning *et al.* Microplastics pollution in the soils of various land-use types along Sheshui River basin of Central China. **Science of the Total Environment**, v. 806, p. 150620, 2022.

LIU, Zhuosheng *et al.* Growth and survival of common spoilage and pathogenic bacteria in ground beef and plant-based meat analogues. **Food Research International**, v. 164, p. 112408, 2023.

LÓPEZ-BOTEA, C.; CALVO, L. Chemical and biochemical constitution of muscle, (Chapter 4). Lawrie's **Meat Science**, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 9th ed, p.105-157, 2023

LÓPEZ-PEDROUSO, María *et al.* Sensory and physicochemical analysis of meat from bovine breeds in different livestock production systems, pre-slaughter handling conditions, and ageing time. **Foods**, v. 9, n. 2, p. 176, 2020.

L-RAWASHDEH, M. S. ; AL-HIJAZEEN, M. A. ; AL-RABADI, G. J. Efeito conservante do orégano e do germander na qualidade e estabilidade de armazenamento da carne crua de frango. **JAPS: Jornal de Ciências Animais e Vegetais**, v. 32, n. 5, 2022.

MAPA. Rebanho bovino brasileiro alcançou recorde de 234,4 milhões de animais em 2022. Ministério da Agricultura e Pecuária, 2023. Acesso em 30 de março de 2024.

MENDES, J. *et al.* Processo de Homogeneização de Carne Bovina: Características Microbiológicas. *Ensaio e Ciência*, v. 25, n. 4, 2021, p.417-423.

MILANI, Priscila *et al.* Polymers and its applications in agriculture. **Polímeros**, v. 27, p. 256-266, 2017.

MOHANTY, Anee *et al.* Sustainable utilization of food waste for bioenergy production: A step towards circular bioeconomy. **International Journal of Food Microbiology**, v. 365, p. 109538, 2022.

MONTONE, Angela Michela Immacolata *et al.* Lactoferrin, quercetin, and hydroxyapatite act synergistically against *Pseudomonas fluorescens*. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 17, p. 9247, 2021.

MOTA, Ariana Pereira *et al.* The harvest season changes the organoleptic properties of onion during storage. **J Exp Agri Int**, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2019.

MOTA, Gabrielle Andrade; BATISTA, Leônia Maria; DE OLIVEIRA CUNHA, Cláudia. Impactos dos microplásticos na saúde aquática e humana: Impacts of microplastics on aquatic and human health. **Journal Archives of Health**, v. 2, n. 4, p. 1105-1108, 2021.

NILE, Arti *et al.* Valorization of onion solid waste and their flavonols for assessment of cytotoxicity, enzyme inhibitory and antioxidant activities. **Food and Chemical Toxicology**, v. 119, p. 281-289, 2018.

NGUYEN, Thi Lan Anh; BHATTACHARYA, Debanjana. Antimicrobial activity of quercetin: an approach to its mechanistic principle. **Molecules**, v. 27, n. 8, p. 2494, 2022.

O'DONOGHUE, Erin M. *et al.* Evaluation of carbohydrates in Pukekohe Longkeeper and Grano cultivars of *Allium cepa*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 17, p. 5383-5390, 2004.

OTONI, Caio G. *et al.* Recent advances on edible films based on fruits and vegetables—a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 5, p. 1151-1169, 2017.

OLIVEIRA, Maíra Maciel Mattos de *et al.* Condições higiênico-sanitárias de máquinas de moer carne, mãos de manipuladores e qualidade microbiológica da carne moída. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 1893-1898, 2008.

PANAHIRAD, Sima *et al.* Applications of carboxymethyl cellulose-and pectin-based active edible coatings in preservation of fruits and vegetables: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 110, p. 663-673, 2021.

PAPUC, Camelia *et al.* Mechanisms of oxidative processes in meat and toxicity induced by postprandial degradation products: A review. **Comprehensive Reviews in food science and food safety**, v. 16, n. 1, p. 96-123, 2017.

PATRA, Pradip *et al.* Pectic polysaccharide from immature onion stick (*Allium cepa*): Structural and immunological investigation. **Carbohydrate polymers**, v. 92, n. 1, p. 345-352, 2013.

PEQUENO, Lucas Alves Batista *et al.* O paradoxo da *Escherichia coli* como bioindicador. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 9, n. 2, p. 114-121, 2024.

PINPRU, Nattapong; WORAMONGKOLCHAI, Somsak. Crosslinking effects on alginate/carboxymethyl cellulose packaging film properties. **Chiang Mai Journal of Science**, v. 47, n. 4, p. 712-722, 2020.

POLLI, Volmir Antonio *et al.* Estresse térmico e qualidade da carne ovina—uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e595997578-e595997578, 2020.

PRODROMIDIS, Prodromos *et al.* Stability of natural food colorants derived from onion leaf wastes. **Food Chemistry**, v. 386, p. 132750, 2022

RAGUSA, Antonio *et al.* Raman microspectroscopy detection and characterisation of microplastics in human breastmilk. **Polymers**, v. 14, n. 13, p. 2700, 2022.

RAMANATHAN, Ranjith; SUMAN, Surendranath P.; FAUSTMAN, Cameron. Biomolecular interactions governing fresh meat color in post-mortem skeletal muscle: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, n. 46, p. 12779-12787, 2020.

REDDY, Maheswara; REDDY, Vijay Bhaskar; MANDAL, Prabhat Kumar. Application of Natural Antioxidants in Meat and Meat Products-A Review. **Food & Nutrition Journal**. v. 2018, p. 2575-7091, 2018.

RIBEIRO, Caio César de Sousa *et al.* New alternatives for improving and assessing the color of dark-cutting beef—a review. **Scientia Agricola**, v. 79, p. e20200079, 2021.

RODRIGUES, Antonio Augusto Marques *et al.* Properties and characterization of biodegradable films obtained from different starch sources. **Food Science and Technology**, v. 41, p. 476-482, 2021.

ROSA, Natalia *et al.* Ultra-fine grinding increases the antioxidant capacity of wheat bran. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n. 1, p. 84-90, 2013.

SÄDE, Elina *et al.* Growth and metabolic characteristics of fastidious meat-derived *Lactobacillus algidus* strains. **International Journal of Food Microbiology**, v. 313, p. 108379, 2020

SADOWSKA-BARTOSZ, Izabela; BARTOSZ, Grzegorz. Antioxidant Activity of Anthocyanins and Anthocyanidins: A Critical Review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 22, p. 12001, 2024.

SAGAR, Narashans Alok *et al.* Onion waste based-biorefinery for sustainable generation of value-added products. **Bioresource Technology**, v. 362, p. 127870, 2022.

SAIDI, Lilah *et al.* Polysaccharide-based Edible Films-Strategies to Minimize Water Vapor Permeability. **Current Opinion in Food Science**, p. 101258, 2024.

SALZANO, Angela *et al.* Effect of breeding techniques and prolonged post dry aging maturation process on biomolecule levels in raw buffalo meat. **Veterinary sciences**, v. 8, n. 4, p. 66, 2021.

SANDER, Michael. Biodegradation of polymeric mulch films in agricultural soils: concepts, knowledge gaps, and future research directions. **Environmental science & technology**, v. 53, n. 5, p. 2304-2315, 2019.

SANTIAGO, Beatriz *et al.* Production of flavonol quercetin and fructooligosaccharides from onion (*Allium cepa* L.) waste: An environmental life cycle approach. **Chemical Engineering Journal**, v. 392, p. 123772, 2020.

SANTOS, Luan Gustavo *et al.* A novel sodium alginate active films functionalized with purple onion peel extract (*Allium cepa*). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 35, p. 102096, 2021.

SATO, Satsuki; NUMATA, Yasushi. Simultaneous quantitative analysis of quercetin and rutin in Tartary buckwheat flour by Raman spectroscopy and partial least square regression. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 128, p. 105991, 2024.

SHAH, Manzoor Ahmad; BOSCO, Sowriappan John Don; MIR, Shabir Ahmad. Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. **Meat science**, v. 98, n. 1, p. 21-33, 2014.

SHAH, Rashid *et al.* Evaluation of antioxidant and antibacterial activities of the stems of *Flammulina velutipes* and *Hypsizygus tessellatus* (white and brown var.) extracted with different solvents. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 12, p. 1947-1961, 2018.

SHAH, Manzoor Ahmad; BOSCO, Sowriappan John Don; MIR, Shabir Ahmad. Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. **Meat science**, v. 98, n. 1, p. 21-33, 2014.

SHAO, Liangting *et al.* Advances in understanding the predominance, phenotypes, and mechanisms of bacteria related to meat spoilage. **Trends in Food Science & Technology**, v. 118, p. 822-832, 2021.

SHARMA, Kavita *et al.* Economical and environmentally-friendly approaches for usage of onion (*Allium cepa* L.) waste. **Food & function**, v. 7, n. 8, p. 3354-3369, 2016.

SHI, Haibo *et al.* Evaluation of ultrasound-assisted L-histidine marination on beef *M. semitendinosus*: Insight into meat quality and actomyosin properties. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 85, p. 105987, 2022.

KAUSHIK, Prashant. Vegetable phytochemicals: An update on extraction and analysis techniques. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 36, p. 102149, 2021.

KHAN, Mohammad Umar *et al.* Polifenóis como Alimentos Funcionais e Nutracêuticos. Em: **Alimentos Funcionais e Nutracêuticos: Química, Benefícios para a Saúde e o Caminho a Seguir**. Cham: Springer International Publishing, p. 145-17, 2024

SHATYLO, Valerii *et al.* Cardio-metabolic benefits of quercetin in elderly patients with metabolic syndrome. **PharmaNutrition**, v. 15, p. 100250, 2021

SILVA, Francisco AM; BORGES, M. Fernanda M.; FERREIRA, Margarida A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química nova**, v. 22, p. 94-103, 1999.

SILVA, Sandy Batista Souza. **Análise da qualidade da carne bovina no município de Parintins**. Orientador: Laura Priscila Araújo Amaro Maciel. Trabalho de Conclusão de Curso (Zootecnia – Bacharelado) – Instituto de Ciências Sociais, Educação e Zootecnia, Parintins, Amazonas, 2024.

SINGHA, Songeeta *et al.* Foodborne illnesses of Escherichia coli O157origin and its control measures. **Journal of Food Science and Technology**, v. 60, n. 4, p. 1274-1283, 2023.

SLIMESTAD, Rune; FOSSEN, Torgils; VÅGEN, Ingunn Molund. Onions: a source of unique dietary flavonoids. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 55, n. 25, p. 10067-10080, 2007

TAGRIDA, Mohamed *et al.* Comparative Study of Quercetin and Hyperoside: Antimicrobial Potential towards Food Spoilage Bacteria, Mode of Action and Molecular Docking. **Foods**, v. 12, n. 22, p. 4051, 2023.

TOMASEVIC, Igor *et al.* Recent advances in meat color research. **Current Opinion in Food Science**, v. 41, p. 81-87, 2021.

TERJUNG, Nino; WITTE, Franziska; HEINZ, Volker. The dry aged beef paradox: Why dry aging is sometimes not better than wet aging. **Meat Science**, v. 172, p. 108355, 2021.

TYUFTIN, Andrey A.; KERRY, Joe P. The storage and preservation of meat: storage and packaging. In: **Lawrie's Meat Science**. Woodhead Publishing, 2023. p. 315-362.

VAN RECKEM, Emiel *et al.* Next-generation sequencing to enhance the taxonomic resolution of the microbiological analysis of meat and meat-derived products. **Current Opinion in Food Science**, v. 37, p. 58-65, 2021.

WARNER, Robyn Dorothy. The eating quality of meat: IV—Water holding capacity and juiciness. In: **Lawrie's meat science**. Woodhead Publishing, 2023. p. 457-508.

WARNER, Robyn D. *et al.* Meat tenderness: Advances in biology, biochemistry, molecular mechanisms and new technologies. **Meat science**, v. 185, p. 108657, 2022.

WWF - FUNDO MUNDIAL PARA A NATUREZA. Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico. 2019. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>. Acesso em: 05 jan 2024.

WWF- FUNDO MUNDIAL PARA A NATUREZA. Poluição plástica nos oceanos quadruplicará até 2050. 2022. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?82290/Poluicao-plastica-nos-oceanos-quadruplicara-ate-2050-aponta-estudo#:~:text=Polui%C3%A7%C3%A3o%20pl%C3%A1stica%20nos%20oceanos%20quadruplicar%C3%A1%20at%C3%A9%202050%20%7C%20WWF%20Brasil&text=Uma%20revis%C3%A3o%20de%202.592%20estudos,nas%20esp%C3%A9cies%20e%20ecossistemas%20oce%C3%A2nicos>. Acesso em: 05 jan 2024.

WICKRAMASINGHE, Nirmani N. *et al.* A predominância de pseudomonadas psicotróficas na carne vermelha refrigerada aeropicamente armazenada. **Revisões Abrangentes em Ciência dos Alimentos e Segurança Alimentar**, v. 18, n. 5, p. 1622-1635, 2019.

WU, Haizhou *et al.* Quercetin as an inhibitor of hemoglobin-mediated lipid oxidation: Mechanisms of action and use of molecular docking. **Food Chemistry**, v. 384, p. 132473, 2022.

WU, Haizhou; RICHARDS, Mark Paul. UNDELAND, Ingrid. Lipid oxidation and antioxidant delivery systems in muscle food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, n. 2, p. 1275-1299, 2022.

XU, D. *et al.* Antioxidant Activities of Quercetin and Its Complexes for Medicinal Application. **Molecules**, v. 24, n. 6, 21 mar. 2019.

XUE, F. *et al.* Physicochemical properties of chitosan/zein/essential oil emulsion-based active films functionalized by polyphenols. **Future Foods**, v. 3, n. January, p. 100033, 2021

YANG, Yuyi *et al.* Os microplásticos fornecem novos nichos microbianos em ambientes aquáticos. **Microbiologia Aplicada e Biotecnologia**, v. 104, p. 6501-6511, 2020.

YOU, Wenpeng *et al.* Total meat intake is associated with life expectancy: a cross-sectional data analysis of 175 contemporary populations. **International Journal of General Medicine**, p. 1833-1851, 2022.

ZAGOREC, Monique; CHAMPOMIER-VERGÈS, Marie-Christine. Meat microbiology and spoilage. In: **Lawrie's meat science**. Woodhead Publishing, 2023. p. 195-218.

ZHANG, Shi-Lin *et al.* Quantification and analysis of anthocyanin and flavonoids compositions, and antioxidant activities in onions with three different colors. **Journal of integrative agriculture**, v. 15, n. 9, p. 2175-2181, 2016.

ZHANG, Tianning e outros. Prevalência e caracterização de *Staphylococcus aureus* de diferentes pontos de processamento em fábricas de processamento de carne bovina em Shandong, China. **Segurança e Saúde Alimentar**, v. 2, n. 2, p. 265-275, 2024.

ZHU, Yiqun *et al.* Recent advances in spoilage mechanisms and preservation technologies in beef quality: A review. **Meat Science**, p. 109481, 2024.