

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**EFEITO DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL À BASE DE PECTINA
INCORPORADO COM EXTRATO AGROINDUSTRIAL DE GUAVIRA
(*Campomanesia* sp.) SOBRE A QUALIDADE E CONSERVAÇÃO
DE CARNE BOVINA *IN NATURA***

Acadêmica: Caroline de Brito Dalegrave

Aquidauana – MS
Junho/2026

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**EFEITO DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL À BASE DE PECTINA
INCORPORADO COM EXTRATO AGROINDUSTRIAL DE GUAVIRA
(*Campomanesia* sp.) SOBRE A QUALIDADE E CONSERVAÇÃO
DE CARNE BOVINA *IN NATURA***

Acadêmica: Caroline de Brito Dalegrave

Orientador: Dr. Dalton Mendes de Oliveira

Coorientadora: Dra. Elisângela Serenato Madalozzo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal no Cerrado-Pantanal, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia

Aquidauana – MS
Junho/2026

D141e Dalegrave, Caroline de Brito

Efeito de revestimento comestível à base de pectina incorporado com extrato agroindustrial de guavira (*Campomanesia sp.*) sobre a qualidade e conservação de carne bovina in natura/ Caroline de Brito Dalegrave. – Aquidauana, MS : UEMS, 2026.
70 p.

Dissertação (Mestrado) – O Programa de Pós-Graduação em Zootecnia – Produção Animal no Cerrado e Pantanal (PGZOO) – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2026.

Orientador: Prof. ° Dr.º Dalton Mendes de Oliveira

Coorientadora: Prof.ª Dr.ª Elisângela Serenato Madalozzo

1. Biopolímeros. 2. Compostos bioativos. 3. Conservação de alimentos 4. Carne bovina – Conservação 5. Embalagens para carne I. Oliveira, Dalton Mendes de. II. Madalozzo, Elisângela Serenato III. Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. IV. Título.

CDD 23 ed. 664.9

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PRODUÇÃO ANIMAL**

CAROLINE DE BRITO DALEGRAVE

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal, como requisito para obtenção do grau de Mestra em Zootecnia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 09/06/2026.

Documento assinado digitalmente
gov.br DALTON MENDES DE OLIVEIRA
Data: 10/06/2026 17:53:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Dalton Mendes de Oliveira (Orientador)

Dra. Paula Toshimi Matumoto Pinto, UEM
(participação via videoconferência)

Dr. André Luiz Julien Ferraz, UEMS
(participação via videoconferência)

“— To the people who look at the stars and wish.
— To the stars who listen and the dreams that are answered”

Corte de Névoa e Fúria, Sarah J. Maas

Aos meus pais, que foram o meu porto seguro e sustentaram cada passo dessa caminhada.

Aos meus avós, principalmente ao meu avô, que faleceu semanas antes do início do período experimental, e a quem devo, indiretamente, a oportunidade de estar aqui. Foi graças a ele que minha mãe pôde sair da zona rural para estudar e construir uma vida melhor. Esta dissertação é uma forma de agradecer e honrar as oportunidades que me foram proporcionadas através de uma decisão dele, tão à frente do seu tempo.

À minha companheira de alma, que perdi durante a execução deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela realização de um sonho que carrego desde a infância. A Ele também sou grata por atender as orações da minha mãe direcionadas ao meu caminhar.

Aos meus pais, José Dalegrave e Iracema de Lima Brito Dalegrave, por todo o apoio, incentivo e amor em cada etapa dessa trajetória. Por abraçarem minhas preocupações como se fossem suas e por tornarem mais leve o peso de chegar em casa após um dia difícil. Nunca vou me esquecer da felicidade de vocês quando contei que faria o mestrado na nossa cidade. Sou imensamente grata por todo o suporte que me ofereceram e pelo terreno adubado, que prepararam para que eu pudesse seguir e florescer na minha vida profissional.

Ao meu namorado e companheiro, Diego Maifrede dos Santos, por estar ao meu lado, me lembrando constantemente do meu potencial. Sou extremamente grata pela segurança que você me proporcionou ao longo deste período.

À professora, Dra. Adélia Maria Evangelista de Azevedo, minha madrinha de batismo, que sempre acompanhou de perto toda a minha trajetória acadêmica e pessoal, oferecendo apoio, incentivo e acolhimento nos momentos mais difíceis. Obrigada por todo o carinho, cuidado e por acreditar em mim ao longo dessa caminhada.

Ao meu orientador, professor Dr. Dalton Mendes de Oliveira, pela oportunidade e pelos ensinamentos ao longo de todo esse processo. Obrigada por confiar em mim e por ter paciência para explicar a mesma coisa quantas vezes fossem necessárias. Levarei sua orientação com carinho para o resto da minha vida, usando como referência e inspiração em todos os momentos em que precisar liderar alguém.

Agradeço à minha coorientadora, professora Dra. Elisângela Serenato Madalozzo e à professora Dra. Elisvânia Freitas dos Santos pela disponibilidade, atenção e cuidado durante o desenvolvimento deste estudo. Suas sugestões foram fundamentais para o aprimoramento deste trabalho. Obrigada pela generosidade em compartilhar conhecimentos e materiais.

À minha querida amiga, Jheniffer Poliana, que, mesmo sem entender muito bem o que era este mestrado, acolheu as minhas angústias e ofereceu apoio.

Obrigada por todas as madrugadas compartilhadas no Discord, quando, mesmo imersas em nossas próprias responsabilidades, permanecemos juntas.

Às minhas amigas e parceiras de grupo, Millena, Dani e Kelly, que me auxiliaram mesmo em meio às demandas e ao caos de seus próprios projetos. Em especial à Millena, com quem dividi análises e os momentos mais intensos do experimento, regados de incertezas, cansaço e aprendizados. Agradeço também à Taci e Maria Eduarda, por compartilharem as angústias da pós-graduação, e à Luiza, pelos valiosos conselhos e direcionamentos.

Ao GEQUAC, em especial ao Pedro, Breno, Brenda e Iza, pela dedicação e empenho durante o período experimental. À Isabeli e à Sarah, também pela colaboração e comprometimento, mas principalmente pela amizade construída em meio a tantos dias de trabalho, que tornaram essa caminhada mais leve e agradável. Estendo meu agradecimento a todos que, de alguma forma, contribuíram e se dispuseram a ajudar. Minha amiga Patrícia sempre disse que não se faz ciência sozinho, e vocês foram essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao químico e técnico de laboratório, Gustavo Ruivo Salmazzo, que esteve presente durante todo o período experimental, abraçando a pesquisa com cuidado, dedicação e atenção. Sua colaboração foi fundamental para que este estudo saísse do papel.

Ao pós-doutorado, Dr. Aylply Renan Dutra, pela paciência e pelo tempo dedicado em me auxiliar na escrita, na análise estatística e na interpretação dos dados. Obrigada pelos ensinamentos compartilhados.

Ao GEPENEX, especialmente ao Paulo e à Denise, pela produção e disponibilização do extrato utilizado neste estudo.

À UEMS e à agência de fomento CNPq pela concessão dos recursos financeiros necessários para o desenvolvimento desta pesquisa.

E, por último, gostaria de agradecer aos meus animais de estimação, mesmo que eles nunca saibam a importância que tiveram nessa caminhada. A companhia calma e silenciosa (exceto, claro, na hora do sachê, ração ou passeio) acalmou meu coração e trouxe alívio nos momentos desafiadores. Ver vocês dormindo, tranquilos, me transmitiu paz e forças para seguir em frente. Foi através de vocês que senti Deus me reconfortando, como um lembrete silencioso de que não estava sozinha.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	15
1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Panorama da produção de carne bovina no Brasil	18
2.2 Qualidade e deterioração da carne bovina	20
2.3 Embalagem para produtos cárneos	22
2.4 Revestimentos comestíveis	25
2.4.1 Revestimento à base de pectina	28
2.5 Guavira	30
3. OBJETIVOS	32
3.1 Objetivos gerais	32
3.2 Objetivos específicos	32
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
CAPÍTULO 2 – REVESTIMENTO COMESTÍVEL DE PECTINA INCORPORADO COM EXTRATO AGROINDUSTRIAL DE GUAVIRA NA CONSERVAÇÃO DA CARNE BOVINA <i>IN NATURA</i>	39
1. Introdução	40
2. Materiais e Métodos	41
2.1 Produção do extrato agroindustrial de guavira e do revestimento comestível	41
2.4 Amostras e tratamentos	42
2.5 Análises laboratoriais	43
2.5.1 Purga	43
2.5.2 Cor e Pigmentos	43
2.5.3 pH	43
2.5.4 PPC e FC	44
2.5.6 IFM	44
2.5.7 TBARS	44
2.5.8. Análises microbiológicas	45
2.6 Análises estatísticas	45
3. Resultados	46
4. Discussão	49
5. Conclusão	52
6. Referências	53
CAPÍTULO 3 – NOTA TÉCNICA: REVESTIMENTO COMESTÍVEL COMO EMBALAGEM ALTERNATIVA NA CONSERVAÇÃO DA CARNE BOVINA <i>IN NATURA</i>	66
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	70

RESUMO

Sistemas de embalagens são fundamentais na conservação da carne bovina *in natura*, pois retardam os processos de deterioração ao limitar o contato com o meio externo. No entanto, diante das limitações dos sistemas convencionais, tecnologias alternativas como revestimentos comestíveis à base de biopolímeros, associados a compostos bioativos, têm se destacado como estratégias promissoras. Logo, este estudo teve como objetivo avaliar a aplicação de revestimentos comestíveis à base de pectina, com ou sem extrato agroindustrial de guavira sobre a qualidade da carne bovina *in natura*, sob diferentes sistemas de embalagem e períodos de armazenamento. Amostras do músculo *Longissimus thoracis* foram distribuídas em esquema fatorial $3 \times 2 \times 2$, envolvendo três tratamentos (CONT, PEC e EXT), dois sistemas de embalagem (vácuo e PVC) e dois tempos de armazenamento (3 e 7 dias). As amostras foram revestidas pelo método de imersão por 1 min., drenadas por 5 min. e, em seguida, embaladas e armazenadas a 4 ± 1 °C. Avaliaram-se os parâmetros de perda por exsudação (purga), perda de peso por cocção (PPC), cor instrumental (L^* , a^* , b^* , C^* e h^*), pH, força de cisalhamento (FC), pigmentos da mioglobina (O_2Mb , $DeoxiMb$ e MMb), índice de fragmentação miofibrilática (IFM) e Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBARS). O pH apresentou interação entre revestimento, condição e tempo ($P = 0,033$), com maiores valores aos 7 dias sob PVC. Os revestimentos aumentaram a purga ($P = 0,010$) e os valores de TBARS ($P = 0,024$), indicando maior ocorrência de oxidação lipídica nas amostras revestidas. Houve interação entre revestimento e tempo para PPC ($P < 0,001$), FC ($P = 0,041$), IFM ($P = 0,024$) e cor (P = 0,002). Aos 7 dias, o tratamento EXT apresentou menores valores de FC e PPC, enquanto o tratamento PEC apresentou aumento do IFM ao longo do armazenamento. Também houve interação entre revestimento e condição de armazenamento para deoximioglobina ($P = 0,006$) e metamioglobina ($P = 0,026$), com maior formação de MMb no tratamento EXT sob vácuo. O parâmetro a^* apresentou interação entre revestimento, condição e tempo ($P = 0,025$), com maiores valores no tratamento PEC aos 3 dias sob PVC. Conclui-se que os revestimentos interferem na dinâmica da água, a estabilidade oxidativa e a textura da carne, com respostas dependentes do sistema de embalagem e da disponibilidade de oxigênio.

Palavras-chave: biopolímeros; compostos bioativos; conservação.

ABSTRACT

Packaging systems play a fundamental role in the preservation of fresh beef by delaying deterioration processes through limiting contact with the external environment. However, due to the limitations associated with conventional packaging systems, alternative technologies such as biopolymer-based edible coatings combined with bioactive compounds have emerged as promising preservation strategies. Therefore, this study aimed to evaluate the application of pectin-based edible coatings, with or without agro-industrial guavira extract, on the quality of fresh beef under different packaging systems and storage periods. Samples of the Longissimus thoracis muscle were distributed in a $3 \times 2 \times 2$ factorial design, consisting of three treatments (CONT, PEC, and EXT), two packaging systems (vacuum and PVC), and two storage periods (3 and 7 days). Samples were coated by immersion for 1 min, drained for 5 min, and subsequently packaged and stored at 4 ± 1 °C. The evaluated parameters included purge loss, cooking loss (CL), instrumental color (L^* , a^* , b^* , C^* , and h^*), pH, shear force (SF), myoglobin pigments (O₂Mb, DeoxyMb, and MMb), myofibrillar fragmentation index (MFI), and Thiobarbituric Acid Reactive Substances (TBARS). The pH showed an interaction between coating, packaging condition, and storage time ($P = 0.033$), with higher values observed at 7 days under PVC packaging. Coatings increased purge loss ($P = 0.010$) and TBARS values ($P = 0.024$), indicating greater lipid oxidation in coated samples. Interactions between coating and storage time were observed for CL ($P < 0.001$), SF ($P = 0.041$), MFI ($P = 0.024$), and chroma ($P = 0.002$). At 7 days, the EXT treatment showed lower SF and CL values, whereas the PEC treatment exhibited increased MFI throughout storage. Interactions between coating and packaging condition were also observed for DeoxyMb ($P = 0.006$) and MMb ($P = 0.026$), with greater MMb formation in the EXT treatment under vacuum packaging. The a^* parameter showed an interaction between coating, packaging condition, and storage time ($P = 0.025$), with higher values observed for PEC at 3 days under PVC packaging. It was concluded that the coatings affected water dynamics, oxidative stability, and meat texture, with responses dependent on the packaging system and oxygen availability.

Keywords: biopolymers; bioactive compounds; preservation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

Figura 1. Fluxograma do delineamento experimental. _____ 42

CAPÍTULO 2 – Revestimento comestível de pectina incorporado com extrato agroindustrial de guavira na conservação da carne bovina *in natura*

Figura 2. Efeitos individuais dos revestimentos sobre parâmetros físicos da carne bovina. _____ 64

Figura 3. Efeitos individuais dos revestimentos sobre parâmetros de cor e pigmentos da carne bovina. _____ 64

Figura 4. Efeitos de interação entre tipos de revestimento e tempo de armazenamento da carne bovina. _____ 64

Figura 5. Efeitos de interação entre tipos de revestimento e condição de armazenamento da carne bovina. _____ 65

Figura 6. Efeitos de interação entre condição e tempo de armazenamento da carne bovina. _____ 65

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

Tabela 1. Efeito de filmes ou revestimentos comestíveis à base de pectina na preservação de produtos cárneos. _____ 30

CAPÍTULO 2 – Revestimento comestível de pectina incorporado com extrato agroindustrial de guavira na conservação da carne bovina *in natura*

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos de filés de carne bovina em função do revestimento, condição e dias de armazenamento. _____ 58

Tabela 3. Parâmetros de cor de filés de carne bovina em função do revestimento, condição e dias de armazenamento. _____ 60

Tabela 4. Pigmentos de filés de carne bovina em função do revestimento, condição e dias de armazenamento. _____ 62

Tabela 5. Resultado da detecção de *Salmonella* sp. e contagem de *Escherichia coli* nas amostras de carne, nos tempos 3 e 7 dias de armazenamento. _____ 63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a* – Intensidade de vermelho (parâmetro do sistema CIELAB)

ATM – Alto teor de metoxilação

b* – Intensidade de amarelo (parâmetro do sistema CIELAB)

BTM – Baixo teor de metoxilação

CIELAB – Sistema de cor definido pela Commission Internationale de l'Éclairage

CONT – Tratamento controle (sem revestimento)

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

DeoxiMb – Deoximioglobina

DPPH – Método do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazila (Determinação do Potencial Antioxidante)

EXT – Tratamento com revestimento de pectina incorporado com extrato agroindustrial de guavira

FC – Força de cisalhamento

IFM – Índice de Fragmentação Miofibrilática

L* – Luminosidade (parâmetro do sistema CIELAB)

MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária

MMb – Metamioglobina

O2Mb – Oximioglobina

ORAC – Capacidade de Absorção de Radicais Oxigênio (Oxygen Radical Absorbance Capacity)

PEC – Tratamento com revestimento de pectina

PPC – Perda de peso por cocção

PVC – Policloreto de vinila

TBARS – Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (Thiobarbituric acid reactive substances)

TEC – Tonelada equivalente carcaça

USDA – United States Department of Agriculture

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

A carne bovina *in natura* é um alimento altamente perecível, devido à sua elevada densidade nutricional e atividade de água, além de pH favorável ao crescimento microbiano. Essas características, associadas à exposição ao oxigênio durante o armazenamento e a comercialização, favorecem a ocorrência de processos deteriorativos. Os processos promovem alterações na mioglobina e nos lipídios da carne, resultando em mudanças de cor, desenvolvimento de *off-flavors*, redução do valor nutricional e comprometimento da segurança do alimento (SOARES *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2018; AL-SHIBLI *et al.*, 2023). As transformações impactam diretamente a aceitação pelo consumidor e limitam a vida de prateleira do produto (GOMIDE *et al.*, 2013).

Nesse contexto, os sistemas de embalagem desempenham papel fundamental na manutenção da qualidade da carne bovina, atuando como barreira física contra o meio externo (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Entre os sistemas disponíveis, a embalagem a vácuo é amplamente utilizada na indústria frigorífica para a comercialização de carne bovina *in natura*, sobretudo em cortes destinados ao varejo (CAUNETTO e SOUZA, 2022). A remoção do oxigênio do interior da embalagem reduz a taxa de oxidação lipídica e o crescimento de microrganismos aeróbios, prolongando a vida útil do produto. Contudo, a ausência de oxigênio favorece a predominância da deoximioglobina, o que confere uma coloração vermelho-escura à carne durante o período de armazenamento (WANG *et al.*, 2018; REYES *et al.*, 2022). Embora essa condição seja revertida após a abertura da embalagem, a coloração mais escura pode influenciar negativamente a percepção de frescor pelo consumidor no momento da compra (GOMIDE *et al.*, 2013; REYES *et al.*, 2022).

Por outro lado, a embalagem em bandejas recobertas com filme de policloreto de vinila (PVC) permite maior permeabilidade ao oxigênio, favorecendo a formação de oximioglobina e a manutenção da coloração vermelho-brilhante (GOMIDE *et al.*, 2013). Entretanto, a maior exposição ao oxigênio acelera processos oxidativos e reduz a estabilidade durante o armazenamento, o que limita a vida útil em comparação ao sistema a vácuo (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Diante desse cenário, a busca por alternativas tecnológicas capazes de preservar a qualidade da carne bovina, sem comprometer sua aparência e aceitação comercial, tem impulsionado o desenvolvimento de filmes e revestimentos comestíveis como estratégias complementares aos sistemas convencionais de embalagem. Esses materiais são aplicados à superfície do alimento, formando uma matriz polimérica contínua, que atua como barreira semipermeável e reduz a velocidade das reações oxidativas. Além disso, podem exercer efeito antimicrobiano quando incorporados com compostos bioativos, contribuindo para o prolongamento da vida de prateleira (GUILBERT *et al.*, 1995; HASSAN *et al.*, 2018; HASHEMI *et al.*, 2023). Em produtos cárneos, esses sistemas têm sido associados à redução da oxidação lipídica, manutenção da cor e melhoria da qualidade sensorial ao longo do tempo (MOURA-ALVES *et al.*, 2023; LIMA *et al.*, 2024).

Os revestimentos comestíveis podem ser formulados a partir de diferentes biopolímeros naturais, como polissacarídeos, proteínas e lipídios. Entre os polissacarídeos, a pectina se destaca por sua ampla disponibilidade, biodegradabilidade, biocompatibilidade, ausência de toxicidade e boa integridade mecânica (DHANAPAL, 2012; VALDÉS *et al.*, 2015). No entanto, a pectina é um polímero de natureza hidrofílica, e apresenta limitações como barreira de umidade, o que pode comprometer sua aplicação isolada em alimentos com elevada atividade de água, como a carne bovina. Diante dessa limitação, diferentes estudos têm investigado a incorporação de compostos bioativos naturais e extratos vegetais, com o objetivo de aprimorar as propriedades de barreira, estabilidade estrutural e funcionalidade antioxidante e antimicrobiana (MASSINGUE *et al.*, 2022; NASCIMENTO *et al.*, 2022; HASHEMI *et al.*, 2023).

Entre as fontes naturais com potencial aplicação em revestimentos comestíveis, destaca-se a guavira (*Campomanesia sp.*), fruto nativo do bioma Cerrado, com composição rica em compostos fenólicos e outros metabólitos secundários associados à atividade antioxidante e antimicrobiana (LESCANO *et al.*, 2018; ZORGETTO-PINHEIRO *et al.*, 2023). A incorporação de extratos ou compostos derivados desse fruto pode contribuir para a redução de processos oxidativos e para o controle do crescimento microbiano em alimentos cárneos, além de agregar valor tecnológico e funcional ao produto final. Adicionalmente, a

utilização de matérias-primas regionais e o aproveitamento de resíduos agroindustriais para obtenção de compostos bioativos estão alinhados aos princípios da bioeconomia e da economia circular, promovendo sustentabilidade ambiental e inovação na cadeia produtiva de alimentos (OGBU e OKEY, 2023).

Diante desse cenário, o presente estudo propõe a elaboração de um revestimento comestível à base de pectina incorporado com extrato agroindustrial de guavira, como estratégia tecnológica para a conservação da carne bovina refrigerada, avaliando seu efeito sobre a qualidade físico-química e microbiológica da carne durante o armazenamento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama da produção de carne bovina no Brasil

A pecuária de corte ocupa posição central no desenvolvimento histórico, econômico e territorial do Brasil, consolidando-se como uma das principais atividades do agronegócio nacional. De acordo com dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2025), o Brasil apresenta crescimento expressivo e contínuo na produção de carne bovina desde a década de 1960, aproximando-se gradualmente da liderança mundial nos últimos anos e assumindo essa posição em 2026. Esse avanço resulta não apenas da expansão da produção, mas também do fortalecimento do sistema agroindustrial da carne bovina, evidenciado pela valorização do boi e da carne nos mercados interno e externo. Simultaneamente, a intensificação dos sistemas produtivos, associada à incorporação de tecnologias no campo, tem contribuído de forma significativa no aumento da eficiência produtiva ((PULINA *et al.*, 2021; CONAB, 2025).

Em 2024, a produção brasileira de carne bovina atingiu 11,8 milhões de toneladas em equivalente carcaça (TEC), correspondendo a 14,96% da produção mundial. No mesmo ano, o abate totalizou aproximadamente 46 milhões de cabeças, representando incremento de 9,5% em relação a 2023, com reflexo direto no aumento de 10,5% da produção de carne bovina. O mercado interno absorveu 68%, equivalente a 8,09 milhões TEC (ABIEC, 2025a). Os dados refletiram um ciclo pecuário marcado pela elevada oferta de animais para abate, especialmente de fêmeas, resultado do intenso descarte e da ampla disponibilidade de animais terminados. Para 2025, contudo, a projeção inicial da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) indicava uma redução no volume produzido, associada ao cenário de transição do ciclo pecuário e do início de um movimento de reversão (CONAB, 2025).

Apesar da perspectiva de um cenário mais restritivo, o relatório do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos aponta que o Brasil encerrou 2025 com produção estimada em 12,35 milhões TEC, assumindo a liderança mundial (USDA, 2025) e superando a estimativa inicial de 10.998,2 milhões TEC (CONAB, 2025). Esse resultado representa um crescimento aproximado de 4% em relação ao ano anterior e está fortemente associado ao aumento do rendimento médio de carcaça, decorrente da adoção de tecnologias de intensificação. A

ampliação dos sistemas intensivos, com maior participação de animais terminados em confinamento, tem sido fundamental para sustentar e atender à crescente demanda internacional (ABIEC, 2025b; ABIEC, 2025c; CONAB, 2025).

Em relação ao comércio exterior, o Brasil mantém-se na posição de maior exportador de carne bovina do mundo desde 2018 (USDA, 2025). Os dados mais recentes apontam que, em 2024, aproximadamente 21% do volume de carne bovina comercializada no mercado internacional era de origem brasileira. Esses valores indicam que cerca de um em cada cinco quilogramas de carne bovina exportados no mundo foi produzido no Brasil. Em 2025, o volume exportado de carne bovina foi estimado em 3,50 milhões de toneladas, o que representou um crescimento de 20,9% em relação ao volume total exportado no ano anterior. Desse montante, a carne bovina *in natura* respondeu por 90,34% das exportações, equivalendo a 3,09 milhões de toneladas e registrando um aumento de 21,4% na comparação interanual (ABIEC, 2025a).

Em âmbitos econômicos, o setor movimentou cerca de R\$ 987,36 bilhões em 2024, integrando 8,4% do PIB brasileiro, e registrando um aumento de 5,5% em relação a 2023 (ABIEC, 2025a). O volume exportado em 2025 movimentou US\$ 18,03 bilhões, de 40,1% em relação ao ano anterior, e a receita da carne *in natura* integrou US\$ 16,61 bilhões do faturamento (ABIEC, 2025b).

Para os próximos anos, as projeções indicam que a produção nacional de carne bovina poderá superar 13 milhões TEC até 2034, preservando áreas de pastagens e elevando substancialmente a produtividade do sistema. Esse contexto direciona a pecuária para um cenário de transição sustentável e de intensificação produtiva, visando incorporar exigências globais relacionadas à sustentabilidade, à rastreabilidade e à redução do desmatamento. Esse movimento tende a fortalecer o posicionamento estratégico do Brasil no mercado internacional e contribuir para a ampliação de sua competitividade no longo prazo (CONAB, 2025).

No contexto de expansão da cadeia da carne bovina, o aumento da produção e da demanda internacional intensifica a necessidade de estratégias capazes de preservar a qualidade da carne durante o armazenamento e a distribuição. A preservação dos atributos físico-químicos e microbiológicos contribui para minimizar o desperdício de alimentos e favorecer o aproveitamento mais

eficiente dos recursos empregados ao longo da cadeia produtiva (PULINA *et al.*, 2021).

2.2 Qualidade e deterioração da carne bovina

A qualidade da carne bovina é um conceito que envolve atributos visuais, sensoriais, nutricionais, tecnológicos e de segurança alimentar. Os parâmetros estão diretamente associados às expectativas do mercado consumidor, que demanda alimentos seguros, com elevada qualidade sensorial e valor nutricional. Sob essa perspectiva, a carne bovina de qualidade apresenta características sensoriais desejáveis, como coloração atrativa, adequada capacidade de retenção de água, textura apropriada, além de odor e sabor característicos (GOMIDE *et al.*, 2013).

Entretanto, em razão de sua elevada atividade de água, pH favorável ao crescimento microbiano e composição nutricional rica em proteínas e lipídios, a carne bovina é altamente suscetível a processos de deterioração microbiológica e oxidativa. Esses fenômenos, associados à exposição ao oxigênio, comprometem a qualidade e a vida útil de prateleira, além de reduzirem a aceitabilidade sensorial do produto. A presença de oxigênio configura-se como um dos principais fatores de perda de qualidade, ao favorecer reações de oxidação lipídica e contaminação microbiana (HASHEMI *et al.*, 2023).

A oxidação lipídica consiste em um fenômeno bioquímico decorrente da reação entre ácidos graxos insaturados e o oxigênio atmosférico, resultando na formação de compostos intermediários e finais, como hidroperóxidos, aldeídos e cetonas. Esses compostos são responsáveis pelo desenvolvimento de odor e sabor rançosos, afetando negativamente a estabilidade e a qualidade sensorial da carne bovina (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2018).

A contaminação microbiológica desempenha papel central na perda de qualidade e na redução da segurança alimentar. Microrganismos deteriorantes e patogênicos podem proliferar rapidamente na superfície e no interior da carne, especialmente quando as condições de armazenamento são inadequadas. Como consequência, a contaminação representa riscos à saúde do consumidor e acelera o processo de deterioração da carne, ao promover alterações nas características físico-químicas e sensoriais, como cor, pH, capacidade de retenção de água e

maciez. Esses processos comprometem a aceitabilidade do produto e transformam a carne, um produto de alto valor, em um alimento de qualidade inferior (BARCO *et al.*, 2015).

Entre essas alterações, a mudança de cor destaca-se como um dos primeiros sinais visuais perceptíveis de deterioração, sendo também o principal atributo avaliado pelo consumidor no momento da compra. A coloração vermelho-vivo é a mais aceita pelo público consumidor leigo, por ser tradicionalmente associada à percepção de frescor e qualidade da carne. A coloração vermelho-vivo, característica da carne bovina, é atribuída principalmente ao grupo heme, presente na mioglobina, embora outras proteínas, como a hemoglobina e o citocromo C, também contribuam para o desenvolvimento da cor (SOARES *et al.*, 2017).

A relação entre a cor observada na carne e os picos de absorção e reflexão da luz está diretamente associada à estrutura química do grupo heme, presente nessa proteína. Esse grupo contém um anel de porfirina com um átomo central de ferro, capaz de absorver seletivamente a luz em determinados comprimentos de onda, e que variam conforme o estado de oxidação do ferro e o tipo de ligante associado à mioglobina. As diferentes formas químicas da mioglobina apresentam comportamentos distintos de absorção da luz visível. A luz que não é absorvida é refletida, originando a cor percebida pelo observador (GOMIDE *et al.*, 2013).

A predominância de cada forma da mioglobina determina os padrões de absorção e reflexão da luz e, conseqüentemente, a coloração característica da carne bovina. Assim, a cor da carne resulta da proporção e distribuição das três formas químicas da mioglobina: a deoximioglobina, associada à coloração vermelho-púrpura; a oximioglobina, responsável pelo vermelho-brilhante desejado pelo consumidor; e a metamioglobina, que confere coloração marrom indesejável e está associada à deterioração do produto (GOMIDE *et al.*, 2013).

A formação da metamioglobina constitui um indicativo de perda de qualidade, pois compromete atributos sensoriais e nutricionais da carne, como aparência, sabor, aroma, textura e valor nutritivo. Em estágios mais avançados de deterioração, pode ocorrer a descoloração microbiana, com formação de sulfomioglobina, decorrente da produção de sulfeto de hidrogênio por microrganismos deteriorantes (SOARES *et al.*, 2017).

Além das alterações relacionadas à cor, a deterioração microbiológica exerce aumento significativo no pH por meio da produção de metabólitos de natureza básica. O pH constitui um parâmetro fundamental da qualidade da carne, por influenciar propriedades funcionais, sensoriais e microbiológicas (BARCO *et al.*, 2015). Atualmente, não existe uma norma federal única e explícita, no âmbito do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) ou da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que estabeleça um limite legal obrigatório de pH para carne bovina *in natura* destinada ao consumo humano. No entanto, o pH ideal associado à qualidade da carne bovina *in natura* situa-se, de modo geral, entre 5,4 e 5,8. Esse intervalo é considerado desejável por favorecer atributos sensoriais importantes, como maciez, sabor e aparência visual atrativa ao consumidor (MUIŽNIECE e KAIRIŠA, 2020; BARÓN *et al.*, 2021; DENZER *et al.*, 2022).

Alterações no pH exercem influência direta sobre a capacidade de retenção de água, definida como a habilidade do tecido muscular em reter água quando submetido a forças externas, como corte, moagem e aquecimento. A redução dessa capacidade resulta em maiores perdas de peso durante o armazenamento e a cocção, configurando um importante indicador de qualidade e de rendimento do produto para o consumidor. Carnes com menor capacidade de retenção de água apresentam maior exsudação, especialmente durante a exposição no varejo, em função do aumento da superfície exposta e da desnaturação proteica, o que compromete a suculência e a aceitabilidade do produto final (SOARES *et al.*, 2017).

Nesse contexto, o controle da exposição ao oxigênio é essencial para a manutenção da estabilidade da cor e da qualidade da carne bovina, ao reduzir a ocorrência de processos oxidativos e de deterioração. A adoção de sistemas de embalagem adequados contribui para a proteção contra contaminações, inibição do crescimento microbiano e preservação das características sensoriais e nutricionais do produto. Dessa forma, as embalagens devem assegurar a qualidade e a segurança alimentar, considerando o elevado valor econômico da carne bovina (PRAKOSO *et al.*, 2023; PULINA *et al.*, 2021).

2.3 Embalagem para produtos cárneos

O sistema de embalagem é fundamental na estabilidade físico-química e microbiológica dos produtos cárneos, ao atuar como barreira entre o produto e o

ambiente externo. Sua função consiste em regular as transferências gasosas que ocorrem entre o ambiente interno da embalagem e as condições de estocagem, transporte e manuseio às quais o produto é submetido. No entanto, a eficácia do sistema de embalagem está diretamente relacionada às propriedades de barreira do material, definidas por sua resistência à absorção ou evaporação de gases e vapores, passagem de luz e permeação de gorduras (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2017).

A permeabilidade a gases e a barreira à perda de umidade constituem os principais pontos de interação entre a embalagem e alimentos com elevada atividade de água, como a carne bovina *in natura*. Essas interações regulam o contato do produto com o oxigênio e as trocas de vapor com o ambiente. Quando a embalagem não oferece proteção adequada entre esses fatores, a exposição ao oxigênio durante o armazenamento de produtos cárneos acelera os processos de deterioração. Uma embalagem eficaz deve atuar na redução da velocidade dessas reações, favorecer a estabilidade da coloração, restringir a contaminação e o crescimento microbiano e preservar as características sensoriais e o valor nutricional do produto ao longo do período de armazenamento (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2017).

O conceito de embalagem é descrito pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) como “o artigo que está em contato direto com alimentos, destinado a contê-los, desde a sua fabricação até a sua entrega ao consumidor, com a finalidade de protegê-los de agentes externos, de alterações e de contaminações, bem como de adulterações”. Para cumprir essa finalidade, as embalagens devem atender a requisitos gerais de segurança, não promovendo a migração de substâncias indesejáveis, tóxicas ou contaminantes para os alimentos em níveis superiores aos limites legais estabelecidos. A legislação também enfatiza que as embalagens não devem representar riscos à saúde humana nem provocar modificações inaceitáveis na composição ou nas características sensoriais dos alimentos (BRASIL, 2001).

Para a carne bovina, a Portaria nº 90, de julho de 1996 (BRASIL, 1996) estabelece que o acondicionamento em embalagens é obrigatório após o processo de desossa. Os cortes destinados ao varejo devem chegar ao ponto de venda embalados e acompanhados de informações que permitam a rastreabilidade da

matéria-prima. Entre as tecnologias disponíveis, os sistemas de embalagem mais empregados são os materiais plásticos flexíveis, com ou sem aplicação de vácuo, e as bandejas de poliestireno (PS) recobertas com filmes de policloreto de vinila (PVC) (CAUNETTO e SOUZA, 2022).

A embalagem a vácuo é o sistema predominante na indústria de carne por sua elevada eficácia na preservação da qualidade do produto. O princípio do sistema baseia-se na remoção do oxigênio do interior da embalagem, associada ao emprego de filmes multicamadas coextrusados com alto desempenho de barreira, que limitam as trocas gasosas com o meio externo. (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Ao restringir a disponibilidade de oxigênio durante o armazenamento, o vácuo reduz significativamente as reações oxidativas e o crescimento de microrganismos aeróbios, favorecendo a extensão da vida de prateleira da carne bovina. Dessa forma, o sistema proporciona maior estabilidade microbiológica e manutenção da qualidade (CAUNETTO e SOUZA, 2022).

Entretanto, essa ausência de oxigênio no interior da embalagem a vácuo favorece a formação da deoximioglobina, o que gera uma coloração mais escura na superfície da carne e pode reduzir a aceitabilidade pelo consumidor no momento da compra (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Embora a coloração vermelho-brilhante seja restabelecida após a abertura da embalagem e reexposição ao oxigênio, a decisão de compra do consumidor leigo é majoritariamente influenciada pela aparência imediata do produto. Com isso, a tonalidade mais escura torna-se um fator limitante à sua aceitação no mercado interno, e, frequentemente, a carne é reembalada em bandejas de poliestireno recobertas PVC (GOMIDE *et al.*, 2013).

Nesse sistema, o PVC atua como filme plastificado esticável no recobrimento das bandejas, caracterizando um método tradicional de comercialização de carne fresca. O material apresenta boa capacidade de alongamento, aderência superficial e facilidade de selagem, além de permeabilidade ao oxigênio suficiente para favorecer a formação de oximioglobina na superfície da carne. Esse estado químico confere coloração vermelho-cereja brilhante, frequentemente associada pelo consumidor à percepção de frescor e qualidade. Entretanto, a maior disponibilidade de oxigênio no sistema também intensifica reações oxidativas e o crescimento microbiano aeróbio, acelerando os

processos deteriorativos e resultando em vida de prateleira relativamente curta sob refrigeração (DENZER *et al.*, 2022; REYS *et al.*, 2022).

Corroborando essa dinâmica, Reys *et al.* (2022), em um estudo conduzido com peças de contrafilé armazenadas sob refrigeração em condições simuladas de varejo, avaliaram o desempenho dos dois sistemas de embalagem. Os autores verificaram que o PVC apresentou redução progressiva da luminosidade (L^*) e queda significativa da intensidade de vermelho (a^*) após cinco dias, além de aumento da oxidação lipídica a partir do décimo dia. Em contraste, o sistema a vácuo promoveu maior estabilidade dos parâmetros de cor e baixos níveis de oxidação ao longo de 35 dias de armazenamento refrigerado, evidenciando um superior desempenho na preservação da qualidade.

Embora as embalagens tradicionais apresentem eficácia na conservação da carne *in natura*, limitações específicas relacionadas à manutenção de uma coloração atrativa e à extensão da vida útil são comuns. Atrelado a esse cenário, observa-se uma crescente demanda do mercado consumidor por materiais alternativos e biodegradáveis, impulsionada principalmente pelas preocupações quanto ao uso predominante de plásticos (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Nesse sentido, o desenvolvimento de novas tecnologias de embalagem, incluindo materiais biodegradáveis, surge como alternativa promissora para conciliar desempenho tecnológico, sustentabilidade e as exigências do mercado contemporâneo, considerando o elevado valor econômico da carne bovina (ZHOU *et al.*, 2010; PRAKOSO *et al.*, 2023). Entre as opções, observa-se uma crescente tendência no uso de revestimentos comestíveis como alternativa para a conservação de produtos cárneos (KANG *et al.*, 2007; VÁSCONEZ *et al.*, 2009; VITAL *et al.*, 2016; BERMÚDEZ-ORIA *et al.*, 2019; GEDIKOĞLU, 2022; MASSINGUE *et al.*, 2022; AZIZAH *et al.*, 2023; GUO *et al.*, 2023; LIMA *et al.*, 2024; MOURA-ALVES *et al.*, 2023; SMETI *et al.*, 2025).

2.4 Revestimentos comestíveis

A crescente busca por estratégias de conservação de alimentos que conciliem eficiência tecnológica, viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental tem se intensificado diante das pressões globais por redução de resíduos e mitigação de impactos ambientais. A substituição de materiais sintéticos

convencionais por alternativas de origem renovável torna-se uma demanda estratégica da indústria de alimentos. No sistema agroindustrial de produtos cárneos, revestimentos comestíveis à base de biopolímeros destacam-se como soluções promissoras aos materiais convencionais de origem sintética (HASHEMI *et al.*, 2023).

Os revestimentos comestíveis devem ser de natureza biodegradável, renovável e não tóxico, contribuindo para o alinhamento de práticas de economia circular (HASHEMI *et al.*, 2023; GUPTA *et al.*, 2022; PRIYA *et al.*, 2023). No âmbito regulatório brasileiro, a Resolução nº91/2001 define os revestimentos como “substâncias ou produtos aplicados sobre a superfície de embalagens ou equipamentos destinados ao contato com alimentos, com a finalidade de protegê-los e de prolongar sua vida útil” (BRASIL, 2001).

Do ponto de vista estrutural, os revestimentos comestíveis são emulsões que formam uma camada fina, contínua e aderente à superfície do alimento, após a evaporação da solução. A matriz polimérica resulta das interações intermoleculares estabelecidas entre as cadeias dos biopolímeros, formando uma rede estrutural responsável pela coesão e estabilidade do revestimento. Essa estrutura atua como barreira semipermeável e seletiva ao oxigênio, regulando as trocas gasosas e a perda de umidade. (KESTER e FENNEMA, 1989; GUILBERT *et al.*, 1995).

Os biopolímeros são frequentemente utilizados como materiais base na elaboração de revestimentos comestíveis (HASSAN *et al.*, 2018). A natureza macromolecular desse gênero favorece a formação de matrizes poliméricas coesas e contribui para a estabilidade do sistema em meio aquoso (MAIA *et al.*, 1998). As principais classes utilizadas na produção de revestimentos, isoladamente ou em sistemas combinados, são os polissacarídeos (alginatos, quitosana, pectina e gomas naturais), as proteínas (zeína, concentrado de proteína do soro do leite, colágeno e gelatina) e os lipídios (HASHEMI *et al.*, 2023).

Dentre essas classes, as matrizes polissacarídicas têm recebido atenção especial devido à sua capacidade formadora de filme, biodegradabilidade e compatibilidade com diferentes compostos. Além disso, constituem o principal componente da biomassa vegetal, e são considerados como os polímeros renováveis mais abundantes disponíveis na natureza (VALDÉS *et al.*, 2015). Outras

vantagens incluem características desejáveis para aplicação em alimentos, pois apresentam caráter incolor, ausência de oleosidade e baixo valor calórico (HASSAN *et al.*, 2018).

Ademais, revestimentos à base de polissacarídeos podem retardar a perda de massa de alguns alimentos quando aplicados na forma de gel. A umidade do gel evapora antes da desidratação do alimento revestido, controlando o gradiente de umidade na interface alimento-embalagem, o que contribui para a manutenção da qualidade durante o armazenamento (GUILBERT *et al.*, 1995).

Além dos biopolímeros, outros componentes podem ser incorporados para aprimorar as propriedades mecânicas ou físicas da matriz. Os plastificantes, como o glicerol, são substâncias não voláteis e de alto ponto de fusão que reduzem as forças intermoleculares ao longo das cadeias poliméricas ao interferirem nas pontes de hidrogênio, aumentando a flexibilidade do filme (MAIA *et al.*, 1998; KOCIRA *et al.*, 2021). Compostos bioativos, antioxidantes naturais, extratos vegetais e agentes antimicrobianos podem ser adicionados para potencializar a capacidade antioxidante e antimicrobiana do revestimento (LIMA *et al.*, 2024; AZIZAH *et al.*, 2023). Dessa forma, a composição química da matriz e as interações intermoleculares estabelecidas durante a formação do filme são determinantes para as propriedades estruturais e funcionais do sistema (HASSAN *et al.*, 2018; KOCIRA *et al.*, 2021).

A formação da solução pode ocorrer por diferentes métodos, incluindo processos de gelificação, obtidos a partir do resfriamento rápido de uma solução hidrocoloidal previamente aquecida. O ajuste de pH e, ou, o aquecimento controlado pode ser realizado para facilitar a dispersão e solubilização (MAIA *et al.*, 1998). Durante a fabricação, os componentes do filme devem ser dispersos e dissolvidos em um solvente como água, álcool ou uma mistura de água e álcool ou uma mistura de outros solventes (BOURTOOM, 2008).

A aplicação do revestimento comestível pode ser realizada por imersão, aspersão ou espalhamento. A imersão é o método mais empregado pela simplicidade operacional e menor custo, e também é indicada para soluções de revestimento mais densas e viscosas (DHANAPAL *et al.*, 2012). O processo consiste nas etapas de imersão e tempo de permanência, deposição e evaporação do solvente. Na primeira etapa, o alimento é imerso na solução a uma velocidade

constante para reter o produto na superfície do alimento, permanecendo submerso por um período previamente estabelecido. Em seguida, na deposição, o produto é retirado da solução e transferido para um local adequado para drenagem, com o objetivo de remover o excesso e favorecer a formação de camadas finas e homogênea. Por fim, na etapa de evaporação, ocorre a secagem do solvente sobre a superfície do alimento, por meio de equipamentos de secagem ou à temperatura ambiente (NUNES *et al.*, 2023). A barreira parcial ao oxigênio é consolidada após a evaporação do solvente (VITAL *et al.*, 2016; HASHEMI *et al.*, 2023).

Na indústria, os revestimentos comestíveis são amplamente utilizados em alimentos perecíveis, como frutas e vegetais. Em produtos cárneos, as pesquisas têm demonstrado desempenho promissor na manutenção da qualidade durante o armazenamento. Os resultados mostram que a barreira formada pelo revestimento atua na redução dos processos oxidativos, na preservação da estabilidade de cor e no retardamento do crescimento de microrganismos deteriorantes (CARDOSO *et al.*, 2016; HASSAN *et al.*, 2018).

Revestimentos de gelatina-quitosana incorporados com extratos etanólicos de pimenta-da-jamaica (MASSINGUE *et al.*, 2022), à base de alginato e enriquecido com óleos essenciais de alecrim e orégano (VITAL *et al.*, 2016) mostraram redução da oxidação lipídica, maior estabilidade de cor e menor crescimento microbiano superficial. Resultados semelhantes foram observados por Lima *et al.* (2024), que associaram quitosana a extrato de alecrim, observando resultados no aumento capacidade de retenção de água, redução na perda de peso por cocção e no desenvolvimento de bactérias mesófilas e psicrótróficas e *Staphylococcus* spp. Smeti *et al.* (2025) verificaram efeito sinérgico entre revestimento de alginato e irradiação, ampliando a vida útil da carne bovina. Cardoso *et al.* (2016) avaliaram embalagens ativas à base de gelatina e quitosana, plastificados com glicerol, e observaram maior estabilidade de cor em bifes bovinos durante a exposição no varejo.

2.4.1 Revestimento à base de pectina

Entre os polissacarídeos utilizados na elaboração de revestimentos comestíveis, a pectina destaca-se pela ampla disponibilidade, biodegradabilidade, não toxicidade e biocompatibilidade e baixo custo produtivo. A pectina é um

carboidrato branco, amorfo, coloidal e de alto peso molecular, presente principalmente na parede celular primária e na lamela média de vegetais e frutos. As funções na célula vegetal são estruturais, incluindo adesão intercelular, resistência mecânica da parede celular, formação de géis estabilizadores e regulação do crescimento celular (VALDÉS *et al.*, 2015; BUTLER *et al.*, 2023).

Estruturalmente, a pectina é considerada uma das classes mais complexas de polissacarídeos, composta predominantemente por cadeias de ácido (1→4)- α -D-galacturônico, intercaladas por resíduos de ramnose e cadeias laterais contendo arabinose, galactose e xilose. As propriedades físico-químicas dependem principalmente do grau de metil-esterificação (DM), definido como a quantidade de grupos metoxila por 100 moles de ácido galacturônico. O grau influencia diretamente a solubilidade, a capacidade de gelificação e o comportamento mecânico do polímero. A diferenciação ocorre pelos ajustes químicos industriais e pré-industriais dos resíduos de ácido galacturônico pela adição de grupos metil por meio de processos industriais de extração e desesterificação. Essa modificação química é essencial para melhorar as propriedades e ajustar as propriedades tecnológicas da pectina para diversas aplicações na indústria de alimentos (BUTLER *et al.*, 2023).

Com essas alterações, a pectina é classificada entre pectina de baixa metoxilação (BTM) e de alta metoxilação (ATM). O mecanismo de gelificação da pectina BTM ocorre sem necessidade de adição de sacarose e baseia-se em interações eletrostáticas mediadas por pontes com cátions divalentes, como o Ca^{2+} , em ampla faixa de pH (2,0–6,0). O processo segue a conformação denominada “caixa de ovos” (BUTLER *et al.*, 2023), que origina uma rede tridimensional estável, reforçada por pontes de hidrogênio (VALDÉS *et al.*, 2015).

No campo dos filmes e revestimentos comestíveis, a pectina apresenta elevada capacidade formadora de filme, boa barreira ao oxigênio, preservação de aroma e propriedades mecânicas satisfatórias (GUPTA *et al.*, 2022; KOCIRA *et al.*, 2021). Os sistemas de géis formados atuam como barreira semipermeável, reduzindo a perda de água e contribuindo para a manutenção da qualidade do alimento durante o armazenamento (VALDÉS *et al.*, 2015). Entretanto, devido à sua natureza hidrofílica e elevada solubilidade, a pectina apresenta limitação quanto à barreira à umidade em alimentos com alta atividade de água, como a

carne bovina *in natura*, o que pode favorecer processos deteriorativos (HASHEMI *et al.*, 2023). Diante desse contexto, a incorporação de compostos bioativos tem sido utilizada para melhorar a estabilidade físico-química e ampliar a funcionalidade tecnológica de revestimentos à base de pectina aplicados em produtos cárneos (GUPTA *et al.*, 2022) (Tabela 1).

Tabela 1. Efeito de filmes ou revestimentos comestíveis à base de pectina na preservação de produtos cárneos.

Tipo	Composto Bioativo	Produto Revestido	Resultados	Autores
Pectina cítrica + gelatina de pele de peixe	Subproduto do óleo de oliva	Carne bovina	Melhora na estabilização lipídica em 68% e 59% (0,5% do composto)	(BERMÚDEZ-ORIA <i>et al.</i> , 2019)
Pectina da casca de melancia	Polifenóis da casca de melancia	Carne ovina refrigerada	Redução nos valores de TVN e TBA (1,5% do composto), e na contagem total de bactérias	(GUO <i>et al.</i> , 2023)
Pectina cítrica	Pó de chá verde	Hambúrguer suíno	Redução nos valores de TBA durante 14 dias de armazenamento e inibição na contagem total de placas bacterianas	(KANG <i>et al.</i> , 2007)
Pectina + gelatina de pele de peixe	Óleo essencial de capim-limão (<i>lemongrass</i>)	Carne de frango	Efeito inibitório sobre <i>Salmonella</i>	(AZIZAH <i>et al.</i> , 2023)

Fonte: Adaptado de Hashemi *et al.* (2023)

TVN: Nitrogênio Volátil Total. TBA: Ácido Tiobarbitúrico, indicador de oxidação lipídica.

CFU/g: Unidades Formadoras de Colônia por grama

¹ Contagem total viável, bactérias *Pseudomonas* e bactérias produtoras de H₂S

2.5 Guavira

A guavira (*Campomanesia* sp), popularmente conhecida como guabiroba-do-campo, é uma espécie frutífera nativa do bioma Cerrado, amplamente distribuída em áreas de terra firme e zonas de transição com o Pantanal Sul. Os agrupamentos naturais, denominados “guavirais”, constituem formações vegetais características dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Além de sua relevância ecológica, a guavira apresenta importante valor sociocultural e econômico na região Centro-Oeste, representando uma fonte de renda

complementar para comunidades indígenas e tradicionais, que a comercializam em feiras livres e à beira de rodovias (ZORGETTO-PINHEIRO *et al.*, 2023). A representatividade foi oficialmente reconhecida pela Lei nº 5.082/2017, que declarou a guavira como fruto símbolo do Estado de Mato Grosso do Sul e autorizou sua inserção nas divulgações turísticas estaduais (MATO GROSSO DO SUL, 2017).

Nas últimas décadas, o interesse científico pela guavira tem aumentado devido ao potencial funcional associado à sua composição fitoquímica. Diferentes estudos demonstram concentração elevada de compostos bioativos relacionados às atividades antioxidante, antimicrobiana e anti-inflamatória da espécie (PEREIRA *et al.*, 2012; MORZELLE *et al.*, 2015; SCHNEIDER *et al.*, 2020; DUARTE *et al.*, 2020; VISCARDI *et al.*, 2017; ARAÚJO *et al.*, 2023). Entre os principais compostos, destacam-se quercetina, miricetina, miricitrina, catequinas, ácido gálico, ácido elágico e ácido clorogênico, além da presença de pigmentos antioxidantes lipofílicos e vitamina C (DUARTE *et al.*, 2020; VISCARDI *et al.*, 2017; ARAÚJO *et al.*, 2023; NASCIMENTO *et al.*, 2025).

A capacidade antioxidante da guavira está diretamente associada à ação desses compostos como sequestradores de radicais livres e agentes redutores, retardando processos oxidativos relacionados à deterioração de sistemas biológicos e alimentares (ARAÚJO *et al.*, 2023). Além disso, flavonoides e compostos fenólicos presentes na espécie apresentam capacidade de quelar metais de transição, reduzir a peroxidação lipídica e modular mecanismos relacionados ao estresse oxidativo (DUARTE *et al.*, 2020).

Estudos também relatam potencial antimicrobiano, atribuído à presença de flavonoides e chalconas, que são capazes de alterar a permeabilidade da membrana celular microbiana, promover desestabilização estrutural e interferir em processos metabólicos essenciais (DUARTE *et al.*, 2020; VISCARDI *et al.*, 2017). Além disso, extratos de *C. adamantium* apresentam atividades anti-inflamatória e antinociceptiva, associadas à modulação de mediadores inflamatórios e à redução de processos oxidativos celulares (VISCARDI *et al.*, 2017).

No entanto, apesar do elevado potencial tecnológico da espécie, a utilização agroindustrial da guavira é limitada ao consumo *in natura* ou ao processamento artesanal em polpas, doces, geleias e licores (DUARTE *et al.*,

2020). Nesse contexto, a incorporação da guavira em sistemas de conservação surge como alternativa promissora, pois além de ampliar o aproveitamento funcional da espécie, também favorece a valorização de recursos nativos do Cerrado e o fortalecimento de cadeias produtivas regionais associadas à agricultura familiar e à bioeconomia (MORZELLE *et al.*, 2015). Sob essa perspectiva, políticas públicas voltadas à produção sustentável têm estimulado o uso de matérias-primas regionais com potencial tecnológico e funcional. O Plano Safra 2025/2026 destinou R\$ 89 bilhões à agricultura familiar, incluindo incentivos à adoção de práticas ambientalmente responsáveis e ao fortalecimento de sistemas produtivos sustentáveis (CONAB, 2025).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivos gerais

Objetivou-se desenvolver um revestimento comestível à base de pectina, enriquecido com extrato agroindustrial de guavira (*Campomanesia* sp.), e avaliar sua eficácia na conservação da carne bovina *in natura* refrigerada por diferentes dias.

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar os parâmetros físicos e estruturais da carne bovina *in natura* submetida aos diferentes sistemas de revestimento (pectina e pectina incorporada com extrato agroindustrial de guavira) e acondicionamento (a vácuo e em filme PVC), por meio da avaliação da perda de peso, perda por cocção (PPC), força de cisalhamento, índice de fragmentação miofibrilar (IFM), cor instrumental e pH durante o armazenamento refrigerado a 4 °C por até 7 dias.
- Avaliar a capacidade dos revestimentos em reduzir processos deteriorativos, com base na avaliação dos parâmetros físicos e estruturais e da oxidação lipídica, determinada pela quantificação de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), em comparação às amostras controle (sem revestimento) e às amostras revestidas exclusivamente com pectina.
- Comparar a estabilidade tecnológica da carne bovina entre os tratamentos, considerando a interação entre tipo de revestimento e sistema de embalagem ao longo do armazenamento.

- Analisar a interação entre os diferentes tipos de revestimento e os sistemas de embalagem (vácuo e PVC), considerando seus efeitos combinados sobre a qualidade da carne bovina.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Beef Report 2025: perfil da pecuária no Brasil**. São Paulo: ABIEC, 2025a.

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Brasil bate recorde nas exportações de carne bovina em 2025**. 2025b. Disponível em: < Brasil bate recorde nas exportações de carne bovina em 2025 – ABIEC>Acesso em: 16 fev. 2026.

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Brasil se torna o maior produtor mundial de carne bovina e fortalece posição nas exportações**. 2025c. Disponível em: <<https://abiec.com.br/brasil-se-torna-o-maior-produtor-mundial-de-carne-bovina-e-fortalece-posicao-nas-exportacoes/>> Acesso em: 16 fev. 2026.

AL-SHIBLI, M. A. *et al.* Evaluation of meat and meat product oxidation and off-flavor formation: managing oxidative changes. **Teoriya i Praktika Pererabotki Myasa**, v. 8, n. 4, p. 302–315, 2023.

ARAÚJO, L. C. A. *et al.* Campomanesia adamantium O Berg. fruit, native to Brazil, can protect against oxidative stress and promote longevity. **Plos one**, v. 18, n. 11, p. e0294316, 2023.

AZIZAH, F. *et al.* Development of edible composite film from fish gelatin–pectin incorporated with lemongrass essential oil and its application in chicken meat. **Polymers**, v. 15, p. 207, 2023.

BARCO, L. *et al.* A systematic review of studies on Escherichia coli and Enterobacteriaceae on beef carcasses at the slaughterhouse. **International Journal of Food Microbiology**, v. 207, p. 30–39, 2015.

BARÓN, C. L. C. *et al.* Influence of ultimate pH on biochemistry and quality of Longissimus lumborum steaks from Nellore bulls during ageing. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, n. 7, p. 3333–3343, 2021.

BERMÚDEZ-ORIA, A. *et al.* Effect of edible pectin-fish gelatin films containing olive antioxidants hydroxytyrosol and 3,4-dihydroxyphenylglycol on beef meat during refrigerated storage. **Meat Science**, v. 148, p. 213–218, 2019.

BOURTOOM, T. Edible films and coatings: characteristics and properties. **International food research journal**, v. 15, n. 3, p. 237-248, 2008.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 91, de 11 de maio de 2001. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria nº 90, de 15 de julho de 1996. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 1996.

BUTLER, I. P. *et al.* Pectin as a biopolymer source for packaging films using a circular economy approach: Origins, extraction, structure and films properties. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 40, p. 101224, 2023.

CARDOSO, G. P. *et al.* Selection of a chitosan gelatin-based edible coating for color preservation of beef in retail display. **Meat Science**, v. 114, p. 85–94, 2016.

CAUNETTO, M. M.; SOUZA, J. P. Influences of macro-institutional environment on packaging used in beef and chicken meat agribusiness systems. **Ciências Sociais Aplicadas em Revista**, v. 22, n. 42, p. 56–71, 2022.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária: safra 2025/26**. Brasília: CONAB, 2025.

COUTINHO, I. D. *et al.* Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) and evaluation of antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg (Guavira). **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 45, n. 4, p. 767-776, 2009.

DENZER, M. L. *et al.* Repackaging nitrite-embedded dark-cutting steak in aerobic polyvinyl chloride film decreases surface redness. **Meat and Muscle Biology**, v. 5, n. 1, 2022.

DHANAPAL, A. Edible films from polysaccharides. **Food Science and Quality Management**, v. 3, p. 9, 2012.

DOMÍNGUEZ, R. *et al.* Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: a review. **Food Research International**, v. 113, p. 93–101, 2018.

DUARTE, L. S. *et al.* *Campomanesia* genus: A literature review of nonvolatile secondary metabolites, phytochemistry, popular use, biological activities, and toxicology. **Eclética Química**, v. 45, p. 12-22, 2020.

GEDIKOĞLU, A. The effect of *Thymus vulgaris* and *Thymbra spicata* essential oils and/or extracts in pectin edible coating on the preservation of sliced bolognas. **Meat Science**, v. 184, p. 108697, 2022.

GOMIDE, L. A. M. *et al.* **Ciência e qualidade da carne: fundamentos**. Viçosa: UFV, 2013.

GUILBERT, S. *et al.* Technology and applications of edible protective films. **Packaging Technology and Science**, v. 8, n. 6, p. 339–346, 1995.

GUO, Z. *et al.* Active film preparation using pectin and polyphenols of watermelon peel for super-chilled storage of mutton. **Food Chemistry**, v. 417, p. 135838, 2023.

GUPTA, V. *et al.* A comprehensive review of biodegradable polymer-based films and coatings and their food packaging applications. **Materials**, v. 15, n. 17, p. 5899, 2022.

HASHEMI, S. M. B. *et al.* Polysaccharide-based edible films/coatings for preservation of meat and fish products. **Foods**, v. 12, n. 17, p. 3268, 2023.

HASSAN, B. *et al.* Recent advances on polysaccharides, lipids and protein-based edible films and coatings. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 1095–1107, 2018.

KANG, H. J. *et al.* Effect of a pectin-based edible coating containing green tea powder on irradiated pork patty. **Food Control**, v. 18, p. 430–435, 2007.

KESTER, J. J.; FENNEMA, O. An edible film of lipids and cellulose ethers. **Journal of Food Science**, v. 54, n. 6, p. 1383–1389, 1989.

KOCIRA, A. *et al.* Polysaccharides as edible films and coatings. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 813, 2021.

LESCANO, C. H. *et al.* Effect of polyphenols from *Campomanesia adamantium*. **Frontiers in Pharmacology**, v. 9, p. 617, 2018.

LIMA, A. F. *et al.* Chitosan coating with rosemary extract increases shelf life of beef. **Foods**, v. 13, n. 9, p. 1353, 2024.

MAIA, L. H. *et al.* Filmes comestíveis: aspectos gerais e propriedades de barreira. **Boletim do CEPPA**, 1998.

MASSINGUE, A. A. *et al.* Retail display life extension of beef by gelatin-chitosan edible coating incorporated with allspice leaves extract. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, 2022.

MATO GROSSO DO SUL. Lei nº 5.082, de 7 de novembro de 2017. **Diário Oficial do Estado de Mato Grosso do Sul**, Campo Grande, 7 nov. 2017.

MORZELLE, M. C. *et al.* Chemical and physical charecteriztion of fruits from cerrado: curriola, gabirola and murici. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, p. 96-103, 2015.

MOURA-ALVES, M. *et al.* Antimicrobial and antioxidant edible films in chicken meat. **Foods**, v. 12, n. 12, p. 2308, 2023.

MUIŽNIECE, I.; KAIRIŠA, D. Effect of sex and age on beef cattle meat pH. **Agricultural Science and Practice**, v. 7, n. 2, p. 55–60, 2020.

NASCIMENTO, C. P. F. *et al.* Percepção dos consumidores sobre revestimentos comestíveis. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, 2022.

NASCIMENTO, R. *et al.* Phytochemical Diversity and Therapeutic Potential of *Campomanesia adamantium*. **ACS omega**, v. 10, n. 40, p. 46294-46308, 2025.

NUNES, C. *et al.* Edible coatings and future trends in active food packaging. **Foods**, v. 12, n. 17, p. 3308, 2023.

OGBU, C. C.; OKEY, S. N. Agro-industrial waste management: the circular and bioeconomic perspective. **Agricultural waste-new insights**, 2023

OLIVEIRA, L. M. Properties of barrier shrink bags made with EVOH. **Polímeros**, v. 28, p. 125–130, 2018.

PEREIRA, M. C. *et al.* Characterization and antioxidant potential of Brazilian fruits from the Myrtaceae family. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 60, n. 12, p. 3061-3067, 2012.

PRAKOSO, F. A. H. *et al.* Edible film casting techniques for meat packaging. **Polymers**, v. 15, n. 13, p. 2800, 2023.

PRIYA, K. *et al.* Recent advances in edible coating of food products. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 12, p. 100623, 2023.

PULINA, G. *et al.* Beef for future: technologies for a sustainable industry. **Animal**, v. 15, n. 11, p. 100358, 2021.

REYES, T. M. *et al.* Vacuum packaging can extend fresh color characteristics of beef steaks. **Foods**, v. 11, n. 4, p. 520, 2022.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L. *et al.* Propriedades de barreira. In: LEMOS, A. B., *et al.* **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**. Campinas: CETEA/ITAL, 2002. cap 11.

SCHNEIDER, V. S. *et al.* Dietary fibres from guavira pomace, a co-product from fruit pulp industry: Characterization and cellular antioxidant activity. **Food Research International**, v. 132, p. 109065, 2020.

SILVA, A. S. *et al.* Inativação de patógenos em carne bovina fresca revestida com monocamada comestível de quitosana. **MAGISTRA**, v. 31, p. 460-464, 2020.

SILVA, C. A. A; FONSECA, G. C.. Brazilian savannah fruits: Characteristics, properties, and potential applications. *Food Science and Biotechnology*, v. 25, n. 5, p. 1225-1232, 2016.

SMETI, S. *et al.* Combined effects of alginate coatings and irradiation on beef. **Applied Food Research**, v. 5, n. 1, p. 100743, 2025.

SOARES, K. M. P. *et al.* Parâmetros de qualidade de carnes e produtos cárneos: uma revisão. **Higiene Alimentar**, v. 31, n. 268/269, 2017.

USDA - United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Livestock and poultry: world markets and trade**. Washington, 2025.

VALDÉS, A. *et al.* Natural pectin polysaccharides as edible coatings. **Coatings**, v. 5, n. 4, p. 865–886, 2015.

VÁSCONEZ, M. B. *et al.* Antimicrobial activity and physical properties of chitosan–tapioca starch films. **Food Research International**, v. 42, n. 7, p. 762–769, 2009.

VISCARDI, D. Z. *et al.* Anti-inflammatory, and antinociceptive effects of *Campomanesia adamantium* microencapsulated pulp. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 27, n. 2, p. 220-227, 2017.

VITAL, A. C. P. *et al.* Effect of edible and active coating on beef characteristics. **PLOS ONE**, v. 11, n. 8, p. e0160535, 2016.

WANG, Z. *et al.* Interrelationship among ferrous myoglobin and lipid oxidations. **Meat Science**, v. 146, p. 131–139, 2018.

ZHOU, G. H.; XU, X. L.; LIU, Y. Preservation technologies for fresh meat: a review. **Meat Science**, v. 86, n. 1, p. 119–128, 2010.

ZORGETTO-PINHEIRO, V. A. *et al.* Biotechnological and socio-environmental potential of *Campomanesia adamantium*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e273473, 2023. SILVA, Alessandra Santana; SOUZA, Bartolomeu Warlene Silva; BISPO,

CAPÍTULO 2 – REVESTIMENTO COMESTÍVEL DE PECTINA INCORPORADO COM EXTRATO AGROINDUSTRIAL DE GUAVIRA NA CONSERVAÇÃO DA CARNE BOVINA *IN NATURA*

Resumo

Este estudo avaliou o efeito de revestimentos comestíveis à base de pectina, com ou sem extrato de guavira, sobre a qualidade da carne bovina *in natura* sob diferentes sistemas de embalagem e tempos de armazenamento. Amostras do músculo *Longissimus thoracis* foram distribuídas em DIC, em esquema fatorial $3 \times 2 \times 2$: três tratamentos (controle, pectina e pectina + extrato), duas condições de embalagem (vácuo e filme PVC) e dois períodos (3 e 7 dias) a 4 ± 1 °C. Os revestimentos influenciaram a purga ($P = 0,010$) e os valores de TBARS ($P = 0,024$), com maiores valores nas amostras revestidas. Houve interação entre revestimento e tempo para perda por cocção ($P < 0,001$) e força de cisalhamento ($P = 0,041$), com menores valores no tratamento pectina + extrato aos 7 dias. A interação entre revestimento e condição foi significativa para deoximioglobina ($P = 0,006$) e metamioglobina ($P = 0,026$), com maior formação de metamioglobina no tratamento pectina + extrato sob vácuo. Para os atributos de cor, houve interação entre revestimento e tempo para croma ($P = 0,002$), com menores valores no tratamento pectina + extrato aos 3 dias. O parâmetro a^* apresentou interação entre revestimento, condição e tempo ($P = 0,025$), com maiores valores no tratamento pectina aos 3 dias sob PVC. O pH também apresentou interação entre revestimento, condição e tempo ($P = 0,033$), com maiores valores aos 7 dias sob PVC. Conclui-se que os revestimentos interferem na dinâmica da água, a estabilidade oxidativa e a textura da carne, com respostas dependentes do sistema de embalagem.

Palavras-chave: biopolímeros; embalagens; estabilidade oxidativa

1. Introdução

Os sistemas de embalagem convencionais representam uma ferramenta essencial no controle dos processos de deterioração da carne, pois regulam a disponibilidade de oxigênio e as trocas gasosas entre o produto e o ambiente (Sarantópoulos *et al.*, 2002). Embora a embalagem a vácuo seja eficiente na redução da oxidação lipídica e da proliferação microbiana, a coloração mais escura associada à predominância da deoximioglobina limita sua aceitação no varejo (Reyes *et al.*, 2022). Por outro lado, sistemas de embalagens permeáveis ao oxigênio favorecem a formação de oximioglobina, melhorando a aparência visual da carne. Contudo, a presença de oxigênio acelera a deterioração da carne, reduzindo significativamente sua vida de prateleira (Caunetto e Souza, 2022).

Diante dessas limitações, o uso de revestimentos comestíveis tem sido amplamente investigado como estratégia complementar aos sistemas de embalagem tradicionais. Esses sistemas atuam como barreiras semipermeáveis, capazes de modular a difusão de gases e a perda de umidade, contribuindo para a manutenção da qualidade dos alimentos. Além disso, podem funcionar como matrizes veiculadoras de compostos bioativos com propriedades antioxidantes, capazes de retardar processos oxidativos e o crescimento microbiano em produtos cárneos prateleira (Hassan *et al.*, 2018; Hashemi *et al.*, 2023). Estudos recentes têm demonstrado que revestimentos comestíveis aplicados diretamente sobre a superfície da carne podem contribuir para a estabilidade oxidativa e manutenção da cor durante o armazenamento refrigerado (Bermúdez-Oria *et al.*, 2019; Gedikoğlu, 2022; Massingue *et al.*, 2022; Azizah *et al.*, 2023; Guo *et al.*, 2023; Lima *et al.*, 2024; Moura-Alves *et al.*, 2023; Smeti *et al.*, 2025).

Os revestimentos comestíveis são formulados a partir de diferentes biopolímeros naturais, como polissacarídeos, proteínas e lipídios. Entre os polissacarídeos, a pectina se destaca pela capacidade de formar filmes contínuos, boa compatibilidade com sistemas alimentares, biodegradabilidade, ausência de toxicidade e ampla disponibilidade. (Kocira *et al.*, 2021; Gupta *et al.*, 2022). Revestimentos à base de pectina têm demonstrado efeitos positivos na redução da perda de umidade e na preservação da qualidade de produtos cárneos, especialmente quando associados à incorporação de extratos naturais ricos em

compostos bioativos (Dhanapal *et al.*, 2012; Bermúdez-Oria *et al.*, 2019; Azizah *et al.*, 2023; Guo *et al.*, 2023).

Nesse contexto, extratos vegetais têm sido amplamente investigados devido ao elevado teor de compostos bioativos com potencial para retardar processos oxidativos e microbiológicos em alimentos. Entre essas fontes, frutos nativos brasileiros têm despertado crescente interesse científico pelo potencial funcional e possibilidade de valorização de recursos regionais e aproveitamento de subprodutos agroindustriais. Dentre esses frutos, destaca-se a guavira (*Campomanesia* sp.), espécie nativa do Cerrado brasileiro, rica em compostos fenólicos e flavonoides, associados a atividades antioxidante, antimicrobiana e anti-inflamatória descritas (Morzelle *et al.*, 2015; Schneider *et al.*, 2020; Duarte *et al.*, 2020; Viscardi *et al.*, 2017; Araújo *et al.*, 2023).

Embora a utilização agroindustrial da guavira seja limitada, o processamento dos frutos gera resíduos ricos em compostos fenólicos e flavonoides com reconhecido potencial antioxidante e antimicrobiano (Morzelle *et al.*, 2015; Duarte *et al.*, 2020; Loubet Filho *et al.*, 2020). O aproveitamento desses subprodutos como ingredientes funcionais em revestimentos comestíveis representa uma alternativa para agregar valor aos resíduos agroindustriais e aplicar práticas de economia circular (Ogbu e Okey, 2023). Apesar desse potencial, ainda não há estudos que avaliem a incorporação de extratos obtidos de resíduos agroindustriais de guavira em revestimentos comestíveis destinados à conservação da carne bovina. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de um revestimento comestível à base de pectina enriquecido com extrato de resíduo agroindustrial de guavira sobre os parâmetros de qualidade da carne bovina *in natura* armazenada sob refrigeração em diferentes sistemas de embalagem.

2. Materiais e Métodos

2.1 Produção do extrato agroindustrial de guavira e do revestimento comestível

O extrato do resíduo industrial de guavira (*Campomanesia* sp) foi produzido pelo Grupo de Pesquisa em Nutrição Experimental (GEPENEX) da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Alimentos e Nutrição (FACFAN) da Universidade Federal

de Mato Grosso do Sul (UFMS), e está em fase de patenteamento sob o protocolo nº BR 10 2023 001751 7. A produção foi realizada conforme metodologia descrita por Loubet Filho *et al.* (2020).

Os revestimentos foram produzidos conforme metodologia adaptada de Carvalho (2021) e Nascimento (2022). A formulação foi composta por pectina BTM (1% m/v), glicerol (5% m/v) como agente plastificante e cloreto de cálcio (0,02% m/v) como agente reticulante, com pH ajustado para 3,0 por meio da adição de solução de ácido cítrico (20% m/v). No tratamento contendo o extrato de guavira, este foi previamente solubilizado em água destilada e incorporado à formulação, obtendo-se concentração final de aproximadamente 0,1% (m/v). As soluções foram preparadas sob agitação magnética, com aquecimento para solubilização dos componentes e posterior resfriamento antes da incorporação do extrato.

2.4 Amostras e tratamentos

As amostras de carne foram obtidas de peças de contrafilé (Longissimus thoracis) provenientes de um frigorífico sob Serviço de Inspeção Federal (SIF), oriundas de animais do mesmo lote e criados sob as mesmas condições. As peças foram limpas e fracionada em bifes de aproximadamente 2,54 cm de espessura, totalizando 72 unidades experimentais). Os bifes foram distribuídos aleatoriamente em delineamento fatorial $3 \times 2 \times 2$, com seis repetições, considerando três tratamentos: controle (CONT), revestimento à base de pectina (PEC) e revestimento à base de pectina enriquecido com extrato de guavira a 0,1% (EXT); dois sistemas de acondicionamento: bandejas de poliestireno expandido recobertas com filme de PVC (pvc) e embalagem a vácuo (VÁCUO); e dois períodos de armazenamento (3 e 7 dias). A distribuição dos tratamentos está apresentada na Figura 1.



Figura 1. Fluxograma do delineamento experimental.

Nos tratamentos PEC e EXT, os bifes foram revestidos por imersão nas soluções filmogênicas por 60 s, seguidos de 5 min de drenagem em placas metálicas previamente esterilizadas para formação da barreira semipermeável. Posteriormente, todas as amostras, incluindo o CONT, foram pesadas individualmente e submetidas aos sistemas de embalagem PVC ou VÁCUO. As amostras foram armazenadas em câmara BOD a 4 ± 1 °C durante 3 ou 7 dias.

2.5 Análises laboratoriais

As análises laboratoriais foram realizadas após 3 e 7 dias de armazenamento refrigerado. Ao término de cada período, as amostras foram retiradas das respectivas embalagens (PVC ou a vácuo), conduzidas à bancada e submetidas às avaliações.

2.5.1 Purga

A purga foi determinada por meio da quantificação do exsudato liberado pelas amostras durante o armazenamento. As embalagens contendo o líquido exsudato foram pesadas para obtenção da massa total acumulada. A purga foi calculada com base na relação entre a massa do exsudato e o peso inicial das amostras no dia 0, sendo os resultados expressos em porcentagem (%).

2.5.2 Cor e Pigmentos

A cor e os pigmentos foram mensurados utilizando o espectrofotométrico CM-26dG (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japão). Os parâmetros foram avaliados pelo sistema CIELAB, com medições realizadas em três pontos da superfície das amostras, utilizando iluminante padrão D65 e ângulo de observação de 10°, conforme especificações para observador padrão. Foram avaliados os parâmetros L^* (luminosidade), a^* (intensidade do vermelho), b^* (intensidade do amarelo), C^* (chroma) e h^* (ângulo hue). A quantificação dos pigmentos, correspondentes às proporções químicas de mioglobina (%), foi estimada a partir das curvas de reflectância obtidas no intervalo de 390 a 710 nm, com leituras a cada 10 nm. Os percentuais foram calculados pelo modelo matemático de Krzywicki (1979).

2.5.3 pH

O pH foi mensurado por meio do peagâmetro digital Mettler, M1120x (Toledo International Inc., Columbus, OH, EUA). As medições foram realizadas em triplicata, pela inserção do eletrodo no centro geométrico das amostras, com o

auxílio de uma lâmina de aço inox de 35 mm (Hanna Instruments, FC099 – Romênia).

2.5.4 PPC e FC

As amostras foram pesadas, submetidas à cocção em forno elétrico pré-aquecido a 180 °C até atingirem temperatura interna de 71 °C, monitorada por termômetro digital (KP-8007, KNUP, China), e posteriormente resfriadas à temperatura ambiente. A perda por cocção (PPC) foi expressa em porcentagem (%), calculada pela diferença entre o peso inicial da amostra *in natura* e o peso após o cozimento.

Após a cocção, foram retirados quatro cilindros de 1,27 cm de diâmetro, paralelamente à orientação das fibras musculares, utilizando vazador padronizado. As subamostras foram submetidas ao corte transversal em texturômetro (Brookfield CTX – AMETEK Brookfield, Middleboro, MA, EUA), equipado com lâmina Warner–Bratzler em formato de "V" (60°) e velocidade de 3,3 mm/s. A força de cisalhamento (FC) foi expressa em Newton (N), sendo o valor final correspondente à média das quatro determinações.

2.5.6 IFM

A quantificação do índice de fragmentação miofibrilar (IFM) foi realizada conforme a metodologia descrita por Culler *et al.* (1978). As soluções tampão e de biureto foram preparadas e armazenadas de acordo com as recomendações de Ramos e Gomide (2007). As miofibrilas foram extraídas a partir de amostras de músculo utilizando solução tampão, seguidas de etapas de filtração, centrifugação e ressuspensão para obtenção da suspensão miofibrilar. O teor proteico foi determinado pelo método do biureto, empregando curva padrão de albumina sérica bovina (BSA), com leitura em espectrofotômetro (Biospectro, modelo SP-220) a 540 nm. As amostras foram posteriormente padronizadas para concentração de 1 mg/mL de proteína e a absorbância foi utilizada para determinação do IFM, conforme descrito por Culler *et al.* (1978).

2.5.7 TBARS

A oxidação lipídica foi avaliada por meio da quantificação das substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), conforme metodologia proposta por Vital *et al.* (2016), com modificações. As amostras foram homogeneizadas em solução de ácido tricloroacético (TCA) contendo propilgalato e EDTA, centrifugadas e o

sobrenadante reagiu com ácido tiobarbitúrico (TBA). Após incubação, a absorbância foi determinada em espectrofotômetro a 532 nm, utilizando curva padrão de malonaldeído (MDA) para quantificação. Os resultados foram expressos em mg de MDA/kg de carne crua.

2.5.8. Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade Universitária de Naviraí, conforme as diretrizes da American Public Health Association (APHA, 2015), descritas no Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. Para cada tratamento (CONT, PEC e EXT), condição de armazenamento (PVC e vácuo) e tempo de avaliação, foi utilizada uma amostra individual de bife. As amostras foram homogeneizadas em água peptonada tamponada (0,1%) e submetidas a diluições decimais seriadas para análise.

A detecção de *Salmonella* spp. e a quantificação de *Escherichia coli* foram realizadas utilizando o sistema de placas secas 3M™ Petrifilm™. A enumeração de *E. coli* foi expressa em Unidades Formadoras de Colônias por grama (UFC/g), enquanto a pesquisa de *Salmonella* spp. foi conduzida pelo método qualitativo, com confirmação das colônias presuntivas conforme as recomendações do fabricante.

2.6 Análises estatísticas

Todas as análises estatísticas foram conduzidas utilizando o pacote ExpDes do software RStudio (version 1.2.5001; Rstudio, Inc., Boston, MA, USA).

Os dados foram inicialmente avaliados em relação às pressuposições estatísticas de normalidade e homoscedasticidade. Com os critérios atendidos, procedeu-se à análise de variância (ANOVA) para verificar os efeitos do revestimento, da condição e do tempo de armazenamento, e suas possíveis interações. Os efeitos foram considerados significativos quando $P < 0,05$. Na ausência de interação significativa, os fatores foram analisados individualmente. Quando observada interação significativa, realizou-se o desdobramento dos efeitos de maneira conjunta com o auxílio do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3. Resultados

Os dados referentes aos parâmetros físicos da carne estão apresentados na Tabela 2. Os dados referentes aos parâmetros físicos da carne estão apresentados na Tabela 2. Os valores de pH foram influenciados pela interação entre revestimento, condição de armazenamento e tempo ($P = 0,033$). Aos 7 dias, observou-se efeito da condição de armazenamento, com maiores valores de pH nas amostras acondicionadas em PVC dos grupos CONT (5,85) e PEC (5,90), em comparação às embaladas a vácuo (5,61 e 5,46, respectivamente). Considerando cada condição de armazenamento, diferenças entre os tratamentos foram observadas apenas no vácuo aos 7 dias, quando o grupo PEC apresentou maior valor de pH (5,74) em relação ao EXT (5,46). Ao avaliar o efeito do tempo, verificou-se que, nas amostras acondicionadas em PVC, o pH aumentou ao longo do armazenamento em todos os tratamentos, com acréscimos de 0,22, 0,18 e 0,25 para CONT, PEC e EXT, respectivamente.

A força de cisalhamento (FC) sofreu interação entre revestimento e tempo de armazenamento ($P = 0,041$; Figura 4C). O armazenamento reduziu a FC apenas no grupo EXT, de 45,78 N aos 3 dias para 34,90 N aos 7 dias. Após 7 dias de armazenamento, observaram-se menores valores de FC nos grupos PEC (42,88 N) e EXT (34,90 N) em relação ao CONT (61,84 N).

A perda de peso por cocção (PPC) também foi influenciada pela mesma interação entre os fatores ($P < 0,001$; Figura 4A). Ao avaliar o efeito do tempo, o grupo EXT apresentou redução da PPC ao longo do armazenamento (35,63% aos 3 dias para 28,56% aos 7 dias). Entre os tratamentos, aos 3 dias, o grupo EXT apresentou maiores perdas (35,63%) em relação ao PEC (24,41%). Entretanto, aos 7 dias, os maiores valores de PPC foram observados nos grupos CONT (33,99%) e PEC (35,59%), em comparação ao EXT (28,56%). Além disso, também houve interação entre revestimento e condição de armazenamento ($P = 0,005$; Figura 5A). Apenas o grupo PEC foi influenciado pela condição de armazenamento, apresentando maior PPC nas amostras embaladas a vácuo (35,59%) em comparação às acondicionadas em PVC (24,41%). Entre os revestimentos, apenas as amostras acondicionadas em PVC diferiram entre si, com maior PPC no CONT (32,27%) em comparação ao PEC (24,41%).

A perda por purga foi influenciada pelo fator revestimento ($P = 0,010$), com menor média observada no grupo CONT (2,40%) em comparação aos grupos PEC (3,39%) e EXT (3,35%) (Figura 2A). Observou-se também interação entre condição de armazenamento e tempo ($P = 0,031$; Figura 6A). Nas amostras armazenadas a vácuo, a perda por purga aumentou ao longo do armazenamento em todos os tratamentos, com incrementos variando de 0,46 a 2,39 pontos percentuais.

O índice de fragmentação miofibrilar (IFM) foi influenciado pela interação entre revestimento e tempo de armazenamento ($P = 0,024$; Figura 4B). Apenas o grupo PEC apresentou aumento do IFM ao longo do armazenamento (39,91 para 64,50). Comparando os tratamentos, diferenças foram observadas aos 3 dias, com maiores valores para o EXT (61,35) em relação ao PEC (39,91). Para TBARS ($P = 0,024$), o grupo CONT apresentou menores valores (0,17 mg MDA/kg de carne) em comparação aos grupos PEC (0,29 mg MDA/kg de carne) e EXT (0,24 mg MDA/kg de carne) (Figura 2B).

Os parâmetros de cor estão apresentados na Tabela 3. A luminosidade (L^*) foi influenciada pela interação entre a condição de armazenamento e o tempo ($P = 0,012$; Figura 6B). Nas amostras embaladas a vácuo, os valores de L^* permaneceram estáveis ao longo do armazenamento. Em contrapartida, no sistema PVC, observou-se redução da luminosidade de 35,47 para 32,71 aos 7 dias. A comparação entre as condições de embalagem revelou diferenças apenas ao final do período de armazenamento, com maiores valores de L^* nas amostras sob vácuo (37,59) em relação ao PVC (32,71).

O parâmetro a^* apresentou interação entre revestimento, condição de armazenamento e tempo ($P = 0,025$; Tabela 3). Aos 3 dias, no grupo PEC, a embalagem em PVC proporcionou maior intensidade de vermelho (17,86) que o vácuo (14,52). Aos 7 dias, esse comportamento foi invertido, com maiores valores na embalagem a vácuo (13,15). Considerando apenas as amostras embaladas em PVC, aos 3 dias o grupo PEC apresentou maior a^* (17,86) que CONT (14,46) e EXT (11,90). Nas amostras embaladas a vácuo, diferenças foram observadas apenas aos 3 dias, quando o grupo EXT apresentou os menores valores de a^* (10,76). Em relação aos dias de armazenamento, todos os tratamentos apresentaram maiores valores no PVC no dia 3. Para b^* , diferenças foram

observadas aos 7 dias com menores valores no PVC (9,65) em comparação ao vácuo (12,13) ($P = 0,001$; Figura 6C).

O croma (C^*) foi influenciado pela interação entre revestimento e tempo de armazenamento ($P = 0,002$; Figura 4D). O armazenamento reduziu os valores de C^* nos grupos CONT, de 19,44 para 19,37, e PEC, de 16,74 para 15,44. Entre os tratamentos, aos 3 dias, o grupo EXT apresentou menor C^* (17,24) em relação aos grupos CONT (19,44) e PEC (16,74). Também foi observada interação entre condição de armazenamento e tempo para o C^* ($P < 0,001$; Figura 6D). Nas amostras embaladas em PVC, o C^* diminuiu de 17,81 para 17,67 aos 7 dias. Aos 3 dias, o PVC apresentou maior C^* que o vácuo (17,81 e 17,13, respectivamente). Aos 7 dias, esse comportamento foi invertido, com maiores valores na embalagem a vácuo (17,67). O ângulo de tonalidade (h^*) foi influenciado pelo tempo de armazenamento ($P = 0,009$), com maiores valores aos 7 dias (42,56) em comparação aos 3 dias (42,29) (Figura 3A).

Os parâmetros relacionados aos pigmentos da carne estão apresentados na Tabela 4. O percentual de oximioglobina (O_2Mb) foi influenciado pela condição de armazenamento ($P = 0,003$), com maiores valores nas amostras embaladas em PVC (35,37%) em comparação àquelas armazenadas a vácuo (30,79%) (Figura 3B). O teor de deoximioglobina (DeoxiMb) foi influenciado pela interação entre revestimento e condição de armazenamento ($P = 0,006$; Figura 5B). A embalagem a vácuo aumentou o percentual de DeoxiMb no CONT (24,71% para 33,70%) e no PEC (25,93% para 33,87%) ao longo do armazenamento. Comparando os revestimentos, nas amostras embaladas a vácuo, CONT (33,70%) e PEC (33,87%) apresentaram maiores percentuais de DeoxiMb que o EXT (21,98%).

O percentual de metamioglobina (MMb) também foi influenciado pela interação entre revestimento e condição de armazenamento ($P = 0,026$; Figura 5C). No EXT, a embalagem a vácuo (43,34%) promoveu aumento da MMb em comparação ao PVC (40,93%). Além disso, comparando os tratamentos, o EXT (43,34%) apresentou os maiores percentuais no vácuo de MMb em comparação ao CONT (38,58%) e PEC (38,63%).

Para as análises microbiológicas, os resultados (Tabela 5) demonstraram ausência de *Salmonella* spp. em 25 g de amostra e contagens de *Escherichia coli*

inferiores a 10 UFC/g em todos os tratamentos, condições de armazenamento e períodos avaliados.

4. Discussão

O aumento do pH ao longo do armazenamento, especialmente nas amostras acondicionadas em PVC, pode estar relacionado à degradação de compostos nitrogenados e às modificações estruturais decorrentes dos processos oxidativos e proteolíticos. Embora valores mais elevados de pH possam favorecer maior retenção de água e atividade proteolítica (Koohmaraie e Geesink, 2006; Barón *et al.*, 2021), no presente estudo esse efeito parece ter sido secundário, considerando que as alterações de textura foram mais fortemente influenciadas pela dinâmica da água promovida pelo sistema de embalagem e pelos revestimentos. Além disso, o aumento do pH pode comprometer a estabilidade dos pigmentos musculares, contribuindo para as alterações de cor observadas nas amostras embaladas em PVC.

A maior perda de exsudato observada nas amostras embaladas a vácuo pode ser atribuída à pressão negativa exercida sobre o tecido muscular durante a aplicação do vácuo, favorecendo a mobilização da água dos espaços intra e extrafibrilares para a superfície da carne (Huff-Lonergan e Lonergan, 2005; Dimakopoulou-Papazoglou e Katsanidis, 2020). Esse efeito tende a se intensificar durante o armazenamento em decorrência das alterações estruturais do músculo, que reduzem sua capacidade de retenção de água (Stella *et al.*, 2019), justificando os maiores valores de purga observados, especialmente aos 7 dias.

Além da embalagem, os revestimentos também aumentaram a perda de exsudato nos tratamentos PEC e EXT. Embora revestimentos comestíveis sejam frequentemente associados à redução da perda de água, sua eficiência depende da composição da matriz polimérica, do método de aplicação, das condições de armazenamento, do processamento do alimento e da espécie animal (Domínguez *et al.*, 2018; Hashemi *et al.*, 2023; Priya *et al.*, 2023). Resultados mais consistentes têm sido obtidos em produtos cárneos processados ou emulsificados (Gedikoğlu, 2022), em outras espécies animais (Guo *et al.*, 2023; Moura-Alves *et al.*, 2023) e em filmes compostos contendo diferentes biopolímeros e propriedades de barreira (Bermúdez-Oria *et al.*, 2019; Massingue *et al.*, 2022; Lima *et al.*, 2024).

No presente estudo, a formação de gradientes osmóticos na interface carne-revestimento pode ter favorecido a migração de água para a superfície da carne (Dimakopoulou-Papazoglou e Katsanidis, 2020). Esse efeito provavelmente foi intensificado pela natureza hidrofílica da pectina, cujos grupos hidroxila e carboxila apresentam elevada afinidade por água (Voragen *et al.*, 2009; Butler *et al.*, 2023). Além disso, mecanismos semelhantes à sinérese, descritos em sistemas hidrocoloidais ricos em polissacarídeos, promovem reorganização da matriz polimérica, contração estrutural e expulsão da água retida no gel (Donmez *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2024). Como consequência, os revestimentos formulados com pectina favoreceram maior acúmulo de exsudato durante o armazenamento.

Esse aumento da disponibilidade de água na superfície da carne também favorece a difusão de oxigênio e a ocorrência de reações oxidativas (Wang *et al.*, 2018; Butler *et al.*, 2023; Moura-Alves *et al.*, 2023; Priya *et al.*, 2023). No presente estudo, os tratamentos PEC e EXT apresentaram maiores valores de TBARS, indicando menor estabilidade oxidativa. No tratamento EXT, esse resultado contrasta com o potencial antioxidante descrito para diferentes extratos de guavira e para o extrato agroindustrial utilizado neste estudo, previamente caracterizado por elevada atividade antioxidante pelos métodos DPPH ($IC_{50} = 2,22$) e ORAC ($155,68 \mu\text{mol TE g}^{-1}$), associada ao elevado teor de compostos fenólicos ($7.391,09 \text{ mg AGE}/100 \text{ g}$) (Schneider *et al.*, 2020; Duarte *et al.*, 2020; Viscardi *et al.*, 2017; Araújo *et al.*, 2023; Correia *et al.*, 2023; Nascimento *et al.*, 2025; Loubet Filho *et al.*, 2020). Entretanto, nas condições avaliadas, a elevada atividade de água, associada à complexidade da matriz da carne bovina *in natura*, pode ter limitado a ação antioxidante do extrato na concentração e forma de incorporação empregadas.

Em relação aos parâmetros de textura, o tratamento PEC apresentou um padrão progressivo de amaciamento proteolítico. Aos 3 dias, os maiores valores de força de cisalhamento (FC), associados aos menores valores de índice de fragmentação miofibrilar (IFM), indicam maior integridade da matriz miofibrilar, refletindo em menor perda por cocção (PPC). Aos 7 dias, entretanto, o aumento do IFM acompanhado da redução da FC evidencia a progressão da proteólise miofibrilar, principalmente associada ao sistema calpaína–calpastatina (Koohmaraie e Geesink, 2006; Goll *et al.*, 2008; Domínguez *et al.*, 2021). Paralelamente, as alterações estruturais decorrentes da degradação das proteínas

miofibrilares, associadas à maior mobilização de água durante o armazenamento, especialmente sob vácuo (Huff-Lonergan e Lonergan, 2005; Stella *et al.*, 2019; Dimakopoulou-Papazoglou e Katsanidis, 2020), contribuíram para o aumento progressivo da PPC.

Em contraste, no tratamento EXT, a redução da FC e da PPC ao longo do armazenamento não foi acompanhada por aumento do IFM, indicando que a melhora da maciez não esteve exclusivamente relacionada à proteólise miofibrilar. Compostos fenólicos podem interagir com metais de transição e modular processos oxidativos associados à oxidação lipídica e proteica (Domínguez *et al.*, 2021), especialmente em determinadas concentrações (Zubčić *et al.*, 2020). Dessa forma, os resultados sugerem que a redução da FC pode estar relacionada a alterações conformacionais das proteínas musculares induzidas por produtos secundários da peroxidação lipídica, modificando a organização da matriz miofibrilar e favorecendo a retenção de água durante a cocção (Cheng *et al.*, 2020).

Em relação aos pigmentos e à cor instrumental, a condição de embalagem exerceu papel determinante sobre a estabilidade da cor. Nas amostras acondicionadas em PVC, a maior disponibilidade de oxigênio favoreceu a formação inicial de oximioglobina, refletindo em maiores valores de L^* , b^* , C^* e a^* aos 3 dias de armazenamento. Isso está relacionado à elevada permeabilidade ao oxigênio desse sistema de embalagem, que promove a oxigenação da superfície da carne e a formação da coloração vermelho-brilhante característica da carne fresca (Sarantópoulos *et al.*, 2002; Gomide *et al.*, 2013; Denzer *et al.*, 2022; Reyes *et al.*, 2022), o que também foi observado pelos maiores percentuais de O_2Mb registrados neste estudo. Entretanto, a exposição contínua ao oxigênio reduziu a estabilidade dos pigmentos durante o armazenamento, resultando na diminuição dos valores de L^* , b^* , C^* e a^* aos 7 dias, acompanhada pelo aumento da formação de MMb .

Em contraste, a embalagem a vácuo restringiu a disponibilidade de oxigênio, favorecendo inicialmente a predominância da DeoxiMb e menores valores de C^* . Apesar da menor intensidade inicial da cor, esse sistema proporcionou maior estabilidade ao longo do armazenamento, evidenciada pela manutenção dos valores de L^* e C^* . Esse comportamento está relacionado à limitação das reações de oxirredução em ambiente com baixa disponibilidade de oxigênio (Reyes *et al.*, 2022).

Entretanto, esse padrão não foi observado no tratamento EXT, em que maiores teores de MMb, menores percentuais de DeoxiMb e menores valores iniciais de C e a* foram observados mesmo sob vácuo, sugerindo que o sistema apresentava um estado oxidativo desde o início do armazenamento. Como consequência, as variações desses parâmetros ao longo do tempo foram menos pronunciadas, sugerindo que a oxidação dos pigmentos ocorreu precocemente (Zhou *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2018; Moura-Alves *et al.*, 2023), o que também corrobora com os maiores valores de TBARS observados nesse tratamento.

Esse comportamento pode sugerir a participação de vias oxidativas independentes da presença contínua de oxigênio, nas quais hidroperóxidos lipídicos atuam na conversão da mioglobina em metamioglobina (Wang *et al.*, 2018; Zhu *et al.*, 2024). Além disso, compostos fenólicos podem apresentar comportamento pró-oxidante na presença de metais de transição e em determinadas concentrações, intensificando a formação de espécies reativas (Shahidi e Ambigaipalan, 2015; Zubčić *et al.*, 2020; Frešer *et al.*, 2021). Embora Loubet Filho *et al.* (2020) não tenham caracterizado completamente o perfil fenólico do extrato de guavira, os autores relataram a possível presença de quercetina, composto que pode ter contribuído para o comportamento pró-oxidante observado nas condições avaliadas.

5. Conclusão

Os revestimentos comestíveis à base de pectina, com ou sem extrato de guavira, apresentaram efeitos limitados sobre a estabilidade oxidativa da carne bovina *in natura* nas condições avaliadas, principalmente quando associados ao armazenamento a vácuo. Entretanto, o extrato de guavira apresentou potencial tecnológico ao influenciar parâmetros relacionados à maciez, possivelmente correlacionado à sua composição fitoquímica. Além disso, o sistema de embalagem influenciou diretamente a estabilidade dos pigmentos e o comportamento oxidativo da carne durante o armazenamento. Dessa forma, estudos futuros devem investigar diferentes concentrações do extrato, formulações do revestimento e condições de aplicação, afim de potencializar os efeitos tecnológicos na conservação da carne bovina.

6. Referências

ARAÚJO, L. C. A *et al.* Campomanesia adamantium O Berg. fruit, native to Brazil, can protect against oxidative stress and promote longevity. *Plos one*, v. 18, n. 11, p. e0294316, 2023.

AZIZAH, F. *et al.* Development of edible composite film from fish gelatin–pectin incorporated with lemongrass essential oil and its application in chicken meat. *Polymers*, v. 15, p. 207, 2023.

BARÓN, C. L. C. *et al.* Influence of ultimate pH on biochemistry and quality of Longissimus lumborum steaks from Nellore bulls during ageing. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, n. 7, p. 3333–3343, 2021.

BERMÚDEZ-ORIA, A. *et al.* Effect of edible pectin-fish gelatin films containing olive antioxidants hydroxytyrosol and 3,4-dihydroxyphenylglycol on beef meat during refrigerated storage. **Meat Science**, v. 148, p. 213–218, 2019.

BUTLER, I. P. *et al.* Pectin as a biopolymer source for packaging films using a circular economy approach: Origins, extraction, structure and films properties. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 40, p. 101224, 2023.

CARVALHO, M. S. M. **Extração de pectina de casca de melancia: produção de biofilmes e aplicação de pectina cítrica como cobertura comestível na conservação pós-colheita de tomate cereja**. 2021. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2021.

CAUNETTO, M. M.; SOUZA, J. P. Influences of macro-institutional environment on packaging used in beef and chicken meat agribusiness systems. **Ciências Sociais Aplicadas em Revista**, v. 22, n. 42, p. 56–71, 2022.

CHENG, Jingrong *et al.* Insight into the conformational and functional properties of myofibrillar protein modified by mulberry polyphenols. **Food Chemistry**, v. 308, p. 125592, 2020.

CORREIA, Camila de Azevedo Chaves *et al.* Teor de fenólicos, flavonoides e atividade antibacteriana em diferentes extratos vegetais e óleo essencial de casca e semente de *Campomanesia adamantium*. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 11, p. 23266–23291, 2023.

CULLER, R. D. *et al.* Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. **Journal of Food Science**, v. 43, p. 1177–1180, 1978.

DENZER, M. L. *et al.* Repackaging nitrite-embedded dark-cutting steak in aerobic polyvinyl chloride film decreases surface redness. **Meat and Muscle Biology**, v. 5, n. 1, 2022.

DHANAPAL, A. Edible films from polysaccharides. **Food Science and Quality Management**, v. 3, p. 9, 2012.

DIMAKOPOULOU-PAPAZOGLU, Dafni; KATSANIDIS, Eugenios. Osmotic processing of meat: mathematical modeling and quality parameters. **Food Engineering Reviews**, v. 12, n. 1, p. 32–47, 2020

DOMÍNGUEZ, R. *et al.* Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: a review. **Food Research International**, v. 113, p. 93–101, 2018...

DOMÍNGUEZ, R. *et al.* Protein oxidation in muscle foods: A comprehensive review. **Antioxidants**, v. 11, n. 1, p. 60, 2021.

DONMEZ, D. *et al.* Characterization of starch–water interactions and their effects on two key functional properties: Starch gelatinization and retrogradation. **Current Opinion in Food Science**, v. 39, p. 103-109, 2021.

DUARTE, L. S. *et al.* Campomanesia genus: A literature review of nonvolatile secondary metabolites, phytochemistry, popular use, biological activities, and toxicology. **Eclética Química**, v. 45, p. 12-22, 2020.

FREŠER, F. *et al.* Dependence of the Fe (II)-gallic acid coordination compound formation constant on the pH. **Foods**, v. 10, n. 11, p. 2689, 2021.

GEDIKOĞLU, A. The effect of *Thymus vulgaris* and *Thymbra spicata* essential oils and/or extracts in pectin edible coating on the preservation of sliced bolognas. **Meat Science**, v. 184, p. 108697, 2022.

GOLL, D. E. *et al.* Myofibrillar protein turnover: the proteasome and the calpains. **Journal of Animal Science**, v. 86, suppl. 14, p. E19–E35, 2008.

GOMIDE, Luiz Antônio Monteiro *et al.* **Ciência e qualidade da carne: fundamentos**. Viçosa: UFV, 2013.

GUO, Z. *et al.* Active film preparation using pectin and polyphenols of watermelon peel for super-chilled storage of mutton. **Food Chemistry**, v. 417, p. 135838, 2023.

GUPTA, V. *et al.* A comprehensive review of biodegradable polymer-based films and coatings and their food packaging applications. **Materials**, v. 15, n. 17, p. 5899, 2022.

HASHEMI, S. M. B. *et al.* Polysaccharide-based edible films/coatings for preservation of meat and fish products. **Foods**, v. 12, n. 17, p. 3268, 2023.

HASSAN, B. *et al.* Recent advances on polysaccharides, lipids and protein-based edible films and coatings. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 1095–1107, 2018.

HUFF-LONERGAN, E.; LONERGAN, S. M. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. **Meat science**, v. 71, n. 1, p. 194-204, 2005.

KOCIRA, A. *et al.* Polysaccharides as edible films and coatings. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 813, 2021.

KOOHMARAIE, M.; GEESINK, G. H. Contribution of postmortem muscle biochemistry to consistent meat quality. **Meat Science**, v. 74, n. 1, p. 34–43, 2006.

KRZYWICKI, K. Assessment of relative content of myoglobin, oxymyoglobin and metmyoglobin at the surface of beef. **Meat Science**, v. 3, n. 1, p. 1–10, 1979.

LIMA, A. F. *et al.* Chitosan coating with rosemary extract increases shelf life of beef. **Foods**, v. 13, n. 9, p. 1353, 2024.

LOUBET FILHO, P. S. *et al.* Campomanesia sp. flour attenuates non-alcoholic fatty liver disease on rats fed with a hypercaloric diet. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, v. 104, n. 5, p. 1575-1582, 2020.

MASSINGUE, A. A. *et al.* Retail display life extension of beef by gelatin-chitosan edible coating incorporated with allspice leaves extract. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, 2022.

MORZELLE, M. C. *et al.* Chemical and physical characterization of fruits from cerrado: curriola, gabioba and murici. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, p. 96–103, 2015.

MOURA-ALVES, M. *et al.* Antimicrobial and antioxidant edible films in chicken meat. **Foods**, v. 12, n. 12, p. 2308, 2023.

NASCIMENTO, C. P. F. **Revestimentos de pectina adicionados de extrato hidroalcoólico de folhas de goiabeira (*Psidium guajava* L.): caracterização e aplicação em carne bovina fresca**. 2022. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

NASCIMENTO, R. *et al.* Phytochemical Diversity and Therapeutic Potential of *Campomanesia adamantium*. *ACS omega*, v. 10, n. 40, p. 46294-46308, 2025.

OGBU, C. C.; OKEY, S. N. Agro-industrial waste management: the circular and bioeconomic perspective. **Agricultural waste-new insights**, 2023

PRIYA, K. *et al.* Recent advances in edible coating of food products. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 12, p. 100623, 2023.

RAMOS, Eduardo Mendes; GOMIDE, Lúcio Alberto de Miranda. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamento e metodologias**. UFV, 2007.

REYES, T. M. *et al.* Vacuum packaging can extend fresh color characteristics of beef steaks. **Foods**, v. 11, n. 4, p. 520, 2022.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L. *et al.* **Propriedades de barreira**. In: LEMOS, A. B. *et al.* *Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades*. Campinas: CETEA/ITAL, 2002. cap. 11.

SCHNEIDER, V. S. *et al.* Dietary fibres from guavira pomace, a co-product from fruit pulp industry: characterization and cellular antioxidant activity. **Food Research International**, v. 132, p. 109065, 2020.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: antioxidant activity and health effects – a review. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 820–897, 2015.

SMETI, S. *et al.* Combined effects of alginate coatings and irradiation on beef. **Applied Food Research**, v. 5, n. 1, p. 100743, 2025.

STELLA, SIMONE *et al.* Evaluation of the weight loss of raw beef cuts vacuum packaged with two different techniques. **Italian journal of food safety**, v. 8, n. 4, p. 8111, 2019.

VISCARDI, D. Z. *et al.* Anti-inflammatory, and antinociceptive effects of *Campomanesia adamantium* microencapsulated pulp. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 27, n. 2, p. 220-227, 2017.

VITAL, A. C. P. *et al.* Effect of edible and active coating on beef characteristics. **PloS one**, v. 11, n. 8, p. e0160535, 2016.

VORAGEN, A. G. J. *et al.* Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls. **Structural Chemistry**, v. 20, n. 2, p. 263–275, 2009.

WANG, Z. *et al.* Interrelationship among ferrous myoglobin and lipid oxidations. **Meat Science**, v. 146, p. 131–139, 2018.

ZHANG, Y. *et al.* Effect of rice protein on the gelatinization and retrogradation of rice starch with different moisture content. **Foods**, v. 13, n. 23, p. 3734, 2024.

ZHOU, G. H *et al.* Preservation technologies for fresh meat: a review. **Meat Science**, v. 86, n. 1, p. 119–128, 2010.

ZHU, W. W.*et al.* Plant polyphenols regulating myoglobin oxidation and color stability in red meat and certain fish: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 64, n. 8, p. 2276-2288, 2024.

ZUBČIĆ, K. *et al.* PI3K/Akt and ERK1/2 Signalling Are Involved in Quercetin-Mediated Neuroprotection against Copper-Induced Injury. **Oxidative medicine and cellular longevity**, v. 2020, n. 1, p. 9834742, 2020.

Revestimento	Condição	Dias de armazenamento		P valor						
		3	7	T	C	D	T*C	T*D	C*D	T*C*D
pH										
CONT	PVC	5,59 ^{Aay}	5,81 ^{Aax}	0,207	<0,001	<0,001	0,010	0,344	<0,001	0,033
	SV	5,65 ^{Aax}	5,60 ^{Babx}							
PEC	PVC	5,65 ^{Aay}	5,83 ^{Aax}							
	SV	5,58 ^{Aay}	5,73 ^{Aax}							
EXT	PVC	5,64 ^{Aay}	5,89 ^{Aax}							
	SV	5,56 ^{Aax}	5,45 ^{Bbx}							
Força de Cisalhamento, N										
CONT	PVC	51,06	58,84	<0,001	0,941	0,457	0,381	0,041	0,880	0,851
	SV	56,2	64,84							
PEC	PVC	48,37	46,17							
	SV	47,36	39,58							
EXT	PVC	45,78	34,9							
	SV	42,33	33,51							
Perdas por Cocção, %										
CONT	PVC	31,75	33,33	0,496	0,004	0,127	0,005	<0,001	0,869	0,226
	SV	32,33	34,04							
PEC	PVC	23,93	28,91							
	SV	37,09	34,18							
EXT	PVC	37,13	22,83							
	SV	35,53	29,19							

Purga, %										
CONT	PVC	2,04	1,29	0,010	<0,001	0,029	0,128	0,312	0,031	0,117
	SV	1,95	4,60							
PEC	PVC	2,10	2,85							
	SV	3,85	4,00							
EXT	PVC	1,93	1,80							
	SV	4,65	5,20							
IFM										
CONT	PVC	55,75	61,42	0,127	0,755	0,162	0,956	0,024	0,505	0,140
	SV	61,00	49,34							
PEC	PVC	39,00	62,83							
	SV	40,83	66,17							
EXT	PVC	66,34	64,33							
	SV	56,33	77,50							
TBARS, mg MDA/kg carne										
CONT	PVC	0,13	0,17	0,024	0,176	0,070	0,100	0,374	0,655	0,876
	SV	0,14	0,17							
PEC	PVC	0,18	0,24							
	SV	0,23	0,24							
EXT	PVC	0,24	0,32							
	SV	0,18	0,19							

^{A-B} representam diferenças significativas entre as condições de armazenamento dentro de cada de tratamento e dia de armazenamento. ^{a-b} representam diferenças significativas entre tratamentos dentro de cada de condição e dia de armazenamento. ^{x-y} representam diferenças significativas entre dias de armazenamento dentro de cada tratamento e condição.

Efeitos individuais e interações duplas foram desdobrados em figuras.

Tabela 3. Parâmetros de cor de filés de carne bovina em função do revestimento, condição e dias de armazenamento.

Revestimento	Condição	Dias de armazenamento		T	C	D	P valor			
		3	7				T*C	T*D	C*D	T*C*D
Luminosidade, L*										
CONT	PVC	36,91	35,44	0,900	0,018	0,230	0,560	0,206	0,012	0,354
	SV	32,39	39,62							
PEC	PVC	34,83	32,69							
	SV	38,97	34,51							
EXT	PVC	34,68	30,01							
	SV	39,28	38,64							
Intensidade de vermelho, a*										
CONT	PVC	14,46 ^{Abx}	11,09 ^{Aay}	<0,001	0,251	<0,001	0,952	<0,001	<0,001	0,025
	SV	14,80 ^{Aax}	12,37 ^{Aax}							
PEC	PVC	17,86 ^{Aax}	8,78 ^{Bay}							
	SV	14,52 ^{Bax}	13,15 ^{Aax}							
EXT	PVC	11,90 ^{Abx}	10,05 ^{Aax}							
	SV	10,76 ^{Abx}	12,06 ^{Aax}							
Intensidade de amarelo, b*										
CONT	PVC	12,68	11,20	0,324	0,307	0,127	0,672	0,223	0,001	0,982
	SV	10,62	12,82							
PEC	PVC	13,92	9,66							
	SV	11,93	11,55							
EXT	PVC	10,73	8,08							
	SV	11,28	12,02							

Chroma, C*										
CONT	PVC	19,43	14,97	0,001	0,125	<0,001	0,711	0,002	<0,001	0,154
	SV	18,71	18,21							
PEC	PVC	21,94	13,12							
	SV	18,20	16,94							
EXT	PVC	16,09	12,35							
	SV	15,13	18,03							
Ângulo hue, h*										
CONT	PVC	42,02	44,18	0,271	0,926	0,009	0,421	0,357	0,935	0,145
	SV	36,63	46,50							
PEC	PVC	35,24	46,85							
	SV	40,49	39,24							
EXT	PVC	43,03	41,83							
	SV	43,09	43,83							

^{A-B} representam diferenças significativas entre as condições de armazenamento dentro de cada de tratamento e dia de armazenamento. ^{a-b} representam diferenças significativas entre tratamentos dentro de cada de condição e dia de armazenamento. ^{x-y} representam diferenças significativas entre dias de armazenamento dentro de cada tratamento e condição.

Efeitos individuais e interações duplas foram desdobrados em figuras.

Tabela 4. Pigmentos de filés de carne bovina em função do revestimento, condição e dias de armazenamento.

Tabela 4: Pigmentos de lões de carne bovina em função do revestimento, condições e dias de armazenamento.										
Revestimento	Condição	Dias de armazenamento		T	C	D	P valor			
		3	7				T*C	T*D	C*D	T*C*D
Metabioglobina, MMb %										
CONT	PVC	39,28	40,44	0,003	0,299	0,864	0,026	0,108	0,137	0,553
	SV	38,49	38,67							
PEC	PVC	38,44	41,38							
	SV	39,41	37,84							
EXT	PVC	41,39	40,46							
	SV	44,77	41,90							
Deoximioglobina, Mb+ %										
CONT	PVC	26,92	22,50	<0,001	0,021	0,996	0,006	0,108	0,255	0,713
	SV	34,21	33,19							
PEC	PVC	26,97	24,89							
	SV	33,92	33,81							
EXT	PVC	21,44	24,92							
	SV	18,47	25,49							
Oximioglobina, O ₂ Mb %										
CONT	PVC	34,05	35,86	0,056	0,003	0,901	0,368	0,750	0,925	0,341
	SV	27,88	27,02							
PEC	PVC	33,98	33,83							
	SV	26,10	28,38							
EXT	PVC	38,63	34,30							
	SV	36,77	32,61							

Efeitos individuais e interações duplas foram desdobrados em figuras.

Tabela 5. Resultado da detecção de *Salmonella* sp. e contagem de *Escherichia coli* nas amostras de carne, nos tempos 3 e 7 dias de armazenamento.

Revestimento	Condição	Dias de armazenamento		Padrão segundo RDC 724/2022 e IN 313/2024
		3	7	
Salmonella sp.				
CONT	PVC	Ausência em 25 g	Ausência em 25 g	Ausência em 25 g
	SV	Ausência em 25 g	Ausência em 25 g	
PEC	PVC	Ausência em 25 g	Ausência em 25 g	
	SV	Ausência em 25 g	Ausência em 25 g	
EXT	PVC	Ausência em 25 g	Ausência em 25 g	
	SV	Ausência em 25 g	Ausência em 25 g	
Escherichia coli (UFC/g)				
CONT	PVC	<10	<10	10² UFC/g
	SV	<10	<10	
PEC	PVC	<10	<10	
	SV	<10	<10	
EXT	PVC	<10	<10	
	SV	<10	<10	

UFC/g : Unidades Formadoras de Colônia por grama.

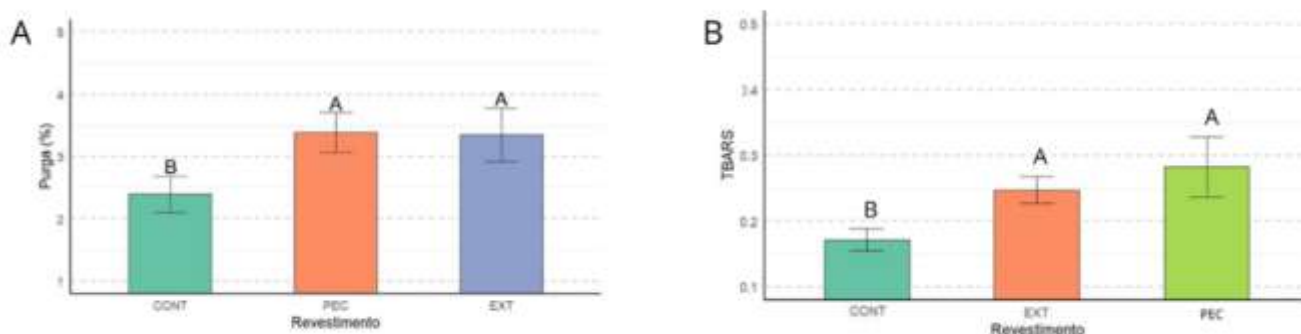


Figura 2. Efeitos individuais dos revestimentos sobre parâmetros físicos da carne bovina.

* Diferentes letras representam diferenças estatística entre as médias.

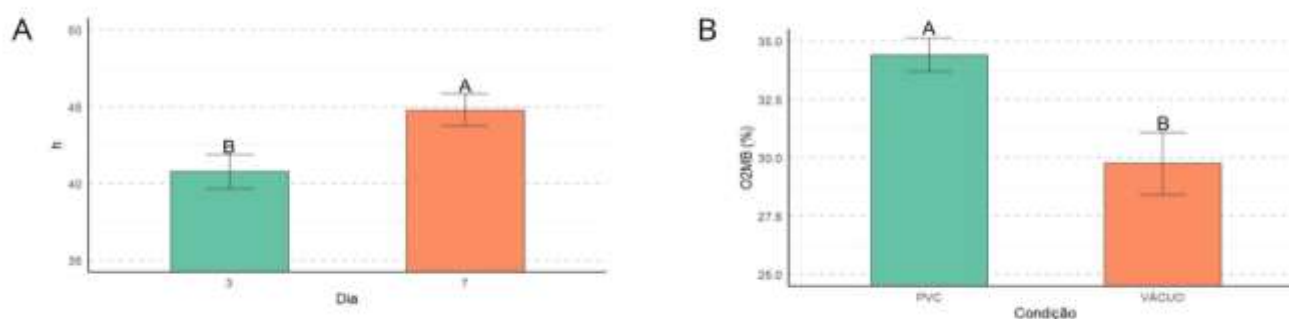


Figura 3. Efeitos individuais dos revestimentos sobre parâmetros de cor e pigmentos da carne bovina.

* Diferentes letras representam diferenças estatística entre as médias.

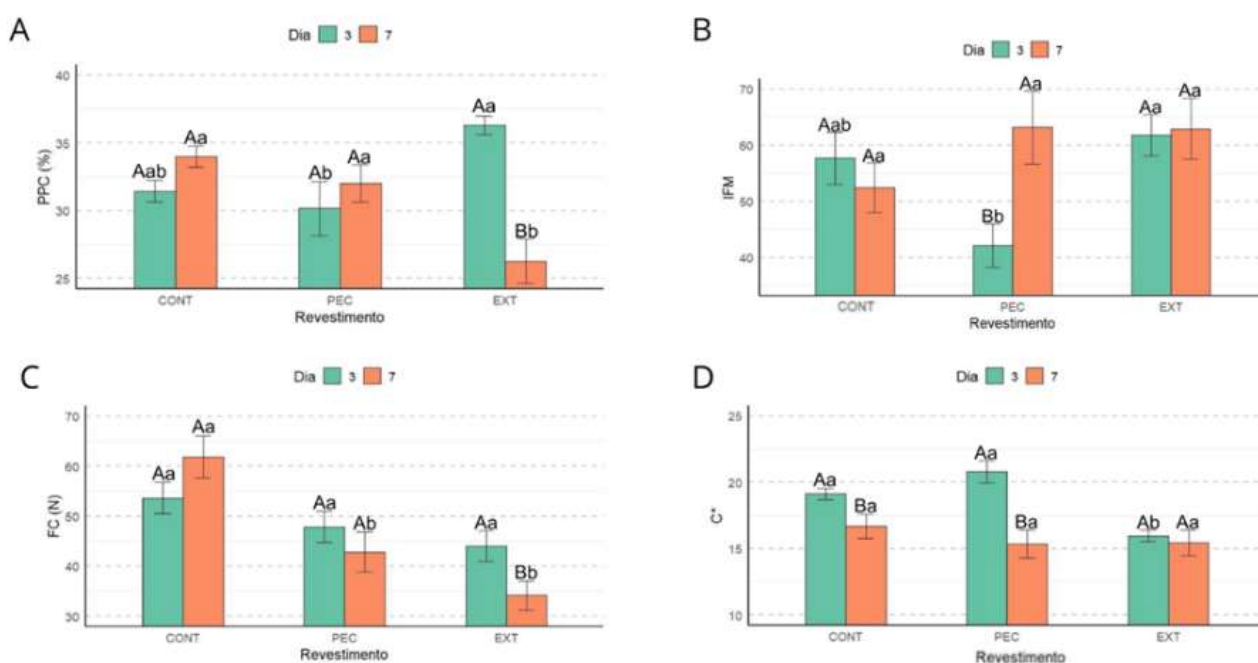


Figura 4. Efeitos de interação entre tipos de revestimento e tempo de armazenamento da carne bovina.

* A-B comparam os dias dentro do revestimento, e a-b comparam os revestimento dentro dos dias.

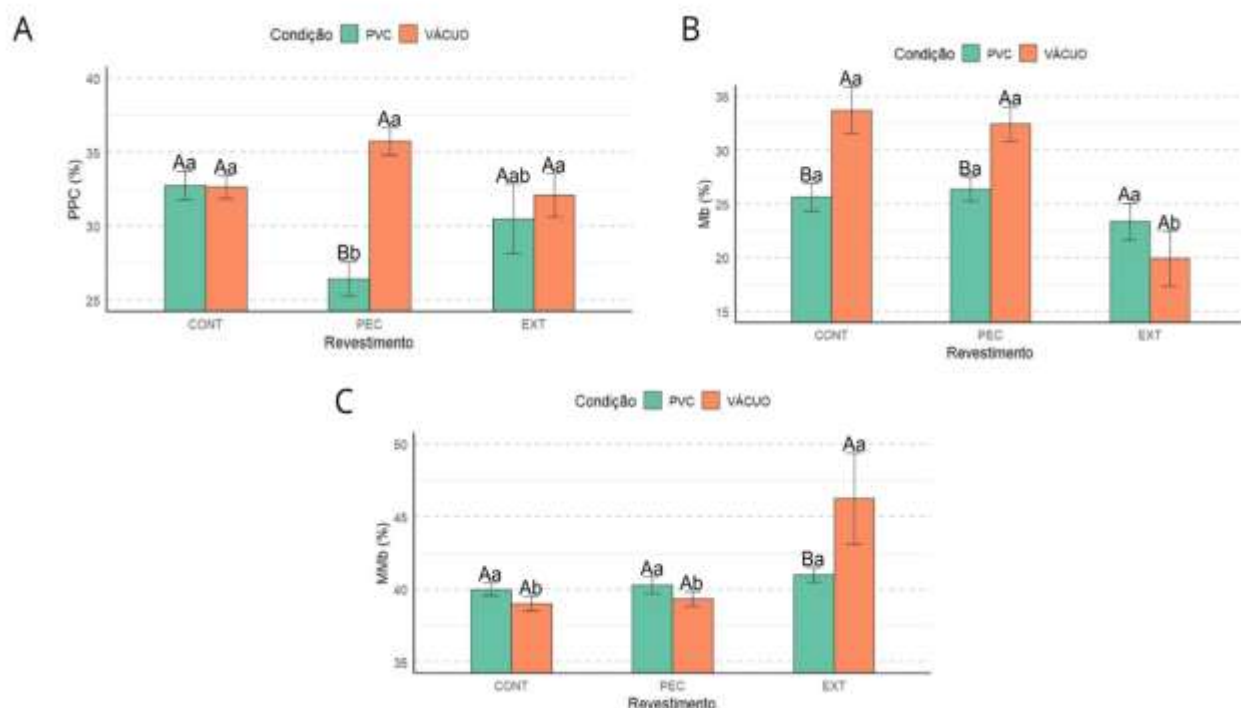


Figura 5. Efeitos de interação entre tipos de revestimento e condição de armazenamento da carne bovina. *A-B comparam as condições de embalagem dentro do revestimento, e a-b comparam os revestimento dentro das condições de embalagem.

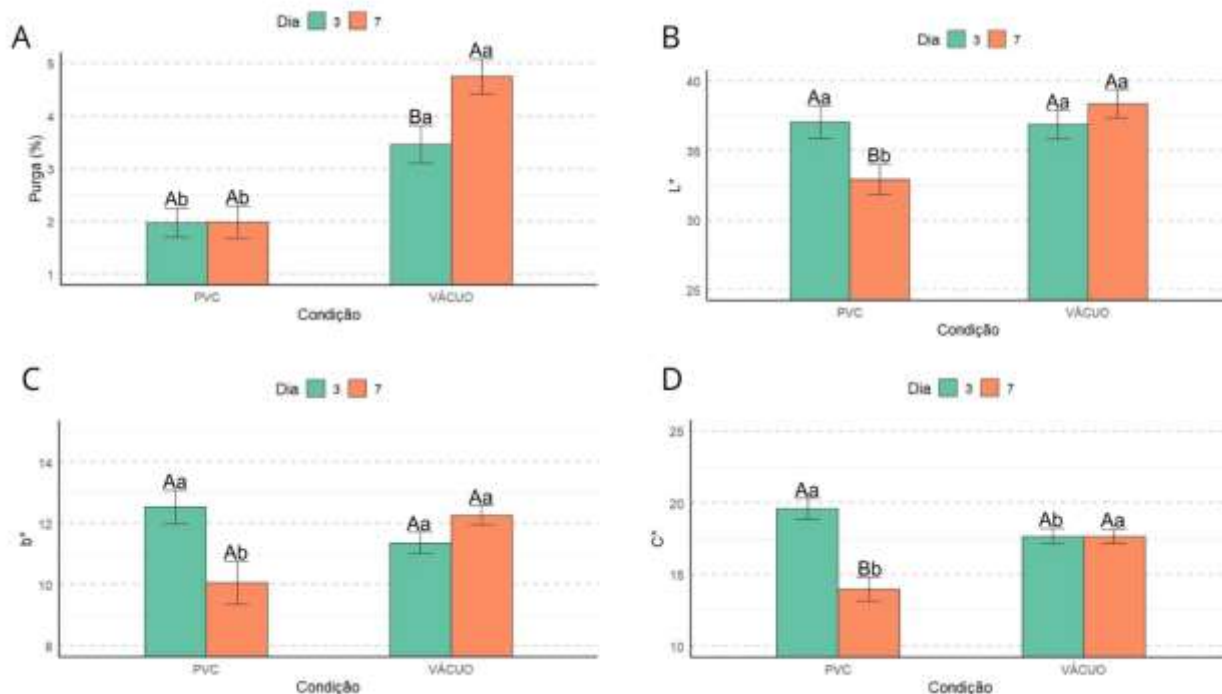


Figura 6. Efeitos de interação entre condição e tempo de armazenamento da carne bovina. *A-B comparam os dias dentro da condição de embalagem, e a-b comparam as condições de embalagem dentro dos dias.

CAPÍTULO 3 – NOTA TÉCNICA: REVESTIMENTO COMESTÍVEL COMO EMBALAGEM ALTERNATIVA NA CONSERVAÇÃO DA CARNE BOVINA *IN NATURA*

Este capítulo apresenta uma nota técnica, elaborada com o objetivo de traduzir os resultados da pesquisa para a aplicação prática no campo. A redação seguiu integralmente as orientações editoriais da revista do Conselho Federal de Medicina Veterinária (CFMV)

Tecnologia de revestimentos comestíveis aplicada à conservação da carne bovina: efeitos sobre a estabilidade e qualidade

A conservação da carne bovina *in natura* é um desafio tecnológico ligado à elevada atividade de água, à susceptibilidade à oxidação lipídica e à instabilidade dos pigmentos de mioglobina. Esses fatores conferem à carne reduzido tempo de prateleira, tornando-a diretamente dependente das condições de embalagem e de estratégias capazes de modular as interações na interface entre produto e ambiente.

Sistemas convencionais, como o vácuo e o filme de PVC, apresentam respostas contrastantes e complementares. O vácuo, ao reduzir a disponibilidade de oxigênio, retarda reações oxidativas e contribui para maior estabilidade química, embora comprometa a intensidade de cor inicial e a aceitação pelo mercado leigo consumidor. Em contrapartida, o PVC favorece a formação de oximioglobina e melhora o apelo visual no início do armazenamento, porém acelera a deterioração oxidativa ao longo do armazenamento. Essa dualidade evidencia a limitação das abordagens tradicionais e reforça a necessidade de tecnologias complementares.

Nesse contexto, os revestimentos comestíveis à base de biopolímeros surgem como alternativa complementar, atuando como barreiras semipermeáveis capazes de modular as trocas gasosas e a dinâmica de água na superfície da carne. A pectina destaca-se por sua capacidade de formação de filmes, compatibilidade com alimentos e ampla disponibilidade. A aplicação desses revestimentos tem sido associada à redução da perda de umidade e à manutenção da qualidade, especialmente quando combinada a compostos com potencial antioxidante.

O que foi feito?

Avaliou-se o efeito de revestimentos comestíveis sobre a qualidade da carne bovina (*Longissimus thoracis*), sob dois sistemas de embalagem (vácuo e PVC) e dois tempos de armazenamento (3 e 7 dias, 4 ± 1 °C), em delineamento fatorial $3 \times 2 \times 2$.

Foram analisados parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , C^* , h^*), pigmentos (desoximioglobina, oximioglobina e metamioglobina), oxidação lipídica (TBARS), perda por exsudação (purga), perda de peso por cocção (PPC), força de cisalhamento (FC) e índice de fragmentação miofibrilar (IFM).

O que os resultados revelam?

Os resultados demonstram que os efeitos dos revestimentos são determinados por uma dinâmica integrada na interface entre a carne e o filme, influenciada simultaneamente pela matriz polimérica, pelo sistema de embalagem e pelo tempo de armazenamento.

I. Cor e estado redox dos pigmentos

O sistema com PVC promoveu maior formação inicial de oximioglobina, resultando em maior intensidade de cor (C^*) e luminosidade (L^*) aos 3 dias, condição associada a uma aparência mais atrativa ao consumidor no momento inicial da exposição. Entretanto, essa maior disponibilidade de oxigênio também favoreceu o avanço das reações oxidativas ao longo do armazenamento, refletido na redução desses parâmetros aos 7 dias, com perda de vivacidade da cor e menor aceitação visual do produto. Por outro lado, o vácuo apresentou menor intensidade de cor inicial, devido à predominância de deoximioglobina, o que pode reduzir a atratividade no momento da abertura da embalagem. Contudo, esse sistema conferiu maior estabilidade ao longo do tempo, retardando a oxidação dos pigmentos e contribuindo para a manutenção da qualidade visual durante o armazenamento.

Em relação aos revestimentos, observou-se aumento de metamioglobina mesmo sob vácuo, indicando que a oxidação dos pigmentos não esteve exclusivamente associada à disponibilidade direta de oxigênio. Como consequência, esse tratamento apresentou menor estabilidade de cor, o que pode impactar negativamente a aceitação do produto, mesmo em condições de armazenamento que normalmente retardariam a oxidação.

II. Integração entre purga, oxidação lipídica e maciez

Os resultados mostram que os revestimentos interferiram a forma como a água se distribui na carne, gerando efeitos sobre processos deteriorativos. A maior perda por purga observada nos tratamentos com revestimento sugere que a natureza hidrofílica da pectina favoreceu a migração de água para a superfície, aumentando a exsudação durante o armazenamento. Esse comportamento também se refletiu PPC, indicando que a redistribuição da água comprometeu sua retenção durante o aquecimento, possivelmente em função da menor estabilidade da água associada às estruturas musculares.

Essa redistribuição pode ter elevado a disponibilidade de oxigênio dissolvido e de espécies reativas na interface, contribuindo para o aumento dos valores de TBARS nesses tratamentos. Simultaneamente, no tratamento PEC, o aumento do IFM ao longo do tempo, associado à redução da FC, indica que essa maior hidratação miofibrilar também favoreceu a atividade proteolítica, caracterizando um amaciamento predominantemente enzimática.

Por outro lado, no tratamento EXT, embora tenha ocorrido redução da FC, não foi observado aumento proporcional do IFM, evidenciando uma desassociação entre fragmentação miofibrilar e maciez. Esse comportamento sugere que, além do efeito da água, interações entre compostos fenólicos e proteínas musculares podem ter alterado a estrutura da carne por mecanismos não enzimáticos, ao mesmo tempo em que favoreceram a oxidação lipídica, possivelmente via reações pró-oxidantes mediadas pelo ferro heme.

Na prática: o que isso significa?

Os resultados demonstram que o revestimento comestível não deve ser interpretado como uma solução isolada, mas como um elemento que altera o equilíbrio físico-químico da carne, com efeitos diretamente condicionados à interação com o sistema de embalagem e à disponibilidade de oxigênio. Isso significa que os impactos observados se refletem diretamente na qualidade do produto. A aplicação dos revestimentos pode favorecer a hidratação do tecido muscular e contribuir para o amaciamento, o que representa um aspecto positivo do ponto de vista sensorial. No entanto, esse mesmo efeito parece estar associado

ao aumento da exsudação durante o armazenamento, resultando em maior perda de água e, conseqüentemente, redução da suculência.

Além disso, a maior disponibilidade de água na interface carne-embalagem pode favorecer reações oxidativas, acelerando a perda de qualidade da carne ao longo do armazenamento. Como consequência, há maior formação de compostos associados ao sabor e odor de ranço. Além disso, a oxidação dos pigmentos leva à perda da coloração vermelha característica e à redução da vivacidade da carne. Esse conjunto de alterações compromete a aceitação do produto, pois afeta ao mesmo tempo o sabor, o odor e a aparência.

Conclusão aplicada

Os resultados mostram que os revestimentos comestíveis modificaram diretamente o comportamento da carne durante o armazenamento, principalmente por alterarem a dinâmica da água na superfície do produto. Esse efeito favoreceu maior perda de água, intensificou reações deteriorantes durante o armazenamento e comprometeu a estabilidade da carne. Como consequência, foram observadas alterações na cor, aumento da oxidação lipídica e modificações na textura do produto. Dessa forma, estudos futuros devem focar em estratégias capazes de reduzir a mobilização de água e aumentar a estabilidade da carne durante o armazenamento.

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram que a aplicação de revestimentos comestíveis à base de pectina, com ou sem incorporação de extrato agroindustrial de guavira, promoveu efeitos complexos e interdependentes com o sistema de embalagem. Em alguns parâmetros, foram observados comportamentos distintos daqueles frequentemente reportados na literatura, especialmente em relação à estabilidade oxidativa e à retenção de água da carne bovina *in natura*. As alterações observadas sugerem que a interação entre a matriz do revestimento, a composição do extrato e o sistema de embalagem exerce influência sobre as respostas tecnológicas da carne.

Nas condições avaliadas, a incorporação do extrato de guavira na concentração de 0,1% apresentou efeitos limitados sobre a estabilidade oxidativa, principalmente sob armazenamento a vácuo. Entretanto, os resultados relacionados à força de cisalhamento e à perda por cocção indicam potencial tecnológico do extrato na modulação das características de textura da carne, provavelmente relacionados à composição fitoquímica e às interações dos compostos bioativos com a matriz cárnea.

Nesse cenário, os resultados evidenciam o potencial tecnológico do extrato agroindustrial de guavira para aplicação em revestimentos comestíveis, especialmente pela influência sobre parâmetros relacionados à textura da carne. Embora os efeitos sobre a estabilidade oxidativa tenham sido limitados nas condições avaliadas, os resultados reforçam a importância de aprofundar os estudos sobre esse ingrediente. Dessa forma, estudos futuros devem avaliar diferentes concentrações do extrato, ajustes na formulação do revestimento e estratégias de incorporação que favoreçam sua interação com a matriz cárnea.