

**COMPOSTOS BIOATIVOS DE ORIGEM VEGETAL COMO ALTERNATIVAS
NATURAIS NA CONSERVAÇÃO DA CARNE SUÍNA: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**

GUSTAVO VINICIUS BENATTO ACIOLY

Foz do Iguaçu
2026

**COMPOSTOS BIOATIVOS DE ORIGEM VEGETAL COMO ALTERNATIVAS
NATURAIS NA CONSERVAÇÃO DA CARNE SUÍNA: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**

GUSTAVO VINICIUS BENATTO ACIOLY

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Marlei Roling Scariot

Foz do Iguaçu

2026

GUSTAVO VINICIUS BENATTO ACIOLY

**COMPOSTOS BIOATIVOS DE ORIGEM VEGETAL COMO ALTERNATIVAS
NATURAIS NA CONSERVAÇÃO DA CARNE SUÍNA: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Profa. Dra. Marlei Roling Scariot
UNILA

Prof. Dr. Leonardo da Silva Arrieche
UNILA

Dr. Glaucio José Gomes
UFRJ

Foz do Iguaçu, 10 de julho de 2026.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, expresso minha mais profunda gratidão pelo amor, pelo apoio incondicional e pelo incentivo constante ao longo de toda a minha trajetória. Sua dedicação e confiança foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui.

À minha irmã Larissa e à minha prima Lena, deixo um agradecimento especial por serem pessoas tão importantes em minha vida. O carinho, a presença e o apoio de vocês contribuíram significativamente para esta conquista. Aos demais familiares, agradeço pelo incentivo e compreensão ao longo desta jornada.

Às minhas amigas Joana e Gabriela, agradeço por fazerem parte da minha vida desde o ensino fundamental. Mesmo que a rotina e a distância nem sempre nos permitam estar presentes fisicamente, nossa amizade permaneceu forte ao longo dos anos. Obrigado por sempre acreditarem em mim, acompanharem minhas conquistas e dificuldades e serem grandes incentivadoras em todos os momentos.

À minha dupla de graduação, Laura, dedico um agradecimento especial por ter compartilhado comigo absolutamente tudo o que a graduação proporcionou: as dificuldades, as inseguranças, os desafios, as alegrias e as conquistas. Obrigado pela amizade, pela parceria incondicional e, sobretudo, por ter sido uma das minhas maiores incentivadoras durante toda essa trajetória.

Aos amigos da universidade, Andrew, Daniel, Daniela, Evelyn, Gabriel, Hugo, Izadora, Kaue, Leonardo, Leticia, Luis e Tassius, agradeço pela convivência, amizade e pelos momentos que tornaram esta caminhada mais leve e significativa. Aos demais amigos que, de alguma forma, fizeram parte desta trajetória, meu sincero agradecimento pelo apoio e incentivo.

À minha orientadora, Professora Doutora Marlei, agradeço pela dedicação, orientação e contribuições essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e para minha formação acadêmica e profissional. Aos professores do curso, agradeço pelos conhecimentos compartilhados e pela contribuição para minha formação.

À UNILA, agradeço pela formação de excelência, por meio de um ensino público, gratuito e de qualidade, comprometido com o conhecimento e com a formação profissional.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para esta conquista.

RESUMO

Este trabalho consiste em uma revisão sistemática da literatura sobre alternativas naturais para a conservação da carne suína, com ênfase no potencial de extratos vegetais como substitutos ou redutores do uso de conservantes sintéticos, especialmente nitritos e nitratos. Essa busca é motivada pelas preocupações relacionadas à possível formação de nitrosaminas, compostos associados a potenciais riscos à saúde, além da crescente demanda por produtos com rótulos mais naturais (clean label). O estudo teve como objetivo identificar e analisar os principais compostos bioativos vegetais investigados para aplicação em produtos cárneos suínos, destacando suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas. A busca foi conduzida nas bases de dados Web of Science, ScienceDirect e PubMed, seguindo as diretrizes do protocolo PRISMA e critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos, e os resultados foram organizados por meio de análise bibliométrica com apoio do software VOSviewer. A amostra final contemplou estudos experimentais que abordaram diferentes matrizes cárneas suínas, avaliando a aplicação de extratos vegetais, fontes naturais de nitrito, embalagens ativas e outras estratégias de conservação. Os resultados demonstraram que os compostos bioativos de origem vegetal, especialmente aqueles ricos em compostos fenólicos, apresentam potencial significativo para retardar a oxidação lipídica, preservar a cor, manter a qualidade sensorial e, em alguns casos, contribuir para a estabilidade microbiológica dos produtos. Entre os ingredientes mais promissores destacaram-se o extrato de semente de uva, o dente-de-leão e *Bougainvillea spectabilis*, por reunirem desempenho antioxidante consistente, boa aplicabilidade tecnológica e resultados favoráveis em produtos suínos processados. Conclui-se que os extratos vegetais representam alternativas promissoras para a conservação da carne suína e para a redução da dependência de conservantes sintéticos, embora sua aplicação em escala industrial ainda exija avanços relacionados à padronização, viabilidade econômica, segurança microbiológica e aceitação sensorial pelos consumidores.

Palavras-chave: produtos cárneos; nitrito; compostos fenólicos; estabilidade oxidativa; qualidade microbiológica; tecnologia de alimentos.

RESUMEN

Este trabajo consiste en una revisión sistemática de la literatura sobre alternativas naturales para la conservación de la carne de cerdo, con énfasis en el potencial de los extractos vegetales como sustitutos o reductores del uso de conservantes sintéticos, especialmente nitritos y nitratos. Esta búsqueda está motivada por las preocupaciones relacionadas con la posible formación de nitrosaminas, compuestos asociados a potenciales riesgos para la salud, además de la creciente demanda de productos con etiquetas más naturales (*clean label*). El estudio tuvo como objetivo identificar y analizar los principales compuestos bioactivos vegetales investigados para su aplicación en productos cárnicos porcinos, destacando sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas. La búsqueda se realizó en las bases de datos Web of Science, ScienceDirect y PubMed, siguiendo las directrices del protocolo PRISMA y criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos, y los resultados fueron organizados mediante análisis bibliométrico con el apoyo del software VOSviewer. La muestra final incluyó estudios experimentales que abordaron diferentes matrices cárnicas porcinas, evaluando la aplicación de extractos vegetales, fuentes naturales de nitrito, envases activos y otras estrategias de conservación. Los resultados demostraron que los compuestos bioactivos de origen vegetal, especialmente aquellos ricos en compuestos fenólicos, presentan un potencial significativo para retardar la oxidación lipídica, preservar el color, mantener la calidad sensorial y, en algunos casos, contribuir a la estabilidad microbiológica de los productos. Entre los ingredientes más prometedores destacaron el extracto de semilla de uva, el diente de león y *Bougainvillea spectabilis*, por presentar un desempeño antioxidante consistente, buena aplicabilidad tecnológica y resultados favorables en productos porcinos procesados. Se concluye que los extractos vegetales representan alternativas prometedoras para la conservación de la carne de cerdo y para la reducción de la dependencia de conservantes sintéticos, aunque su aplicación a escala industrial aún requiere avances relacionados con la estandarización, la viabilidad económica, la seguridad microbiológica y la aceptación sensorial por parte de los consumidores.

Palabras clave: productos cárnicos; nitrito; compuestos fenólicos; estabilidad oxidativa; calidad microbiológica; tecnología de alimentos.

ABSTRACT

This study consists of a systematic literature review on natural alternatives for pork preservation, with emphasis on the potential of plant extracts as substitutes for or reducers of the use of synthetic preservatives, especially nitrites and nitrates. This research is motivated by concerns regarding the possible formation of nitrosamines, compounds associated with potential health risks, as well as the growing demand for products with cleaner labels (*clean label*). The study aimed to identify and analyze the main plant-derived bioactive compounds investigated for application in pork products, highlighting their antioxidant and antimicrobial properties. The search was conducted in the Web of Science, ScienceDirect, and PubMed databases, following the PRISMA protocol guidelines and previously established inclusion and exclusion criteria, and the results were organized through bibliometric analysis using VOSviewer software. The final sample included experimental studies involving different pork matrices, evaluating the application of plant extracts, natural sources of nitrite, active packaging, and other preservation strategies. The results showed that plant-derived bioactive compounds, especially those rich in phenolic compounds, have significant potential to delay lipid oxidation, preserve color, maintain sensory quality, and, in some cases, contribute to the microbiological stability of pork products. Among the most promising ingredients were grape seed extract, dandelion, and *Bougainvillea spectabilis*, due to their consistent antioxidant performance, good technological applicability, and favorable results in processed pork products. It is concluded that plant extracts represent promising alternatives for pork preservation and for reducing dependence on synthetic preservatives, although their application on an industrial scale still requires advances related to standardization, economic feasibility, microbiological safety, and consumer sensory acceptance.

Keywords: meat products; nitrite; phenolic compounds; oxidative stability; microbiological quality; food technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos microrganismos de acordo com a sua resistência à ação do frio.	22
Figura 2 - Fluxograma das etapas do processo cook-chill para conservação de alimentos. ...	28
Figura 3 - Técnicas de aplicação da cura em carnes.	30
Figura 4 - Representação esquemática do mecanismo de ação de um antioxidante.	42
Figura 5 - Seleção e avaliação dos estudos.	52
Figura 6 - Principais autores da amostra nas bases Web of Science e ScienceDirect obtidos via VOSviewer.	54
Figura 7 - Principais autores da amostra na base PubMed obtidos via VOSviewer.....	55
Figura 8 - Influência do extrato de <i>Angelica keiskei</i> e da alta pressão hidrostática (HHP) no teor de (A) nitrogênio básico volátil (VBN) e (B) substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) do lombo de porco.	71
Figura 9 - Valores de TBARS (■) e VBN (■) do lombo de porco curado com fonte natural de nitrito do FSC.	84
Figura 10 - Influência do extrato de <i>Angelica keiskei</i> e da alta pressão hidrostática (HHP) nos valores (A) L*, (B) a* e (C) b* do lombo de porco.	95
Figura 11 - Influência do extrato de <i>Angelica keiskei</i> e da alta pressão hidrostática (HHP) na (A) eficiência de cura e (B) teor residual de nitrito do lombo de porco.....	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais Métodos de Pasteurização Aplicados em Carnes.	24
Quadro 2 - Tipos de secadores.	26
Quadro 3 - Funções dos principais agentes de cura na conservação de carnes.	30
Quadro 4 - Informações dos estudos selecionados (Continua).	57
Quadro 5 - Comparativo dos extratos e fontes naturais avaliados para conservação de carne suína (Continua).	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ácidos graxos livres (% de ácido oleico) e substâncias reativas ao TBA (mg/kg) do pescoço de porco fermentado a seco (média ± desvio padrão).	62
Tabela 2 - Composição química e atividade antioxidante do extrato aquoso de folhas de dente-de-leão (média ± desvio padrão).	64
Tabela 3 - Efeito antirradical contra ABTS (%) nas frações alcoólica (A-E), aquosa (W-E) e peptídica (PEP) das linguças ao longo do armazenamento (média ± erro padrão).	65
Tabela 4 - Efeito antirradical contra DPPH (%) nas frações alcoólica (A-E), aquosa (W-E) e peptídica (PEP) das linguças ao longo do armazenamento (média ± erro padrão).	65
Tabela 5 - Comparação dos parâmetros físico-químicos de linguças cruas durante o processo de maturação (média ± erro padrão).	66
Tabela 6 - Influência do extrato de <i>Angelica keiskei</i> e da alta pressão hidrostática (HHP) no pH e na solubilidade de proteínas do lombo de porco (média ± desvio padrão).	69
Tabela 7 - Influência do extrato de <i>Angelica keiskei</i> e da alta pressão hidrostática (HHP) nas características térmicas do lombo de porco (média ± desvio padrão).	69
Tabela 8 - Influência do extrato de <i>Angelica keiskei</i> e da alta pressão hidrostática (HHP) no teor de umidade, capacidade de retenção de água e força de cisalhamento do lombo suíno (média ± desvio padrão).	70
Tabela 9 - Efeito de diferentes sais no rendimento da cura, perda por cozimento, valor de TBA e força de cisalhamento Warner-Bratzler do lombo de porco curado (média ± desvio padrão).	72
Tabela 10 - Contagem de bactérias do ácido láctico e <i>Enterobacteriaceae</i> (log UFC/g), valores de pH do pescoço de porco fermentado a seco (média ± desvio padrão).	76
Tabela 11 - Qualidade microbiológica de amostras contendo 80 mg/kg de nitrito e 0,5% de extrato de dente-de-leão (P_80_M-5).	77
Tabela 12 - Qualidade microbiológica de amostras contendo 80 mg/kg de nitrito e 1% de extrato de dente-de-leão (P_80_M1).	78
Tabela 13 - Qualidade microbiológica de amostras contendo 150 mg/kg de nitrito (P_150).	78
Tabela 14 - Formulações de salmoura para o estabelecimento de condições de substituição do nitrito de sódio.	80

Tabela 15 - Efeitos da adição parcial de nitrito de sódio sobre o nitrogênio básico volátil e as substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico em carne curada com suco de espinafre (média $\pm$ desvio padrão).	80
Tabela 16 - Efeitos da utilização de nitrito pré-convertido de fonte natural na contagem total de bactérias viáveis, <i>Escherichia coli</i> e bactérias coliformes totais em linguiça de porco cozida (média $\pm$ erro padrão).	82
Tabela 17 - Efeitos da utilização de nitrito pré-convertido de fonte natural nos valores de VBN e TBARS em linguiça de porco cozida (média $\pm$ erro padrão).	82
Tabela 18 - Formulação de lombo de porco curado com fonte natural de nitrito proveniente de acelga suíça fermentada (FSC).	83
Tabela 19 - Alterações nos níveis de VBN e TBARS em lombo de porco curado e cozido com suco de espinafre e diferentes períodos de incubação (média $\pm$ erro padrão).	85
Tabela 20 - Efeitos da adição parcial de nitrito de sódio na cor da carne curada com suco de espinafre (média $\pm$ desvio padrão).	91
Tabela 21 - Efeitos da utilização de nitrito pré-convertido de fonte natural no pH e na cor de linguiça de porco cozida (média $\pm$ erro padrão).	92
Tabela 22 - Características de cor e eficiência de cura do lombo de porco curado com fonte natural de nitrito proveniente de acelga fermentada (FSC) (média $\pm$ desvio padrão).	93
Tabela 23 - Resultados dos parâmetros de cor (L, a* e b*) durante o período de armazenamento (0, 4 e 8 semanas) (média $\pm$ desvio padrão).	97
Tabela 24 - Efeitos da adição parcial de nitrito de sódio na avaliação sensorial de carne curada crua com suco de espinafre (média $\pm$ desvio padrão).	100
Tabela 25 - Propriedades sensoriais do lombo de porco curado com fonte natural de nitrito proveniente de acelga fermentada (FSC) (média $\pm$ desvio padrão).	100
Tabela 26 - Resultados do painel sensorial (média $\pm$ desvio padrão).	101
Tabela 27 - Efeito de diferentes sais nas características sensoriais do lombo de porco curado (média $\pm$ desvio padrão).	102

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal

ABTS - 2,2'-Azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)

ABTS⁺ - Radical catiônico ABTS

ADI - *Acceptable Daily Intake* (Ingestão Diária Aceitável)

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

Ar – Argônio

BHT – Butil-hidroxitolueno (*Butylated Hydroxytoluene*)

CO - Monóxido de Carbono

CO₂ - Dióxido de Carbono

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

DFD – *Dark, Firm and Dry* (escura, firme e seca)

DPPH – 2,2-Difenil-1-picril-hidrazila

FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

FDA - *Food and Drug Administration*

FFA – *Free Fatty Acids* (Ácidos Graxos Livres)

GSE – *Grape Seed Extract* (Extrato de Semente de Uva)

HAPs – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

HHP – *High Hydrostatic Pressure* (Alta Pressão Hidrostática)

HTST - *High Temperature Short Time*

IARC - *International Agency for Research on Cancer* (Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDA - Ingestão Diária Aceitável

IN – Instrução Normativa

INS - *International Numbering System* (Sistema Internacional de Numeração)

JECFA - *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*

LAB – *Lactic Acid Bacteria* (Bactérias Ácido-Láticas)

LTLT - Low Temperature Long Time

MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária

MDA – Malonaldeído

N₂ - Nitrogênio

N₂O - Óxido Nitroso

NCA – Extrato Fermentado de Angelica Keiskei

NO₂⁻ - Íon Nitrito

NO₃⁻ - Íon Nitrato

OECD – *Organisation for Economic Co-operation and Development*

ORP – *Oxidation-Reduction Potential* (Potencial de Oxirredução)

O₂ - Oxigênio

OMS - Organização Mundial da Saúde

pH – Potencial Hidrogeniônico

PRISMA - *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*

RDC – Resolução da Diretoria Colegiada

RQ – *Research Question* (Questão de Pesquisa)

SO₂ - Dióxido de Enxofre

TBARS - Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico

TVC – *Total Viable Count* (Contagem Total de Bactérias Viáveis)

UFC – Unidades Formadoras de Colônia

UFC/g – Unidades Formadoras de Colônia por Grama

USDA - *United States Department of Agriculture*

WHO – *World Health Organization*.

Xe - Xenônio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 JUSTIFICATIVA	19
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 <i>Objetivo geral</i>	20
1.2.2 <i>Objetivo Específico</i>	20
2. REFERENCIAL TEORICO	21
2.1 DESAFIOS MICROBIOLÓGICOS E OXIDATIVOS	21
2.2 MÉTODOS CONVENCIONAIS	23
2.2.1 <i>Uso de calor</i>	23
2.2.2 <i>Pasteurização</i>	24
2.2.3 <i>Esterilização</i>	25
2.2.4 <i>Desidratação</i>	25
2.2.5 <i>Conservação por baixas temperaturas</i>	26
2.2.6 <i>Resfriamento</i>	27
2.2.7 <i>Sistema de cozimento-resfriamento (cook-chill)</i>	27
2.2.8 <i>Congelamento</i>	28
2.2.9 <i>Uso de conservantes</i>	29
2.2.10 <i>Cura</i>	29
2.2.11 <i>Defumação</i>	31
2.2.12 <i>Armazenagem e embalagem em atmosfera modificada</i>	32
2.2.13 <i>Análise comparativa dos métodos convencionais de conservação</i>	32
3.1 NITRITOS E NITRATOS	33
3.2 IMPACTO NA SAÚDE HUMANA	34
3.3 REGULAMENTAÇÃO.....	37
3.4 CONSERVANTES NATURAIS EM CARNES.....	38
3.4.1 <i>Compostos Antioxidantes</i>	40
3.4.1.1 <i>Mecanismos antioxidantes dos compostos fenólicos</i>	41
3.4.1.2 <i>Interação dos fenólicos com metais pró-oxidantes</i>	43
3.4.1.3 <i>Influência da matriz cárnea sobre os compostos fenólicos</i>	44
3.4.2 <i>Compostos Antimicrobianos</i>	45
4. METODOLOGIA.....	48

4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA.....	48
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1 EMPREGO DO SOFTWARE VOSVIEWER NA ANÁLISE DAS REDES DE COAUTORIA	54
5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS SELECIONADOS	56
5.3 EXTRATOS VEGETAIS COM POTENCIAL ANTIOXIDANTE	61
5.3.1 Extrato de Semente de Uva.....	62
5.3.2 Dente-de-leão	63
5.3.3 Bougainvillea spectabilis.....	67
5.3.4 Angelica keiskei	68
5.3.5 Tipos de Sal em Lombo Suíno Curado	71
5.3.6 Embalagem Ativa com Extrato de Chá Verde e Óleo Essencial de Orégano.....	73
5.3.7 Síntese: Antioxidantes Naturais.....	74
5.4 CONSERVAÇÃO MICROBIOLÓGICA: ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E FONTES NATURAIS DE NITRITO.....	75
5.4.1 Extrato de Semente de Uva.....	76
5.4.2 Dente-de-Leão	77
5.4.3 Fontes Naturais de Nitrito.....	79
5.4.3.1 Espinafre Fermentado	79
5.4.3.2 Fontes Pré-Convertidas.....	81
5.4.3.3 Acelga Suíça Fermentada.....	83
5.4.3.4 Otimização do Período de Incubação com Espinafre e Cultura Iniciadora	85
5.4.4 Embalagem Ativa com Extrato de Chá Verde e Óleo Essencial de Orégano.....	87
5.4.5 Síntese: Segurança Microbiológica.....	88
5.5 EFEITOS NOS PARÂMETROS SENSORIAIS E NA COR.....	89
5.5.1 Cor: Parâmetros Instrumentais e Percepção Visual	90
5.5.1.1 Produtos com Fontes Naturais de Nitrito.....	90
5.5.1.2 Bougainvillea spectabilis.....	97
5.5.1.3 Estabilidade cromática em Sistema de Embalagem Ativa com Extrato de Chá Verde e Óleo Essencial de Orégano	98
5.5.1.4 Percepção Sensorial da Cor pelos Consumidores	99
5.5.2 Flavor, Off-flavor e Percepção Aromática	99
5.5.3 Síntese: Aspectos Sensoriais e Cromáticos	102
5.6 SÍNTESE DOS EXTRATOS E FONTES NATURAIS AVALIADOS.....	103

5.7 LIMITAÇÕES DOS ESTUDOS AVALIADOS E PERSPECTIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS	106
5.7.1 Limitações.....	106
5.7.2 Perspectivas para Trabalhos Futuros	107
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	110
REFERÊNCIAS	112
APÊNDICES	120
APÊNDICE A – ITENS DA LISTA DE CHECAGEM PRISMA	121
APÊNDICE B – OS SOFTWARES RAYYAN E VOSVIEWER NA REVISÃO SISTEMÁTICA: FUNDAMENTOS, PROCEDIMENTOS E LIMITAÇÕES	125
B.1 RAYYAN E A TRIAGEM DOS ESTUDOS	125
B.1.1 Recursos utilizados e conceitos operacionais.....	125
B.1.2 Relação com o procedimento metodológico	126
B.2 VOSVIEWER E A ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	126
B.2.1 Funcionamento dos recursos utilizados e conceitos operacionais	127
B.2.2 Análise de coautoria realizada	127
B.2.3 Interpretação dos mapas gerados	128
B.2.4 Relação com o procedimento metodológico	128
B.3 LIMITAÇÕES DAS FERRAMENTAS	129

1. INTRODUÇÃO

A cadeia global de carnes ocupa posição estratégica no abastecimento alimentar, no comércio internacional e na oferta de proteína de origem animal. De acordo com a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), a produção mundial de carnes foi estimada em 387 milhões de toneladas em equivalente-carcaça para 2025 (FAO, 2026). Em perspectiva de médio prazo, a *Organisation For Economic Co-Operation And Development* (OECD) e a FAO estimam que esse volume alcance 388 milhões de toneladas em 2033, com crescimento concentrado principalmente na Ásia (OECD; FAO, 2024). Entre os diferentes segmentos, a carne suína permanece como um dos pilares do mercado mundial, figurando como a segunda carne mais produzida globalmente, atrás apenas da carne de aves.

No Brasil, esse cenário adquire relevância ainda maior em razão do peso econômico da agroindústria de proteínas animais. A produção conjunta de carnes bovina, suína e de aves foi estimada pela Companhia Nacional de Abastecimento em 31,57 milhões de toneladas em 2025, mantendo-se próxima do recorde alcançado em 2024 (CONAB, 2025). Esse desempenho evidencia a importância do setor cárneo para o abastecimento interno e para a inserção do país no mercado internacional de alimentos.

Especificamente na suinocultura, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) registrou, em 2025, abate recorde de 60,69 milhões de cabeças de suínos (IBGE, 2026). Já os dados oficiais consolidados pela Associação Brasileira de Proteína Animal para 2025 apontam produção de 5,592 milhões de toneladas, exportações de 1,510 milhão de toneladas e consumo per capita de 19,1 kg/habitante, posicionando o Brasil como quarto maior produtor e terceiro maior exportador mundial de carne suína (ABPA, 2026). Esse avanço foi reforçado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária, que destacou 2025 como o primeiro ano em que o país alcançou a terceira posição global nas exportações do produto (MAPA, 2026).

Apesar de sua importância econômica e nutricional, a carne suína é altamente perecível. De acordo com PAPUC *et al.* (2017), a oxidação de lipídios e de mioglobina, assim como a proliferação de bactérias que comprometem a qualidade da carne, são os principais responsáveis pela redução do prazo de validade da carne e de seus derivados. Os autores ainda ressaltam que quando os lipídios se oxidam, ocorre a degradação de ácidos graxos essenciais, diminuindo o valor nutritivo do produto, gerando sabores desagradáveis ao paladar, formando compostos potencialmente tóxicos e acelerando a oxidação de outras moléculas importantes, como a própria mioglobina. Dessa forma, esses processos comprometem não apenas a

qualidade sensorial e nutricional da carne suína, mas também representam desafios constantes para sua conservação, segurança e estabilidade comercial.

Tradicionalmente, a indústria cárnea utiliza nitritos e nitratos para retardar a deterioração, inibir microrganismos patogênicos e contribuir para a cor característica dos produtos curados. A utilidade fundamental do nitrito tem sido sua capacidade de inibir o crescimento de diversos microrganismos aeróbicos e anaeróbicos e, especialmente, suprimir o crescimento de esporos de *Clostridium botulinum* (NASSU, 2021). Os autores Ferysiuk e Wójciak (2020) afirmam, ainda, que o nitrito também mostra forte atividade microbicida contra outros patógenos transmitidos por alimentos, como a *Listeria monocytogenes* e *Escherichia coli*.

A utilização de nitratos e nitritos é alvo de crescente debate científico e regulatório. Segundo Bedale *et al.* (2016), os nitritos ingeridos podem reagir com aminas secundárias, como certos aminoácidos provenientes de proteínas, dando origem às nitrosaminas. Esse processo ocorre com maior facilidade em meio ácido (por exemplo, no estômago) e sob temperaturas elevadas (como nas frituras). Além disso, a Organização Mundial da Saúde, por meio da IARC, classificou o consumo de carne processada como carcinogênico para humanos (IARC, 2015), o que tem ampliado a pressão por estratégias que reduzam a dependência de conservantes sintéticos em sistemas cárneos.

Diante desse cenário, alternativas naturais vêm sendo estudadas como substituição parcial ou total dos conservantes sintéticos, promovendo uma abordagem mais segura e sustentável para a preservação da carne suína. Em resposta às crescentes preocupações dos consumidores e às restrições regulatórias ao uso de nitritos e nitratos, estudos como os de Beya *et al.* (2021) investigam o uso de aditivos naturais que ofereçam duplo mecanismo de ação: antioxidante e antimicrobiano.

Revisões recentes indicam que há interesse crescente de pesquisadores, indústria e consumidores na substituição parcial ou total de conservantes sintéticos por ingredientes vegetais bioativos. Contudo, conforme explicado por Tocai *et al.* (2025), os resultados ainda são bastante dependentes da planta empregada, do método de extração, da concentração utilizada, do tipo de produto e das condições de armazenamento. Essas moléculas naturais não apenas prolongam a vida de prateleira da carne, mas também agregam valor nutricional e funcional ao produto, alinhando-se às tendências de *clean label* e alimentação saudável.

1.1 JUSTIFICATIVA

A preservação adequada da carne suína é fundamental para manter suas características sensoriais, seu valor nutricional e a segurança do consumo. Trata-se de uma matriz alimentícia altamente suscetível à deterioração, em razão da elevada atividade de água, da composição rica em nutrientes e do pH próximo à neutralidade, fatores que favorecem o crescimento microbiano e a ocorrência de reações oxidativas, conforme evidenciado pela Organização Pan-Americana da Saúde (2019). Dessa forma, a aplicação de métodos eficientes de conservação torna-se essencial durante o armazenamento, a distribuição e a comercialização desses produtos. Nesse contexto, a conservação de carnes e derivados representa um desafio tecnológico relevante para a indústria, pois envolve não apenas o controle microbiológico, mas também a manutenção da cor, do sabor, do aroma e da estabilidade oxidativa do alimento.

Entre os aditivos tradicionalmente empregados na conservação de produtos cárneos, destacam-se os nitritos e nitratos, amplamente utilizados por sua contribuição para a estabilidade da cor, desenvolvimento do sabor característico de cura, ação antimicrobiana e controle da oxidação lipídica. Entretanto, apesar de sua importância tecnológica, o uso desses compostos tem sido discutido em razão da possibilidade de formação de nitrosaminas, substâncias associadas a potenciais riscos à saúde quando formadas em determinadas condições de processamento e consumo (HONIKEL, 2008; BEDALE *et al.*, 2016). Esse cenário tem impulsionado a busca por estratégias que permitam reduzir a dependência de conservantes sintéticos sem comprometer a qualidade e a segurança dos produtos cárneos.

Nesse sentido, os extratos vegetais ricos em compostos bioativos, especialmente compostos fenólicos, flavonoides e outros metabólitos secundários, têm despertado interesse científico e tecnológico devido às suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Esses compostos podem atuar na neutralização de radicais livres, na redução da oxidação lipídica e, em alguns casos, no controle de microrganismos deteriorantes ou patogênicos, contribuindo para a extensão da vida útil dos alimentos. Além disso, a literatura indica que ingredientes vegetais e seus extratos são alternativas adequadas ao nitrito, uma vez que apresentam compostos fenólicos com elevada capacidade sequestradora de radicais livres e potencial para manter a estabilidade microbiológica e oxidativa dos produtos cárneos (FERYSIUK; WÓJCIAK, 2020; GONÇALVES *et al.*, 2021).

Diante disso, justifica-se a realização deste trabalho, cujo objetivo é reunir e analisar, por meio de revisão sistemática da literatura, estudos que avaliam o potencial de

extratos vegetais na conservação da carne suína e de seus derivados. A pesquisa torna-se relevante por contribuir para a compreensão das principais evidências científicas sobre o uso desses ingredientes naturais, seus efeitos sobre a estabilidade oxidativa, qualidade tecnológica e segurança dos produtos cárneos, bem como suas limitações e perspectivas de aplicação industrial.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão sistemática da literatura sobre conservantes naturais utilizados na carne suína, destacando o potencial de extratos vegetais como alternativas promissoras.

1.2.2 Objetivo Específico

- Revisar os principais desafios da conservação da carne suína e os métodos convencionais de preservação;
- Apresentar e discutir os efeitos dos conservantes sintéticos, em especial nitritos e nitratos, e suas implicações para a saúde;
- Identificar e analisar os compostos naturais com propriedades antioxidantes e antimicrobianas que vêm sendo estudados para conservação de carnes;
- Explorar a composição química e as propriedades bioativas de diferentes extratos vegetais, discutindo seu possível uso na indústria da carne.

2. REFERENCIAL TEORICO

A conservação da carne suína representa um dos principais desafios da indústria de alimentos, devido à suscetibilidade dessa matriz alimentar à deterioração microbiológica e oxidativa. Para minimizar essas alterações e garantir a segurança e a qualidade dos produtos, diferentes métodos de conservação têm sido desenvolvidos e amplamente utilizados. Nesse contexto, este capítulo apresenta os principais desafios relacionados à conservação da carne suína e os métodos convencionais empregados pela indústria cárnea.

2.1 DESAFIOS MICROBIOLÓGICOS E OXIDATIVOS

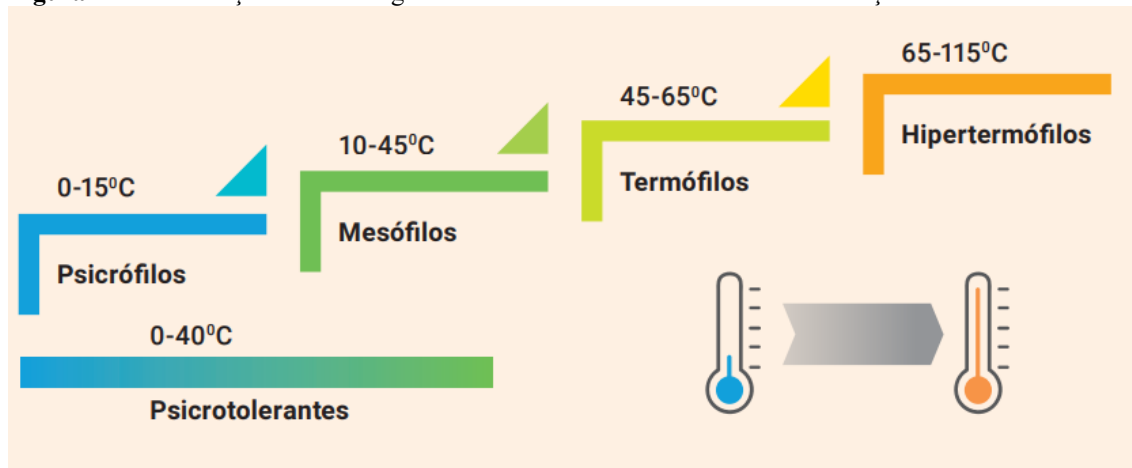
Conforme Fraser *et al.* (2013), o bem-estar animal está intrinsecamente relacionado à saúde, ao comportamento e às condições de manejo dos animais, de modo que práticas destinadas a garantir condições adequadas aos suínos favorecem a prevenção de doenças, reduzem situações de estresse e contribuem para sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis, com reflexos positivos na qualidade e na segurança dos produtos de origem animal. O manejo nutricional e o controle do estresse pré-abate e durante o abate previnem síndromes como PSE (pálida, mole e exsudativa) e DFD (escura, firme e seca), conforme destacado por Gregory e Grandin (2007), e boas práticas de higiene e saneamento reduzem zoonoses como triquinose e salmonelose.

Devido ao seu pH quase neutro, alto teor de umidade e riqueza em nutrientes, a carne suína é particularmente suscetível à degradação, ao crescimento microbiano e às reações enzimáticas quando faltam barreiras eficazes de conservação (RAHMAN *et al.*, 2023). A contaminação inicial ocorre predominantemente na sangria, desossa e manuseio, a partir de microrganismos da pele, cascos, pelos e trato gastrointestinal do animal (FRAZIER *et al.*, 2014). Mesmo métodos de abate considerados mais “humanitários” apresentam eficácia limitada, pois qualquer patógeno presente em instrumentos de corte pode dispersar-se pela circulação sanguínea e linfática.

De acordo com Rahman *et al.*, (2023), os microrganismos podem ser agrupados, de forma geral, conforme a faixa de temperatura em que conseguem proliferar. Seu ritmo de crescimento atinge o máximo na temperatura ótima para cada espécie. A menor temperatura em que ainda é possível a sobrevivência e a reprodução dos microrganismos é denominada temperatura mínima de crescimento, enquanto a temperatura mais elevada em que

o crescimento ainda ocorre é denominada temperatura máxima de crescimento. A Figura 1 mostra essa classificação juntamente com as respectivas temperaturas de propagação.

Figura 1 - Classificação dos microrganismos de acordo com a sua resistência à ação do frio.



Fonte: Organização Pan-Americana da Saúde (2019).

Feitosa (1999) afirma que a flora comum de microrganismos inclui bolores como *Cladosporium*, *Mucor* e *Penicillium* e bactérias como *Pseudomonas*, *Lactobacillus* e *Salmonella*, muitas das quais são tolerantes a baixas temperaturas. Além disso, conforme explicou a Organização Pan-Americana de Saúde (2019), fatores como tipo de alimento, nível de inativação enzimática, higiene, barreiras da embalagem e temperaturas de processamento e estocagem influenciam significativamente a durabilidade dos produtos processados.

Frazier *et al.* (2014) explicaram que o processo de deterioração varia conforme a disponibilidade de oxigênio: em condições aeróbicas, ocorre crescimento de mofo e oxidação de pigmentos; já em ambientes anaeróbicos, bactérias produzem peróxidos (esverdeamento) ou gases (CO₂) que incham as embalagens. As bactérias lácticas desempenham um papel ambíguo: enquanto causam azedamento em produtos mal conservados, são essenciais em fermentações controladas. Mesmo após o processamento, práticas inadequadas permitem a recontaminação, mantendo o risco de degradação.

Diante da complexidade dos fatores que contribuem para a deterioração microbiológica e oxidativa da carne suína, faz-se necessária a adoção de estratégias eficazes de conservação capazes de controlar esses riscos. Os principais métodos convencionais empregados pela indústria cárnea com essa finalidade são apresentados na seção seguinte.

2.2 MÉTODOS CONVENCIONAIS

Conforme Rahman *et al.* (2023), as abordagens atuais de preservação agrupam-se em três grandes categorias: controle de temperatura, controle da atividade de água e uso de conservantes químicos, biológicos ou físicos. Na prática costumam ser combinadas com o objetivo de maior efeito na prolongação da vida útil e garantia da segurança dos alimentos.

Entre as abordagens disponíveis para a preservação de produtos cárneos, o controle de temperatura por meio da aplicação de calor destaca-se como um dos recursos mais amplamente empregados.

2.2.1 Uso de calor

O tratamento térmico é fundamental na conservação de alimentos. Aquino (2017) explica que o calor elimina microrganismos e inativa enzimas, melhorando a digestibilidade de nutrientes. Contudo, Fellows (2000) destaca que ele também altera sabor, cor e textura, reduzindo a qualidade percebida. Para minimizar esses efeitos, emprega-se a estratégia HTST (*high temperature short time*), que associa temperaturas altas a tempos curtos, preservando propriedades sensoriais (FELLOWS, 2000).

De acordo com Frazier *et al.* (2014), as carnes industrializadas são divididas em dois grupos, de acordo com o tratamento térmico recebido: 1 - aquelas aquecidas com intensidade suficiente para atingir a esterilidade comercial e dispensar qualquer condição especial de armazenamento; 2 - aquelas apenas expostas a calor capaz de inativar os microrganismos deteriorantes, mas que precisam de refrigeração para manter sua integridade, como os presuntos.

O tempo de tratamento depende da resistência térmica microbiana/enzimática, velocidade de penetração de calor e propriedades do alimento (SILVA; ALMEIDA, 2000 *apud* TEIXEIRA; VIMERCATI, 2023). Fellows (2000) define os parâmetros de destruição microbiana:

- Valor D: Tempo para reduzir 90% dos microrganismos;
- Valor Z: Variação de temperatura para alterar o valor D em 10x;
- Valor F: Tempo total para redução microbiana específica.

Há três tipos principais de processamento e conservação de carnes por aplicação de calor: pasteurização, esterilização e desidratação. Dentro dos processos baseados na aplicação de calor, a pasteurização é o método de maior utilização em produtos cárneos, sendo empregada para inativar patógenos e estender a vida útil sem comprometer integralmente as características sensoriais do produto.

2.2.2 Pasteurização

A pasteurização consiste em um aquecimento moderado do alimento a temperaturas abaixo de 100 °C. Fellows (2000) explicou que quando aplicado em produtos com baixa acidez ($\text{pH} > 4,5$), seu objetivo é reduzir o risco de contaminações por patógenos e estender a vida útil por alguns dias. Já em alimentos ácidos ($\text{pH} < 4,5$), emprega-se esse processo para eliminar microrganismos deteriorantes (como leveduras e bolores) e/ou inativar enzimas, prolongando a conservação por vários meses. Aquino (2017) explicou que adota-se dois esquemas principais de pasteurização: no método HTST (High Temperature, Short Time), a carne é exposta a 72–75 °C por 15–20 segundos (pasteurização rápida); já no processo LTLT (Low Temperature, Long Time), aplica-se 63–65 °C por 30 minutos (pasteurização lenta). O Quadro 1 sintetiza as diferenças em relação às temperaturas empregadas, ao tempo de exposição e às principais características de cada processo.

Quadro 1 - Principais Métodos de Pasteurização Aplicados em Carnes.

Método	Temperatura (°C)	Tempo de Exposição	Características Principais
HTST (High Temperature, Short Time)	72–75	15–20 segundos	Pasteurização rápida. Preserva mais as características sensoriais do produto. Usado para maior eficiência e menor dano nutricional.
LTLT (Low Temperature, Long Time)	63–65	30 minutos	Pasteurização lenta. Mais tradicional, garante eliminação de microrganismos, porém pode afetar mais a qualidade sensorial.

Fonte: Adaptado de Aquino (2017).

O processo térmico é definido com base na resistência térmica do microrganismo mais resistente (geralmente patogênico) e na suscetibilidade dos atributos de qualidade do produto (FURTADO, 2021). Aquino (2017) explica que microrganismos termófilos e termodúricos (como *Lactobacillus* e *Streptococcus*) sobrevivem à pasteurização, e esporos não são eliminados. Como microrganismos deteriorantes persistem, combina-se a pasteurização com outras técnicas: refrigeração, aditivos, embalagem anaeróbica ou

fermentação (FURTADO, 2021). A duração da conservação depende da intensidade do tratamento térmico, da técnica complementar adotada e das condições de armazenamento.

Quando a intensidade do tratamento térmico precisa ser elevada a ponto de eliminar inclusive esporos microbianos, recorre-se à esterilização.

2.2.3 Esterilização

De acordo com Furtado (2021), a esterilização térmica trata-se de um processo térmico mais intenso (temperaturas superiores a 100 °C) que a pasteurização, com o objetivo de eliminar completamente os esporos de microrganismos patogênicos e daqueles deterioradores que possam proliferar durante o armazenamento do produto. Contudo, segundo Teixeira e Vimercati (2023), o uso de calor mais intenso no processo convencional de esterilização de alimentos embalados pode causar mudanças significativas na qualidade nutricional e sensorial dos produtos. Isso ocorre porque temperaturas elevadas podem alterar as características naturais dos alimentos, afetando seu valor nutricional, sabor, aroma, cor e textura.

Furtado (2021) explicou que há diversos fatores que afetam a elaboração de um processo para alcançar a esterilidade comercial, tais como: as características do alimento em si, a quantidade inicial de microrganismos presente, a resistência ao calor desses microrganismos e de seus esporos, a atividade de água no produto, o tipo e o tamanho da embalagem, as propriedades de transferência térmica do alimento, da embalagem e do meio de aquecimento, além das condições de armazenamento e comercialização. Rahman *et al.* (2023) reforçam o desafio de equilibrar segurança microbiológica e preservação de atributos. A Organização Pan-Americana de Saúde (2019) orienta seguir normas regulatórias e diretrizes da FAO, OMS e Codex Alimentarius.

Além dos métodos baseados na elevação da temperatura, o controle da atividade de água representa outra estratégia fundamental para a conservação de produtos cárneos. Entre as técnicas que exploram esse princípio, a desidratação é a mais antiga.

2.2.4 Desidratação

É o método mais antigo de conservação (FEITOSA, 1999). De acordo com Fellows (2000), a desidratação (ou secagem) consiste em submeter o alimento a calor controlado para eliminar grande parte da água presente, seja por evaporação ou, no caso da

liofilização, por sublimação. Seu principal propósito é estender a durabilidade dos alimentos ao reduzir a atividade hídrica. A Organização Pan-Americana da Saúde (2019) explica que quanto menor for a atividade de água, menor será a reprodução bacteriana; à medida que ele cresce, aumenta também a proliferação. Valores abaixo do limiar mínimo não eliminam totalmente todas as bactérias, mas podem inativar parte da população, deixando alguns sobreviventes em estado latente, porém, ainda capazes de causar contaminação (AQUINO, 2017).

Existe uma variedade de secadores, que podem funcionar em regime descontínuo ou contínuo, cada um com parâmetros de operação próprios. Earle (1983) explica que o desafio central em projetar e dimensionar secadores reais é lidar com as variações das condições operacionais, já que há secadores que operam em regime contínuo e outros em batelada. O quadro 2 mostra alguns exemplos de secadores.

Quadro 2 - Tipos de secadores.

Secadores a ar quente	Secadores de superfície aquecida (ou de contato)	Sublimação
Secadores em túnel	Secadores de tambor	Secadores por congelamento (liofilizador)
Secadores de bandeja	Secadores à vácuo	
Secadores de esteira (correia)		
Secadores de leito fluidizado		
Secadores pneumáticos		
Secadores de canaletas (ranhura)		
Secadores em recipiente (silo)		
Secadores por atomização		
Secadores rotativos		

Fonte: Earle (1983).

Em contraposição aos métodos que atuam pela elevação da temperatura ou pela remoção de água, outra importante categoria de conservação baseia-se na redução da temperatura como estratégia para retardar o desenvolvimento microbiano e as reações deteriorativas.

2.2.5 Conservação por baixas temperaturas

Métodos baseados em baixas temperaturas são fundamentais para conservação da carne suína. A refrigeração e o congelamento retardam a deterioração ao desacelerar reações químicas e o crescimento microbiano. Conforme Vasconcelos e Filho (2010), quanto menor a temperatura, maior o período de estocagem, sendo o congelamento particularmente eficaz para vida útil prolongada. Entretanto, Fellows (2000) alerta que

microrganismos e enzimas têm atividade suprimida, mas não são eliminados, exigindo rigoroso controle térmico em toda a cadeia (transporte, armazenamento, preparo) para evitar reativação microbiana.

Dentre as técnicas de conservação pelo frio, o resfriamento é o método mais amplamente utilizado para a manutenção de curto prazo da qualidade da carne suína, sendo adotado em diversas etapas da cadeia produtiva.

2.2.6 Resfriamento

De acordo com Cassens (1994), diferentemente do aquecimento, cujo objetivo é inativar os microrganismos, o resfriamento busca principalmente frear ou limitar seu desenvolvimento. A carne fresca é mantida refrigerada em temperaturas que variam de 2 a 4 °C (RAHMAN *et al.*, 2023). Além disso, é importante que a refrigeração seja aplicada no abatedouro logo após o abate, bem como durante o transporte, o armazenamento e a exposição ao consumidor no varejo.

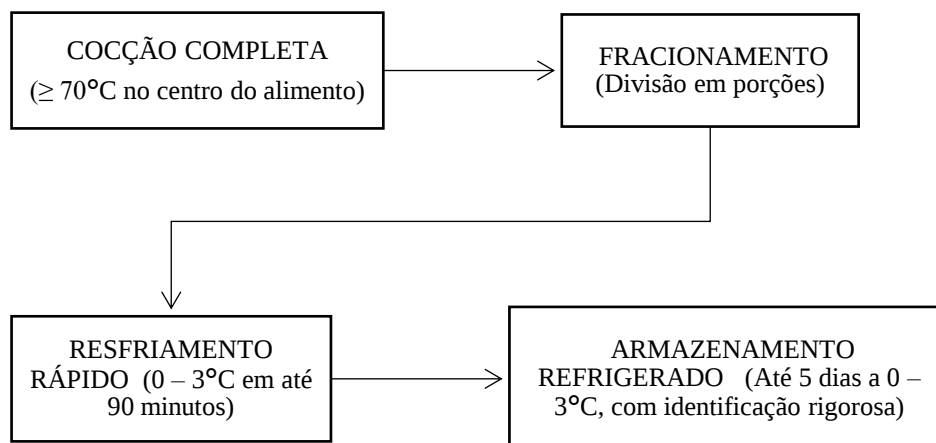
O tempo máximo de conservação é de aproximadamente 30 dias, dependendo da carga microbiana presente, da temperatura e da umidade relativa (FEITOSA, 1999). A Organização Pan-Americana da Saúde (2019) também explica que é fundamental também regular a umidade relativa do ar, pois níveis muito baixos provocam ressecamento e perda de peso, enquanto níveis elevados favorecem a proliferação microbiana.

Com o objetivo de associar as vantagens do tratamento térmico à conservação por frio, o sistema cook-chill surgiu como uma alternativa eficaz para garantir simultaneamente a segurança microbiológica e a qualidade nutricional e sensorial dos produtos.

2.2.7 Sistema de cozimento-resfriamento (*cook-chill*)

Segundo Castanheira (2009), o sistema *cook-chill* consiste na cocção completa dos alimentos, seguida de um resfriamento rápido e posterior armazenamento refrigerado sob condições controladas. Este método pode ser detalhado em etapas, conforme mostra o fluxograma da Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma das etapas do processo cook-chill para conservação de alimentos.



Fonte: Adaptado de Castanheira (2009).

É importante ressaltar que durante a regeneração, as porções são reaquecidas até 63 – 70°C imediatamente antes do consumo, minimizando perdas de qualidade nutricional e sensorial.

Para situações que demandam conservação por períodos mais prolongados, o congelamento destaca-se como uma das técnicas mais eficazes disponíveis, permitindo estender significativamente a vida útil da carne suína.

2.2.8 Congelamento

O congelamento reduz a temperatura da carne abaixo de seu ponto de congelamento, formando cristais de gelo que diminuem a atividade de água. Conforme Vasconcelos e Filho (2010), é um método eficaz para conservação a longo prazo, preservando características sensoriais e nutricionais, mas exige cadeia de frio contínua. Fellows (2000) destaca que sua eficácia combina baixa temperatura, redução da atividade de água e, em alguns casos, branqueamento prévio.

Feitosa (1999) alerta que a exposição prévia por mais de 2 horas entre 15 – 45°C (faixa ideal para patógenos mesófilos) compromete a segurança. A temperatura de armazenamento deve ser $\leq -18^{\circ}\text{C}$ (AQUINO, 2017). Segundo a Organização Pan-Americana de Saúde (2019), embora temperaturas baixas desacelerem reações microbianas e bioquímicas, não inativam enzimas. As bactérias Gram-negativas (ex.: Salmonella) são mais suscetíveis, enquanto esporos de Bacillus e Clostridium resistem. Conforme Feitosa (1999), o congelamento

rápido oferece vantagens: cristais menores (menos danos celulares), inibição bacteriana imediata e retardo eficaz de reações enzimáticas.

Embora os métodos baseados no controle de temperatura sejam fundamentais para a conservação da carne suína, frequentemente necessitam ser complementados com o uso de agentes conservantes para assegurar a estabilidade microbiológica e oxidativa dos produtos ao longo do armazenamento.

2.2.9 Uso de conservantes

O congelamento não impede totalmente as reações oxidativas nem a deterioração causada por microrganismos e enzimas. Dessa forma, o uso de conservantes em associação com a refrigeração contribui para aumentar a estabilidade, a segurança, a qualidade e a vida útil dos produtos, preservando também seu valor nutricional (RAHMAN et al., 2023). Conservantes são substâncias adicionadas aos alimentos com a finalidade de inibir o desenvolvimento de microrganismos e aumentar sua estabilidade durante o armazenamento (BOURGEOIS, 1994, apud FEITOSA, 1999).

Segundo Vasconcelos e Filho (2010), Codex Alimentarius, um comitê de especialistas de diversos países vinculado à OMS (Organização Mundial da Saúde), estabelece diretrizes para o emprego de aditivos, baseando-se em observações, estudos e pesquisas para avaliar o uso dessas substâncias nos alimentos. Outros regulamentos, como os da União Europeia e de agências como FDA, IARC e JECFA, também são levados em conta.

Existe uma gama de conservantes aplicáveis a diferentes alimentos, entre os quais se destacam os ácidos orgânicos e seus sais, os sulfitos e os sais de nitrito/nitrato, sendo esses últimos os principais. Aquino (2017) explica que, além de exercerem ação bactericida e antioxidante, os nitritos conferem estabilidade à coloração da carne e são essenciais para evitar o crescimento de *Clostridium botulinum* em produtos curados, pois, embora não impeçam a germinação de esporos (salvo em concentrações muito elevadas), bloqueiam o desenvolvimento das células vegetativas que deles derivam.

Entre os métodos que fazem uso de conservantes, a cura é uma das técnicas mais tradicionais e difundidas na indústria cárnea.

2.2.10 Cura

A cura de carnes é um método tradicional que evoluiu da salga sem refrigeração para processos combinados com frio e defumação (FRAZIER *et al.*, 2014). Fundamenta-se na incorporação de nitrito, nitrato, cloreto de sódio e açúcar, os quais modificam propriedades sensoriais e estabilidade (FEITOSA, 1999). Os nitritos destacam-se por três funções essenciais: estabilização da cor vermelha característica, melhoria das características organolépticas e inibição de *C. botulinum* (LEITÃO, 1978 apud FEITOSA, 1999). Entretanto, reagem com aminas formando nitrosaminas carcinogênicas (LANDGRAF, 1996 apud FEITOSA, 1999), permanecendo insubstituíveis como agentes antibotulínicos devido à sua eficácia única (FEITOSA, 1999).

Os agentes de cura possuem funções específicas, conforme mostrado no Quadro 3.

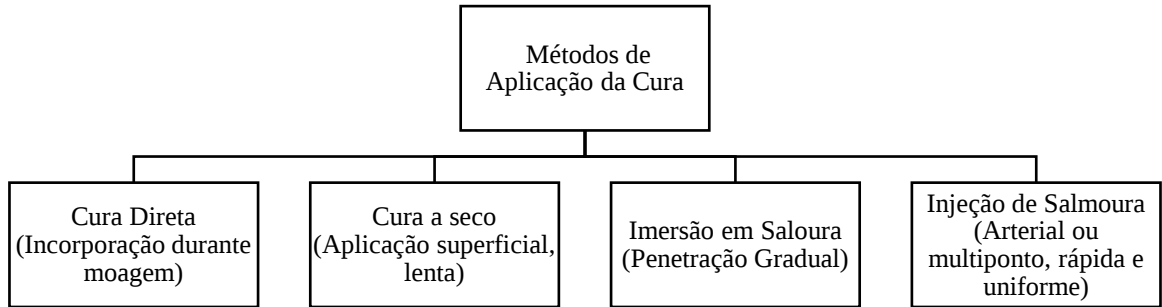
Quadro 3 - Funções dos principais agentes de cura na conservação de carnes.

Agente de Cura	Função Principal
Cloreto de sódio	Reduz a atividade de água (15–24% em salmouras), dificultando o crescimento microbiano.
Açúcar	Adiciona dulçor (sacarose ou glicose) e serve de substrato para bactérias redutoras de nitrato.
Nitrato de sódio	Atua como reserva para formação de nitrito durante o processo de cura.
Nitrito de sódio	Libera óxido nítrico, fixa a cor característica da carne e exerce ação antimicrobiana.

Fonte: Adaptado de Frazier *et al.* (2014).

A aplicação da cura em carnes pode ser realizada por diferentes técnicas, cada uma com suas características e indicações específicas no processamento industrial. A Figura 3 ilustra, de forma esquemática, os principais métodos de aplicação da cura descritos por Roça (s.d.): cura direta, cura a seco, imersão em salmoura e injeção de salmoura. Vale ressaltar que a injeção de salmoura se destaca como a técnica predominante em produtos como bacon e presunto, por proporcionar distribuição mais uniforme dos ingredientes da cura, maior rendimento e redução do tempo de processamento.

Figura 3 - Técnicas de aplicação da cura em carnes.



Fonte: Adaptado de Roça (s.d.).

De acordo com Frazier *et al.* (2014), o processo de cura ocorre a temperaturas entre 2,2 e 3,3°C. O tempo necessário para a completa difusão da salmoura e o desenvolvimento da cura varia conforme o método empregado: técnicas tradicionais de imersão podem demandar meses, enquanto a injeção de salmoura acelera a penetração dos ingredientes de cura, reduzindo significativamente o tempo de processamento. Após a cura, a maioria das carnes é submetida à defumação para conservação, exceto produtos como o *corned beef*, que requer refrigeração. Em conservas, como pés de porco, adiciona-se vinagre à salmoura para auxiliar no controle microbiológico.

Microbiologicamente, a cura tradicional depende de micrococos para reduzir nitratos, enquanto na cura rápida predominam bactérias lácticas, com micrococos e leveduras restritos à superfície (FRAZIER *et al.*, 2014).

Frequentemente associada à cura, a defumação constitui outra técnica clássica de conservação de carnes, atuando de forma complementar ao conferir propriedades antimicrobianas e características sensoriais específicas ao produto final.

2.2.11 Defumação

Segundo Frazier *et al.* (2014), a defumação visa realçar sabores, prolongar a conservação, melhorar a aparência e amaciar fibras musculares. Sua ação preservadora ocorre por: deposição superficial de compostos antimicrobianos da fumaça; combinação de calor e componentes químicos; e redução da umidade superficial por desidratação. Os autores ainda explicam que a fumaça é gerada pela combustão de madeiras como nogueira-pecã, carvalho ou eucalipto (comum no Brasil), e sua composição varia conforme temperatura, oxigênio e tipo de madeira (VASCONCELOS E FILHO, 2010).

A defumação divide-se em dois processos: o frio e o quente. Nassu (2021) explicou sobre os dois tipos. No método a frio, fumaça a 25 – 35°C é aplicada por 1 – 6 dias, causando forte desidratação e intensa impregnação de fumaça para coloração uniforme e maior conservação, mas requerendo controle de umidade e uso de sorbatos. Já na defumação a quente, utiliza-se calor (60 – 85°C) e fumaça são gerados simultaneamente, finalizando a cura de embutidos pré-secos ao intensificar sabor, brilho e fixar a cor, sem a necessidade de calor indireto.

A defumação tradicional pode gerar hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) carcinogênicos. Como alternativa, a fumaça líquida – obtida pela condensação e purificação da fumaça – concentra compostos benéficos (fenóis, ácidos orgânicos) e elimina HAPs, oferecendo ação antioxidante e antimicrobiana padronizada contra patógenos como *Listeria* e *Salmonella* (NASSU, 2021).

A Organização Pan-Americana de Saúde (2019) enfatizou que a composição da fumaça varia conforme madeira, condições de pirólise e processo, permitindo criar perfis sensoriais únicos.

Além das técnicas de processamento, a forma como os produtos cárneos são acondicionados exerce papel determinante na manutenção de sua qualidade e segurança durante o armazenamento.

2.2.12 Armazenagem e embalagem em atmosfera modificada

A embalagem merece atenção especial, pois é essencial garantir a manutenção das condições ideais após a aplicação dos métodos de conservação na carne. Conforme explicou Cassens (1994), ela integra todo o sistema de preservação: além de servir como suporte ao processamento, protege as características desejáveis, como a cor, evitando perda de umidade e contaminação. Segundo Masniyom (2011), os gases mais usados são O₂, N₂ e CO₂, sem controle posterior da composição.

Outra forma de embalagem em atmosfera modificada é a embalagem à vácuo. Conforme Cassens (1994), ela prolonga a estabilidade da carne fresca por pelo menos três semanas sob refrigeração; ao ser aberta, recupera o tom vermelho vivo, embora permaneça purpúrea enquanto lacrada. Para carnes curadas, filmes de alta barreira mantêm baixo O₂, preservam a cor da nitrosil-mioglobina e, em conjunto com sal e nitrito residual, inibem microrganismos, retardam a oxidação lipídica e evitam sabores indesejáveis, além de permitirem a visualização do produto (NASSU, 2021).

Embora os métodos convencionais de conservação sejam amplamente utilizados e contribuam significativamente para a segurança microbiológica e o aumento da vida útil dos produtos cárneos, muitos deles ainda dependem da utilização de aditivos químicos para garantir sua eficácia. Entre esses aditivos, destacam-se os nitritos e nitratos, amplamente empregados na indústria cárnea devido às suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes.

2.2.13 Análise comparativa dos métodos convencionais de conservação

Os métodos convencionais de conservação da carne suína apresentam diferentes níveis de eficiência microbiológica, impacto sobre a qualidade do produto, demanda energética e aplicabilidade tecnológica, não sendo possível considerar um método universalmente superior. A escolha da tecnologia mais adequada depende das características do produto, da vida útil desejada, dos custos operacionais e dos atributos de qualidade que se pretende preservar.

De modo geral, métodos baseados na aplicação de calor, como a pasteurização e a esterilização, apresentam elevada eficiência na redução da carga microbiana, porém podem provocar alterações nutricionais e sensoriais. Em contrapartida, métodos baseados em baixas temperaturas preservam melhor as características naturais da carne, embora exijam refrigeração contínua, resultando em maior demanda energética. A desidratação prolonga a vida útil pela redução da atividade de água, mas altera a textura e limita sua aplicação a determinados produtos. Já a embalagem a vácuo e a atmosfera modificada retardam o crescimento microbiano e a deterioração, sendo frequentemente utilizadas em associação com outros métodos de conservação.

A aplicação dessas tecnologias varia conforme o produto suíno. Cortes frescos, como lombo, pernil e paleta, são conservados principalmente por refrigeração, congelamento e embalagem a vácuo. Já produtos processados combinam diferentes técnicas, incluindo tratamento térmico, redução da atividade de água, refrigeração e conservantes, para garantir maior estabilidade microbiológica e vida útil. Dessa forma, a indústria prioriza a integração de diferentes métodos de conservação, buscando aliar segurança microbiológica, qualidade do produto e viabilidade tecnológica.

3. RISCOS DOS CONSERVANTES SINTÉTICOS

3.1 NITRITOS E NITRATOS

Os nitritos (NO_2^-) e nitratos (NO_3^-) são aditivos sintéticos fundamentais na indústria de carnes processadas, especialmente em produtos suínos como presunto, bacon e linguiças. De acordo com Sebranek e Bacus (2007), o nitrito é obtido através da redução do nitrato por bactérias como *Staphylococcus xylosum* e *Staphylococcus carnosus*, da família *Micrococaceae*. Sua utilização visa inibir microrganismos patogênicos, como *Clostridium*

botulinum, que é o agente causador do botulismo, além de estabilizar a cor avermelhada característica da carne por meio da formação de nitrosomioglobina e prolongar a vida útil ao retardar a oxidação lipídica e o crescimento bacteriano (HONIKEL, 2008; BEDALE *et al.*, 2016).

Ao longo da história, a presença de impurezas no sal acabou, mesmo sem intenção, por fornecer as pistas iniciais para desvendar o processo de cura. De acordo com Honikel (2008), no século XIX, passou-se a reconhecer o nitrato de potássio (KNO_3) como essa impureza no sal, atribuindo-se a ele tanto a ação conservante quanto a tonalidade rósea-avermelhada das carnes. A partir de 1923, segundo Bedale *et al.* (2016), com o reconhecimento do nitrito como responsável pelo processo de cura das carnes, o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA – United States Department of Agriculture) passou a conduzir diversos experimentos para estabelecer a menor dosagem de nitrito de sódio capaz de assegurar a cura de presuntos e bacon, considerando atributos de qualidade, como a coloração. Em 1925, o USDA oficializou o uso do nitrito como agente de cura (BEDALE *et al.*, 2016).

Embora frequentemente associados às carnes curadas, os sais de nitrato e nitrito ingeridos na alimentação humana têm como principais fontes os vegetais e a água potável consumidos. De acordo com o Comitê de Nitrito e Agentes de Cura Alternativos em Alimentos em estudo publicado no *National Research Council* (1981), alterações químicas que ocorrem na saliva e no trato gastrointestinal superior influenciam a produção interna desses compostos. A maior parte do nitrito no estômago, o principal local de nitrosação *in vivo*, provém da redução do nitrato por bactérias orais. Considerando que cerca de 5% do nitrato ingerido é convertido em nitrito na saliva, ainda segundo o Comitê, estima-se que as principais fontes que contribuem para a carga gástrica de nitrito sejam os vegetais (aproximadamente 72%), seguidos por carnes curadas (9%), assados e cereais (7%) e frutas e seus sucos (5%). Esses valores não incluem o nitrato presente na água potável, que pode ser a fonte predominante em certas regiões.

A compreensão das funções exercidas pelos nitritos e nitratos na indústria cárnea é inseparável da análise dos riscos associados ao seu uso.

3.2 IMPACTO NA SAÚDE HUMANA

Uma vez ingerido, o nitrato é absorvido pelo trato gastrointestinal, elevando sua concentração no sangue de acordo com a rapidez dessa absorção. A quantidade de nitrato excretada pelas glândulas salivares reflete diretamente seu nível plasmático. De acordo com

Spiegelhalder *et al.* (1976), na cavidade bucal, cerca de 20% do nitrato sofre redução a nitrito. Em seguida, nitrato e nitrito são deglutidos e alcançam o estômago, onde o nitrito é rapidamente consumido por reações com o suco gástrico e por absorção. Já o nitrato pode ser reaproveitado via reabsorção e, assim, voltar a circular no organismo.

Lundberg e Weitzberg (2018) descreveram a conversão do nitrito no organismo e o papel do óxido nítrico na regulação de funções fisiológicas. Sob condições ácidas no estômago, o nitrito (NO_2^-) é protonado, formando ácido nitroso (HNO_2). Este, por sua vez, pode decompor-se em diversos óxidos de nitrogênio, como trióxido de dinitrogênio (N_2O_3), óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO_2). Desde a descoberta da formação endógena de NO , tornou-se evidente que esse composto está envolvido em uma ampla gama de efeitos fisiológicos mediados por NO . Esses efeitos incluem a regulação da pressão arterial e do fluxo sanguíneo por meio da vasodilatação, a manutenção do tônus dos vasos sanguíneos, a inibição da adesão e agregação plaquetária, a modulação da função mitocondrial e diversos outros processos.

Nos últimos anos, evidenciou-se que o nitrito pode reagir com diversas substâncias aminadas, gerando compostos N-nitrosos potencialmente cancerígenos, como as nitrosaminas, o que tem despertado sérias preocupações sobre os riscos à saúde e estimulado a busca por alternativas conservantes mais seguras. No seu relatório inaugural, de acordo com o National Research Council (1982), o Comitê de Nitrito e Agentes de Cura Alternativos em Alimentos examinou os impactos do nitrato, do nitrito e dos compostos N-nitrosos sobre o organismo. Considerando que tanto o nitrato quanto o nitrito são precursores na formação dessas substâncias cancerígenas em modelos animais (com possível efeito semelhante em humanos), o Comitê aconselhou a redução da exposição a esses agentes, independentemente da sua fonte.

Além de favorecer a formação de nitrosaminas, a ingestão de nitrito pode desencadear metahemoglobinemia em lactentes, uma vez que o composto promove a oxidação da hemoglobina a metahemoglobina, reduzindo sua capacidade de transporte de oxigênio (CANTOR, 1997; GEORGE; CANTOR, 2004). Recém-nascidos com menos de três meses estão especialmente propensos a esse distúrbio por diversas razões. Embora os eritrócitos contenham a enzima metahemoglobina redutase, encarregada de reverter metahemoglobina em hemoglobina, sua atividade em bebês é cerca de 95 % menor devido à imaturidade do sistema enzimático.

De acordo com Bouvard *et al.* (2015), o Grupo de Trabalho da Agência Internacional de

Pesquisa em Câncer (IARC) classificou a carne processada como carcinogênica para humanos (Grupo 1), com base em evidências epidemiológicas robustas. Além disso, a IARC destacou que os nitritos presentes nesses produtos podem contribuir para a formação de compostos N-nitrosos, alguns dos quais apresentam potencial carcinogênico. Em razão das preocupações toxicológicas associadas a esses compostos, o emprego de nitritos em produtos cárneos é submetido a limites máximos de utilização estabelecidos pela legislação sanitária de diversos países. Em termos de toxicidade aguda, o nitrito apresenta toxicidade consideravelmente superior à do nitrato, sendo necessárias doses menores para produzir efeitos adversos graves ou letais. Para humanos, a dose oral letal é de 80 a 800 mg de nitrato por quilograma de peso corporal e de apenas 33 a 250 mg de nitrito por quilograma de peso corporal (SHAKIL et al., 2022).

A Organização Mundial da Saúde (OMS), por meio da Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC), concluiu que existem evidências suficientes de associação entre o consumo de carnes processadas e o desenvolvimento de câncer colorretal. Segundo a IARC (2015), a ingestão diária de 50 g de carne processada está associada a um aumento de aproximadamente 18% no risco de desenvolvimento desse tipo de câncer.

Estudos prospectivos convergentes indicam que o consumo de carnes vermelhas e processadas eleva o risco de câncer colorretal, abrangendo tumores de cólon e reto. De acordo com Chan *et al.* (2011), em análises lineares de dose-resposta, observa-se um acréscimo de 14% no risco de câncer colorretal para cada incremento de 100 g/dia no consumo combinado dessas carnes, correspondendo a aumentos de 25% para câncer de cólon e 31% para câncer retal. Essas evidências reforçam a urgência de adotar estratégias de saúde pública e de pesquisa para reduzir o consumo excessivo de carnes processadas e desenvolver métodos de conservação mais seguros.

No Brasil, o Ministério da Saúde recomenda limitar o consumo de alimentos processados e evitar os ultraprocessados, uma vez que estes apresentam composição nutricional desequilibrada e tendem a substituir alimentos in natura ou minimamente processados. De acordo com o Ministério da Saúde (BRASIL, 2014), a praticidade, a durabilidade e a elevada palatabilidade dos alimentos ultraprocessados favorecem seu consumo frequente em detrimento de alimentos naturais e de preparações culinárias tradicionais.

Diante dos riscos identificados para a saúde humana, organismos regulatórios internacionais e nacionais estabeleceram limites máximos para o uso de nitritos e nitratos em

produtos alimentícios. A regulamentação vigente sobre esses compostos, tanto no contexto brasileiro quanto internacional, é apresentada na próxima seção.

3.3 REGULAMENTAÇÃO

O nitrito de sódio (INS 250) e de potássio (INS 249) e os seus precursores, respectivamente, nitrato de sódio (INS 251) e potássio (INS 252), são conservantes amplamente empregados pelas agroindústrias na fabricação de produtos cárneos (BRASIL, 2023b). O Comitê Conjunto de Especialistas em Aditivos Alimentares da FAO/OMS definiu as ingestões diárias aceitáveis (ADIs) em 3,7 mg/kg de peso corporal para nitrato e 0,07 mg/kg para nitrito (WHO, 2002). Posteriormente, avaliações toxicológicas semelhantes foram empregadas pela Organização Mundial da Saúde na elaboração das diretrizes de qualidade da água potável, as quais estabeleceram valores-guia para nitrato e nitrito na água destinada ao consumo humano (WHO, 2011). Esses limites correspondem a um consumo exógeno aproximado de 222 mg de nitrato e 4,2 mg de nitrito por dia, considerando um indivíduo de 60 kg (WHO, 2002).

Embora haja diretrizes internacionais, como as estabelecidas pelo Comitê Conjunto de Especialistas em Aditivos Alimentares da FAO/OMS (JECFA), que recomendam ingestões diárias aceitáveis, os limites específicos para adição desses compostos em alimentos variam entre os países, refletindo diferentes abordagens regulatórias e preocupações de saúde pública.

A legislação brasileira, por meio da Resolução da Diretoria Colegiada — RDC nº 778/2023 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), estabelece os princípios gerais, as funções tecnológicas e as condições de uso de aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia em alimentos. De forma complementar, a Instrução Normativa — IN nº 211/2023 define os limites máximos e as condições de uso dos aditivos autorizados para diferentes categorias de alimentos, incluindo carnes e produtos cárneos. Para produtos cárneos processados em que esses aditivos são permitidos, a norma estabelece limite máximo de 150 mg/kg para nitritos de sódio e potássio e de 300 mg/kg para nitratos de sódio e potássio. Quando utilizados simultaneamente, a soma de nitritos e nitratos, calculada como nitrito de sódio, não deve exceder 150 mg/kg. Para carnes *in natura*, resfriadas ou congeladas, não é autorizado o uso de aditivos alimentares (BRASIL, 2023a; BRASIL, 2023b).

No que se refere à rotulagem de produtos de origem animal, a Instrução Normativa nº 22, de 24 de novembro de 2005, do Ministério da Agricultura, Pecuária e

Abastecimento (MAPA), determina que os ingredientes sejam declarados no rótulo do produto. A norma também estabelece que os aditivos alimentares devem ser indicados após os ingredientes, conforme sua função e denominação específica, garantindo maior transparência sobre a composição dos produtos cárneos ao consumidor (BRASIL, 2005).

A União Europeia, por meio do Regulamento (UE) 2023/2108, de 6 de outubro de 2023, revisou para 80 mg/kg o limite de adição de nitrito em produtos cárneos não tratados termicamente (antes 150 mg/kg), para 55 mg/kg em produtos esterilizados (antes 100 mg/kg) e definiu faixas específicas de 100 – 105 mg/kg para carnes curadas tradicionalmente, além de impor limites residuais de 25 a 50 mg/kg de nitritos e nitratos no produto final durante toda sua vida útil, com o objetivo de reduzir a formação de nitrosaminas e proteger a saúde pública (UNIÃO EUROPEIA, 2023).

A legislação canadense permite o uso de até 200 mg/kg de nitrito de sódio em produtos cárneos curados (CANADIAN FOOD INSPECTION AGENCY, 2021). No Japão, produtos cárneos curados não submetidos a tratamento térmico devem conter no máximo 70 mg/kg de nitrito residual (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2021). A legislação indiana estabelece um limite de 200 mg/kg para nitrito de sódio em carnes processadas, variando de acordo com os diferentes estados do país (FOOD SAFETY AND STANDARDS AUTHORITY OF INDIA, 2011). O México estabelece limites máximos para adição de nitritos e nitratos em produtos cárneos, conforme regulamentado pela Secretaria de Saúde, os quais devem conter no máximo 156 mg/kg desses compostos (MÉXICO, 2002).

Diante das limitações associadas ao uso de conservantes sintéticos, especialmente no que se refere à formação de compostos potencialmente prejudiciais à saúde, tem aumentado o interesse por estratégias alternativas de conservação.

3.4 CONSERVANTES NATURAIS EM CARNES

Em face da crescente preocupação com aditivos sintéticos, os conservantes naturais têm sido amplamente estudados como alternativas mais saudáveis em produtos cárneos. Conservantes sintéticos são bem conhecidos por causar problemas de saúde, como reações alérgicas (QUINTO *et al.*, 2019), o que impulsiona o interesse por agentes de origem natural. A biopreservação, isto é, o uso de substâncias naturais antimicrobianas, podem garantir a segurança e a qualidade dos alimentos, atuando contra microrganismos deteriorantes.

Produtos de origem vegetal (ervas, especiarias, extratos de plantas), animal

(lactoferrina, lisozima), microbiana (bacteriocinas) e demais origens (algas, fungos, vírus) são empregados como conservantes naturais. Esses compostos atuam preservando a carne ao inibir microrganismos e retardar a oxidação lipídica, embora a complexidade de suas interações exija tecnologias adequadas de aplicação. Como Manassis *et al.* (2020) ressaltam, são necessários ensaios clínicos e testes de segurança para eliminar o risco de efeitos indesejáveis, indicando que a naturalidade não dispensa avaliação toxicológica.

Rosa e Pinto (2022) reforçam o papel dos antioxidantes naturais na carne ao observarem que a oxidação lipídica provoca alterações sensoriais indesejáveis e compromete a aceitação do produto pelos consumidores e pode representar riscos à saúde, uma vez que a geração e ingestão de radicais livres provocam prejuízos ao funcionamento do organismo. Assim, o uso de antioxidantes naturais (por exemplo, extratos de alecrim, chá verde, vitamina C) é uma prática que pode ser adotada pela indústria de alimentos para preservar e estender a vida de prateleira de carnes. Essas substâncias visam inibir processos de oxidação e deterioração microbiológica, atendendo à demanda por alimentos “mais naturais” e reduzindo os aditivos químicos. No entanto, mesmo conservantes naturais podem influenciar características sensoriais (cor, aroma, sabor) e interagir com a microbiota. Por isso, sua aplicação requer cuidadoso controle de concentração e tecnologia de incorporação.

Dentre os compostos antioxidantes naturais destacam-se vários fenóis vegetais (flavonoides, taninos, compostos fenólicos) extraídos de frutas, vegetais e ervas. Manassis *et al.* (2020) afirmam que diversas pesquisas realizadas em condições laboratoriais evidenciaram que os antioxidantes naturais exercem efeitos benéficos na redução da oxidação de lipídios e proteínas, contribuem para o aumento da durabilidade dos produtos cárneos, melhoram seus perfis antioxidantes e estão associados a possíveis vantagens para a saúde.

Contudo, é imprescindível considerar os riscos e limitações dos antioxidantes naturais. Em altas concentrações, compostos como óleos essenciais podem deixar sabor e odor residuais na carne, prejudicando a aceitação do consumidor. Dessa forma, é possível perceber que embora conservantes naturais sejam geralmente mais seguros, sua variabilidade de composição e eficiência depende da matriz alimentar. Manassis *et al.* (2020) apontam que fatores regulatórios e técnicas de aplicação ainda limitam seu uso amplo, destacando a necessidade de testes e estudos clínicos. Em resumo, os antioxidantes naturais em carnes oferecem ganhos em shelf-life e saúde percebida, mas exigem validação técnica para garantir eficácia e inocuidade.

Entre as diferentes categorias de conservantes naturais estudadas, os

compostos com ação antioxidante têm recebido especial atenção da literatura científica, dada sua capacidade de retardar a oxidação lipídica e proteger a qualidade dos produtos cárneos.

3.4.1 Compostos Antioxidantes

Os compostos antioxidantes de origem natural empregados em produtos cárneos englobam substâncias capazes de retardar processos oxidativos, protegendo gorduras e proteínas contra a rancificação. Horbańczuk *et al.* (2019) afirmam que a degradação da qualidade da carne e a redução da durabilidade dos produtos cárneos decorrem principalmente dos processos de oxidação. Entretanto, os autores ainda afirmam que os antioxidantes de origem vegetal podem representar uma alternativa viável para esse problema, pois plantas e materiais vegetais contêm abundantes compostos bioativos que podem oferecer benefícios à saúde.

De acordo com Manassis *et al.* (2020) e Horbańczuk *et al.* (2019), esses compostos incluem principalmente fenóis e flavonoides, como os presentes em alecrim (*Rosmarinus officinalis*), orégano (*Origanum vulgare*) e chá verde (*Camellia sinensis*), além de vitaminas antioxidantes, notadamente as vitaminas C e E, que podem estar inerentes às matérias-primas ou ser adicionadas à formulação. Conforme relata Rosa e Pinto (2022), a indústria alimentícia acrescenta antioxidantes justamente porque a formação e o consumo de radicais livres causam danos ao organismo, indicando risco à saúde associado à oxidação nos alimentos.

Além dos benefícios dos compostos naturais relatados por Manassis *et al.* (2020) na conservação de carnes por meio de estudos *in vitro*, pesquisas como a de Fernández-López *et al.* (2005) indicam que extratos de alecrim apresentam efeito antioxidante em sistemas cárneos, contribuindo para a redução da oxidação lipídica, evidenciada por menores valores de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), o que se reflete na diminuição de processos de rancidez em produtos cárneos durante o armazenamento.

Outros estudos, como o de Djenane *et al.* (2002), avaliaram a aplicação de antioxidantes naturais e compostos bioativos, incluindo α -tocoferol, taurina e extrato de alecrim, frequentemente associados à vitamina C, em carne bovina armazenada sob atmosfera modificada. Os autores observaram que essas combinações foram eficazes em retardar a oxidação lipídica e a formação de metamioglobina, contribuindo para a manutenção da estabilidade oxidativa e para a extensão da vida útil do produto em comparação ao controle sem antioxidantes. Embora o estudo tenha sido realizado em carne bovina, os resultados indicam

potencial de aplicação dessas estratégias em outros produtos cárneos, como a carne suína, embora essa extrapolação exija validação específica em diferentes matrizes alimentares.

Antioxidantes naturais podem causar alterações sensoriais indesejáveis (amargor ou mudanças de sabor) e afetar a microbiota de forma imprevisível. Além disso, conforme apontam Horbańczuk *et al.* (2019), embora sejam vistos como alternativas mais seguras aos sintéticos, ainda carecem de validação para garantir ausência de toxicidade em doses elevadas. Por isso, segundo Manessis *et al.* (2020), é essencial definir regulamentações específicas e conduzir testes de dose-resposta e estudos clínicos. Em síntese, esses compostos são promissores para a conservação de carnes, mas requerem aplicação criteriosa para maximizar seus benefícios e minimizar riscos.

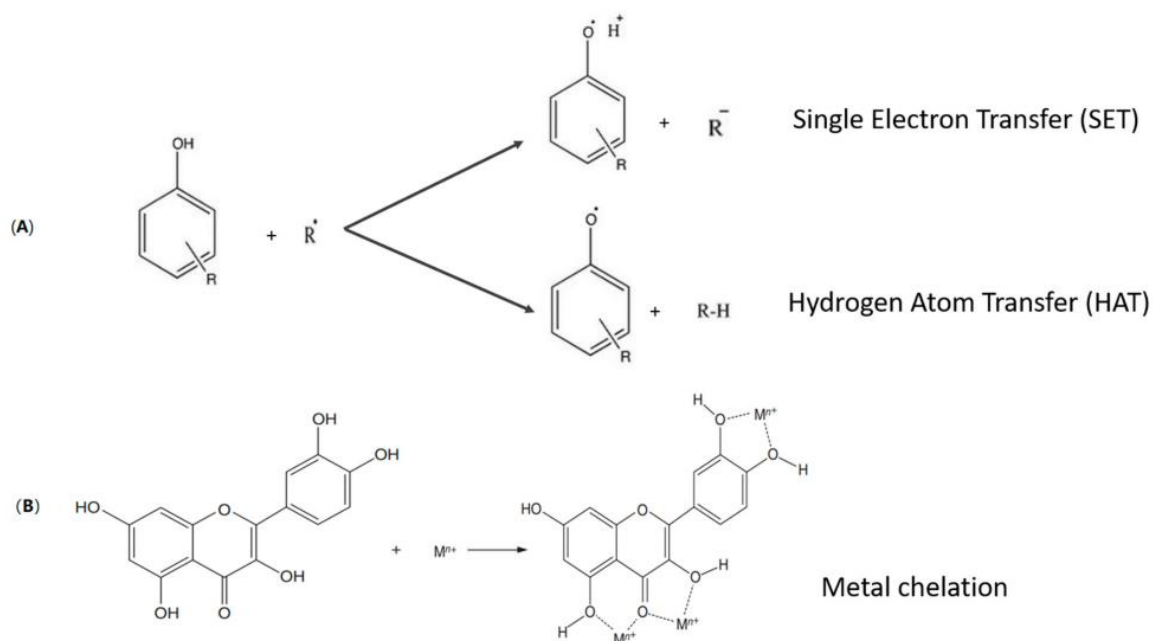
Para compreender de que forma esses compostos exercem sua ação protetora sobre os produtos cárneos, é fundamental analisar os mecanismos pelos quais os fenólicos atuam sobre os processos de oxidação lipídica.

3.4.1.1 Mecanismos antioxidantes dos compostos fenólicos

No campo da ciência de alimentos, Domínguez *et al.* (2019) explicam que a estabilidade dos produtos cárneos é fortemente afetada pela oxidação lipídica, processo que ocorre principalmente por meio do mecanismo de auto-oxidação radicalar. Segundo os autores, esse processo envolve ácidos graxos insaturados presentes na matriz cárnea, os quais são suscetíveis à formação de radicais livres e hidroperóxidos na presença de oxigênio e de agentes catalisadores. Como consequência, ocorrem alterações indesejáveis no alimento, como perda de aroma e sabor característicos, desenvolvimento de ranço, mudanças na cor e redução do valor nutricional do produto.

Com base na discussão apresentada por Domínguez *et al.* (2019), os compostos fenólicos extraídos de fontes vegetais podem atuar como antioxidantes capazes de interromper essa cadeia de oxidação. Esses compostos exercem sua ação principalmente por meio da doação de um átomo de hidrogênio ou de um elétron aos radicais formados durante a oxidação lipídica, especialmente aos radicais peroxila. Ao receber esse hidrogênio ou elétron, o radical lipídico torna-se menos reativo, o que reduz a continuidade das reações oxidativas na matriz cárnea. A Figura 4 apresenta, de forma esquemática, os principais mecanismos antioxidantes atribuídos aos compostos fenólicos, incluindo a transferência de elétrons (SET), a transferência de átomos de hidrogênio (HAT) e a quelatação de metais.

Figura 4 - Representação esquemática do mecanismo de ação de um antioxidante.



Fonte: Beya et al. (2021).

Domínguez *et al.* (2019) também indicam que a eficiência antioxidante dos compostos fenólicos não depende apenas da presença desses compostos no extrato vegetal, mas também de sua estrutura química. Características como o número e a posição dos grupos hidroxila (-OH), a organização das ligações químicas e a presença de estruturas específicas, como catecol e pirogallol, influenciam diretamente a capacidade desses compostos de doar hidrogênio ou elétrons. Dessa forma, dois extratos vegetais com quantidades semelhantes de compostos fenólicos podem apresentar efeitos antioxidantes diferentes, dependendo da composição e da estrutura das moléculas presentes.

Ainda conforme Domínguez *et al.* (2019), após doar hidrogênio ou elétron para neutralizar um radical lipídico, o próprio composto fenólico passa a formar um radical fenóxi. No entanto, esse radical tende a ser mais estável e menos reativo, pois sua estrutura aromática permite a distribuição da carga eletrônica por ressonância. Essa estabilidade é essencial para que o composto fenólico interrompa ou reduza a propagação da oxidação sem gerar, de forma imediata, novas espécies altamente reativas. Assim, os autores demonstram que a ação antioxidante dos compostos fenólicos em produtos cárneos está relacionada tanto à sua capacidade de neutralizar radicais livres quanto à estabilidade química da molécula após essa reação, o que contribui para retardar os processos oxidativos na matriz alimentar.

Além de atuar diretamente sobre os radicais livres formados durante a oxidação, os compostos fenólicos também são capazes de interagir com metais presentes na matriz cárnea, os quais exercem papel de catalisadores nessas reações.

3.4.1.2 Interação dos fenólicos com metais pró-oxidantes

Além da neutralização direta de radicais livres, os compostos fenólicos também podem atuar por meio da interação com metais pró-oxidantes presentes na carne, especialmente o ferro. De acordo com Domínguez *et al.* (2019), o ferro, tanto na forma heme quanto não heme, exerce papel importante na oxidação lipídica de produtos cárneos, pois pode catalisar a decomposição de hidroperóxidos e favorecer a formação de novos radicais livres. Dessa forma, a presença desse metal na matriz muscular contribui para acelerar as reações oxidativas, afetando a cor, o sabor, o aroma e a estabilidade do produto.

Segundo Domínguez *et al.* (2019), os compostos fenólicos podem reduzir a atividade pró-oxidante dos metais principalmente por meio da quelação de íons metálicos. Esses compostos possuem capacidade de interagir com íons metálicos presentes na matriz cárnea, especialmente o ferro, formando complexos que reduzem sua disponibilidade para catalisar reações oxidativas. Dessa forma, a quelação dificulta a decomposição de hidroperóxidos lipídicos e contribui para o retardamento da propagação da oxidação em produtos cárneos.

Nos produtos cárneos, essa interação torna-se ainda mais relevante porque parte significativa do ferro está associada a proteínas heme, como a mioglobina e a hemoglobina. Wu *et al.* (2024) destacam que essas proteínas atuam como importantes agentes pró-oxidantes em alimentos de origem muscular, pois podem favorecer a oxidação lipídica por meio da liberação do grupo heme, da formação de espécies oxidadas e da participação do ferro em reações de degradação. Dessa forma, os compostos fenólicos podem atuar não apenas sobre metais livres, mas também sobre estruturas heme envolvidas na instabilidade oxidativa da carne.

A partir dessa perspectiva, Wu *et al.* (2024) indicam que os polifenóis podem interferir em diferentes etapas da oxidação mediada por proteínas heme. Esses compostos podem atuar no sequestro de espécies reativas, na modulação de formas oxidadas da mioglobina, na redução da liberação do ferro presente no grupo heme e na interação com estruturas lipídicas da matriz muscular. Esses mecanismos ajudam a explicar por que os fenólicos podem contribuir simultaneamente para a proteção contra a oxidação lipídica e para a maior estabilidade da cor em produtos cárneos.

Esse conjunto de mecanismos também demonstra que a eficácia dos extratos vegetais não depende apenas da quantidade total de compostos fenólicos presentes, mas da forma como esses compostos interagem com os diferentes componentes da carne. Conforme discutido por Wu *et al.* (2024), a ação antioxidante dos polifenóis em matrizes musculares está relacionada à sua distribuição no alimento, à interação com proteínas, lipídios e pigmentos, e à capacidade de atuar nos locais mais suscetíveis à oxidação. Portanto, dois extratos com teores semelhantes de fenólicos podem apresentar desempenhos distintos, dependendo de sua composição química, afinidade por metais e interação com proteínas heme presentes na carne.

Além dos mecanismos intrínsecos aos compostos fenólicos, a própria composição e as características físico-químicas da matriz cárnea exercem influência determinante sobre a eficácia desses antioxidantes.

3.4.1.3 Influência da matriz cárnea sobre os compostos fenólicos

A atividade antioxidante dos compostos fenólicos em produtos cárneos é diretamente influenciada pelo pH da matriz. De acordo com Domínguez *et al.* (2019), fatores físico-químicos da matriz alimentar, como o pH, podem modificar a ionização e a estabilidade dos compostos fenólicos, além de influenciar sua interação com proteínas e sua distribuição entre as diferentes fases do alimento, afetando consequentemente sua eficácia antioxidante. Kittipongpittaya *et al.* (2016), ao avaliarem a interação entre ácido rosmarínico e α -tocoferol em emulsões óleo em água, observaram que a redução do pH diminuiu o efeito sinérgico entre os antioxidantes. Esse resultado demonstra que a eficiência dos fenólicos não depende apenas da dose adicionada, mas também das condições químicas do alimento.

A influência do pH também ajuda a explicar por que compostos fenólicos podem apresentar comportamento antioxidante ou pró-oxidante em diferentes condições. Zhou e Elias (2012) verificaram que a epigallocatequina galato (principal ativo do chá verde) apresentou atividade antioxidante em pH 7, mas comportamento pró-oxidante em pH 3, em emulsões contendo óleo de linhaça. Os autores indicam que os polifenóis podem exercer simultaneamente atividades antioxidantes e pró-oxidantes, o que reforça a necessidade de avaliar esses compostos dentro da matriz alimentar específica, e não apenas por ensaios químicos isolados.

O teor de gordura e a composição dos ácidos graxos também exercem influência direta sobre a intensidade da oxidação lipídica e, consequentemente, sobre a eficácia dos compostos fenólicos em produtos cárneos. Segundo Domínguez *et al.* (2019), o conteúdo

lipídico e o perfil de ácidos graxos estão entre os principais fatores que determinam a ocorrência da oxidação em carnes, uma vez que os ácidos graxos constituem o principal substrato das reações oxidativas. Dessa forma, carnes e derivados com maior proporção de ácidos graxos insaturados apresentam maior suscetibilidade à deterioração oxidativa, aumentando a necessidade de sistemas antioxidantes capazes de controlar a formação e a propagação de radicais livres na matriz cárnea.

Em produtos cárneos processados, essa relação torna-se ainda mais relevante, pois operações tecnológicas como moagem, corte, mistura e cozimento aumentam o contato entre lipídios, oxigênio, metais e proteínas pró-oxidantes. Domínguez *et al.* (2019) citam processos como corte, desossa, moagem ou cozimento como tratamentos capazes de acelerar o desenvolvimento da oxidação lipídica. Os autores explicam que isso ocorre porque essas etapas rompem estruturas celulares e membranas musculares, expondo fosfolipídios e ácidos graxos insaturados a catalisadores oxidativos presentes na própria matriz cárnea.

O processamento também pode alterar os próprios compostos fenólicos e sua interação com proteínas. Zhang *et al.* (2024) explicam que o tratamento térmico pode induzir a auto-oxidação de polifenóis, formando estruturas do tipo quinona ou semiquinona capazes de reagir com grupos amino e sulfidrilas das proteínas. Em produtos cárneos, esse fenômeno pode alterar a retenção dos fenólicos na matriz, sua atividade antioxidante, sua biodisponibilidade e, em alguns casos, características sensoriais do produto. Os autores também destacam que as alterações no pH desempenham papel fundamental na modulação das interações entre proteínas e polifenóis, reforçando que a aplicação tecnológica desses compostos deve considerar simultaneamente formulação, pH, teor lipídico e condições de processamento.

Para além das propriedades antioxidantes, os compostos naturais de origem vegetal também apresentam atividade antimicrobiana relevante, representando outra frente importante na busca por alternativas naturais para a conservação de carnes.

3.4.2 Compostos Antimicrobianos

Os compostos antimicrobianos naturais em carnes englobam moléculas capazes de inibir ou destruir bactérias, fungos e outros microrganismos indesejáveis. Exemplos típicos incluem ácidos orgânicos (ácido láctico, acético, cítrico e seus sais), óleos essenciais e extratos vegetais (de tomilho, cravo, alho, cebola, ervas variadas) e bacteriocinas (nisina, pediocina, lactoperoxidase). Santiesteban-López *et al.* (2022) listam que ácidos orgânicos e seus sais; compostos derivados de plantas, como extratos ou óleos essenciais; bacteriocinas; e

revestimentos comestíveis têm grande potencial antimicrobiano em carnes. Essas substâncias agem por diversos mecanismos: desestabilizam a parede ou membrana celular microbiana, interferem em processos metabólicos (produção de ATP) ou inibem a síntese de componentes essenciais (proteínas, ácidos nucleicos). Quinto *et al.* (2019) detalham que antimicrobianos naturais promovem ruptura da membrana celular, afetam mecanismos nucleares, decaem o gradiente de prótons e esgotam ATP, levando à morte microbiana.

Por serem de origem biológica, esses conservantes oferecem vantagens percebidas: segundo Quinto *et al.* (2019), microrganismos podem desenvolver menos resistência frente a extratos vegetais complexos, e o público valoriza produtos com ingredientes familiares. Além disso, como observam Vaou *et al.* (2021), antimicrobianos de origem vegetal, como compostos fenólicos e ácidos orgânicos, vêm sendo apontados cada vez mais como opções promissoras aos agentes antibacterianos químicos tradicionais, em razão de sua segurança. Em carnes processadas, compostos como ácido láctico desaceleram o crescimento de patógenos, enquanto misturas de ervas e especiarias (orégano, alecrim, cravo) têm demonstrado reduzir leveduras e bactérias deteriorantes. Embalagens ativas contendo extratos naturais também prolongam a vida útil de cortes e embutidos.

Entretanto, restrições e riscos existem. Santiesteban-López *et al.* (2022) alertam que a simples redução de conservantes tradicionais (sal, sais de cura) sem alternativas eficazes compromete significativamente a estabilidade e a segurança dos produtos cárneos, representando assim um grande risco para a saúde do consumidor. Em outras palavras, um produto rotulado como “clean label” pode ser inseguro se os microrganismos não forem adequadamente controlados. Outro desafio é que muitos compostos naturais são menos potentes do que sintéticos. Alcançar concentração antimicrobiana suficiente pode alterar o sabor e o cheiro do alimento. Além disso, a variabilidade na composição dos extratos (dependendo de cultivar, época da colheita etc.) dificulta padronização. Segundo Quinto *et al.* (2019), é imprescindível validar o uso de antimicrobianos de origem natural, já que o uso inadequado de antibióticos está levando a microrganismos multirresistentes. Contudo, esses agentes também devem obedecer às normas sanitárias vigentes.

Em suma, os compostos antimicrobianos naturais são ferramentas promissoras para a conservação de carnes, porém seu emprego exige estudos específicos de dosagem, associação (por exemplo com altas pressões, embalagens modificadas) e avaliações de segurança. Mesmo agentes naturais podem apresentar efeitos adversos (intolerâncias, alteração do microbioma intestinal) se empregados sem critério. Por isso, a revisão da literatura

ênfatiza repetidamente a necessidade de combinar o conhecimento microbiol3gico com a qu4mica dos compostos naturais, garantindo que a alternativa natural n3o introduza efeitos indesej3veis na qualidade da carne ou na sa4de p4blica.

4. METODOLOGIA

Nesse capítulo são descritos os procedimentos metodológicos para realizar a revisão sistemática da produção científica sobre a utilização de compostos bioativos naturais como alternativas à substituição de nitritos e nitratos sintéticos na conservação da carne suína. São apresentados os critérios adotados para busca, seleção, triagem e análise dos estudos científicos, bem como as ferramentas utilizadas para organização e avaliação bibliométrica da literatura selecionada.

4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA

Para a realização deste estudo, adotou-se uma metodologia de revisão sistemática da literatura, alinhada ao protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), conforme recomendações de Page *et al.* (2022). Os autores relatam que o método em questão conta com uma lista de checagem que inclui sete seções com 27 itens (APÊNDICE A), dessa forma, garante transparência e reprodutibilidade no processo de identificação, seleção, avaliação e síntese dos estudos incluídos.

A revisão teve como objetivo mapear os principais compostos bioativos naturais empregados na conservação da carne suína. Os estudos de interesse foram os publicados na forma de artigos. A pesquisa foi realizada no mês de novembro de 2025, e baseou-se na seguinte questão de pesquisa (do inglês, *Research Question* - RQ), para a revisão sistemática responder: Quais compostos bioativos de origem vegetal demonstram evidências de eficácia antioxidante e/ou antimicrobiana na conservação de produtos cárneos suínos e qual é o potencial tecnológico de sua aplicação como alternativas aos conservantes sintéticos?

Ao atender à questão de pesquisa (RQ), a revisão sistemática proporciona uma avaliação embasada acerca do grau e do potencial de retorno dos estudos selecionados, tanto em nível macro quanto microprocessual, possibilitando, dessa forma, a proposição de novas abordagens para investigações futuras.

As bases de pesquisas escolhidas foram: Web of Science, ScienceDirect e PubMed. As bases escolhidas foram consideradas adequadas por sua ampla cobertura de periódicos nas áreas de ciência dos alimentos, tecnologia de alimentos e produtos cárneos.

Após a definição das bases de dados e da questão de pesquisa, as seguintes palavras-chaves foram determinadas:

- ("cured meat" OR "cured pork" OR "processed pork" OR "pork sausage" OR "salami" OR "ham") AND ("antioxidant");
- ("cured meat" OR "cured pork" OR "processed pork" OR "pork sausage" OR "salami" OR "ham") AND ("natural preservatives");
- ("cured meat" OR "cured pork" OR "processed pork" OR "pork sausage" OR "salami" OR "ham") AND ("antimicrobial");
- ("cured meat" OR "cured pork" OR "processed pork" OR "pork sausage" OR "salami" OR "ham") AND ("plant");
- ("cured meat" OR "cured pork" OR "processed pork" OR "pork sausage" OR "salami" OR "ham") AND ("herbal");
- ("cured meat" OR "cured pork" OR "processed pork" OR "pork sausage" OR "salami" OR "ham") AND ("plant") AND ("antioxidant");
- ("cured meat" OR "cured pork" OR "processed pork" OR "pork sausage" OR "salami" OR "ham") AND ("nitrate free" OR "nitrite free");
- ("cured meat" OR "cured pork" OR "processed pork" OR "pork sausage" OR "salami" OR "ham") AND ("plant-based preservatives");
- ("cured meat" OR "cured pork" OR "processed pork" OR "pork sausage" OR "salami" OR "ham") AND ("microbiological control");
- ("cured meat" OR "cured pork" OR "processed pork" OR "pork sausage" OR "salami" OR "ham") AND ("lipid oxidation inhibition");
- ("cured meat" OR "cured pork" OR "processed pork" OR "pork sausage" OR "salami" OR "ham") AND ("spoilage reduction").

Essas strings de pesquisa foram aplicadas, e a busca inicial retornou 32.909 artigos.

Os estudos foram então, submetidos a critérios de inclusão e exclusão a fim de serem filtrados. Os critérios de inclusão filtraram os estudos publicados como artigos, estudos publicados em inglês, português e/ou espanhol, com acesso aberto e a data de publicação entre 2015 e 2026. Com isso, foram excluídos livros, teses, dissertações, trabalhos em congresso e similares, trabalhos publicados antes de 2015, estudos publicados em outros idiomas e com acesso restrito. Esses critérios reduziram a amostra para 7.604 estudos.

Após, a triagem dos estudos foi realizada com auxílio do software Rayyan, que possibilita a organização, identificação e exclusão de trabalhos duplicados, além de facilitar

a seleção independente dos artigos (Ouzzani *et al.*, 2016; RAYYAN, 2026). Com essa ferramenta, foram excluídas 6.144 duplicatas, resultando em 1.460 estudos.

Após a remoção das duplicatas e obtenção da amostra preliminar de estudos, o software VOSviewer foi utilizado como ferramenta de análise bibliométrica para auxiliar na identificação das relações de coautoria entre os autores dos trabalhos selecionados para a revisão sistemática. Van Eck e Waltman (2010) definem o VOSviewer como um programa de computador para construir e visualizar mapas bibliométricos, destacando que o software foi desenvolvido especificamente para criação e visualização de redes bibliométricas.

Segundo Van Eck e Waltman (2010), o programa possibilita construir mapas baseados em diferentes tipos de relações bibliográficas, incluindo coautoria, cocitação, acoplamento bibliográfico e coocorrência de termos. De acordo com o manual do software (VOSVIEWER, 2020), redes de coautoria, redes baseadas em citações e redes de coocorrência podem ser criadas a partir de diferentes bases bibliográficas, evidenciando a ampla aplicabilidade do VOSviewer em estudos bibliométricos.

Dessa forma, o software foi empregado para analisar especificamente as relações de coautoria entre os autores presentes nos estudos selecionados, permitindo visualizar grupos de colaboração científica e identificar pesquisadores com maior centralidade dentro da rede bibliométrica.

Foram gerados dois mapas bibliométricos distintos: um contendo os estudos provenientes das bases de dados Web of Science e ScienceDirect (Figura 6), e outro contendo exclusivamente os estudos oriundos da base PubMed (Figura 7). Essa separação metodológica foi necessária devido às diferenças estruturais existentes entre os formatos de exportação e os metadados disponibilizados pelas bases de dados.

Conforme descrito no manual oficial do VOSviewer (VOSVIEWER, 2020), os dados exportados do PubMed não podem ser utilizados para identificação de redes de citação, cocitação e acoplamento bibliográfico entre os documentos. Contudo, o software permite a utilização desses registros para análises de coautoria entre autores e coocorrência de termos. O documento também informa que não é possível combinar dados de fontes diferentes, evidenciando limitações metodológicas na integração simultânea de diferentes bases bibliográficas dentro do software.

A integração entre Web of Science e ScienceDirect foi possível devido à compatibilidade dos formatos bibliográficos exportados, especialmente em arquivos RIS, permitindo a construção conjunta da rede de coautoria. Além disso, o software permite trabalhar

com múltiplos arquivos apenas quando estes pertencem à mesma fonte de dados. Assim, a elaboração de mapas separados permitiu maior consistência metodológica e reduziu possíveis inconsistências relacionadas à estrutura dos metadados exportados pelas diferentes bases de dados.

As relações de coautoria entre os autores dos estudos filtrados foram, portanto, analisadas por meio do software VOSviewer, resultando na construção de duas redes bibliométricas apresentadas na seção de resultados (item 5.1, Figuras 6 e 7).

A partir dos resultados, descritos e apresentados na sessão de resultados (itens 5.1 e 5.2), foram selecionados os estudos dos autores: Zhu, Q. J.; Zhou, Y.; Chen, D.; Wang, Y.; Li, J. P.; Zhang, X.; Wang, F.; Zhang Y. Y.; Wang, J.; Wang, Z.; Liu, Y.; Kim, J. H.; Choi, Y. S.; Han, J. H.; Chen, L.; Li, Y.; Liu, N.; Zhang, Wangang; Lorenzo, José M.; Domínguez, Rubén; Munekata, Paulo E. S.; Wójciak, Karolina M.; Ferysiuk, Karolina; Keska, Paulina; Pateiro, Mirian; Rodrigues, Sandra; Vasconcelos, Lia.

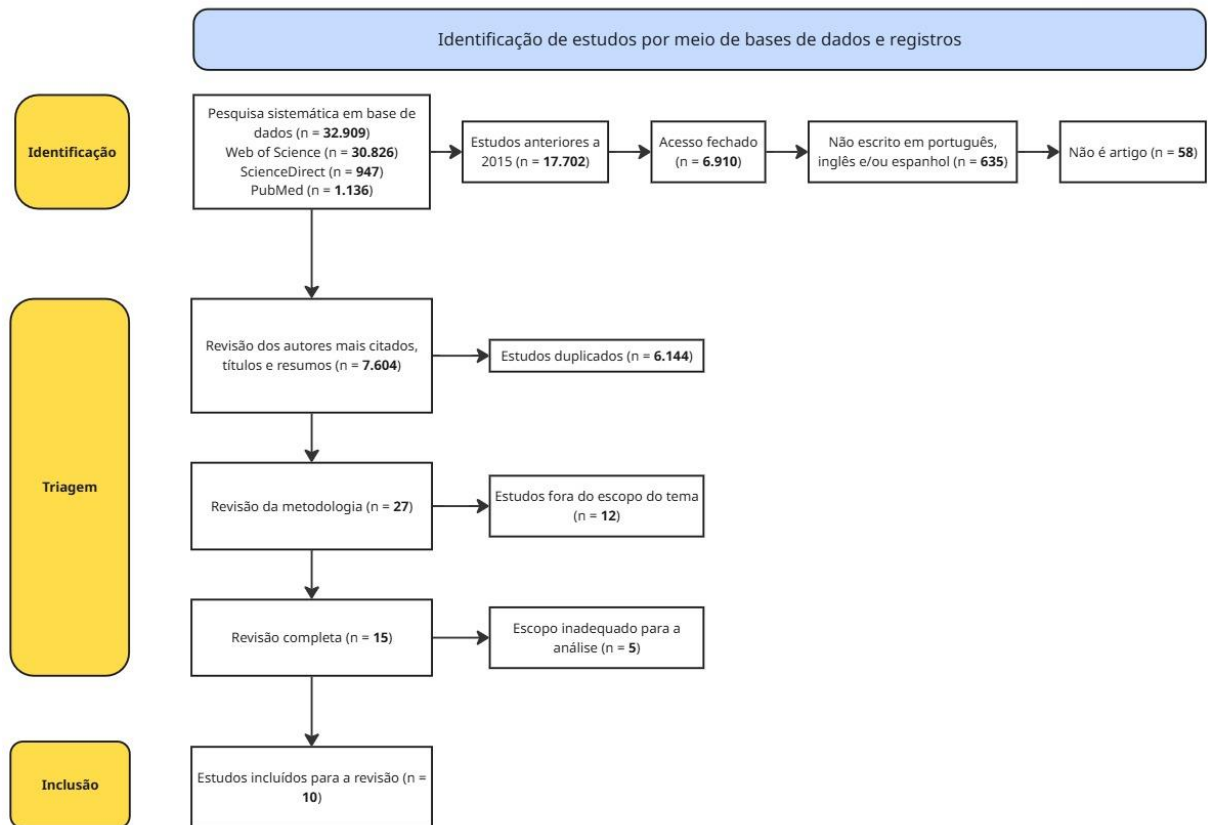
Dessa forma, a amostra foi reduzida para 27 estudos. Os trabalhos que apresentaram tópicos inadequados, ou seja, que não tratavam sobre a substituição de nitritos e nitratos por alternativas naturais para conservação da carne suína foram excluídos, reduzindo a amostra para 15 estudos.

Após a seleção inicial, com apoio dos mapas bibliométricos, os artigos foram submetidos à leitura completa e avaliados conforme os critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos, especialmente quanto à adequação temática relacionada à substituição de nitritos e nitratos sintéticos por alternativas naturais aplicadas à conservação da carne suína. Dessa forma, o VOSviewer contribuiu como ferramenta complementar de apoio metodológico na etapa de refinamento e seleção da amostra final da revisão sistemática.

Assim, os trabalhos foram reduzidos para 10 estudos, após exclusão dos que não atendiam aos critérios de inclusão definidos (como ausência de dados experimentais, foco em outras matrizes alimentares ou publicações apenas teóricas).

A Figura 5 apresenta o resumo quantitativo da seleção e avaliação dos estudos, segundo o protocolo PRISMA.

Figura 5 - Seleção e avaliação dos estudos.



Fonte: Adaptado de Page *et al.* (2022).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos por meio da revisão sistemática da literatura. Os estudos selecionados contemplam diferentes produtos cárneos suínos, incluindo presunto cozido, lombo curado, linguiça maturada a cru, salsicha e pescoço suíno fermentado a seco, abrangendo distintas estratégias de conservação baseadas na utilização de compostos bioativos de origem vegetal. Entre as principais aplicações investigadas destacam-se o controle da oxidação lipídica, a substituição parcial ou total de nitrito sintético por fontes naturais, a inibição do crescimento microbiano e a preservação das características tecnológicas e sensoriais dos produtos.

Além da diversidade de matrizes cárneas avaliadas, os estudos analisados empregaram diferentes abordagens experimentais para investigar o potencial dos ingredientes vegetais, incluindo a incorporação direta de extratos e pós vegetais às formulações, a utilização de fontes naturais de nitrato e nitrito, o emprego de sistemas de embalagem ativa e a associação desses compostos a outras tecnologias de conservação. Essa diversidade metodológica permite uma compreensão mais ampla das possibilidades e limitações da aplicação de ingredientes naturais na indústria cárnea.

Com o objetivo de organizar a apresentação dos resultados de forma sistemática e coerente com a pergunta de pesquisa proposta, o capítulo foi estruturado em diferentes subcapítulos temáticos. O subcapítulo 5.1 apresenta a análise bibliométrica realizada por meio do software VOSviewer. Em seguida, o subcapítulo 5.2 caracteriza a amostra final de artigos incluídos na revisão sistemática.

Posteriormente, os resultados foram agrupados em quatro eixos temáticos principais. O primeiro contempla o potencial antioxidante dos compostos vegetais aplicados em produtos cárneos suínos e seus efeitos sobre a estabilidade oxidativa. O segundo aborda a utilização de fontes vegetais de nitrito natural como alternativas ao nitrito sintético, discutindo seus impactos sobre os processos de cura e sobre a qualidade tecnológica dos produtos. O terceiro eixo reúne os estudos relacionados à atividade antimicrobiana e aos principais indicadores de segurança microbiológica. Por fim, o quarto examina os efeitos desses compostos bioativos sobre atributos sensoriais, coloração e aceitação dos produtos pelos consumidores. Considerando que diversos estudos investigaram simultaneamente mais de uma propriedade tecnológica, algumas publicações foram discutidas em mais de um eixo temático,

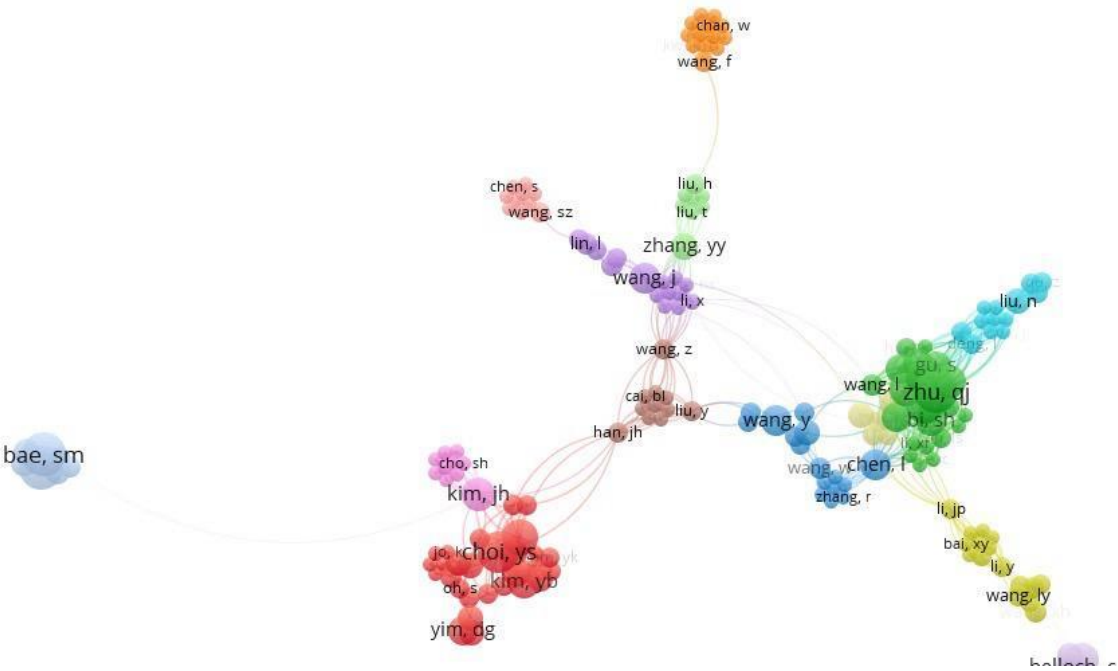
sempre sob perspectivas distintas e complementares, de modo a contemplar integralmente os resultados obtidos e suas diferentes contribuições para a conservação da carne suína.

5.1 EMPREGO DO SOFTWARE VOSVIEWER NA ANÁLISE DAS REDES DE COAUTORIA

Foram gerados dois mapas bibliométricos distintos: um contendo os estudos provenientes das bases de dados Web of Science (Figura 6) e ScienceDirect, e outro contendo exclusivamente os estudos oriundos da base PubMed (Figura 7).

As redes geradas pelo VOSviewer revelaram diferentes grupos de colaboração científica entre os pesquisadores da temática estudada. Conforme descrito por Van Eck e Waltman (2010), mapas bibliométricos permitem visualizar relações de proximidade entre os itens analisados, de modo que itens fortemente relacionados tendem a ser posicionados próximos uns dos outros na rede. Em ambos os mapas observou-se a formação de clusters distintos, representados por diferentes cores, indicando grupos de autores que publicam frequentemente em conjunto. A proximidade entre os nós indicou maior intensidade de colaboração científica, enquanto o tamanho dos círculos representou a relevância dos autores dentro da rede, considerando a quantidade e a intensidade das conexões estabelecidas entre eles.

Figura 6 - Principais autores da amostra nas bases Web of Science e ScienceDirect obtidos via VOSviewer.



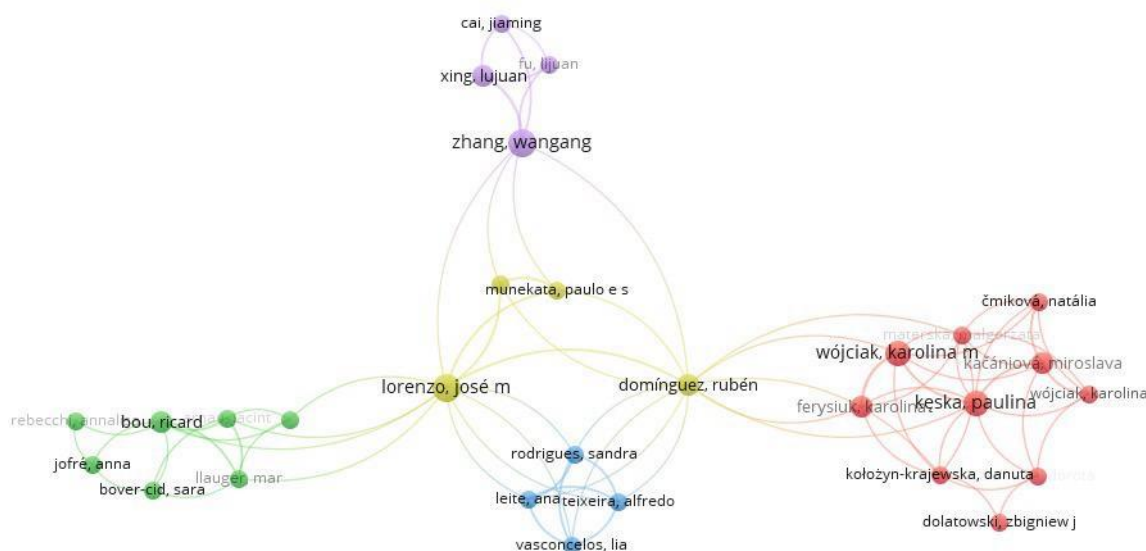
Fonte: o Autor, 2025.

A presença de autores altamente conectados indica a existência de grupos de pesquisa consolidados responsáveis por parte significativa da produção científica da área.

A Figura 6 mostra o mapa elaborado a partir dos estudos provenientes das bases Web of Science e ScienceDirect, onde foram identificados aproximadamente 12 clusters de colaboração científica. Destacaram-se autores como Zhu, Q. J.; Zhou, Y.; Chen, D.; Wang, Y.; Li, J. P.; Zhang, X.; Wang, F.; Zhang Y. Y.; Wang, J.; Wang, Z.; Liu, Y.; Kim, J. H.; Choi, Y. S.; Han, J. H.; Chen, L.; Li, Y.; Liu, N.; Zhang, Wangang, os quais apresentaram elevada conectividade dentro da rede. Observou-se a formação de grupos de pesquisa fortemente conectados, indicando elevada frequência de colaboração entre determinados autores. Também foi identificado um autor periférico com baixa integração à rede principal, sugerindo menor intensidade de colaboração científica em relação aos demais clusters.

Já a Figura 7 mostra o mapa correspondente aos estudos provenientes do PubMed, que apresentou aproximadamente cinco clusters principais de coautoria. Nesse mapa destacaram-se autores como Lorenzo, José M.; Domínguez, Rubén; Munekata, Paulo E. S.; Wójciak, Karolina M.; Ferysiuk, Karolina; Keska, Paulina; Pateiro, Mirian; Rodrigues, Sandra; Vasconcelos, Lia, os quais demonstraram forte interligação científica. Observou-se uma rede menos fragmentada em comparação ao primeiro mapa, com autores centrais responsáveis pela conexão entre diferentes grupos de pesquisa.

Figura 7 - Principais autores da amostra na base PubMed obtidos via VOSviewer.



Fonte: o Autor, 2025.

Vale ressaltar que, embora o VOSviewer seja amplamente utilizado para visualização de redes bibliométricas, neste estudo o software também foi empregado como ferramenta auxiliar para a seleção final dos artigos incluídos na revisão sistemática.

Os mapas de coautoria permitiram identificar os autores com maior relevância e proximidade científica dentro da temática, relacionado à substituição de nitritos e nitratos sintéticos por alternativas naturais aplicadas à conservação da carne suína, possibilitando reconhecer grupos de pesquisa mais consolidados e estudos com maior inserção na rede científica, contribuindo de forma complementar para a seleção dos trabalhos.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS SELECIONADOS

Com a aplicação do protocolo PRISMA, associado aos critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos, a amostra final da revisão sistemática foi composta por 10 estudos. Esses critérios possibilitaram o refinamento da seleção dos trabalhos, priorizando aqueles com maior aderência ao tema investigado, considerando aspectos como tipo de estudo, ano de publicação, idioma, autoria e a abordagem metodológica adotada em cada artigo pré-selecionado. Ressalta-se que todos os estudos incluídos na amostra final foram publicados em língua inglesa. O Quadro 4 apresenta os artigos selecionados para a etapa de análise.

Quadro 4 - Informações dos estudos selecionados (Continua).

Título	Autor	Ano	País	Periódico	Palavras-chave	Contribuição
Antioxidant active packaging systems to extend the shelf life of sliced cooked ham	Pateiro, M.; Domínguez, R.; Bermúdez, R.; Munekata, P.E.S.; Zhang, W.; Gagaoua, M.; Lorenzo, J.M.	2019	Espanha, China e Irlanda	Current Research in Food Science	Active films; Green tea extract; Oregano essential oil; Shelf life; Meat product	Investigou sistemas de embalagem ativa contendo extrato de chá-verde e óleo essencial de orégano aplicados a presunto cozido fatiado. O filme com extrato de chá-verde apresentou maior efeito antimicrobiano, contribuindo para a preservação da qualidade do produto durante o armazenamento refrigerado.
Antioxidant Activity of Bougainvillea spectabilis Bracts as an Alternative to Nitrites in Cooked Pork Ham	Ferreira, T.A.; Rodriguez, J.A.; Sánchez-Ortega, I.; Lorenzo, J.M.; Santos, E.M.	2024	México e Espanha	Foods	<i>Bougainvillea spectabilis</i> ; antioxidant activity; ham; edible flowers; sensory analysis	Avaliou o potencial antioxidante do pó de <i>Bougainvillea spectabilis</i> como alternativa ao nitrito em presunto suíno cozido. O ingrediente promoveu aumento da atividade antioxidante, maior estabilidade oxidativa e elevada aceitação sensorial, demonstrando potencial para aplicação em produtos cárneos com apelo clean label.
Combination effects of nitrite from fermented spinach and sodium nitrite on quality characteristics of cured pork loin	Kim, T.-K.; Lee, M.-A.; Sung, J.-M.; Jeon, K.-H.; Kim, Y.-B.; Choi, Y.-S.	2019a	Coreia do Sul	Asian-Australasian Journal of Animal Sciences	Spinach; Natural Nitrite; Synthetic Nitrite; Cured Pork Loin	Estudou os efeitos combinados do nitrito proveniente de espinafre fermentado e do nitrito sintético em lombo suíno curado. Os tratamentos melhoraram a formação da cor característica de cura e mantiveram a estabilidade oxidativa, embora tenham sido observadas limitações relacionadas à aceitação sensorial.

Quadro 4 – Informações dos estudos selecionados (Continuação).

Título	Autor	Ano	País	Periódico	Palavras-chave	Contribuição
Effect of the Addition of Dandelion (<i>Taraxacum officinale</i>) on the Protein Profile, Antiradical Activity, and Microbiological Status of Raw-Ripening Pork Sausage	Wójciak, K.; Materska, M.; Pełka, A.; Michalska, A.; Małecka-Massalska, T.; Kačániová, M.; Cmíková, N.; Słowiński, M.	2024	Polônia e Eslováquia	Molecules	Natural antioxidant; <i>Taraxacum officinale</i> ; LCMS-ESI-QTOF; microbiological quality; oxidation	Avaliou a adição de extrato de dente-de-leão em linguiça suína maturada com redução de nitrito. O extrato aumentou a atividade antioxidante do produto, sem comprometer a qualidade microbiológica, o perfil proteico ou os parâmetros tecnológicos avaliados.
Effect of natural pre-converted nitrite sources on color development in raw and cooked pork sausage	Hwang, K.-E.; Kim, T.-K.; Kim, H.-W.; Seo, D.-H.; Kim, Y.-B.; Jeon, K.-H.; Choi, Y.-S.	2018	Estados Unidos da América e Coreia do Sul	Asian-Australasian Journal of Animal Sciences	Pre-converted Nitrite; Natural Nitrite; Spinach; Lettuce; Celery; Red Beet	Comparou diferentes fontes vegetais pré-convertidas de nitrito natural em linguiça suína. O espinafre apresentou os melhores resultados quanto ao desenvolvimento da cor de cura e ao controle da oxidação lipídica e proteica, demonstrando potencial como substituto do nitrito sintético.
Effects of natural nitrite source from Swiss chard on quality characteristics of cured pork loin	Kim, T.-K.; Hwang, K.-E.; Song, D.-H.; Ham, Y.-K.; Kim, Y.-B.; Paik, H.-D.; Choi, Y.-S.	2019b	Coreia do Sul	Asian-Australasian Journal of Animal Sciences	Swiss Chard; Natural Nitrite; Synthetic Nitrite; Meat; Cured Pork Loin	Investigou o uso de acelga fermentada como fonte natural de nitrito em lombo suíno curado. Os resultados indicaram melhora da vermelhidão, redução da oxidação lipídica e manutenção das características sensoriais, evidenciando sua viabilidade como agente de cura natural.

Quadro 4 – Informações dos estudos selecionados (Continuação).

Título	Autor	Ano	País	Periódico	Palavras-chave	Contribuição
Effects of Various Salts on Physicochemical Properties and Sensory Characteristics of Cured Meat	Choi, Y.-S.; Jeong, T.-J.; Hwang, K.-E.; Song, D.-H.; Ham, Y.-K.; Kim, Y.-B.; Jeon, K.-H.; Kim, H.-W.; Kim, C.-J.	2016	Coreia do Sul	Korean Society for Food Science of Animal Resources	Pork loin; curing meat; refined salt; solar salt; bamboo salt	Comparou sal refinado, sal solar e sal de bambu na produção de carne curada. Os diferentes sais influenciaram parâmetros físico-químicos e sensoriais, sendo o sal refinado associado aos melhores resultados tecnológicos e de aceitação global.
Quality of Sliced Cured Pork Loin with Spinach: Effect of Incubation Period with Starter Culture	Kim, T.-K.; Yong, H.I.; Jang, H.W.; Lee, H.; Kim, Y.-B.; Jeon, K.-H.; Choi, Y.-S.	2019c	Coreia do Sul	Journal of Food Quality	Não possui	Avaliou o efeito do tempo de incubação de espinafre com cultura starter sobre a qualidade de lombo suíno curado fatiado. O aumento do período de incubação favoreceu a formação da cor de cura, sendo 24 horas consideradas adequadas para obtenção de características tecnológicas satisfatórias.
Using natural nitrites from <i>Angelica keiskei</i> and high hydrostatic pressure treatment for producing high-quality cured pork loin with significant nitrous pigment formation	Kim, Y.-J.; Kim, J.-H.; Cha, J.Y.; Kim, T.-K.; Han, J.H.; Han, S.G.; Choi, Y.-S.	2025	Coreia do Sul	Food Chemistry	Nitrite alternative; <i>Angelica keiskei</i> ; Phenolic compounds; High hydrostatic pressure; Cured meat	Investigou a combinação de <i>Angelica keiskei</i> fermentada e alta pressão hidrostática na produção de lombo suíno curado. O tratamento favoreceu a formação de pigmentos de cura, reduziu a oxidação lipídica e melhorou atributos tecnológicos relacionados à textura e qualidade do produto.

Quadro 4 – Informações dos estudos selecionados (Conclusão).

Título	Autor	Ano	País	Periódico	Palavras-chave	Contribuição
Utilization of Grape Seed Extract as a Natural Antioxidant in the Technology of Meat Products Inoculated with a Probiotic Strain of LAB	Libera, J.; Latoch, A.; Wójciak, K.M.	2020	Polônia	Foods	Grape seeds; waste; utilization; antioxidant; dry-cured meat; oxidative stability; probiotic	Avaliou a aplicação de extrato de semente de uva em pescoço de suíno fermentado contendo bactéria probiótica. O extrato reduziu a oxidação lipídica, limitou o crescimento de microrganismos indesejáveis e contribuiu para a manutenção da estabilidade tecnológica durante a maturação.

5.3 EXTRATOS VEGETAIS COM POTENCIAL ANTIOXIDANTE

A literatura selecionada (Quadro 4) evidencia que os extratos vegetais ricos em compostos fenólicos têm sido amplamente investigados devido à sua capacidade de retardar a oxidação lipídica, um dos principais fatores responsáveis pela deterioração da qualidade de produtos cárneos durante o armazenamento. A ocorrência desse processo está associada ao desenvolvimento de odores e sabores indesejáveis, alterações de cor, perda de valor nutricional e redução da vida útil dos alimentos. Nesse contexto, Ferysiuk e Wójciak (2020) destacam que a elevada capacidade sequestradora de radicais livres apresentada pelos compostos fenólicos permite minimizar reações oxidativas em sistemas alimentares complexos, consolidando os ingredientes naturais como alternativas promissoras para a preservação de produtos cárneos.

Entre os indicadores utilizados para avaliar a eficácia dessas estratégias, destaca-se o teor de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), amplamente empregado para mensurar a formação de produtos secundários da oxidação lipídica. De acordo com Kang *et al.* (2009 apud Choi *et al.* 2016), concentrações de malonaldeído superiores a 0,5 mg/kg geralmente correspondem ao limiar a partir do qual os consumidores passam a perceber características associadas ao ranço. Dessa forma, a redução dos valores de TBARS constitui um dos principais parâmetros utilizados para verificar a capacidade antioxidante de ingredientes naturais aplicados em produtos cárneos, permitindo inferir sua contribuição para a manutenção da qualidade tecnológica e sensorial durante o armazenamento.

Nesse cenário, os estudos experimentais selecionados demonstram que diferentes fontes vegetais apresentam potencial para aumentar a estabilidade oxidativa de produtos cárneos suínos. Os trabalhos de Libera *et al.* (2020), Wójciak *et al.* (2024) e Ferreira *et al.* (2024) evidenciam que extratos de semente de uva, dente-de-leão e *Bougainvillea spectabilis*, respectivamente, promovem melhorias significativas nos indicadores de oxidação, estabelecendo uma relação direta entre o conteúdo de compostos fenólicos e a proteção da matriz cárnea. Complementarmente, Choi *et al.* (2016) demonstram que a estabilidade oxidativa também pode ser influenciada por características da formulação, enquanto Pateiro *et al.* (2019) mostram que sistemas de embalagem ativa contendo extrato de chá-verde e óleo essencial de orégano constituem uma estratégia eficaz para retardar a oxidação lipídica durante o armazenamento. Por sua vez, Kim *et al.* (2025) indicam que ingredientes vegetais bioativos, como *Angelica keiskei*, podem atuar simultaneamente na estabilidade oxidativa e na redução do

nitrito residual, ampliando as possibilidades de aplicação desses compostos na indústria de produtos cárneos.

5.3.1 Extrato de Semente de Uva

Libera *et al.* (2020) verificaram que a incorporação de extrato de semente de uva reduziu de maneira eficaz os processos de hidrólise lipídica e oxidação secundária em pescoço suíno fermentado a seco inoculado com a cepa probiótica *Lactobacillus rhamnosus* LOCK900, conforme demonstrado na Tabela 1. O delineamento experimental comparou a formulação adicionada de extrato vegetal (GSE), o tratamento com ascorbato de sódio (ASC) e o controle sem adição de antioxidante (COM, ao longo de dois meses de maturação refrigerada a 4 °C. O interesse específico do estudo residia em verificar se o extrato vegetal seria capaz de exercer proteção antioxidante sem comprometer o crescimento da cultura probiótica, aspecto de relevância tecnológica para o desenvolvimento de produtos fermentados funcionais.

Tabela 1 - Ácidos graxos livres (% de ácido oleico) e substâncias reativas ao TBA (mg/kg) do pescoço de porco fermentado a seco (média $\pm$ desvio padrão).

	Amostra	Antes da maturação	Durante a maturação	Depois da maturação
FFA	GSE	0,43 $\pm$ 0,03	0,68 $\pm$ 0,03	0,96 $\pm$ 0,05
	ASC	0,41 $\pm$ 0,03	0,65 $\pm$ 0,05	0,93 $\pm$ 0,05
	CON	0,55 $\pm$ 0,04	1,03 $\pm$ 0,04	1,49 $\pm$ 0,03
TBARS	GSE	0,31 $\pm$ 0,03	0,36 $\pm$ 0,04	0,46 $\pm$ 0,05
	ASC	0,29 $\pm$ 0,05	0,34 $\pm$ 0,05	0,53 $\pm$ 0,04
	CON	0,37 $\pm$ 0,04	0,57 $\pm$ 0,05	0,72 $\pm$ 0,05

Fonte: Libera *et al.* (2020).

O extrato foi preparado pelos próprios autores a partir de sementes de uva, provenientes de resíduos da produção vinícola local. O processo envolveu extração etanólica a 40% (v/v) sob agitação a 150 rpm e 50°C $\pm$ 10°C por 2 horas, seguida de concentração em evaporador a vácuo (50 – 60°C) até a eliminação de 90% do solvente. A razão droga-extrato genuíno (DER) foi de 2,3:1 (m/m). O teor fenólico total (TPC) e a capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC) do extrato obtido foram de 6,74 $\pm$ 0,2 mg GAE/mL e 5,14 $\pm$ 0,8 mmol TE/mL, respectivamente, valores que, segundo os autores, são inferiores aos de extratos

lioofilizados comerciais, diferença atribuída à ausência da etapa de liofilização no processo de obtenção.

Antes da maturação, os valores de ácidos graxos livres (FFA) foram próximos entre os grupos, variando de $0,41 \pm 0,03$ no tratamento com ascorbato a $0,55 \pm 0,04$ no controle. Entretanto, ao final da maturação, observou-se diferenciação mais evidente entre os tratamentos: o grupo com extrato de semente de uva atingiu $0,96 \pm 0,05$, o grupo com ascorbato a $0,93 \pm 0,05$, e o controle sem antioxidante alcançou $1,49 \pm 0,03$. Em termos práticos, esses dados indicam que o extrato vegetal reduziu o avanço da lipólise em comparação ao controle, apresentando desempenho bastante próximo ao antioxidante sintético de referência.

A análise dos valores de TBARS reforça esse desempenho. No início da maturação, os valores oscilaram entre $0,29 \pm 0,05$ e $0,37 \pm 0,04$ mg/kg, indicando um estágio oxidativo ainda controlado. Com o avanço do processo, o tratamento com extrato de semente de uva apresentou $0,36 \pm 0,04$ mg/kg, enquanto o controle atingiu $0,57 \pm 0,05$ mg/kg. Ao final da maturação, o grupo GSE registrou $0,46 \pm 0,05$ mg/kg, o tratamento com ascorbato $0,53 \pm 0,04$ mg/kg e o controle $0,72 \pm 0,05$ mg/kg. Numericamente, o extrato de semente de uva superou o próprio antioxidante sintético de referência, resultado atribuído à composição fenólica do extrato — proantocianidinas, catequina, epicatequina e ácido gálico (RIBAS-AGUSTÍ *et al.*, 2014 apud LIBERA *et al.*, 2020) —, compostos cujas interações sinérgicas podem conferir proteção oxidativa superior à de antioxidantes isolados.

Os resultados apresentados na Tabela 1 demonstram que a incorporação do extrato de semente de uva foi eficaz tanto na redução da hidrólise lipídica (avaliada pelos ácidos graxos livres (FFA)) quanto na inibição da oxidação secundária (TBARS) ao longo do processo de maturação.

5.3.2 Dente-de-leão

Wójciak *et al.* (2024) investigaram o potencial antioxidante do extrato aquoso de folhas de dente-de-leão (*Taraxacum officinale*) em linguiças maturadas a cru com teor reduzido de nitrito (80 mg/kg em vez de 150 mg/kg), com o objetivo de verificar se o potencial antioxidante do extrato poderia compensar a menor proteção oxidativa decorrente da redução do conservante sintético. O extrato foi preparado por extração assistida por ultrassom (10 min), com água destilada quente (90°C), numa proporção planta-solvente de 1:10 (m/v), filtrado, congelado a -18°C e liofilizado por 72 horas, obtendo-se rendimento de 30,61%.

O estudo avaliou quatro variantes de linguiça: P_150 (controle com 150 mg/kg de nitrito de sódio), P_80 (controle com 80 mg/kg de nitrito), P_80_M05 (80 mg/kg de nitrito + 0,5% de extrato) e P_80_M1 (80 mg/kg de nitrito + 1% de extrato), ao longo de 81 dias de maturação. Foram adicionadas as culturas *S. xylosus*, *S. carnosus* e *P. pentosaceus* às misturas com uma razão de 30 g/50kg de carne crua. Além disso, glicose (0,6%) foi adicionada como meio para as culturas iniciadoras. As linguiças foram maturadas durante 3 semanas em ambiente controlado quanto a temperatura e umidade relativa. Após 21 dias, as linguiças foram embaladas à vácuo e armazenadas sob refrigeração a 4°C até o final do período de análise.

A análise química do extrato (Tabela 2) revelou composição fenólica expressiva, com teor total de $303,2 \pm 4,7$ mg GAE/g, além de $18,06 \pm 0,14$ mg de flavonoides/g (expresso em equivalentes de quercetina) e atividade antirradical significativa — EC₅₀ de 68,4 µg/mL no ensaio DPPH e de 36,5 µg/mL no ensaio ABTS, indicando maior eficiência de neutralização de radicais catiônicos do que radicais neutros.

Tabela 2 - Composição química e atividade antioxidante do extrato aquoso de folhas de dente-de-leão (média ± desvio padrão).

Parâmetros analisados	
Rendimento da extração (%)	30,61 ± 0,11
Vitamina C (mg/100g)	5,39 ± 0,01
DPPH (EC ₅₀ , µg/mL)	68,4 ± 0,15
ABTS (EC ₅₀ , µg/mL)	36,5 ± 0,05
Teor total de fenólicos (mg de ácido gálico/g)	303,2 ± 4,7
Teor de flavonoides (mg de quercetina/g)	18,06 ± 0,14

Fonte: Wójciak *et al.* (2024).

A identificação por LC-QTOF-MS confirmou a presença de sete ácidos fenólicos, oito flavonoides e seus derivados, e quatro cumarinas, entre eles ácido clorogênico, ácido rosmarínico, luteolina e quercetina, que são compostos amplamente reconhecidos por suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. O potencial antioxidante do extrato foi avaliado em três frações do produto cárneo: alcoólica (A-E), aquosa (W-E) e peptídica (PEP), permitindo identificar a fração responsável pelo efeito protetor principal.

Os ensaios DPPH e ABTS foram utilizados para avaliar a capacidade antirradicalar do extrato. O DPPH mede a capacidade da amostra de neutralizar o radical DPPH, enquanto o ABTS avalia a neutralização do radical cátion ABTS⁺. Em ambos os casos, o resultado é expresso por meio do EC₅₀, que representa a concentração de extrato necessária para inibir 50% dos radicais presentes no sistema. Assim, menores valores de EC₅₀ indicam maior eficiência antioxidante.

As tabelas 3 e 4 demonstram que a fração alcoólica foi sistematicamente a mais expressiva, indicando que os compostos de origem vegetal foram os principais responsáveis pela atividade antirradical nas formulações enriquecidas com dente-de-leão. Diferente do EC₅₀, aqui os valores são expressos em porcentagem (%), portanto, quanto maior o número, maior a proteção.

Tabela 3 - Efeito antirradical contra ABTS (%) nas frações alcoólica (A-E), aquosa (W-E) e peptídica (PEP) das linguças ao longo do armazenamento (média ± erro padrão).

Parâmetro	Dia	P 150	P 80	P 80 M05	P 80 M1
ABTS _{A-E}	1	33,33 ± 4,03	39,90 ± 2,56	35,24 ± 0,10	37,24 ± 1,23
	81	45,55 ± 2,64	47,79 ± 2,84	52,36 ± 2,41	59,98 ± 1,14
ABTS _{W-E}	1	41,85 ± 1,49	33,54 ± 2,92	41,92 ± 3,81	43,54 ± 2,22
	81	16,76 ± 1,03	17,88 ± 0,62	22,44 ± 0,72	23,29 ± 1,03
ABTS _{PEP}	1	18,52 ± 1,20	10,44 ± 1,09	23,65 ± 1,80	28,17 ± 1,60
	81	17,85 ± 3,12	10,55 ± 1,16	15,07 ± 2,78	21,90 ± 2,75

Fonte: Wójciak *et al.* (2024).

Na fração alcoólica do ensaio ABTS, as variantes com dente-de-leão apresentaram aumento da atividade antirradical entre o dia 1 e o dia 81, padrão oposto ao observado nas frações aquosa e peptídica, que registraram declínio ao longo do armazenamento. Esse comportamento confirma que a proteção oxidativa promovida pelo extrato vegetal é sustentada por compostos de maior estabilidade na fase lipofílica, compatíveis com o perfil fenólico identificado.

No ensaio DPPH, a formulação P_80_M1 (1% de dente-de-leão, 80 mg/kg de nitrito) atingiu 84,44 ± 1,57% de inibição na fração alcoólica ao dia 81, superando o controle P_150 (55,59 ± 1,38%), que continha a maior dose de nitrito avaliada. Esse resultado é tecnologicamente significativo: indica que a adição de 1% de extrato de dente-de-leão, em associação com dose reduzida de nitrito, foi capaz de superar a proteção oxidativa conferida pela dose padrão do conservante sintético em condições de longa maturação.

Tabela 4 - Efeito antirradical contra DPPH (%) nas frações alcoólica (A-E), aquosa (W-E) e peptídica (PEP) das linguças ao longo do armazenamento (média ± erro padrão).

Parâmetro	Dia	P 150	P 80	P 80 M05	P 80 M1
DPPH _{A-E}	1	58,48 ± 3,77	60,04 ± 0,92	74,07 ± 1,66	81,01 ± 0,82
	81	55,59 ± 1,38	56,36 ± 1,96	70,01 ± 2,31	84,44 ± 1,57
DPPH _{W-E}	1	14,83 ± 1,75	13,66 ± 0,41	17,66 ± 0,60	25,39 ± 0,53
	81	11,71 ± 0,21	13,90 ± 0,20	16,63 ± 1,62	18,83 ± 0,20
DPPH _{PEP}	1	15,92 ± 1,97	16,72 ± 2,73	22,58 ± 1,03	24,53 ± 0,65
	81	12,28 ± 1,92	15,76 ± 1,54	18,32 ± 1,52	24,25 ± 1,71

Fonte: Wójciak *et al.* (2024).

A Tabela 5 apresenta a evolução dos parâmetros físico-químicos das linguças ao longo da maturação. A redução progressiva do pH, de ~6,5 no dia 1 a ~5,3 no dia 21, é consistente com fermentação tecnologicamente adequada, resultado da produção de ácidos orgânicos pelas bactérias ácido-láticas. A estabilização da a_w abaixo de 0,88 a partir do 21º dia é altamente relevante para a conservação do produto. Esse valor restringe o desenvolvimento de bactérias deteriorantes como *Pseudomonas* ($a_w < 0,97$) e inibe o crescimento de patógenos críticos como *Clostridium botulinum* ($a_w < 0,93$ – $0,96$), *Salmonella* ($a_w < 0,94$) e *Listeria monocytogenes* ($a_w < 0,92$). Além disso, o potencial de oxidorredução (ORP) elevou-se progressivamente ao longo da maturação em todos os grupos, porém as formulações com dente-de-leão apresentaram valores significativamente inferiores aos de P_150 ao final do período ($p < 0,05$), sugerindo maior capacidade redutora residual no produto, que é reflexo direto dos polifenóis do extrato.

Tabela 5 - Comparação dos parâmetros físico-químicos de linguças cruas durante o processo de maturação (média $\pm$ erro padrão).

Parâmetro	Dia	P_150	P_80	P_80_M05	P_80_M1
pH	1	6,52 $\pm$ 0,02	6,50 $\pm$ 0,01	6,49 $\pm$ 0,03	6,55 $\pm$ 0,01
	21	5,43 $\pm$ 0,05	5,44 $\pm$ 0,04	5,31 $\pm$ 0,01	5,26 $\pm$ 0,01
	51	5,44 $\pm$ 0,02	5,42 $\pm$ 0,01	5,32 $\pm$ 0,03	5,28 $\pm$ 0,01
	81	5,46 $\pm$ 0,03	5,47 $\pm$ 0,03	5,38 $\pm$ 0,02	5,34 $\pm$ 0,01
ORP [mV]	1	345,60 $\pm$ 1,21	339,60 $\pm$ 1,00	349,33 $\pm$ 1,49	358,50 $\pm$ 2,82
	21	367,8 $\pm$ 4,42	353,58 $\pm$ 13,65	355,62 $\pm$ 6,99	361,84 $\pm$ 5,58
	51	385,97 $\pm$ 10,52	367,75 $\pm$ 11,03	365,17 $\pm$ 6,01	366,65 $\pm$ 7,30
	81	387,90 $\pm$ 1,53	369,65 $\pm$ 7,55	377,45 $\pm$ 3,77	380,90 $\pm$ 1,20
a_w	1	0,966 $\pm$ 0,003	0,965 $\pm$ 0,002	0,968 $\pm$ 0,001	0,969 $\pm$ 0,001
	21	0,877 $\pm$ 0,007	0,878 $\pm$ 0,008	0,878 $\pm$ 0,002	0,889 $\pm$ 0,007
	51	0,871 $\pm$ 0,011	0,883 $\pm$ 0,002	0,879 $\pm$ 0,009	0,884 $\pm$ 0,008
	81	0,863 $\pm$ 0,003	0,867 $\pm$ 0,006	0,873 $\pm$ 0,006	0,875 $\pm$ 0,010

Fonte: Wójciak *et al.* (2024).

A evolução do índice TBARS ao longo de 81 dias de maturação, demonstrou que o acúmulo de produtos secundários da oxidação lipídica foi significativamente menor nas formulações com dente-de-leão em comparação a P_150, a partir do 21º dia de maturação ($p < 0,05$). As amostras P_80_M1 apresentaram os menores valores de TBARS ao final dos 81 dias, com redução significativa em relação ao controle P_150. A adição inicial do extrato gerou incremento discreto no TBARS no dia 1 nas formulações P_80_M05 e P_80_M1, atribuível a possíveis efeitos pró-oxidantes transientes de compostos fenólicos em altas concentrações em condições específicas de pH e temperatura, fenômeno também relatado por Eghbaliferiz e Iranshahi, (2016 apud WÓJCIAK *et al.*, 2024). Entretanto, essa tendência se reverteu completamente nas avaliações subsequentes.

5.3.3 *Bougainvillea spectabilis*

Ferreira *et al.* (2024) avaliaram a incorporação de pó de *Bougainvillea spectabilis* em diferentes concentrações e métodos de secagem como potencial substituto do nitrito de sódio em presunto suíno cozido, analisando parâmetros antioxidantes, lipídicos e sensoriais ao longo de oito semanas de armazenamento a 4 °C. Foram avaliadas sete formulações: C, correspondente ao controle sem adição de nitrito ou buganvília; C-NO₂, contendo 150 mg de nitrito/kg de presunto; F1, F2 e F3, adicionadas de 0,05%, 0,1% e 0,25% de pó de buganvília obtido por secagem em espuma (BF), respectivamente; F4, contendo 0,1% de buganvília seca ao ar ambiente (BA); e F5, formulada com 0,1% de buganvília seca em estufa (BO). Nenhuma das formulações com pó de buganvília apresentou nitrito detectável, confirmado pelo método de Griess.

Na semana inicial, as formulações adicionadas de buganvília apresentaram inibição de radicais DPPH entre 63,6% e 70,8%, superior ao controle negativo (54,0%). Após oito semanas, a formulação F5 manteve capacidade de sequestro de radicais DPPH de 32,64%, enquanto o controle e o tratamento com nitrito registraram 24,26% e 26,48%, respectivamente. No ensaio ABTS, F4 atingiu 62,89% ao final do armazenamento, superando C-NO₂ (56,02%) e C (48,98%).

O elevado desempenho antioxidante observado está diretamente relacionado ao maior conteúdo de compostos fenólicos presentes nas formulações com buganvília. A formulação F4 apresentou teor fenólico total de $0,831 \pm 0,024$ mg GAE kg⁻¹, aproximadamente quatro vezes superior ao controle ($0,211 \pm 0,006$ mg GAE kg⁻¹), evidenciando a contribuição quantitativa dos polifenóis da planta — em especial betalaínas, flavonoides e antocianinas (ABDELRAHMAN *et al.*, 2018 apud FERREIRA *et al.*, 2024) — na proteção oxidativa do produto.

Essa atividade antioxidante refletiu diretamente na inibição da rancidez lipídica, avaliada por TBARS. A formulação F2 apresentou o menor valor de TBARS do conjunto ($0,0360$ µg MDA g⁻¹), demonstrando maior eficiência na inibição da oxidação lipídica em comparação ao próprio nitrito de sódio ($0,0691$ µg MDA g⁻¹) e ao controle negativo ($0,1440$ µg MDA g⁻¹). Ao longo das oito semanas, os valores de TBARS aumentaram em todas as formulações, porém o incremento foi consistentemente menor nos grupos com buganvília. A ausência de nitrito residual confirma que toda a proteção oxidativa observada é integralmente atribuída aos compostos bioativos da planta.

5.3.4 *Angelica keiskei*

Kim *et al.* (2025) investigaram a utilização do extrato fermentado de *Angelica keiskei* como agente natural de cura em lombo suíno, combinando-o com a tecnologia de Alta Pressão Hidrostática (HHP) para avaliar o efeito sinérgico sobre as propriedades físico-químicas do produto. O extrato (NCA) foi obtido pela fermentação das folhas da planta utilizando a cepa redutora de nitrato *Staphylococcus carnosus* a 37°C por 24 horas, gerando concentração de nitrito de 180,51 µg/mL.

Para isso, foram elaborados oito tratamentos experimentais. O controle negativo (NC) foi formulado apenas com NaCl, sem adição de nitrito, permitindo avaliar o comportamento natural do produto sem agentes de cura. O controle positivo (SN0) recebeu 0,018% de nitrito de sódio sintético, representando o método convencional de cura empregado pela indústria. O tratamento NE0 continha extrato fermentado de *Angelica keiskei* como fonte natural de nitrito, porém sem aplicação de HHP. Já os tratamentos NE100, NE200, NE300, NE400 e NE500 foram formulados com o mesmo extrato vegetal e posteriormente submetidos à Alta Pressão Hidrostática em intensidades de 100, 200, 300, 400 e 500 MPa, respectivamente, durante 10 minutos a $20 \pm 2^\circ\text{C}$. A concentração de nitrito equivalente ao NCA e ao SN0 foi padronizada em 0,018%.

Kim *et al.* (2025) demonstraram que o extrato fermentado de *Angelica keiskei* apresenta expressiva atividade antioxidante, com capacidade de inibição de radicais DPPH de $83,13 \pm 0,48\%$ e ABTS de $98,91 \pm 0,24\%$, além de conteúdo fenólico total de $404,07 \pm 5,60$ µg GAE/mL. Os fitoquímicos identificados — quercetina, luteolina e ácido clorogênico — são reconhecidos por sua capacidade de sequestrar radicais livres e quelar metais pró-oxidantes (ZHANG *et al.*, 2018 apud KIM *et al.*, 2025), conferindo ao NCA dupla função: fonte de nitrito natural e agente antioxidante de alta eficiência.

A análise da estabilidade estrutural das proteínas constitui um aspecto fundamental para compreender a qualidade tecnológica dos produtos cárneos curados. Conforme demonstrado na Tabela 6, Pressões moderadas (NE100 e NE200) favoreceram a solubilidade total (18,60 e 17,97 mg/mL, respectivamente) e miofibrilar (14,66 e 14,40 mg/mL). A partir de NE300, observou-se redução acentuada em ambas as frações, com NE500 atingindo apenas 10,78 mg/mL de proteína total, indicando desnaturação irreversível e agregação excessiva. Kim *et al.* (2025) explicam que pressões moderadas rompem ligações não covalentes entre actina e miosina, promovendo desmontagem parcial das miofibrilas sem

desnaturação severa, o que expõe grupos hidrofílicos e aumenta a interação com a água. Em pressões superiores a 200 MPa, esse processo torna-se irreversível, comprometendo a funcionalidade proteica.

Tabela 6 - Influência do extrato de *Angelica keiskei* e da alta pressão hidrostática (HHP) no pH e na solubilidade de proteínas do lombo de porco (média ± desvio padrão).

Tratamento	pH	Proteína total (mg/mL)	Proteína miofibrilar (mg/mL)	Proteína sarcoplasmática (mg/mL)
NC	5,99 ± 0,01	18,45 ± 0,24	14,36 ± 0,10	4,08 ± 0,15
SN0	5,99 ± 0,09	17,32 ± 0,38	13,23 ± 0,33	4,09 ± 0,05
NE0	5,91 ± 0,02	18,27 ± 0,22	13,44 ± 0,17	4,83 ± 0,07
NE100	5,92 ± 0,02	18,60 ± 0,46	14,66 ± 0,41	3,94 ± 0,06
NE200	5,89 ± 0,03	17,97 ± 0,36	14,40 ± 0,17	3,57 ± 0,19
NE300	5,89 ± 0,04	11,78 ± 0,39	8,90 ± 0,37	2,88 ± 0,03
NE400	5,81 ± 0,01	10,93 ± 0,22	8,52 ± 0,16	2,41 ± 0,11
NE500	5,82 ± 0,02	10,78 ± 0,32	8,70 ± 0,28	2,08 ± 0,04

Fonte: Kim *et al.* (2025).

A análise por calorimetria diferencial de varredura (DSC) revelou dois eventos térmicos característicos, correspondentes à miosina (pico 1; aproximadamente 55–59 °C) e à actina (pico 2; aproximadamente 70–76 °C), conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Influência do extrato de *Angelica keiskei* e da alta pressão hidrostática (HHP) nas características térmicas do lombo de porco (média ± desvio padrão).

Parâmetro	NC	SN0	NE0	NE100	NE200	NE300	NE400	NE500
Temperatura Pico 1 (°C)	57,71 ± 0,28	57,56 ± 0,35	54,96 ± 0,88	57,63 ± 2,58	59,08 ± 1,49	51,71 ± 0,38	52,59 ± 0,58	52,41 ± 0,46
Entalpia pico 1 (J/g)	0,23 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,05 ± 0,01	0,03 ± 0,00	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,01 ± 0,00
Temperatura Pico 2 (°C)	75,23 ± 0,29	76,08 ± 1,08	74,13 ± 1,36	74,01 ± 1,08	74,45 ± 2,44	70,76 ± 0,97	69,61 ± 1,34	69,54 ± 0,31
Entalpia pico 2 (J/g)	0,62 ± 0,11	0,64 ± 0,05	0,72 ± 0,03	1,00 ± 0,07	0,78 ± 0,00	0,51 ± 0,03	0,29 ± 0,11	0,28 ± 0,02

Fonte: Kim *et al.* (2025).

A ocorrência desses picos está alinhada com a literatura, uma vez que carnes curadas normalmente exibem transições térmicas associadas a essas principais proteínas miofibrilares (ISHIWATARI *et al.*, 2013 apud KIM *et al.*, 2025). As temperaturas observadas para o pico 1 foram superiores nos tratamentos NE100 (57,63 °C) e NE200 (59,08 °C) em comparação ao NE0 (54,96 °C), sugerindo que a aplicação de pressões moderadas promoveu rearranjos moleculares capazes de elevar a estabilidade térmica da miosina. Esse

comportamento está em consonância com os resultados de solubilidade, indicando que a HHP em níveis moderados induz modificações estruturais que favorecem a funcionalidade proteica sem causar desnaturação excessiva.

Em contrapartida, as entalpias de ambos os picos diminuíram progressivamente com o aumento da pressão aplicada, refletindo a redução das interações intermoleculares ainda disponíveis para sofrerem transição térmica. Tal comportamento corrobora que, sob pressões mais elevadas, parte da estrutura proteica já havia sido previamente desdobrada ou modificada pela HHP, reduzindo a demanda energética para as transformações observadas no ensaio térmico. Esses resultados reforçam as evidências obtidas para a solubilidade proteica: enquanto pressões moderadas desencadeiam alterações estruturais favoráveis, níveis mais severos de pressão tendem a intensificar os processos de desnaturação e agregação proteica.

A força de cisalhamento de NE0 foi significativamente maior do que a de SN0 ($p < 0,05$), resultado atribuído ao menor pH do extrato (5,22), que reduz a retenção de água e aumenta a coesão proteica. O tratamento com HHP entre 100 e 300 MPa reduziu a força de cisalhamento a valores inferiores ou equivalentes ao SN0, melhorando a maciez do produto. Essas informações estão detalhadas na Tabela 8. Kim *et al.* (2025) associam essa melhoria à fragmentação das miofibrilas e à maior penetração da solução de cura nos tecidos musculares facilitada pela HHP.

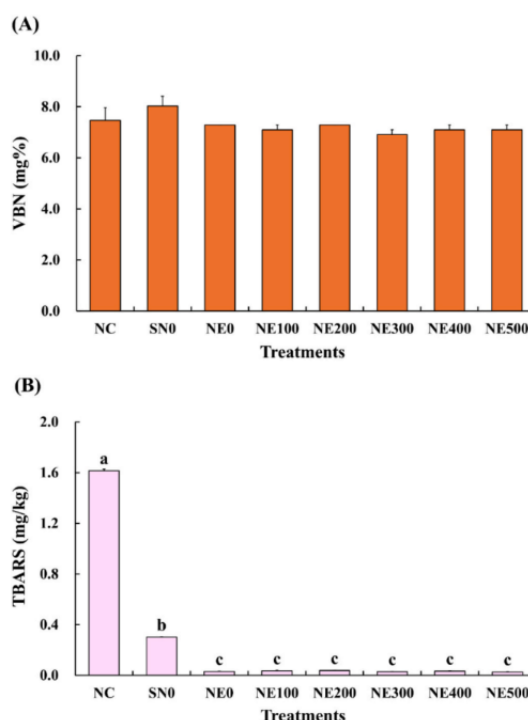
Tabela 8 - Influência do extrato de Angelica keiskei e da alta pressão hidrostática (HHP) no teor de umidade, capacidade de retenção de água e força de cisalhamento do lombo suíno (média $\pm$ desvio padrão).

Parâmetro	NC	SN0	NE0	NE100	NE200	NE300	NE400	NE500
Teor de umidade (%)	66,04 $\pm$ 0,07	66,35 $\pm$ 0,14	63,93 $\pm$ 0,12	64,90 $\pm$ 0,12	64,42 $\pm$ 0,04	65,81 $\pm$ 0,06	65,05 $\pm$ 0,80	64,29 $\pm$ 0,12
Capacidade de retenção de água (%)	15,30 $\pm$ 1,08	16,60 $\pm$ 0,70	17,75 $\pm$ 1,68	17,28 $\pm$ 1,57	17,36 $\pm$ 0,73	17,47 $\pm$ 1,36	18,83 $\pm$ 0,86	19,61 $\pm$ 2,23
Força de cisalhamento (kg)	5,79 $\pm$ 0,64	6,10 $\pm$ 0,50	7,21 $\pm$ 0,20	5,65 $\pm$ 0,27	5,64 $\pm$ 0,20	5,50 $\pm$ 0,59	6,83 $\pm$ 0,58	6,24 $\pm$ 0,42

Fonte: Kim *et al.* (2025).

Do ponto de vista antioxidante, todos os tratamentos com NCA apresentaram valores de TBARS significativamente inferiores ao SN0 ($p < 0,05$), independentemente do nível de pressão, conforme evidenciado pela Figura 8. Esse resultado demonstra que os polifenóis e flavonoides do extrato criaram proteção lipídica suficiente para contrabalançar a oxidação induzida pela ruptura de membranas celulares durante a HHP.

Figura 8 - Influência do extrato de *Angelica keiskei* e da alta pressão hidrostática (HHP) no teor de (A) nitrogênio básico volátil (VBN) e (B) substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) do lombo de porco.



Fonte: Kim *et al.* (2025).

Em síntese, o estudo de Kim *et al.* (2025) confirma que 200 MPa de HHP combinados com o extrato de *Angelica keiskei* representam condição ótima para a produção de lombo suíno curado de alta qualidade: melhor maciez, maior solubilidade proteica e proteção oxidativa mais robusta do que a conferida pelo nitrito sintético isolado.

5.3.5 Tipos de Sal em Lombo Suíno Curado

Choi *et al.* (2016) conduziram um estudo comparativo sobre os efeitos de três tipos de sal — refinado, solar e de bambu — nas propriedades físico-químicas e sensoriais de lombo suíno curado (*M. longissimus dorsi*), avaliando a viabilidade do emprego de sais alternativos ao sal refinado convencional sem comprometer a qualidade do produto. Lee *et al.* (2003 apud Choi *et al.*, 2016) explicou que o sal refinado contém 99,8% de NaCl e é obtido por eletrodiálise com subsequente evaporação; o sal solar, produzido por evaporação natural de água do mar, contém 92,4 – 94,4% de NaCl e traços de vários minerais como cálcio, potássio, magnésio e enxofre (Ha and Park, 1998 apud Choi *et al.*, 2016).

O sal de bambu, por sua vez, é um sal processado de origem tradicional coreana, obtido pelo preenchimento de canos de bambu com sal marinho e torrefação a 800 –

1500 °C em múltiplos ciclos, processo que incorpora ao produto minerais e compostos bioativos do bambu, conferindo-lhe alcalinidade pronunciada (pH 10,71) e propriedades antioxidantes (ZHAO *et al.*, 2012 apud CHOI *et al.*, 2016).

É importante situar este artigo no contexto do presente capítulo: o sal de bambu não é um extrato vegetal no sentido estrito do termo e, portanto, representa uma categoria de ingrediente distinta daquela abordada nas seções anteriores deste capítulo. Embora não seja um extrato vegetal no sentido estrito, sua inclusão neste capítulo é justificada pela atividade antioxidante documentada em matriz cárnica suína, que amplia o panorama de ingredientes naturais com potencial para a conservação.

A composição centesimal do lombo curado não diferiu significativamente entre os três tratamentos, indicando que o tipo de sal não alterou as proporções de umidade, proteína, gordura ou cinzas do produto. O rendimento de cura também não variou muito entre os grupos.

Os resultados de oxidação lipídica, perda por cozimento, força de cisalhamento e rendimento de cura são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Efeito de diferentes sais no rendimento da cura, perda por cozimento, valor de TBA e força de cisalhamento Warner-Bratzler do lombo de porco curado (média $\pm$ desvio padrão).

Parâmetros	Sal Refinado	Sal Solar	Sal de Bambu
Rendimento de cura (%)	103,89 $\pm$ 0,89	102,31 $\pm$ 1,15	102,78 $\pm$ 0,91
Perda por cozimento (%)	7,71 $\pm$ 0,95	8,41 $\pm$ 0,68	8,26 $\pm$ 0,52
TBA (mg MA/kg)	0,09 $\pm$ 0,04	0,07 $\pm$ 0,03	0,04 $\pm$ 0,06
Força de cisalhamento Warner-Bratzler (kg)	4,46 $\pm$ 0,78	5,95 $\pm$ 0,15	5,67 $\pm$ 0,73

Fonte: Choi *et al.* (2016).

O tratamento com sal de bambu apresentou o menor valor de TBA entre os três tipos avaliados (0,04 $\pm$ 0,06 mg MA/kg), significativamente inferior ao sal refinado (0,09 $\pm$ 0,04 mg MA/kg; $p < 0,05$). O sal solar ocupou posição intermediária (0,07 $\pm$ 0,03 mg MA/kg). Choi *et al.* (2016) atribuem esse comportamento às propriedades antioxidantes e alcalinas do sal de bambu, que se manifestam na proteção lipídica do produto cárneo. A relação entre o tipo de sal e a oxidação lipídica é mediada pela concentração de cloreto de sódio e sua influência sobre a liberação de íons ferro dos pigmentos heme: sais com maior pureza em NaCl, como o refinado, podem favorecer a oxidação lipídica de modo mais intenso do que sais com maior diversidade mineral (BUCKELY *et al.*, 1989 apud CHOI *et al.*, 2016).

No caso do sal de bambu, os componentes minerais e os compostos bioativos incorporados durante o processamento por pirólise teriam efeito quelante sobre íons pró-

oxidantes, reduzindo a disponibilidade de Fe^{2+} para iniciar reações em cadeia de peroxidação lipídica.

Entretanto, o sal de bambu apresentou desvantagens tecnológicas relevantes. A perda por cozimento foi significativamente maior do que a registrada com sal refinado (8,26% vs. 7,71%), assim como a força de cisalhamento Warner-Bratzler (5,67 vs. 4,46 kg), indicando menor retenção de água e menor maciez no produto final. Esses efeitos são atribuídos ao pH mais elevado induzido pelo sal alcalino na matriz cárnea (pH do lombo cozido com sal de bambu: 6,43 vs. 6,25 com refinado), que altera a carga líquida das proteínas miofibrilares e sua interação com a água durante o cozimento.

5.3.6 Embalagem Ativa com Extrato de Chá Verde e Óleo Essencial de Orégano

Pateiro *et al.* (2019) investigaram o potencial de sistemas de embalagem ativa na conservação de presunto suíno cozido fatiado durante o armazenamento refrigerado. Para isso, foram avaliados três tratamentos: um controle (CON), acondicionado em embalagem convencional sem compostos ativos; um tratamento contendo filme ativo incorporado com 1% de extrato de chá verde (ATGT); e um terceiro tratamento contendo filme ativo formulado com a combinação de 1% de extrato de chá verde e 1% de óleo essencial de orégano (ATRX). As amostras foram embaladas sob atmosfera modificada composta por 70% de nitrogênio (N_2) e 30% de dióxido de carbono (CO_2) e armazenadas a 2 ± 1 °C durante 21 dias, período no qual foram monitorados parâmetros relacionados à estabilidade oxidativa, à qualidade microbiológica e à vida de prateleira do produto.

Em relação à oxidação lipídica, os autores não observaram efeito antioxidante mensurável dos filmes ativos sobre os lipídios do produto em nenhuma das condições avaliadas. Os valores de TBARS permaneceram inferiores a 0,15 mg MDA/kg em todas as amostras e períodos de armazenamento, sem diferenças significativas entre os tratamentos CON, ATGT e ATRX, nem ao longo dos 21 dias de monitoramento. Além disso, os valores registrados situaram-se muito abaixo do limiar de percepção de sabor oxidado pelos consumidores, estimado em 0,6 mg MDA/kg (MARTÍNEZ *et al.*, 2006 apud PATEIRO *et al.*, 2019), e do limite convencional associado à rancidez, estabelecido em 2,0 mg MDA/kg (DE CARVALHO *et al.*, 2019 apud PATEIRO *et al.*, 2019).

Segundo Pateiro *et al.* (2019), esse comportamento pode ser explicado por dois fatores principais. O primeiro é o baixo teor de gordura do presunto cozido (2,35%), que limita a quantidade de substrato disponível para a peroxidação lipídica e, consequentemente,

para a formação de malonaldeído, composto quantificado pelo ensaio de TBARS (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2019 apud PATEIRO *et al.*, 2019). O segundo fator refere-se à utilização de atmosfera modificada anaeróbica, que reduz drasticamente a disponibilidade de oxigênio molecular, considerado um dos principais agentes envolvidos na propagação das reações oxidativas em sistemas alimentares (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2019 apud PATEIRO *et al.*, 2019).

Esse resultado possui importante implicação tecnológica. Em matrizes cárneas com baixo teor lipídico e acondicionadas sob atmosfera modificada com reduzida disponibilidade de oxigênio, o potencial antioxidante de filmes ativos pode não ser evidenciado experimentalmente, mesmo quando os extratos utilizados apresentam elevada atividade antioxidante *in vitro*. Nessas condições, a limitada disponibilidade simultânea de substrato oxidável e de oxigênio restringe a ocorrência de reações oxidativas, dificultando a detecção de efeitos protetores adicionais dos compostos bioativos. Assim, o principal benefício observado dos filmes ativos nesse sistema foi de natureza antimicrobiana.

Esse comportamento contrasta com o observado por Lorenzo *et al.* (2014 apud PATEIRO *et al.*, 2019) em cortes de carne equina embalados sob alta concentração de oxigênio (80% O₂/20% CO₂): nesse sistema com abundante substrato oxidável e atmosfera pro-oxidante, TBARS atingiram aproximadamente 2 mg MDA/kg ao 14º dia nos controles, enquanto os filmes com orégano inibiram significativamente a oxidação. A comparação entre os dois estudos demonstra que a eficácia antioxidante dos filmes ativos depende diretamente das características da matriz cárnea e das condições de armazenamento, especialmente da disponibilidade de lipídios suscetíveis à oxidação e da presença de oxigênio, não podendo ser automaticamente extrapolada para sistemas distintos.

5.3.7 Síntese: Antioxidantes Naturais

Os estudos analisados neste capítulo evidenciam que diferentes ingredientes naturais podem contribuir para a estabilidade oxidativa de produtos cárneos suínos, embora a magnitude desse efeito dependa da composição da matriz, das condições de processamento e das tecnologias de conservação empregadas. Entre os extratos vegetais ricos em compostos fenólicos, o extrato de semente de uva e o dente-de-leão apresentaram desempenho antioxidante comparável ou superior ao de antioxidantes sintéticos de referência, reduzindo a oxidação em produtos fermentados de longa maturação. De maneira semelhante, a *Bougainvillea spectabilis* demonstrou potencial para atenuar a peroxidação lipídica, superando o nitrito de sódio em pelo menos uma das formulações avaliadas, enquanto a *Angelica keiskei* destacou-se pela elevada

atividade antioxidante e pela manutenção de sua capacidade protetora mesmo quando associada à alta pressão hidrostática.

Resultados favoráveis também foram observados com o sal de bambu, que, embora não constitua um extrato vegetal em sentido estrito, reduziu a oxidação lipídica em relação ao sal refinado convencional, evidenciando que ingredientes naturais processados também podem contribuir para a conservação oxidativa de produtos cárneos. Entretanto, esse ingrediente apresentou limitações tecnológicas, como maior perda por cozimento e menor maciez do produto final.

Por outro lado, o estudo de Pateiro et al. (2019) demonstrou que os efeitos antioxidantes de compostos vegetais incorporados em embalagens ativas não foram detectáveis em presunto cozido com baixo teor lipídico armazenado sob atmosfera modificada anaeróbica. Esse resultado evidencia que a atividade antioxidante observada *in vitro* ou em determinadas matrizes cárneas não pode ser automaticamente extrapolada para outros sistemas. Em conjunto, os estudos analisados reforçam o potencial de ingredientes naturais como alternativas promissoras para a redução da oxidação em produtos cárneos suínos, ao mesmo tempo em que destacam a necessidade de validar sua eficácia em diferentes condições de formulação, processamento e armazenamento.

5.4 CONSERVAÇÃO MICROBIOLÓGICA: ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E FONTES NATURAIS DE NITRITO

A segurança microbiológica constitui um requisito inegociável para qualquer estratégia de substituição do nitrito sintético em carnes. De acordo com Sen & Ertürkmen (2025 apud KIM *et al.*, 2025), em sua função antimicrobiana, o nitrito inibe patógenos de relevância sanitária elevada, incluindo *Clostridium botulinum*, cujo crescimento anaeróbico e produção de neurotoxinas representam risco grave em produtos cárneos. Além disso, o nitrito suprime o metabolismo de bactérias proteolíticas responsáveis pela deterioração proteica durante o armazenamento. O comprometimento dessa barreira, ao se reduzir ou eliminar o nitrito sintético, exige que as alternativas vegetais demonstrem capacidade antimicrobiana suficiente para manter a segurança do produto ao longo da vida de prateleira.

Os compostos fenólicos presentes em extratos vegetais exercem ação antimicrobiana por múltiplos mecanismos: desestabilização da membrana celular bacteriana por interações hidrofóbicas, inibição de enzimas metabólicas essenciais, quelação de metais

divalentes (Fe^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+}) necessários ao crescimento microbiano e supressão de fatores de virulência. Contudo, em matrizes alimentares ricas em proteínas e gorduras como os produtos cárneos suínos, Wójciak *et al.* (2024) advertem que os compostos fenólicos podem ter sua eficácia reduzida por ligação a macronutrientes da matriz, reduzindo sua disponibilidade para atuar diretamente sobre os micro-organismos alvo, o que exige avaliação experimental em condições reais de processamento

5.4.1 Extrato de Semente de Uva

O extrato de semente de uva, apresentou os resultados antimicrobianos mais expressivos entre os ingredientes avaliados nesta revisão. Libera *et al.* (2020) registraram reduções marcantes nas populações de *Enterobacteriaceae* ao longo da maturação do pescoço suíno fermentado, conforme demonstrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Contagem de bactérias do ácido láctico e *Enterobacteriaceae* (log UFC/g), valores de pH do pescoço de porco fermentado a seco (média $\pm$ desvio padrão).

	Amostra	Antes da maturação	Durante a maturação	Depois da maturação
Bactérias do ácido láctico (BAL)	GSE	5,71 $\pm$ 0,30	6,88 $\pm$ 0,28	6,93 $\pm$ 0,31
	ASC	5,69 $\pm$ 0,29	6,38 $\pm$ 0,28	6,67 $\pm$ 0,29
	CON	5,81 $\pm$ 0,31	6,52 $\pm$ 0,26	7,15 $\pm$ 0,27
<i>Enterobacteriaceae</i>	GSE	2,75 $\pm$ 0,30	<1,00 $\pm$ 0,00	<1,00 $\pm$ 0,00
	ASC	5,32 $\pm$ 0,29	3,64 $\pm$ 0,25	1,99 $\pm$ 0,29
	CON	4,89 $\pm$ 0,30	3,94 $\pm$ 0,24	2,23 $\pm$ 0,26
Valor do pH	GSE	5,75 $\pm$ 0,06	5,50 $\pm$ 0,07	5,45 $\pm$ 0,05
	ASC	5,66 $\pm$ 0,09	5,42 $\pm$ 0,08	5,40 $\pm$ 0,06
	CON	5,73 $\pm$ 0,11	5,47 $\pm$ 0,05	5,41 $\pm$ 0,07

Fonte: Libera *et al.* (2020).

Antes da maturação, a contagem de *Enterobacteriaceae* no grupo GSE (2,75 log UFC/g) foi significativamente inferior à dos grupos ASC (5,32 log UFC/g) e CON (4,89 log UFC/g; $p \leq 0,05$). Esse resultado sugere que a incorporação do extrato promoveu efeito inibitório sobre microrganismos indesejáveis já nas etapas iniciais do processamento. Durante a maturação, o grupo GSE atingiu valores abaixo do limite de detecção (<1,00 log UFC/g), patamar mantido até o final dos dois meses. Em contraste, os grupos ASC e CON ainda apresentavam populações detectáveis dessa família bacteriana ao término do período

experimental, evidenciando maior controle microbiológico proporcionado pelo extrato de semente de uva.

O efeito antimicrobiano observado não comprometeu o desenvolvimento das bactérias ácido-láticas (BAL), consideradas essenciais para a fermentação e estabilidade microbiológica de produtos cárneos maturados. As contagens de BAL permaneceram elevadas e estatisticamente semelhantes entre os tratamentos ao longo de todo o experimento ($p > 0,05$), demonstrando que o extrato de semente de uva não interferiu negativamente na atividade da cultura probiótica inoculada.

Esse comportamento refletiu-se também nos valores de pH, que apresentaram redução progressiva durante a maturação em todos os grupos, em decorrência da produção de ácido lático pelas BAL. Ao final do armazenamento, os tratamentos exibiram valores de pH próximos, indicando que a adição do extrato não alterou significativamente a dinâmica fermentativa do produto. Dessa forma, os resultados demonstram que o extrato de semente de uva foi capaz de contribuir para o controle de microrganismos indesejáveis sem prejudicar a microbiota benéfica responsável pela acidificação e pela maturação da linguiça fermentada.

5.4.2 Dente-de-Leão

Ao avaliar o status microbiológico de linguiças suínas maturadas com redução de nitrito (de 150 para 80 mg/kg), Wójciak *et al.* (2024) evidenciaram a manutenção da segurança e da estabilidade fermentativa do produto. Os resultados demonstraram que a formulação P_80_M05, contendo 0,5% de extrato de dente-de-leão, foi a única em que bactérias coliformes não foram detectadas em nenhuma das dez amostras analisadas, conforme evidenciado pela Tabela 11.

Tabela 11 - Qualidade microbiológica de amostras contendo 80 mg/kg de nitrito e 0,5% de extrato de dente-de-leão (P_80_M-5).

Amostra	Contagem total de células viáveis	Bactérias do ácido lático	Bactérias coliformes
1	2,82	4,00	ND
2	3,15	4,04	ND
3	3,20	4,18	ND
4	3,26	4,04	ND
5	3,30	4,00	ND
6	3,20	4,00	ND
7	3,00	3,90	ND
8	3,20	3,95	ND
9	3,18	3,95	ND
10	3,60	4,04	ND

Fonte: Wójciak *et al.* (2024).

Em contrapartida, a formulação P_80_M1, contendo 1% de extrato, apresentou contagens de coliformes entre 2,95 e 3,30 log UFC/g, comportamento semelhante ao observado no tratamento controle P_150, elaborado com a concentração convencional de nitrito, conforme evidenciado pelas Tabelas 12 e 13. Segundo os autores, essa variação não esteve relacionada à concentração do extrato vegetal, mas possivelmente a diferenças inerentes às condições de processamento e higiene durante a produção das linguças.

Tabela 12 - Qualidade microbiológica de amostras contendo 80 mg/kg de nitrito e 1% de extrato de dente-de-leão (P_80_M1).

Amostra	Contagem total de células viáveis	Bactérias do ácido láctico	Bactérias coliformes
1	3,58	3,85	2,95
2	3,60	3,81	3,00
3	3,45	4,00	3,26
4	3,72	4,00	3,08
5	3,68	4,04	3,30
6	3,68	3,85	3,30
7	3,60	3,78	3,30
8	3,51	3,90	3,15
9	3,56	3,95	3,20
10	3,30	3,90	2,95

Fonte: Wójciak *et al.* (2024).

Tabela 13 - Qualidade microbiológica de amostras contendo 150 mg/kg de nitrito (P_150).

Amostra	Contagem total de células viáveis	Bactérias do ácido láctico	Bactérias coliformes
1	2,95	3,85	ND
2	3,30	3,90	ND
3	3,38	4,00	ND
4	3,08	3,95	ND
5	2,90	4,04	ND
6	2,86	3,68	3,00
7	2,98	3,90	2,78
8	2,88	3,93	3,08
9	3,11	4,04	2,90
10	3,56	3,88	3,00

Fonte: Wójciak *et al.* (2024).

As contagens de bactérias ácido-láticas (BAL) permaneceram semelhantes entre todos os tratamentos, variando de 3,68 a 4,18 log UFC/g, o que indica que a adição do extrato não interferiu no desenvolvimento da microbiota fermentativa responsável pela maturação do produto. A caracterização microbiológica realizada por espectrometria de massas MALDI-TOF MS identificou predominância de *Pediococcus pentosaceus*, *Lactobacillus* spp., cocos coagulase-negativos e *Pseudomonas* spp., composição compatível com a microbiota normalmente encontrada em embutidos fermentados. Esses resultados sugerem que o extrato

de dente-de-leão pode ser incorporado à formulação sem comprometer o equilíbrio microbiológico necessário ao processo de maturação, ao mesmo tempo em que contribui para a manutenção da segurança microbiológica do produto.

5.4.3 Fontes Naturais de Nitrito

O nitrito de sódio desempenha papel fundamental na tecnologia de produtos cárneos curados, contribuindo para a formação da coloração característica, para a estabilidade oxidativa, para o desenvolvimento de atributos sensoriais e para a segurança microbiológica dos produtos. Em razão das preocupações relacionadas ao uso de aditivos sintéticos, diferentes fontes vegetais ricas em nitrato têm sido investigadas como alternativas para obtenção de nitrito natural por meio de processos de fermentação e pré-conversão.

Nesse contexto, os estudos analisados nesta seção avaliaram diferentes hortaliças como fontes naturais de nitrito em produtos cárneos suínos, investigando sua capacidade de substituir parcial ou totalmente o nitrito sintético. São discutidos aspectos relacionados à obtenção e caracterização dessas fontes vegetais, bem como seus efeitos sobre a estabilidade oxidativa, a qualidade proteica, os indicadores microbiológicos e os teores residuais de nitrito nos produtos elaborados.

5.4.3.1 Espinafre Fermentado

Kim *et al.* (2019a) investigaram os efeitos da substituição parcial e total do nitrito de sódio por espinafre fermentado na elaboração de lombo suíno curado, avaliando seis tratamentos com diferentes proporções de nitrito sintético e nitrito natural provenientes do vegetal (Tabela 14). Para obtenção da fonte natural de nitrito, o espinafre foi fermentado com *Staphylococcus carnosus* durante 24 horas a 30 °C, produzindo um suco fermentado com concentração de nitrito de 20.232 ppm e pH de 5,32. A etapa de fermentação é fundamental para o processo, pois promove a conversão do nitrato naturalmente presente no vegetal em nitrito, forma diretamente envolvida nas reações de cura da carne.

Tabela 14 - Formulações de salmoura para o estabelecimento de condições de substituição do nitrito de sódio.

Ingredientes	Controle (-)	Controle (+)	T1	T2	T3	T4
Água (%)	92	91,92	45,98	45,86	-	-
Suco de espinafre fermentado (%)	-	-	45,98	-	92	-
Suco de espinafre (%)	-	-	-	45,86	-	91,75
Sal (%)	8	8	8	8	8	8
Nitrito (%)	-	0,08	0,04	0,04	-	-
Cultura iniciadora (%)	-	-	-	0,25	-	0,25
Total (%)	100	100	100	100	100	100

Controle (-): sem nitrito; Controle (+): 0,08% nitrito sintético; T1: espinafre fermentado + 0,04% NaNO₂; T2: suco de espinafre + 0,04% NaNO₂ + cultura; T3: espinafre fermentado, sem NaNO₂; T4: suco de espinafre + cultura. Fonte: Kim *et al.* (2019a).

O suco de espinafre não fermentado, empregado nos tratamentos T2 e T4, apresentou pH de 5,73, resultando em produtos finais com valores de pH ligeiramente superiores aos observados nos tratamentos contendo espinafre fermentado. Segundo os autores, o ambiente mais ácido proporcionado pela fermentação favorece as reações de cura associadas à formação de óxido nítrico. Apesar dessas diferenças, a perda por cozimento não apresentou variação significativa entre os tratamentos, indicando que a substituição do nitrito sintético não comprometeu o rendimento térmico do produto.

Os resultados apresentados na Tabela 15 demonstram que a utilização de espinafre fermentado proporcionou elevada proteção contra a oxidação lipídica. O controle negativo, elaborado sem adição de nitrito, apresentou valor de TBARS de 0,88 mg MDA/kg, significativamente superior aos observados nos tratamentos T1 e T3, que continham nitrito natural proveniente do espinafre fermentado e registraram valores de 0,06 e 0,08 mg MDA/kg, respectivamente. Esses resultados evidenciam que a substituição parcial ou total do nitrito sintético por fontes vegetais pré-convertidas não compromete a estabilidade oxidativa do produto. Além disso, os valores observados permaneceram abaixo dos limiares normalmente associados à percepção sensorial de alterações oxidativas, estimados entre 0,5 e 1,0 mg MDA/kg para odor oxidado e entre 1,0 e 2,0 mg MDA/kg para sabor oxidado (TARLADGIS *et al.*, 1960 apud HWANG *et al.*, 2018).

Tabela 15 - Efeitos da adição parcial de nitrito de sódio sobre o nitrogênio básico volátil e as substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico em carne curada com suco de espinafre (média ± desvio padrão).

Itens	TBARS (mg MDA/kg)	VBN (mg%)
Controle (-)	0,88 ± 0,02	14,81 ± 0,55
Controle (+)	0,08 ± 0,01	16,51 ± 1,08
T1	0,06 ± 0,01	18,77 ± 0,56
T2	0,10 ± 0,01	21,56 ± 1,06
T3	0,08 ± 0,01	19,04 ± 0,65
T4	0,30 ± 0,01	21,83 ± 0,65

Controle (-): sem nitrito; Controle (+): 0,08% nitrito sintético; T1: espinafre fermentado + 0,04% NaNO₂; T2: suco de espinafre + 0,04% NaNO₂ + cultura; T3: espinafre fermentado, sem NaNO₂; T4: suco de espinafre + cultura. Fonte: Kim *et al.* (2019a).

Em relação aos valores de Nitrogênio Básico Volátil (VBN), observou-se que os tratamentos T2 e T4 apresentaram os maiores resultados, com 21,56 e 21,83 mg%, respectivamente, diferindo do controle positivo contendo 120 ppm de nitrito sintético (16,51 mg%). Os tratamentos elaborados com espinafre fermentado (T1 e T3) apresentaram valores intermediários, mais próximos aos observados nos controles. Esses resultados sugerem que a utilização de espinafre não fermentado associada à cultura iniciadora pode favorecer maior formação de compostos nitrogenados voláteis, enquanto a utilização do espinafre previamente fermentado resultou em comportamento mais semelhante ao tratamento convencional com nitrito sintético.

5.4.3.2 Fontes Pré-Convertidas

Hwang *et al.* (2018) conduziram estudo comparativo sobre a eficácia de quatro fontes vegetais pré-convertidas (espinafre, alface, aipo e beterraba) no desenvolvimento de cor em salsicha suína crua e cozida, em relação a um controle positivo com 150 ppm de nitrito sintético (PC) e a um controle negativo sem nitrito (NC). As concentrações de nitrito obtidas após 24 horas de fermentação foram marcadamente distintas entre as fontes: espinafre (FS) = 5.012,18 ppm, alface (FL) = 2.200,93 ppm, beterraba (FR) = 729,28 ppm e aipo (FC) = 201,35 ppm. Essa variação reflete diferenças no teor endógeno de nitrato de cada hortaliça e na eficiência da conversão pela cepa bacteriana empregada.

Os valores de pH dos extratos fermentados foram: FS = 5,21; FL = 4,77; FR = 4,65; FC = 4,31. O espinafre fermentado combinou a maior concentração de nitrito com pH adequado para conversão eficiente, destacando-se como a fonte de maior potencial entre as avaliadas.

No que tange à segurança microbiológica, os estudos com nitrito natural de espinafre demonstraram alta eficácia após o processamento térmico. Em Hwang *et al.* (2018), *E. coli* e coliformes totais não foram detectados em nenhum dos tratamentos de salsicha cozida, enquanto a contagem total de microrganismos viáveis (TVC) variou entre 1,42 e 2,10 log UFC/g (Tabela 16). O tratamento com 3% de espinafre fermentado (FS) apresentou a menor carga microbiana (1,42 log UFC/g), superando significativamente o controle negativo ($p < 0,05$), resultado que os autores atribuem ao efeito antimicrobiano do nitrito pré-convertido.

Tabela 16 - Efeitos da utilização de nitrito pré-convertido de fonte natural na contagem total de bactérias viáveis, *Escherichia coli* e bactérias coliformes totais em linguiça de porco cozida (média $\pm$ erro padrão).

Tratamentos	Contagem total de microrganismos viáveis (log UFC/g)	<i>Escherichia coli</i> (log UFC/g)	Bactérias coliformes totais (log UFC/g)
NC	2,10 $\pm$ 0,11	ND	ND
PC	1,61 $\pm$ 0,19	ND	ND
FS	1,42 $\pm$ 0,03	ND	ND
FL	1,68 $\pm$ 0,06	ND	ND
FC	1,64 $\pm$ 0,12	ND	ND
FR	1,78 $\pm$ 0,08	ND	ND

NC (controle negativo), livre de nitrito; PC (controle positivo), 150 ppm de nitrito; FS, extrato de espinafre fermentado; FL, extrato de alface fermentada; FC, extrato de aipo fermentado; FR, extrato de beterraba fermentada. Fonte: Hwang *et al.* (2018).

A tabela 17 apresenta os dados de TBARS E VBN, que integram os indicadores de qualidade microbiológica e oxidativas dos produtos com fontes naturais de nitrito.

Tabela 17 - Efeitos da utilização de nitrito pré-convertido de fonte natural nos valores de VBN e TBARS em linguiça de porco cozida (média $\pm$ erro padrão).

Tratamentos	VBN (mg %)	TBARS (mg MDA/kg)
NC	3,79 $\pm$ 0,30	0,39 $\pm$ 0,00
PC	1,76 $\pm$ 0,11	0,06 $\pm$ 0,00
FS	2,33 $\pm$ 0,11	0,16 $\pm$ 0,01
FL	2,13 $\pm$ 0,11	0,22 $\pm$ 0,03
FC	5,26 $\pm$ 0,20	0,36 $\pm$ 0,01
FR	2,30 $\pm$ 0,23	0,38 $\pm$ 0,00

NC (controle negativo), livre de nitrito; PC (controle positivo), 150 ppm de nitrito; FS, extrato de espinafre fermentado; FL, extrato de alface fermentada; FC, extrato de aipo fermentado; FR, extrato de beterraba fermentada. Fonte: Hwang *et al.* (2018).

Em relação à estabilidade oxidativa, o controle positivo contendo nitrito sintético (PC) apresentou o menor valor de TBARS (0,06 mg MDA/kg), diferindo significativamente dos demais tratamentos. Entre as fontes naturais avaliadas, o espinafre fermentado (FS) apresentou o melhor desempenho antioxidante, com valor de 0,16 mg MDA/kg, seguido pela alface fermentada (FL), com 0,22 mg MDA/kg. Os tratamentos contendo aipo (FC) e beterraba (FR) apresentaram valores de 0,36 e 0,38 mg MDA/kg, respectivamente, próximos ao controle negativo (NC), que registrou 0,39 mg MDA/kg. Esses resultados indicam que, embora nenhuma das fontes naturais tenha alcançado a mesma eficiência antioxidante do nitrito sintético, o espinafre e a alface fermentados contribuíram de forma mais efetiva para a redução da oxidação lipídica da salsicha cozida. Hwang *et al.* (2018) verificaram que o tratamento com aipo fermentado (FC) superou os controles em termos de

VBN, confirmando que a microbiota tecnológica introduzida via soluções fermentadas acelera a cinética de degradação enzimática das proteínas.

Quanto aos valores de VBN, observou-se que o controle positivo apresentou a menor média (1,76 mg%), seguido pelos tratamentos FL (2,13 mg%), FR (2,30 mg%) e FS (2,33 mg%). Em contraste, o tratamento contendo aipo fermentado (FC) registrou o maior valor (5,26 mg%), superando inclusive o controle negativo (3,79 mg%). Esse resultado sugere menor estabilidade proteica da formulação elaborada com aipo fermentado, enquanto os tratamentos contendo espinafre, alface e beterraba apresentaram comportamento mais próximo ao observado no controle com nitrito sintético. Considerando conjuntamente os resultados de TBARS e VBN, o espinafre fermentado destacou-se entre as fontes naturais avaliadas por associar melhor controle da oxidação lipídica a baixos níveis de degradação proteica, corroborando sua superioridade tecnológica observada nos demais parâmetros analisados.

5.4.3.3 Acelga Suíça Fermentada

Kim *et al.* (2019b) investigaram a utilização de solução de acelga suíça fermentada (*Beta vulgaris* var. *cicla*, FSC) como fonte de nitrito natural em lombo suíno curado. O experimento avaliou níveis crescentes de substituição da água da salmoura por FSC, variando de 25% (T1) a 100% (T4), conforme mostrado na Tabela 18. A solução fermentada utilizada apresentou pH 5,24 e concentração de nitrito de 322 ppm, obtida por fermentação com *Staphylococcus carnosus* a 37°C por 24 horas. A acelga foi selecionada como uma alternativa promissora ao aipo, devido ao potencial alergênico deste último, que persiste mesmo após o tratamento térmico (BALLMER-WEBER *et al.*, 2002 apud KIM *et al.*, 2019b).

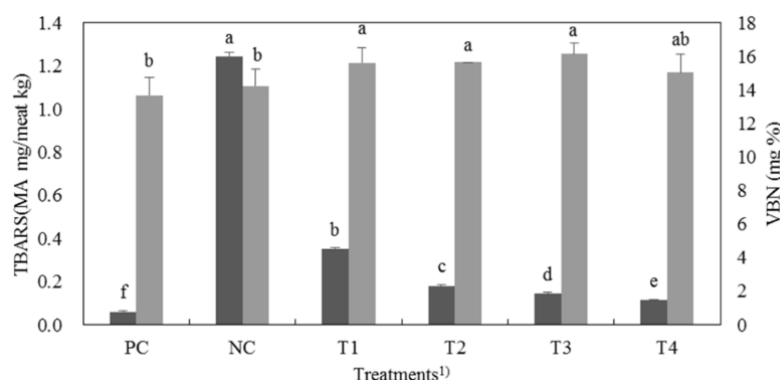
Tabela 18 - Formulação de lombo de porco curado com fonte natural de nitrito proveniente de acelga suíça fermentada (FSC).

Ingredientes	Tratamentos					
	PC	NC	T1	T2	T3	T4
Lombo de porco (%)	100	100	100	100	100	100
Água (%)	40	40	30	20	10	0
Solução de acelga fermentada (%)	0	0	10	20	30	40
Sal (%)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Nitrito (ppm)	120	0	32,2	64,4	96,6	128,8

PC, controle positivo, 120 ppm de nitrito; NC, controle negativo, sem nitrito; T1, solução FSC:água = 10:30; T2, solução FSC:água = 20:20; T3, solução FSC:água = 30:10; T4, solução FSC:água = 40:0. Fonte: Kim *et al.* (2019b).

A relação entre a eficácia antioxidante e a dosagem da fonte natural de nitrito também foi evidenciada por Kim *et al.* (2019b). Conforme apresentado na Figura 9, o aumento da proporção de solução fermentada de acelga suíça (FSC) promoveu redução progressiva dos valores de TBARS. O controle negativo (NC) apresentou o maior valor (aproximadamente 1,24 mg MDA/kg), enquanto os tratamentos contendo FSC registraram diminuição gradual da oxidação lipídica à medida que aumentava a substituição da água da salmoura pela solução fermentada. O tratamento T4, correspondente à substituição total da água por FSC, apresentou valor de aproximadamente 0,12 mg MDA/kg, aproximando-se do controle positivo contendo nitrito sintético (PC), que registrou cerca de 0,06 mg MDA/kg. Esses resultados demonstram que o nitrito proveniente da acelga fermentada exerceu importante efeito antioxidante, contribuindo para a proteção dos lipídios contra reações oxidativas.

Figura 9 - Valores de TBARS (■) e VBN (▒) do lombo de porco curado com fonte natural de nitrito do FSC.



Fonte: Kim *et al.* (2019b).

Em relação aos valores de VBN, observou-se comportamento distinto daquele verificado para TBARS. Enquanto o controle positivo apresentou um dos menores valores, os tratamentos contendo FSC exibiram valores mais elevados. Segundo os autores, entretanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos contendo FSC e o controle positivo. Além disso, todos os valores permaneceram dentro de faixas compatíveis com a manutenção da qualidade tecnológica do produto, indicando que a utilização da acelga fermentada como fonte natural de nitrito não comprometeu significativamente a estabilidade proteica do lombo suíno curado.

Quanto às características físico-químicas, verificou-se redução gradual do teor de umidade à medida que aumentava a concentração de FSC na formulação. Os autores atribuem esse comportamento ao caráter ácido da solução fermentada, que favorece a aproximação do pH ao ponto isoelétrico das proteínas miofibrilares, reduzindo sua capacidade

de retenção de água. Apesar dessa diminuição da umidade, não foram observadas diferenças significativas na perda por cozimento entre os tratamentos, demonstrando que a substituição da água por FSC não comprometeu o rendimento térmico do produto.

5.4.3.4 Otimização do Período de Incubação com Espinafre e Cultura Iniciadora

Kim *et al.* (2019c) avaliaram a influência do tempo de incubação na produção de lombo suíno curado elaborado com suco de espinafre e *Staphylococcus carnosus*, investigando o equilíbrio entre formação de nitrito natural, desenvolvimento da cor de cura e manutenção da qualidade do produto. Para isso, foram estabelecidos seis tratamentos com diferentes períodos de incubação da mistura contendo espinafre e cultura iniciadora: 3 horas (I3), 6 horas (I6), 9 horas (I9), 12 horas (I12), 24 horas (I24) e 48 horas (I48), além de um grupo controle positivo contendo 120 ppm de nitrito de sódio, um grupo controle negativo sem adição de nitrito e um grupo curado com nitrito pré-convertido (PC) de espinafre.

O aumento do período de incubação promoveu maior conversão do nitrato naturalmente presente no espinafre em nitrito, refletindo diretamente nos parâmetros de qualidade avaliados, apresentados na Tabela 19. Os resultados demonstraram que os valores de nitrogênio básico volátil (VBN) aumentaram progressivamente com a extensão da incubação, indicando maior formação de compostos nitrogenados voláteis ao longo do processo. Embora todos os tratamentos tenham permanecido dentro de faixas compatíveis com a qualidade do produto, observou-se que os maiores valores ocorreram nos tratamentos submetidos aos períodos mais prolongados de incubação, especialmente I24 e I48. Segundo os autores, esse comportamento está relacionado à maior atividade metabólica da cultura iniciadora durante períodos mais extensos de fermentação, favorecendo a degradação de compostos nitrogenados e a formação de metabólitos voláteis.

Tabela 19 - Alterações nos níveis de VBN e TBARS em lombo de porco curado e cozido com suco de espinafre e diferentes períodos de incubação (média $\pm$ erro padrão).

Tratamentos	VBN (mg/100g)	TBARS (mg MDA/kg)
Controle (-)	12,27 $\pm$ 0,55	0,68 $\pm$ 0,01
Controle (+)	12,24 $\pm$ 0,52	0,11 $\pm$ 0,01
PC	15,83 $\pm$ 0,32	0,09 $\pm$ 0,01
I3	14,95 $\pm$ 0,38	0,28 $\pm$ 0,01
I6	15,09 $\pm$ 0,32	0,26 $\pm$ 0,01
I9	15,38 $\pm$ 0,37	0,24 $\pm$ 0,01
I12	15,28 $\pm$ 0,32	0,20 $\pm$ 0,01
I24	17,18 $\pm$ 0,63	0,11 $\pm$ 0,01
I48	17,54 $\pm$ 0,36	0,06 $\pm$ 0,01

Fonte: Kim *et al.* (2019c).

Em contrapartida, os valores de TBARS apresentaram tendência inversa. À medida que o tempo de incubação aumentou, os índices de oxidação lipídica diminuíram significativamente, evidenciando a maior disponibilidade de nitrito formado durante a fermentação e, conseqüentemente, uma proteção antioxidante mais eficiente. Os tratamentos submetidos aos maiores tempos de incubação apresentaram os menores valores de TBARS, demonstrando que a conversão progressiva do nitrato em nitrito contribuiu para reduzir a formação de produtos secundários da oxidação lipídica e preservar a estabilidade química do lombo curado durante o processamento.

Do ponto de vista microbiológico, os resultados demonstraram que a extensão do período de incubação não comprometeu a segurança do produto. As análises de contagem total de microrganismos viáveis (TVC), *Escherichia coli* e bactérias coliformes indicaram ausência de *E. coli* e coliformes em todos os tratamentos avaliados. A contagem total de microrganismos viáveis permaneceu abaixo do limite de detecção na maioria das formulações, sendo observada apenas no tratamento I48, que apresentou baixa população microbiana ($1,68 \pm 0,52$ log UFC/g). Esses resultados sugerem que, embora períodos mais longos de incubação tenham promovido aumento dos valores de VBN, não houve evidências de deterioração microbiológica significativa ou comprometimento da segurança do lombo suíno curado.

Os resultados relativos ao nitrito residual reforçam esse comportamento. As concentrações residuais aumentaram gradativamente com o prolongamento da incubação, atingindo seu maior valor no tratamento I48 e superando inclusive o controle positivo elaborado com nitrito sintético. Esse resultado indica que períodos excessivamente longos favorecem a acumulação de nitrito não reagido na matriz cárnea, sugerindo que parte do nitrito produzido excede a quantidade necessária para as reações de cura. Sob a perspectiva tecnológica e regulatória, esse acúmulo não é desejável, uma vez que a obtenção de produtos curados com fontes naturais busca justamente conciliar eficiência de cura com baixos teores residuais de nitrito.

Considerando conjuntamente os resultados de formação de pigmentos de cura, estabilidade oxidativa, VBN e teor residual de nitrito, Kim *et al.* (2019c) concluíram que a incubação por 24 horas representa a condição mais adequada para a produção de lombo suíno curado com espinafre fermentado. Esse período proporcionou desenvolvimento satisfatório das características de cura e proteção antioxidante, sem o acúmulo excessivo de nitrito residual observado após 48 horas de incubação.

5.4.4 Embalagem Ativa com Extrato de Chá Verde e Óleo Essencial de Orégano

A eficácia antimicrobiana do extrato de chá verde é atribuída à presença de seus compostos fenólicos, que demonstraram capacidade de retardar o crescimento de microrganismos viáveis totais e bactérias do ácido láctico ao longo de 21 dias de armazenamento. Complementarmente, a inclusão do óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare*) na estrutura do filme fornece componentes bioativos essenciais, especificamente carvacrol, timol, p -cimeno e γ -terpineno, substâncias que identificam como as principais responsáveis pela atividade antimicrobiana da ATRX (Pateiro *et al.*, 2018a; Mahmoudzadeh *et al.*, 2017; Ramos *et al.*, 2012 apud PATEIRO *et al.*, 2019), principalmente quanto a inibição de microrganismos deteriorantes específicos, como a *Brochothrix thermosphacta* (Llana-Ruiz-Cabello *et al.*, 2018; Paparella *et al.*, 2016 apud PATEIRO *et al.*, 2019).

A tecnologia de embalagem ativa constitui uma estratégia complementar à incorporação direta de compostos bioativos na formulação, uma vez que promove a migração gradual e controlada desses constituintes vegetais para a superfície da carne durante o armazenamento. Como essa região apresenta maior suscetibilidade à contaminação microbiológica e às alterações oxidativas, a liberação progressiva dos compostos permite que suas propriedades bactericidas, bacteriostáticas e antioxidantes contribuam para a manutenção da estabilidade microbiológica e da coloração do produto, sem a necessidade de adição direta de novos ingredientes à formulação.

Ao longo dos 21 dias de monitoramento sob condições de varejo refrigerado, as populações de microrganismos viáveis totais (MVT) em todos os tratamentos de presunto cozido mantiveram-se estritamente abaixo dos limites estabelecidos pelos critérios microbiológicos da União Europeia, que fixa o teto de 6 log UFC/g para esta categoria de produto, conforme abordado pela Comissão Europeia (2005 apud Pateiro *et al.*, 2019). Ao final do período de armazenamento, as contagens situaram-se em faixas seguras entre 3,59 e 5,49 log UFC/g, demonstrando que a tecnologia de embalagem ativa foi capaz de preservar a integridade biológica da matriz cárnea frente às variações intrínsecas de temperatura e luminosidade do display comercial.

No que tange à eficácia dos sistemas ativos, o filme incorporado com 1% de extrato de chá verde (ATGT) revelou-se a estratégia mais eficiente no controle do crescimento de MVT e, especificamente, das bactérias do ácido láctico (BAL). Após três semanas, as contagens de BAL no grupo ATGT atingiram apenas 2,96 log UFC/g, patamar

significativamente inferior aos 4,14 log UFC/g registrados no grupo controle (CON) e aos 4,18 log UFC/g no grupo com mistura de extratos (ATRX; $p < 0,05$). Esse desempenho superior é tecnicamente atribuído à robusta atividade dos compostos fenólicos presentes no chá verde (Siripatrawan and Noipha, 2012 apud Pateiro *et al.*, 2019).

Para o controle da *Brochothrix thermosphacta*, microrganismo reconhecido como um dos principais responsáveis pela deterioração metabólica de produtos cárneos fatiados e embalados em atmosfera modificada, o sistema ATRX demonstrou a maior capacidade inibitória. Ao término do armazenamento, o ATRX limitou a população desse deteriorador a 1,48 log UFC/g, superando os resultados do ATGT (1,77 log UFC/g) e do controle (2,59 log UFC/g). Essa especificidade antimicrobiana é explicada pela presença dos bioativos do óleo essencial de orégano, substâncias que possuem ação documentada na ruptura da integridade da membrana celular bacteriana.

Contudo, observa-se que a combinação de extratos no tratamento ATRX resultou em uma performance inferior ao chá verde isolado contra MVT e BAL, o que pode indicar a ocorrência de interações entre os compostos bioativos presentes no extrato de chá verde e no óleo essencial de orégano. Segundo a fundamentação de Pateiro *et al.* (2019), tais interações podem reduzir a eficácia antimicrobiana observada quando os componentes são utilizados individualmente, justificando o melhor desempenho do tratamento ATGT no controle microbiológico global do produto. Além disso, foram observadas ausências ou contagens inferiores ao limite de detecção para microrganismos de relevância sanitária, incluindo *Enterobacteriaceae*, clostrídios sulfito-redutores, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp. e *Listeria monocytogenes*, demonstrando que as condições de processamento e armazenamento empregadas foram adequadas para a manutenção da segurança microbiológica do presunto fatiado.

5.4.5 Síntese: Segurança Microbiológica

Os estudos analisados neste capítulo indicam que compostos bioativos de origem vegetal podem contribuir de forma relevante para a conservação microbiológica de produtos cárneos suínos, especialmente por meio de dois mecanismos principais: a ação antimicrobiana seletiva de compostos fenólicos e a utilização de fontes vegetais pré-convertidas de nitrito, capazes de reproduzir parte das funções tradicionalmente atribuídas ao nitrito sintético. De modo geral, observou-se que esses ingredientes podem controlar microrganismos

deterioradores sem comprometer a microbiota fermentativa desejável, além de, em diversas formulações, manter baixos teores residuais de nitrito no produto final.

Entre os ingredientes avaliados, o extrato de semente de uva apresentou o desempenho antimicrobiano mais consistente, com forte redução de *Enterobacteriaceae* durante a maturação, sem prejuízo às bactérias ácido-láticas. O extrato de dente-de-leão também demonstrou controle microbiológico satisfatório em determinadas formulações, com manutenção da microbiota tecnológica. De forma complementar, a embalagem ativa com extrato de chá verde reduziu microrganismos viáveis totais e bactérias ácido-láticas, enquanto a adição de óleo essencial de orégano favoreceu o controle de *Brochothrix thermosphacta*, reforçando o potencial de sistemas combinados para ampliar a vida de prateleira de produtos cárneos refrigerados.

Nos estudos com fontes naturais de nitrito, as formulações com espinafre, acelga, alface, aipo e beterraba preservaram a segurança microbiológica básica dos produtos após o processamento térmico, com ausência de *Escherichia coli* e coliformes e contagens totais equivalentes às dos controles com nitrito sintético. Em paralelo, os valores de TBARS permaneceram, em geral, compatíveis com boa estabilidade oxidativa, enquanto os valores de VBN mostraram que períodos de incubação até 24 horas tenderam a manter a qualidade tecnológica, ao passo que tempos mais longos, como 48 horas, favoreceram maior degradação proteica e acúmulo de nitrito residual.

Em conjunto, os resultados sustentam que compostos vegetais bioativos representam alternativas promissoras para a conservação microbiológica de produtos cárneos suínos, mas sua aplicação ainda depende de validação mais robusta em diferentes matrizes, com padronização de formulações e comprovação em condições reais de processamento. A principal lacuna permanece na falta de estudos experimentais controlados envolvendo *Clostridium botulinum* e *Listeria monocytogenes*, os dois patógenos de maior relevância regulatória para a substituição do nitrito em produtos curados, o que impede concluir que essas alternativas, isoladamente, reproduzam integralmente o nível de segurança proporcionado pelo nitrito sintético.

5.5 EFEITOS NOS PARÂMETROS SENSORIAIS E NA COR

A avaliação sensorial constitui etapa indispensável na validação tecnológica de qualquer formulação cárnea reformulada, pois a eficácia demonstrada em parâmetros físico-

químicos e microbiológicos somente se converte em viabilidade comercial se o produto final atender às expectativas dos consumidores quanto aos seus atributos sensoriais. Em produtos cárneos, os atributos de maior influência sobre a decisão de compra são a aparência visual, o aroma, o sabor e a textura, avaliados tanto objetivamente, por colorimetria e análise instrumental, quanto subjetivamente, por meio de painéis sensoriais com escalas hedônicas padronizadas.

A substituição ou redução do nitrito sintético por compostos de origem vegetal introduz riscos sensoriais específicos: desvios cromáticos perceptíveis ao consumidor, notas aromáticas atípicas oriundas dos voláteis da planta e modificações texturais decorrentes da interação de polifenóis com proteínas miofibrilares. A análise sistemática dos dados dos estudos selecionados permite identificar quais estratégias são capazes de manter a qualidade percebida em patamar equivalente ao produto convencional, fornecendo subsídios técnicos para a formulação industrial.

5.5.1 Cor: Parâmetros Instrumentais e Percepção Visual

A cor constitui o atributo sensorial de maior relevância na avaliação imediata de produtos cárneos processados. Segundo Pateiro *et al.* (2019), esse parâmetro é amplamente utilizado pelo consumidor como um indicador primário de qualidade, frescor e adequação do processo de cura. No mesmo sentido, Kim *et al.* (2019c) reforçam que a cor é o fator determinante que influencia a decisão de compra por parte do consumidor.

Para que a análise seja científica e reproduzível, a avaliação objetiva da cor é realizada pelo sistema internacional CIE $L^*a^*b^*$. Conforme detalhado por Kim *et al.* (2019b), o parâmetro L^* representa a luminosidade (variando do preto ao branco); a^* , a intensidade da coloração vermelha; e b^* , a componente amarela. Em produtos curados e cozidos, o parâmetro a^* assume protagonismo nas discussões técnicas. De acordo com Kim *et al.* (2019b), valores elevados de vermelhidão estão diretamente associados à coloração rosada característica conferida pelo nitrosil-hemocromo, pigmento termoestável resultante da reação de cura. A relevância tecnológica desse parâmetro é validada estatisticamente por Kim *et al.* (2025), que demonstraram uma correlação positiva muito alta ($r=0,88$) entre o valor de a^* e a eficiência de cura, o que comprova que a intensidade do vermelho reflete com precisão a proporção de mioglobina efetivamente convertida em pigmentos nitrosos.

5.5.1.1 Produtos com Fontes Naturais de Nitrito

Kim *et al.* (2019a) avaliaram a cor instrumental do lombo suíno curado com espinafre fermentado. Os parâmetros de cor para produto cru e cozido são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Efeitos da adição parcial de nitrito de sódio na cor da carne curada com suco de espinafre (média $\pm$ desvio padrão).

Características	Tratamentos					
	C (-)	C (+)	T1	T2	T3	T4
Cru						
L*	45,87 $\pm$ 0,32	44,14 $\pm$ 0,96	44,62 $\pm$ 0,65	46,89 $\pm$ 0,67	49,57 $\pm$ 0,52	44,73 $\pm$ 0,34
a*	7,71 $\pm$ 0,24	8,71 $\pm$ 0,16	8,89 $\pm$ 0,29	9,16 $\pm$ 0,27	9,41 $\pm$ 0,54	9,02 $\pm$ 0,61
b*	3,93 $\pm$ 0,94	5,32 $\pm$ 0,19	5,27 $\pm$ 0,47	4,65 $\pm$ 0,13	5,93 $\pm$ 0,22	4,77 $\pm$ 0,25
H°	26,90 $\pm$ 0,83	30,43 $\pm$ 2,14	30,58 $\pm$ 1,50	30,58 $\pm$ 1,50	26,91 $\pm$ 0,65	27,91 $\pm$ 0,99
Cozido						
L*	73,52 $\pm$ 0,94	76,17 $\pm$ 0,11	68,74 $\pm$ 0,55	75,30 $\pm$ 0,13	70,09 $\pm$ 1,01	74,60 $\pm$ 0,18
a*	1,72 $\pm$ 0,39	8,37 $\pm$ 0,17	11,46 $\pm$ 0,05	8,33 $\pm$ 0,09	10,99 $\pm$ 0,58	8,16 $\pm$ 0,05
b*	9,00 $\pm$ 0,39	5,98 $\pm$ 0,11	6,86 $\pm$ 0,27	6,37 $\pm$ 0,19	6,52 $\pm$ 0,12	6,01 $\pm$ 0,05
H°	78,67 $\pm$ 0,90	35,53 $\pm$ 0,56	31,07 $\pm$ 0,69	37,41 $\pm$ 0,56	30,72 $\pm$ 0,93	36,37 $\pm$ 0,15

C(-): controle sem nitrito; C(+): 0,08% NaNO₂; T1: espinafre fermentado + 0,04% NaNO₂; T2: suco + 0,04% NaNO₂ + cultura; T3: espinafre fermentado s/ NaNO₂; T4: suco + cultura. Fonte: Kim *et al.* (2019a).

Os resultados de cor instrumental revelaram dado tecnologicamente expressivo: após o cozimento, o tratamento T1 apresentou o maior valor de vermelhidão ($a^* = 11,46 \pm 0,05$) entre todos os tratamentos, superando significativamente o controle positivo com dose plena de nitrito sintético ($a^* = 8,37 \pm 0,17$). O tratamento T3, que utilizou espinafre fermentado como única fonte de nitrito, sem adição de nitrito sintético, também superou o controle positivo ($a^* = 10,99 \pm 0,58$ vs. $8,37 \pm 0,17$). Kim *et al.* (2019a) atribuem esse desempenho ao papel dos antioxidantes naturais do espinafre fermentado, que incluem compostos como ascorbato e tocoferóis, na facilitação da redução de nitrito a óxido nítrico, acelerando a formação do nitrosohemocromo e retardando sua oxidação a metmioglobina e ferrohemocromo.

O ângulo de matiz (H°) observado nos tratamentos T1 e T3 (30–31°) foi significativamente inferior ao registrado no Controle (+) (35°), indicando uma coloração mais próxima do vermelho puro e, conseqüentemente, mais intensa sob o ponto de vista visual. Esse resultado reforça a capacidade das fontes naturais de nitrito em promover o desenvolvimento da cor característica de produtos curados.

Em relação ao teor residual de nitrito, observou-se a seguinte tendência: Controle (+) > T1 = T2 > T3 < T4 > Controle (-). Os menores valores verificados nos tratamentos contendo fontes naturais sugerem maior eficiência de utilização do nitrito durante as reações de cura, reduzindo o acúmulo do composto remanescente no produto final. O menor acúmulo de nitrito residual em produtos com fontes naturais tem implicações relevantes para a saúde do consumidor, pois reduz a disponibilidade do íon para formação de N-nitrosaminas (SHAKIL *et al.*, 2022 apud FERREIRA *et al.*, 2024).

A análise comparativa das fontes pré-convertidas de Hwang *et al.* (2018) permite avaliar se o padrão de superioridade do espinafre é extensível a outras hortaliças. A Tabela 21 apresenta os dados de cor das salsichas suínas cozidas.

Tabela 21 - Efeitos da utilização de nitrito pré-convertido de fonte natural no pH e na cor de linguiça de porco cozida (média $\pm$ erro padrão).

Tratamento	pH	Cor				
		L*	a*	b*	H°	ΔE^*
NC	6,50 $\pm$ 0,00	66,3 $\pm$ 0,02	3,2 $\pm$ 0,01	11,2 $\pm$ 0,03	74,0 $\pm$ 0,11	-
PC	6,55 $\pm$ 0,01	66,1 $\pm$ 0,12	9,8 $\pm$ 0,06	9,5 $\pm$ 0,01	44,0 $\pm$ 0,23	6,8 $\pm$ 0,10
FS	6,53 $\pm$ 0,00	66,0 $\pm$ 0,01	4,8 $\pm$ 0,03	11,8 $\pm$ 0,03	68,0 $\pm$ 0,19	2,0 $\pm$ 0,12
FL	6,51 $\pm$ 0,00	62,8 $\pm$ 0,04	0,3 $\pm$ 0,00	13,5 $\pm$ 0,10	89,0 $\pm$ 0,04	5,2 $\pm$ 0,09
FC	6,40 $\pm$ 0,01	66,5 $\pm$ 0,16	3,8 $\pm$ 0,01	13,1 $\pm$ 0,21	73,7 $\pm$ 0,25	2,2 $\pm$ 0,21
FR	6,45 $\pm$ 0,02	66,7 $\pm$ 0,10	3,4 $\pm$ 0,03	13,7 $\pm$ 0,06	76,1 $\pm$ 0,22	2,6 $\pm$ 0,11

NC: controle negativo; PC: 150 ppm NaNO₂; FS: espinafre; FL: alface; FC: aipo; FR: beterraba. H°, índice de ângulo de matiz; ΔE^* , diferença de cor. Fonte: Hwang *et al.* (2018).

A análise dos dados evidencia uma hierarquia clara de desempenho entre as fontes naturais. Em salsichas cozidas, o extrato de espinafre fermentado (FS) foi a única fonte capaz de produzir vermelhidão superior ao controle negativo ($a^* = 4,8$ vs. 3,2 no NC), ainda que distante do controle positivo com nitrito sintético ($a^* = 9,8$). O extrato de alface fermentado (FL) produziu o pior resultado cromático ($a^* = 0,3$), abaixo até do controle sem nitrito, o que os autores atribuem ao impacto visual da coloração amarelo-esverdeada intensa da alface fermentada ($b^* = 20,31$ e $L^* = 22,40$ no extrato puro) sobre a matriz cárnea. Aipo e beterraba apresentaram valores de vermelhidão superiores aos do NC. Contudo, esse incremento não foi suficiente para reproduzir a coloração característica de produtos curados.

O ângulo de matiz (H°) reforça essa interpretação: valores próximos a 45° (como no PC, H° = 44,0°) indicam uma tonalidade vermelho-alaranjada característica de cura,

enquanto valores próximos a 90° aproximam-se do amarelo. Após o cozimento, todos os tratamentos formulados com fontes naturais apresentaram valores de H° superiores ao controle positivo, sendo o tratamento com alface fermentada (FL) o que apresentou maior deslocamento cromático (H° = 89,0°).

A diferença total de cor (ΔE^*) entre os tratamentos e o controle negativo confirma que as fontes naturais promoveram diferentes intensidades de alteração cromática no produto. O espinafre fermentado apresentou a menor diferença de cor ($\Delta E^* = 2,0$), seguido pelo aipo ($\Delta E^* = 2,2$) e pela beterraba ($\Delta E^* = 2,6$), enquanto a alface apresentou a maior alteração cromática ($\Delta E^* = 5,2$). Esses resultados indicam que o espinafre fermentado promoveu maior proximidade visual em relação ao padrão de cor desejado para produtos curados. Dessa forma, entre as fontes vegetais avaliadas por Hwang *et al.* (2018), o espinafre fermentado demonstrou maior potencial tecnológico para aplicação em produtos cárneos curados, especialmente quando associado à redução parcial (e não à eliminação completa) do nitrito sintético.

Kim *et al.* (2019b) obtiveram resultados cromáticos superiores com acelga fermentada, demonstrando que a eficácia das fontes naturais não se limita ao espinafre. A Tabela 22 apresenta os parâmetros de cor e a eficiência de cura para os lombos curados com solução de acelga fermentada (FSC) em diferentes concentrações.

Tabela 22 - Características de cor e eficiência de cura do lombo de porco curado com fonte natural de nitrito proveniente de acelga fermentada (FSC) (média $\pm$ desvio padrão).

Características	Tratamentos					
	PC	NC	T1	T2	T3	T4
Cru						
L*	51,77 $\pm$ 1,52	63,96 $\pm$ 0,83	44,73 $\pm$ 1,52	36,22 $\pm$ 1,05	38,27 $\pm$ 0,69	33,60 $\pm$ 0,48
a*	8,60 $\pm$ 0,84	6,11 $\pm$ 0,64	5,56 $\pm$ 0,67	6,80 $\pm$ 0,62	6,49 $\pm$ 0,27	8,37 $\pm$ 0,22
b*	4,88 $\pm$ 0,79	1,82 $\pm$ 0,50	4,65 $\pm$ 1,48	3,32 $\pm$ 0,32	6,97 $\pm$ 0,96	9,56 $\pm$ 0,90
Cozido						
L*	72,50 $\pm$ 0,48	69,76 $\pm$ 0,24	74,91 $\pm$ 0,33	68,71 $\pm$ 0,54	68,58 $\pm$ 0,48	66,71 $\pm$ 0,35
a*	8,47 $\pm$ 0,33	5,80 $\pm$ 0,14	5,26 $\pm$ 0,27	5,32 $\pm$ 0,30	8,62 $\pm$ 0,05	9,08 $\pm$ 0,48
b*	5,55 $\pm$ 0,07	7,89 $\pm$ 0,20	8,42 $\pm$ 0,25	8,88 $\pm$ 0,15	8,04 $\pm$ 0,10	7,30 $\pm$ 0,14
Pigmento de cura (ppm)	33,93 $\pm$ 3,94	19,65 $\pm$ 1,66	20,16 $\pm$ 0,77	18,85 $\pm$ 1,97	31,97 $\pm$ 1,16	40,46 $\pm$ 3,99
Pigmento total (ppm)	39,44 $\pm$ 0,79	37,06 $\pm$ 1,18	32,47 $\pm$ 0,65	28,90 $\pm$ 0,39	35,70 $\pm$ 1,17	44,88 $\pm$ 0,96
Eficiência de cura (%)	86,03 $\pm$ 9,81	53,07 $\pm$ 4,98	62,09 $\pm$ 2,57	65,24 $\pm$ 6,99	89,56 $\pm$ 1,19	90,19 $\pm$ 9,41

PC: 120 ppm NaNO₂; NC: controle sem nitrito; T1–T4: concentrações crescentes de FSC (10:30 a 40:0, FSC:água).
Fonte: Kim *et al.* (2019b).

O dado mais expressivo da Tabela 22 é que, após o cozimento, o tratamento T4, utilizando exclusivamente solução de acelga fermentada como agente de cura, sem qualquer

adição de nitrito sintético, apresentou vermelhidão ($a^* = 9,08 \pm 0,48$) e eficiência de cura ($90,19 \pm 9,41\%$) estatisticamente superiores ao controle positivo com nitrito sintético ($a^* = 8,47 \pm 0,33$; eficiência = 86,03; $p < 0,05$). Kim *et al.* (2019b) atribuem esse desempenho à ação combinada de dois fatores: o pH ácido da FSC (5,24), que favorece a redução do nitrito a óxido nítrico, e a presença de polifenóis e flavonoides da acelga, que atuam como redutores naturais acelerando a formação de nitrosohemocromo e retardando sua oxidação. T1 e T2, com concentrações menores de FSC, produziram vermelhidão inferior ao NC, indicando quantidade insuficiente de nitrito para a formação de pigmentos em concentração apreciável.

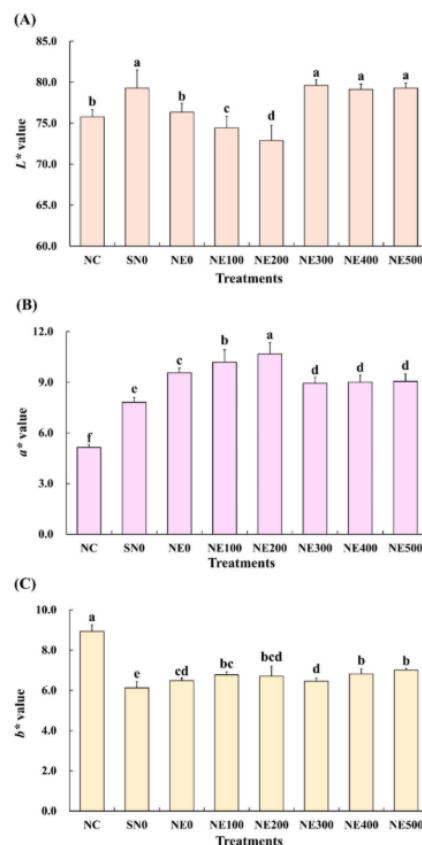
Kim *et al.* (2019c) investigaram especificamente o efeito do período de incubação (variando de 3 a 48 horas) sobre as características do lombo suíno curado com suco de espinafre e cultura iniciadora de *Staphylococcus carnosus*, com o objetivo de identificar o tempo ótimo de incubação. O estudo complementa diretamente os trabalhos de Kim *et al.* (2019a) e Hwang *et al.* (2018), que empregaram espinafre pré-fermentado de forma padronizada, ao examinar a dinâmica da conversão de nitrato a nitrito ao longo do tempo de incubação, variável crítica para a eficácia do processo de cura com fontes naturais. Os tratamentos foram denominados de acordo com o tempo de incubação: I3, I6, I9, I12, I24 e I48 horas, além de um controle positivo contendo 120 ppm de NaNO_2 (+), um controle negativo sem nitrito (-) e um tratamento com nitrito pré-convertido de espinafre (PC).

Os resultados revelaram uma relação diretamente proporcional entre o tempo de incubação e o desenvolvimento da cor curada. No lombo suíno cozido, observou-se um incremento progressivo nos valores de vermelhidão (a^*), que evoluíram de 3,99 (I3) para 10,10 (I48), evidenciando que o prolongamento da atividade da cultura starter potencializou a conversão de nitrato em nitrito e a subsequente formação de nitrosil-hemocromo. Notavelmente, a partir de 24 horas de incubação (I24), a intensidade de vermelho superou instrumentalmente o controle positivo elaborado com nitrito sintético (9,54 vs. 8,36; $p < 0,05$), demonstrando a alta eficiência da cura via espinafre.

Paralelamente, houve uma redução sistemática no ângulo de matiz (H°) e no amarelidão (b^*) com o aumento do tempo de processamento, sinalizando uma saturação cromática mais favorável ao perfil de produtos curados. Contudo, apesar da superioridade colorimétrica dos tratamentos prolongados, os autores recomendam a incubação por 24 horas como o limite tecnológico ideal. Esse veredito sustenta-se na análise sensorial, que demonstrou que o tempo de 48 horas, embora eficaz na pigmentação, compromete drasticamente o sabor e a aceitabilidade global do produto devido ao aroma residual excessivo do vegetal fermentado.

Kim *et al.* (2025) avaliaram a utilização do extrato de *Angelica keiskei* como fonte natural de compostos bioativos em lombo suíno curado submetido à alta pressão hidrostática (HHP). Além de apresentar elevada atividade antioxidante, o extrato de *Angelica keiskei* exerceu influência significativa sobre os parâmetros de cor do lombo curado. Conforme demonstrado na Figura 10, os tratamentos contendo NCA apresentaram valores de vermelhidão (a^*) superiores aos observados no controle elaborado com nitrito sintético (SN0). Os maiores valores foram registrados nos tratamentos NE100 e NE200, indicando que a aplicação de pressões moderadas potencializou o desenvolvimento da coloração característica de produtos curados. Em contrapartida, pressões superiores a 300 MPa resultaram em redução progressiva da vermelhidão, sugerindo que níveis excessivos de HHP podem comprometer a estabilidade dos pigmentos responsáveis pela cor de cura.

Figura 10 - Influência do extrato de *Angelica keiskei* e da alta pressão hidrostática (HHP) nos valores (A) L^* , (B) a^* e (C) b^* do lombo de porco.

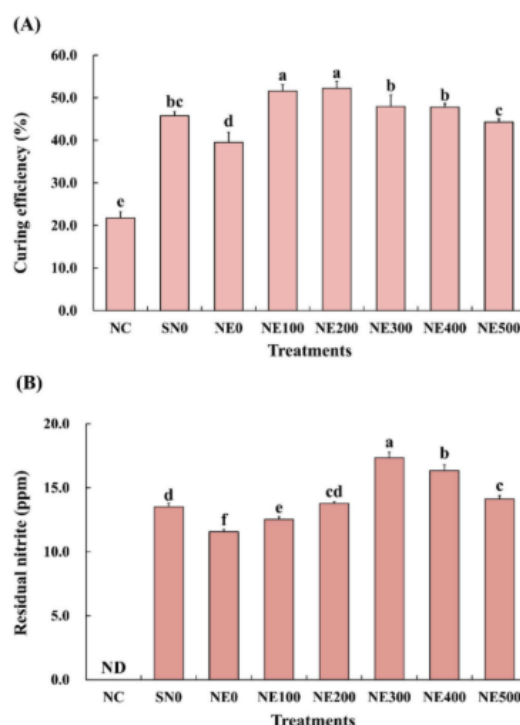


Fonte: Kim *et al.* (2025).

Os resultados de eficiência de cura corroboram essa interpretação. Conforme apresentado na Figura 11, os tratamentos submetidos a 100 e 200 MPa apresentaram os maiores percentuais de conversão da mioglobina total em nitrosil-hemocromo, pigmento responsável

pela coloração rosada característica dos produtos curados. Kim *et al.* (2025) demonstraram ainda forte correlação positiva entre a eficiência de cura e os valores de a^* ($r = 0,88$), indicando que o aumento da vermelhidão observado nos tratamentos com NCA está diretamente associado à maior formação dos pigmentos de cura.

Figura 11 - Influência do extrato de *Angelica keiskei* e da alta pressão hidrostática (HHP) na (A) eficiência de cura e (B) teor residual de nitrito do lombo de porco.



Fonte: Kim *et al.* (2025).

O teor residual de nitrito também apresentou comportamento dependente da pressão aplicada. Os tratamentos submetidos a pressões moderadas mantiveram concentrações residuais compatíveis com elevada eficiência de cura, enquanto pressões mais elevadas reduziram simultaneamente a eficiência de conversão e a intensidade da coloração vermelha.

De forma semelhante ao observado nos estudos com espinafre e acelga fermentados, os resultados demonstram que fontes vegetais ricas em compostos fenólicos podem atuar não apenas como agentes antioxidantes, mas também como promotoras da reação de cura. Entre as condições avaliadas por Kim *et al.* (2025), a faixa de 100 a 200 MPa apresentou o melhor equilíbrio entre intensidade de vermelhidão, eficiência de cura e estabilidade tecnológica, evidenciando o potencial da *Angelica keiskei* como ingrediente funcional para formulações cárneas curadas com menor dependência de nitrito sintético.

5.5.1.2 *Bougainvillea spectabilis*

A *Bougainvillea spectabilis* confere coloração ao presunto suíno cozido por mecanismo quimicamente distinto de todas as demais fontes discutidas: a deposição de betalaínas — pigmentos nitrogenados de origem vegetal — na matriz cárnea gera aparência avermelhada sem qualquer reação com a mioglobina e sem formação de nitrosohemocromo. A ausência de nitrito em todas as formulações (confirmada pelo método de Griess modificado) implica que toda a proteção cromática é atribuível exclusivamente aos bioativos da planta. A Tabela 23 apresenta os resultados dos parâmetros de cor avaliados durante 0, 4 e 8 semanas de armazenamento refrigerado. Entre os resultados obtidos, o parâmetro a^* apresentou maior relevância tecnológica, uma vez que está diretamente associado à aparência típica de produtos curados.

Tabela 23 - Resultados dos parâmetros de cor (L , a^* e b^*) durante o período de armazenamento (0, 4 e 8 semanas) (média $\pm$ desvio padrão).

		Armazenamento (Semanas)		
Formulação		0	4	8
L	C	64,06 $\pm$ 0,51	63,49 $\pm$ 0,26	66,62 $\pm$ 0,36
	C-NO ₂	62,49 $\pm$ 0,53	61,90 $\pm$ 0,56	62,55 $\pm$ 0,40
	F1	64,32 $\pm$ 0,23	62,70 $\pm$ 0,32	63,77 $\pm$ 0,25
	F2	64,40 $\pm$ 0,57	62,38 $\pm$ 0,31	63,93 $\pm$ 0,08
	F3	63,57 $\pm$ 0,34	59,22 $\pm$ 0,75	61,20 $\pm$ 0,40
	F4	62,83 $\pm$ 0,40	61,07 $\pm$ 0,59	63,49 $\pm$ 0,47
	F5	62,43 $\pm$ 0,47	59,66 $\pm$ 0,23	61,00 $\pm$ 0,09
a^*	C	4,62 $\pm$ 0,42	5,90 $\pm$ 0,21	4,97 $\pm$ 0,08
	C-NO ₂	8,35 $\pm$ 0,39	8,60 $\pm$ 0,83	9,27 $\pm$ 0,93
	F1	5,24 $\pm$ 0,20	6,10 $\pm$ 0,32	6,08 $\pm$ 0,04
	F2	6,13 $\pm$ 0,15	7,12 $\pm$ 0,31	8,64 $\pm$ 0,02
	F3	8,30 $\pm$ 0,56	10,63 $\pm$ 0,26	10,32 $\pm$ 0,23
	F4	6,54 $\pm$ 0,41	8,43 $\pm$ 0,28	8,37 $\pm$ 0,24
	F5	7,50 $\pm$ 0,29	8,61 $\pm$ 0,80	11,44 $\pm$ 0,06
b^*	C	15,93 $\pm$ 0,56	15,56 $\pm$ 0,65	16,05 $\pm$ 0,40
	C-NO ₂	11,19 $\pm$ 0,28	13,09 $\pm$ 0,38	13,02 $\pm$ 0,81
	F1	14,97 $\pm$ 0,31	16,01 $\pm$ 0,25	14,89 $\pm$ 0,35
	F2	15,18 $\pm$ 0,59	14,52 $\pm$ 0,31	13,26 $\pm$ 0,42
	F3	14,41 $\pm$ 0,14	14,17 $\pm$ 0,08	12,32 $\pm$ 0,21
	F4	13,44 $\pm$ 0,38	13,41 $\pm$ 0,53	11,16 $\pm$ 0,49
	F5	12,92 $\pm$ 0,11	12,36 $\pm$ 0,30	10,74 $\pm$ 0,63

C: controle sem nitrito; C-NO₂: 150 mg NaNO₂/kg; F1: 0,05% BF; F2: 0,1% BF; F3: 0,25 BF; F4: 0,1% BA; F5: 0,1% BO. Fonte: Ferreira *et al.* (2024).

Após oito semanas de armazenamento, o controle sem nitrito apresentou valor de a^* igual a 4,97 $\pm$ 0,08, enquanto o tratamento contendo nitrito registrou 9,27 $\pm$ 0,93. Entre as formulações adicionadas de *Bougainvillea spectabilis*, destacaram-se F3 e F5, com valores de a^* iguais a 10,32 $\pm$ 0,23 e 11,44 $\pm$ 0,06, respectivamente, os quais apresentaram aumento

progressivo significativo ao longo do armazenamento. O desempenho da formulação F5 foi particularmente expressivo, superando inclusive o tratamento com nitrito quanto à manutenção da vermelhidão ao final do armazenamento. Ferreira *et al.* (2024) atribuem esse comportamento incomum à proteção antioxidante dos compostos fenólicos sobre os pigmentos betalaínicos, que retarda sua degradação oxidativa, intensificando a coloração ao longo do armazenamento, padrão oposto ao dos produtos com nitrito, onde a oxidação progressiva escurece os pigmentos.

Os resultados relacionados à coloração não devem ser interpretados apenas sob perspectiva estética, uma vez que a estabilidade da cor em produtos cárneos está diretamente associada à preservação oxidativa do alimento. A manutenção dos valores de a^* nas formulações contendo buganvília sugere ação antioxidante capaz de reduzir a degradação de pigmentos e lipídios ao longo do armazenamento refrigerado. Essa hipótese é reforçada pelos resultados do parâmetro b^* , associado ao amarelamento do produto. Na oitava semana, o controle apresentou valor de $16,05 \pm 0,40$, enquanto F4 e F5 registraram $11,16 \pm 0,49$ e $10,74 \pm 0,63$, respectivamente, indicando menor tendência ao desenvolvimento de colorações indesejáveis.

5.5.1.3 Estabilidade cromática em Sistema de Embalagem Ativa com Extrato de Chá Verde e Óleo Essencial de Orégano

No estudo conduzido por Pateiro *et al.* (2019), observou-se que o parâmetro de vermelhidão (a^*) diminuiu progressivamente em todos os tratamentos de presunto cozido fatiado ao longo dos 21 dias de armazenamento refrigerado. Ao final do experimento, o tratamento ATGT (incorporado com 1% de extrato de chá verde) apresentou, numericamente, o maior grau de vermelhidão ($a^* = 8,86 \pm 0,62$), seguido pelo controle (CON; $a^* = 8,63 \pm 0,28$) e pelo tratamento contendo extrato de chá verde associado ao óleo essencial de orégano (ATRX; $a^* = 7,50 \pm 0,32$).

Os autores atribuem esse comportamento à capacidade dos sistemas ativos de retardar o crescimento microbiano durante o armazenamento. Conforme discutido na seção 5.3.6, os filmes ativos não exerceram efeito antioxidante mensurável sobre os lipídios da matriz carne, uma vez que os valores de TBARS permaneceram baixos e estatisticamente semelhantes entre os tratamentos. Dessa forma, a maior preservação da vermelhidão observada no ATGT parece estar associada principalmente ao controle das populações microbianas deterioradoras, favorecendo a manutenção da estabilidade dos pigmentos de cura ao longo da vida de prateleira.

Em suma, Pateiro *et al.* (2019) demonstram que, em matrizes cárneas de baixo teor lipídico acondicionadas em condições anaeróbicas, a eficácia das embalagens ativas com fitoquímicos sobre a cor pode estar mais relacionada ao seu efeito antimicrobiano do que à sua atividade antioxidante direta.

5.5.1.4 Percepção Sensorial da Cor pelos Consumidores

A correspondência entre os valores instrumentais de a^* e a percepção sensorial da cor foi avaliada nos estudos de Kim *et al.* (2019a), Kim *et al.* (2019b) e Ferreira *et al.* (2024). Em Kim *et al.* (2019a), todos os tratamentos de lombo suíno curados com espinafre (T1 – T4) receberam notas de cor estatisticamente equivalentes ao controle positivo (C+), apesar de T1 e T3 apresentarem valores instrumentais de a^* mais elevados. Esses resultados indicam que diferenças de a^* na faixa observada foram percebidas como igualmente adequadas do ponto de vista visual, enquanto o controle negativo (C–) apresentou a menor aceitação cromática, evidenciando que valores muito baixos de vermelhidão comprometem a aparência típica de produtos curados.

De forma semelhante, Kim *et al.* (2019b) observaram que o tratamento T4, com maior valor instrumental de a^* , recebeu nota de cor equivalente à do controle positivo, sugerindo que a intensidade cromática obtida com a acelga fermentada não foi percebida como excessiva pelos consumidores. Já as formulações com menores valores de a^* apresentaram avaliações sensoriais inferiores, reforçando que a percepção visual da cor depende não apenas da presença do pigmento de cura, mas também da intensidade cromática final alcançada no produto. Em Ferreira *et al.* (2024), os tratamentos F4 e F5 apresentaram notas de aspecto visual equivalentes ao controle com nitrito, demonstrando que a coloração conferida pelas betalaínas da *Bougainvillea spectabilis* foi sensorialmente compatível com a aparência esperada para presuntos curados, embora o mecanismo de formação do pigmento seja quimicamente distinto do nitrosohemocromo.

5.5.2 Flavor, Off-flavor e Percepção Aromática

Entre os atributos sensoriais avaliados em carnes processadas, o *flavor* (conjunto de sensações de sabor e aroma) e o *off-flavor* (sabor ou aroma indesejável) representam as dimensões mais sensíveis na reformulação com redução ou substituição do nitrito sintético. De acordo com Hwang *et al.* (2018), o nitrito de sódio desempenha um papel

fundamental ao conferir o flavor característico aos produtos curados, além de atuar na inibição da oxidação lipídica, processo que, se não controlado, gera compostos voláteis responsáveis pelo ranço. Complementarmente, Kim *et al.* (2019a) destacam que o nitrito atua como um potente realçador de sabor. A incorporação de hortaliças e extratos vegetais como fontes naturais de nitrito introduz fitoconstituintes voláteis exógenos que podem ser percebidos como *off-flavor* caso suas concentrações ultrapassem o limiar sensorial dos consumidores. Esse fenômeno é tipicamente dose-dependente e pode ser mitigado pela fermentação prévia dos extratos, que degrada compostos voláteis indesejáveis por ação metabólica da microbiota.

No estudo de Kim *et al.* (2019a), a utilização de espinafre evidenciou o impacto das hortaliças no perfil sensorial, apresentado pela Tabela 24. O tratamento T4, que utilizou suco de espinafre não fermentado, registrou os menores escores de *flavor* (5,38) e de *off-flavor* (5,25), diferindo do controle positivo. Os autores atribuem esse declínio na aceitação à persistência de notas vegetais típicas da planta. Em contrapartida, o tratamento T1 apresentou equivalência sensorial plena ao controle em todos os atributos, demonstrando que a pré-conversão por culturas iniciadoras é uma estratégia eficaz para neutralizar aromas indesejáveis e melhorar a aceitação sensorial.

Tabela 24 - Efeitos da adição parcial de nitrito de sódio na avaliação sensorial de carne curada crua com suco de espinafre (média $\pm$ desvio padrão).

Tratamento	Cor	Flavor	Off-flavor	Aceitação global
Controle (-)	6,00 $\pm$ 1,07	6,75 $\pm$ 0,46	6,50 $\pm$ 0,76	6,50 $\pm$ 0,93
Controle (+)	7,63 $\pm$ 0,74	7,13 $\pm$ 0,35	7,00 $\pm$ 0,41	7,13 $\pm$ 0,35
T1	7,38 $\pm$ 0,92	6,50 $\pm$ 0,53	6,50 $\pm$ 0,53	6,63 $\pm$ 0,74
T2	7,50 $\pm$ 0,53	6,00 $\pm$ 1,31	6,25 $\pm$ 1,04	5,88 $\pm$ 1,25
T3	7,00 $\pm$ 0,76	6,13 $\pm$ 0,64	6,13 $\pm$ 0,64	6,13 $\pm$ 0,83
T4	7,13 $\pm$ 0,83	5,38 $\pm$ 0,92	5,25 $\pm$ 1,04	5,43 $\pm$ 0,79

Escala: 1 = extremamente indesejável; 9 = extremamente desejável. Controle (-): sem nitrito; Controle (+): 0,08% nitrito sintético; T1: espinafre fermentado + 0,04% NaNO₂; T2: suco de espinafre + 0,04% NaNO₂ + cultura; T3: espinafre fermentado, sem NaNO₂; T4: suco de espinafre + cultura. Fonte: Kim *et al.* (2019a).

Os resultados de Kim *et al.* (2019b), apresentados na Tabela 25, mostram que a solução de acelga suíça fermentada não comprometeu os atributos sensoriais do lombo curado. Nenhum dos níveis de adição de FSC afetou significativamente flavor, off-flavor, mastigabilidade, suculência ou aceitação global. Em comparação com o espinafre, esse resultado sugere um perfil aromático mais neutro da acelga fermentada após o processamento térmico, o que favorece sua aplicação tecnológica como fonte natural de nitrito.

Tabela 25 - Propriedades sensoriais do lombo de porco curado com fonte natural de nitrito proveniente de acelga fermentada (FSC) (média $\pm$ desvio padrão).

Tratamento	Cor	Flavor	Off-flavor	Mastigabilidade	Suculência	Aceitação global
PC	8,25 ± 0,96	7,50 ± 1,05	7,50 ± 1,05	7,33 ± 0,52	7,17 ± 0,41	7,50 ± 0,84
NC	6,00 ± 0,82	7,00 ± 0,89	6,33 ± 1,37	7,17 ± 0,75	6,67 ± 0,82	6,17 ± 0,41
T1	6,25 ± 0,50	6,50 ± 1,22	6,83 ± 1,33	7,00 ± 1,26	6,67 ± 1,37	6,67 ± 1,21
T2	6,75 ± 1,26	6,50 ± 0,55	6,67 ± 0,82	6,83 ± 0,75	6,67 ± 0,52	6,40 ± 0,55
T3	6,75 ± 0,50	6,67 ± 1,03	7,00 ± 0,89	7,17 ± 0,98	6,67 ± 0,52	6,83 ± 0,98
T4	7,75 ± 0,50	6,33 ± 1,03	6,50 ± 1,05	7,17 ± 0,75	6,50 ± 0,84	6,83 ± 0,75

Escala: 1 = extremamente indesejável; 9 = extremamente desejável. PC, controle positivo, 120 ppm de nitrito; NC, controle negativo, sem nitrito; T1, solução FSC:água = 10:30; T2, solução FSC:água = 20:20; T3, solução FSC:água = 30:10; T4, solução FSC:água = 40:0. Fonte: Kim *et al.* (2019b).

Em Ferreira *et al.* (2024), os resultados sensoriais da Tabela 26 indicam que os atributos de odor e sabor não foram alterados significativamente pela adição de *Bougainvillea spectabilis* em nenhuma das formulações avaliadas. A formulação F3 apresentou menor aceitação global em relação a F4 e F5, mas essa diferença esteve associada principalmente à percepção visual, e não a alterações de odor ou sabor. Assim, o estudo reforça que, quando bem formulados, ingredientes vegetais podem substituir parcialmente o nitrito sem comprometer de forma relevante a percepção aromática do produto.

Tabela 26 - Resultados do painel sensorial (média ± desvio padrão).

Formulação	Aspecto Visual	Odor	Sabor	Aceitação global
C	3,35 ± 1,37	4,53 ± 1,07	4,94 ± 1,14	4,88 ± 1,05
C-NO ₂	6,24 ± 1,15	4,53 ± 1,62	5,41 ± 1,42	5,47 ± 1,42
F1	4,29 ± 1,40	4,82 ± 1,19	5,12 ± 1,05	4,88 ± 0,83
F2	4,65 ± 1,32	4,29 ± 1,10	5,06 ± 1,25	4,88 ± 0,93
F3	4,59 ± 1,33	4,24 ± 1,56	4,59 ± 1,37	4,29 ± 1,65
F4	5,65 ± 1,41	4,65 ± 1,32	5,24 ± 1,09	5,24 ± 1,09
F5	5,41 ± 1,28	4,76 ± 1,25	5,18 ± 1,63	5,18 ± 1,33

Escala: 1 = muito desagradável; 7 = excelente. C, controle sem nitrito e sem buganvília; C- NO₂, com 150mg/kg de nitrito; F1, F2 e F3 com 0,05%, 0,1% e 0,25% de pó de buganvília na forma de espuma BF, respectivamente; F4 com 0,1% de BA; F5 com 0,1% de BO. Fonte: Ferreira *et al.* (2024).

Sob a ótica sensorial aromática, a embalagem ativa com extrato de chá verde e óleo essencial de orégano não introduziu notas sensoriais atípicas perceptíveis pelos avaliadores durante os 21 dias de armazenamento. Segundo Pateiro *et al.* (2019), não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos CON, ATGT e ATRX ($p>0,05$), situando-se consistentemente entre os níveis 'excelente' e 'bom' da escala hedônica de cinco pontos utilizada. Esse resultado é tecnicamente relevante, pois ratifica que a migração controlada dos compostos bioativos do filme para a superfície da matriz cárnea ocorreu em concentrações inferiores ao limiar sensorial humano para tais fitoconstituintes. Em termos práticos, a manutenção da neutralidade aromática, associada à eficácia antimicrobiana dos sistemas ativos, valida a viabilidade comercial desta tecnologia para o presunto fatiado,

uma vez que o consumidor não percebe discrepâncias sensoriais em comparação à embalagem convencional.

Ao investigar o impacto de diferentes agentes de salga, Choi *et al.* (2016) demonstraram que o tipo de sal constitui um fator determinante para o perfil sensorial do lombo suíno curado. O sal refinado apresentou os maiores escores de *flavor* (7,44) e aceitação global (7,67), enquanto o sal de bambu exibiu desempenho inferior (6,50 e 6,89, respectivamente; $p < 0,05$), conforme detalhado na Tabela 27. De acordo com os autores, essa diferença pode estar associada ao sabor residual característico do sal de bambu, decorrente do processo de fabricação, no qual sucessivos ciclos de pirólise favorecem a incorporação de compostos sulfurados que conferem ao produto final um aroma e sabor atípicos. Esse comportamento representa uma limitação tecnológica importante para sua aplicação industrial, considerando que o *flavor* é um dos atributos com maior influência sobre a intenção de recompra.

Tabela 27 - Efeito de diferentes sais nas características sensoriais do lombo de porco curado (média $\pm$ desvio padrão).

Parâmetro	Sal refinado	Sal solar	Sal de bambu
Cor	7,70 $\pm$ 0,67	7,72 $\pm$ 0,55	7,71 $\pm$ 0,76
<i>Flavor</i>	7,44 $\pm$ 0,73	7,01 $\pm$ 0,60	6,50 $\pm$ 0,52
Suculência	7,56 $\pm$ 0,72	6,89 $\pm$ 0,85	7,02 $\pm$ 0,78
Maciez	7,22 $\pm$ 0,24	6,44 $\pm$ 0,24	6,78 $\pm$ 0,39
Aceitação global	7,67 $\pm$ 0,50	6,78 $\pm$ 0,83	6,89 $\pm$ 0,33

Escala: 1 = extremamente indesejável; 10 = extremamente desejável. Fonte: Choi *et al.* (2016).

Por outro lado, o sal solar apresentou neutralidade sensorial, com escores estatisticamente equivalentes aos do sal refinado ($p > 0,05$). Embora o sal de bambu tenha demonstrado maior eficácia antioxidante instrumental, com menores valores de TBARS, essa superioridade química não se traduziu em vantagem perceptível na coloração, uma vez que os escores de cor não diferiram significativamente entre as três fontes de sal ($p > 0,05$). Em conjunto, os resultados indicam que a aceitação sensorial final depende do equilíbrio entre *flavor*, ausência de notas indesejáveis e estabilidade tecnológica, evidenciando que ganhos funcionais nem sempre são suficientes para assegurar desempenho sensorial favorável.

5.5.3 Síntese: Aspectos Sensoriais e Cromáticos

A análise integrada dos estudos selecionados indica que a viabilidade sensorial e cromática da reformulação de produtos cárneos suínos depende, sobretudo, da escolha da fonte vegetal e das condições tecnológicas de sua aplicação. Em diferentes matrizes,

o espinafre e a acelga fermentados mostraram maior potencial para promover cor semelhante ou superior à obtida com nitrito sintético, especialmente quando associados à redução de compostos voláteis indesejáveis por meio da fermentação prévia. A *Angelica keiskei* também demonstrou desempenho promissor, com melhoria da vermelhidão e da eficiência de cura sob condições de pressão moderada, evidenciando que compostos vegetais bioativos podem favorecer a formação e a estabilidade dos pigmentos de cura. A *Bougainvillea spectabilis* conferiu coloração compatível com o padrão esperado de produtos curados por mecanismo distinto do nitroso-hemocromo, sem comprometer odor ou sabor. Além disso, a embalagem ativa com extrato de chá verde e óleo essencial de orégano preservou a estabilidade cromática e sensorial durante o armazenamento, enquanto o sal de bambu, apesar de apresentar propriedades antioxidantes, foi limitado por notas sensoriais sulfuradas.

Em conjunto, esses achados sustentam que a substituição ou redução do nitrito sintético com manutenção de qualidade sensorial equivalente é tecnicamente alcançável em múltiplas categorias de produtos suínos, desde que a estratégia seja selecionada e otimizada em função das características específicas da matriz cárnea, do perfil sensorial do ingrediente e das expectativas do consumidor-alvo.

5.6 SÍNTESE DOS EXTRATOS E FONTES NATURAIS AVALIADOS

Quadro 5 - Comparativo dos extratos e fontes naturais avaliados para conservação de carne suína (Continua).

Extrato / Fonte Natural	Matéria-prima	Ação antioxidante	Ação antimicrobiana	Efeito na cor	Efeito sensorial	Potencial industrial
Extrato de semente de uva (GSE) <i>Libera et al. (2020)</i>	Sementes de uva	Alta Eficácia similar ao ascorbato de sódio na inibição da hidrólise e oxidação lipídica	Alta Inibiu e eliminou <i>Enterobacteriaceae</i> sem prejudicar o crescimento de bactérias probióticas	Positivo Estabilizou a cor vermelha e apresentou a menor variação cromática total durante o armazenamento	Não avaliado	Alto Resíduo vinícola de baixo custo; dupla ação: antioxidante e antimicrobiana
Dente-de-leão (Taraxacum officinale) <i>Wójciak et al. (2024)</i>	Folhas	Alta Rico em ácidos fenólicos e flavonoides, melhorou significativamente a estabilidade oxidativa (TBARS) em salsichas com nitrito reduzido	Moderada Garantiu a segurança microbiológica durante 81 dias de maturação, controlando coliformes e permitindo a fermentação por BAL	Não central	Não avaliado	Alto Planta de fácil obtenção; promissor, mas depende de definição mais precisa de dose e formulação
Bougainvillea spectabilis <i>Ferreira et al. (2024)</i>	Brácteas e flores	Alta Aumentou atividade antirradicalar (DPPH e ABTS), com manutenção da estabilidade oxidativa ao longo do armazenamento	Não avaliada	Muito positivo Melhorou a estabilidade da cor do presunto sem nitrito residual detectável	Boa aceitação Avaliação sensorial global favorável; apelo <i>clean label</i>	Alto Planta ornamental acessível; ausência de nitrito residual; bom potencial para ser aplicado como corante e antioxidante natural para produtos <i>clean label</i> e isentos de nitrito
Angelica keiskei e HHP <i>Kim et al. (2025)</i>	Folhas (extrato fermentado)	Alta Ajudou a minimizar oxidação lipídica e nitrito residual; apresentou elevada atividade antioxidante	Indireta A atuação principal foi como cura natural, não como antimicrobiano isolado	Muito positivo favoreceu boa formação de pigmento de cura e maior vermelhidão até 200 MPa	Positivo Melhorou maciez e qualidade tecnológica; não houve análise sensorial por humanos	Moderado/baixo Muito promissor, mas depende de alta pressão hidrostática, que possui um custo elevado; espécie de acesso limitado fora da Ásia

Quadro 5 – Comparativo dos extratos e fontes naturais avaliados para conservação de carne suína (Conclusão).

Extrato / Fonte Natural	Matéria-prima	Ação antioxidante	Ação antimicrobiana	Efeito na cor	Efeito sensorial	Potencial industrial
Espinafre fermentado com nitrito sintético <i>Kim et al. (2019a)</i>	Pó de espinafre	Alta Os valores de TBARS foram equivalentes aos do controle positivo com nitrito sintético	Alta Redução de contagens microbianas e ausência de <i>E. coli</i> e coliformes após cocção.	Positivo Maior vermelhidão em relação ao controle	Limitado Houve prejuízo de sabor e aceitabilidade global em algumas formulações	Alto Hortaliça comum; boa concentração de nitrito pré-convertido; fermentação simples
Espinafre com cultura starter e tempo de incubação <i>Kim et al. (2019c)</i>	Folhas de espinafre	Alta O índice TBARS reduziu proporcionalmente ao tempo de incubação	Não central/Moderada TVC (contagem total de bactérias viáveis) só detectado em incubações extremas (48h); controle de coliformes mantido (sem detecção)	Muito positivo A vermelhidão aumentou progressivamente com o tempo de incubação	Boa aceitação (24h); Limitação (48h) O tempo de 24h foi o ideal; períodos maiores geraram declínio drástico na aceitação geral e <i>flavor</i>	Moderado: útil, mas depende do tempo de incubação e do equilíbrio entre cor e aceitação
Espinafre, alface, aipo e beterraba fermentados <i>Hwang et al. (2018)</i>	Espinafre, alface, aipo e beterraba (plantas moídas até formação de pó)	Moderado/alto Espinafre e alface foram as fontes mais eficientes para reduzir TBARS	Moderada Ausência de <i>E. coli</i> e coliformes após cocção; VBN elevado no aipo (5,26 mg%), acima até do controle sem nitrito	Positivo (espinafre); Limitação (outros) O espinafre superou as demais fontes na manutenção do vermelho; alface e aipo geraram coloração mais parda	Não avaliado	Alto (espinafre) Baixo/Moderado (outros) Aipo potencialmente alergênico; limitações de cor com alface; promissor, mas dependente da fonte vegetal escolhida
Acelga suíça fermentada (FSC) <i>Kim et al. (2019b)</i>	Pó de acelga	Alta TBARS diminuiu com o aumento da concentração de FSC.	Não avaliada Foco em qualidade tecnológica	Muito positivo Melhorou a vermelhidão e a eficiência de cura	Boa aceitação Sem diferenças significativas em sabor, suculência e aceitação global	Alto Hortaliça acessível; uma das alternativas naturais mais viáveis pela neutralidade sensorial e eficácia cromática

Fonte: o Autor, 2026.

5.7 LIMITAÇÕES DOS ESTUDOS AVALIADOS E PERSPECTIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS

A análise integrada dos estudos selecionados, conduzida ao longo das seções anteriores, permite identificar não apenas os avanços promovidos pela literatura científica no campo das alternativas naturais à conservação de carne suína, mas também um conjunto de limitações presentes tanto nos estudos primários avaliados quanto no próprio delineamento desta revisão. O reconhecimento dessas limitações é fundamental para a correta interpretação dos resultados apresentados e, ao mesmo tempo, permite delinear uma agenda de pesquisa para trabalhos futuros.

5.7.1 Limitações

As limitações identificadas distribuem-se em dois planos complementares: aquelas inerentes aos estudos primários que compõem a amostra e aquelas relativas à abordagem metodológica adotada na presente revisão sistemática.

No que se refere às limitações dos estudos avaliados, a heterogeneidade das matrizes cárneas constitui o principal fator que dificulta a síntese comparativa dos resultados. Os dez estudos selecionados abrangem cinco categorias distintas de produtos suínos (presunto cozido, lombo curado, linguiça maturada a cru, salsicha e pescoço fermentado a seco), cada uma com composição centesimal, pH, atividade de água, teor lipídico e condições de processamento distintas. Essa diversidade impede comparações diretas entre os ingredientes avaliados e limita a formulação de conclusões consolidadas acerca da eficácia relativa de cada alternativa natural em condições padronizadas.

A ausência de padronização metodológica entre os estudos primários representa outra limitação relevante. As diferenças nos métodos de extração dos compostos vegetais, nas concentrações testadas, nos períodos de armazenamento, nas temperaturas de conservação e nos parâmetros analíticos avaliados dificultam a comparação direta entre os resultados reportados. Além disso, a maior parte dos estudos foi conduzida em escala laboratorial, sem considerar as variáveis inerentes ao processamento industrial, como a homogeneidade de distribuição dos ingredientes em grandes volumes de produto e a reprodutibilidade em linhas de produção contínua.

Do ponto de vista microbiológico, a lacuna mais significativa identificada nos estudos avaliados é a ausência de ensaios de desafio com *Clostridium botulinum* e *Listeria*

monocytogenes sob condições controladas de inoculação deliberada. Esses patógenos são os de maior relevância regulatória para a substituição do nitrito sintético em produtos curados, e a inexistência de dados experimentais diretos sobre o comportamento das alternativas vegetais frente a eles impede conclusões definitivas sobre a segurança microbiológica das formulações propostas. Sem essa evidência, não é possível afirmar que os ingredientes naturais avaliados são capazes de garantir, isoladamente, um nível de segurança equivalente ao do nitrito sintético nas condições reais de processamento e armazenamento.

A avaliação sensorial também foi conduzida de forma incompleta em parte dos estudos. Vários trabalhos não avaliaram atributos como *flavor*, *off-flavor*, textura e aceitação global, e os que o fizeram empregaram escalas e critérios distintos, o que inviabiliza comparações diretas entre os ingredientes. Essa lacuna é particularmente relevante do ponto de vista da viabilidade comercial, pois a aceitação sensorial pelo consumidor é condição indispensável para a adoção industrial de qualquer alternativa.

A concentração geográfica dos estudos selecionados, com a maioria conduzida na Coreia do Sul e na Polônia, limita a extrapolação direta dos resultados para o contexto brasileiro, cujos padrões de consumo, preferências sensoriais, matérias-primas disponíveis e marco regulatório apresentam características distintas. Além disso, a ausência de um critério de inclusão específico para artigos conduzidos no Brasil constitui uma limitação da estratégia de seleção adotada, uma vez que a inclusão de estudos nacionais poderia ter proporcionado uma análise mais representativa da aplicabilidade dos compostos bioativos e extratos vegetais à realidade brasileira.

No que tange às limitações da própria revisão sistemática, a amostra final de dez estudos, resultado da aplicação sequencial dos critérios de inclusão e exclusão, é reduzida para permitir generalizações amplas. A utilização do VOSviewer como ferramenta auxiliar de seleção por relevância de coautoria, embora reforce a representatividade científica dos artigos incluídos, pode ter excluído trabalhos relevantes desenvolvidos por grupos menos inseridos nas redes de coautoria identificadas. De forma complementar, a restrição aos idiomas inglês, português e espanhol e a exigência de acesso aberto podem ter deixado de fora estudos publicados em outros idiomas ou em periódicos restritos.

5.7.2 Perspectivas para Trabalhos Futuros

Os resultados desta revisão e as limitações identificadas nos estudos avaliados permitem delinear um conjunto de direções prioritárias para o avanço do conhecimento científico sobre o uso de compostos vegetais bioativos na conservação da carne suína.

A realização de estudos de desafio microbiológico com *Clostridium botulinum* e *Listeria monocytogenes* representa a prioridade mais urgente nessa agenda de pesquisa. A substituição ou redução do nitrito sintético em produtos cárneos curados somente poderá ser regulamentada e adotada em escala industrial após a demonstração experimental de que as alternativas naturais são capazes de inibir o crescimento desses patógenos em níveis equivalentes ou superiores ao aditivo convencional.

O desenvolvimento de estudos voltados à padronização dos processos de extração e à caracterização química dos ingredientes vegetais é igualmente necessário. A variabilidade na composição dos extratos, decorrente de diferenças no cultivo, estágio de maturação, condições climáticas e método de extração, constitui obstáculo significativo à reprodutibilidade dos resultados e à implementação industrial em escala. A definição de especificações de qualidade para os extratos destinados à aplicação em carnes contribuiria diretamente para superar essa barreira.

A investigação de fontes vegetais nativas do Brasil e da América Latina representa uma oportunidade científica e tecnológica ainda pouco explorada. Espécies ricas em compostos fenólicos com reconhecida atividade antioxidante e antimicrobiana, como erva-mate (*Ilex paraguariensis*), acerola (*Malpighia emarginata*), jabuticaba (*Plinia cauliflora*) e caju (*Anacardium occidentale*), entre outras, têm potencial para serem avaliadas como alternativas localmente disponíveis e economicamente viáveis, ampliando as possibilidades de aplicação na indústria cárnea nacional.

O desenvolvimento de estudos fundamentados no conceito de tecnologia de barreiras (hurdle technology) também merece atenção especial em pesquisas futuras. A combinação de extratos vegetais com outras estratégias de conservação (como culturas iniciadoras, embalagem ativa, fermentação controlada, alta pressão hidrostática e atmosfera modificada) pode permitir a redução das concentrações individuais dos ingredientes necessárias para atingir os efeitos desejados, minimizando o risco de alterações sensoriais indesejáveis e ampliando a segurança microbiológica dos produtos. O estudo das interações entre esses diferentes elementos, incluindo possíveis efeitos sinérgicos ou antagônicos, deve integrar as agendas de pesquisa em tecnologia de carnes.

Pesquisas voltadas ao escalonamento dos processos laboratoriais para condições industriais são indispensáveis para a validação das soluções identificadas. A maioria dos estudos disponíveis avaliou a eficácia dos ingredientes vegetais em escala laboratorial, sem considerar variáveis como a homogeneidade de distribuição dos extratos em grandes volumes de produto, a estabilidade dos compostos bioativos durante as etapas de processamento térmico em larga escala e a reprodutibilidade em linhas de produção contínua. Estudos em escala piloto e, subsequentemente, em unidades industriais reais são essenciais para confirmar a aplicabilidade tecnológica das formulações propostas.

Por fim, pesquisas de aceitação sensorial com consumidores brasileiros, considerando as preferências culturais e os padrões de consumo nacionais, são necessárias para avaliar a receptividade do mercado a produtos cárneos reformulados com ingredientes vegetais. A avaliação da disposição dos consumidores a pagar por produtos com menor teor de aditivos sintéticos, associada à análise de viabilidade econômica das formulações propostas, forneceria subsídios importantes para orientar as decisões da indústria e das agências regulatórias brasileiras na adoção de alternativas naturais à conservação de carnes suínas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão sistemática permitiu responder à questão de pesquisa ao demonstrar que os compostos bioativos vegetais mais relevantes e recorrentes na literatura para conservação da carne suína são, principalmente, os extratos ricos em compostos fenólicos, com destaque para semente de uva, dente-de-leão e *Bougainvillea spectabilis*. Esses ingredientes apresentaram resultados consistentes no controle da oxidação lipídica, na manutenção da qualidade tecnológica e na preservação das características sensoriais dos produtos cárneos. De modo geral, os estudos indicam que esses compostos possuem potencial para atuar como alternativas naturais aos conservantes sintéticos, especialmente quando associados a estratégias complementares de processamento e conservação.

Entre os extratos avaliados, o extrato de semente de uva destacou-se por apresentar elevada eficiência na redução da oxidação lipídica e no controle de microrganismos indesejáveis, sem comprometer o desenvolvimento de bactérias benéficas em produtos fermentados. O dente-de-leão também demonstrou atividade antioxidante expressiva e boa aplicabilidade tecnológica em linguças maturadas com teor reduzido de nitrito. Já a *Bougainvillea spectabilis* apresentou resultados favoráveis quanto à estabilidade oxidativa e à aceitação sensorial, evidenciando potencial para aplicação em produtos com apelo *clean label*.

A análise crítica dos estudos demonstrou, entretanto, que nem todos os ingredientes naturais apresentam o mesmo nível de eficácia tecnológica. Algumas pesquisas identificaram limitações sensoriais importantes, especialmente em formulações contendo espinafre fermentado, nas quais foram observadas alterações negativas de sabor e redução da aceitação global. Esses resultados sugerem que o consumidor tende a tolerar melhor pequenas alterações de cor do que mudanças perceptíveis de aroma e sabor. Por outro lado, ingredientes como *Bougainvillea spectabilis* e acelga fermentada apresentaram melhor equilíbrio entre desempenho tecnológico e aceitação sensorial, reforçando sua viabilidade potencial.

Outro aspecto relevante refere-se à viabilidade industrial dessas soluções. A maioria dos trabalhos concentra-se na avaliação da eficácia laboratorial dos ingredientes vegetais, dedicando pouca atenção aos custos de produção, à escalabilidade dos processos e à compatibilidade com linhas industriais já existentes. Nesse contexto, observa-se certa tendência da literatura em associar ingredientes naturais a benefícios automáticos relacionados à saúde, sustentabilidade e aceitação do consumidor. Contudo, os resultados demonstram que a naturalidade, por si só, não garante superioridade tecnológica nem viabilidade comercial. A

aplicação industrial desses ingredientes depende de fatores como disponibilidade da matéria-prima, custo de obtenção, padronização da composição e facilidade de incorporação ao processo produtivo.

É necessário, contudo, reconhecer que as conclusões desta revisão são circunscritas pelas limitações dos estudos que a compõem. Nenhum dos trabalhos avaliados realizou ensaios de desafio com *Clostridium botulinum* ou *Listeria monocytogenes*, patógenos de maior relevância regulatória para a substituição do nitrito sintético, o que impede afirmações definitivas sobre a segurança microbiológica das formulações propostas. Soma-se a isso a heterogeneidade das matrizes cárneas avaliadas, a concentração geográfica dos estudos, conduzidos predominantemente na Coreia do Sul e na Polônia, e o caráter majoritariamente laboratorial das pesquisas, ainda não transposto para validação em escala industrial.

Em síntese, os extratos vegetais ricos em compostos fenólicos representam alternativas promissoras para a conservação da carne suína, especialmente em formulações que buscam reduzir o uso de conservantes sintéticos. Entretanto, a consolidação dessas soluções na indústria depende de estudos adicionais voltados à viabilidade econômica, à validação em escala industrial, à segurança microbiológica e à aceitação do consumidor, aproximando os resultados experimentais das condições reais de produção.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). **ABPA lança Relatório Anual 2026 com dados oficiais da avicultura e da suinocultura do Brasil**. São Paulo: ABPA, 2026. Disponível em: <<https://abpa-br.org/noticias/abpa-lanca-relatorio-anual-2026-com-dados-oficiais-da-avicultura-e-da-suinocultura-do-brasil/>>. Acesso em: 18 maio 2026.

AQUINO, A. A. **Tecnologia de produtos de origem animal**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2017. 168 p. ISBN 978-85-8482-859-3. Disponível em: <https://cm-kl-content.s3.amazonaws.com/201701/INTERATIVAS_2_0/TECNOLOGIA_DE_PRODUTOS_DE_ORIGEM_ANIMAL/U1/LIVRO_UNICO.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2025.

BEDALE, W.; SINDELAR, J. J.; MILKOWSKI, A. L. Dietary nitrate and nitrite: benefits, risks, and evolving perception. **Meat Science**, [S. l.], p. 1-16, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.008>.

BEYA, M. M.; NETZEL, M. E.; SULTANBAWA, Y.; SMYTH, H.; HOFFMAN, L. C. **Plant-Based Phenolic Molecules as Natural Preservatives in Comminuted Meats: A Review. Antioxidants**, v. 10, n. 2, art. 263, 2021.

BOUVARD, V.; LOOMIS, D.; GUHA, N.; GROSSE, Y.; EL GHISSASSI, F.; BENBRAHIM-TALLAA, L.; MATTIE, M. D.; STRAIF, K.; BOFFETTA, P.; SECRETAN, B. Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. **The Lancet Oncology**, v. 16, n. 16, p. 1599–1600, 2015. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)00444-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)00444-1).

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. **Resolução da Diretoria Colegiada — RDC nº 778, de 1º de março de 2023**. Dispõe sobre os princípios gerais, as funções tecnológicas e as condições de uso de aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia em alimentos. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 46, p. 108, 8 mar. 2023a. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-rdc-n-778-de-1-de-marco-de-2023-468499613>>. Acesso em: 17 maio 2026.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. **Instrução Normativa — IN nº 211, de 1º de março de 2023**. Estabelece as funções tecnológicas, os limites máximos e as condições de uso para os aditivos alimentares e os coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso em alimentos. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 46, p. 110-430, 8 mar. 2023b. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-211-de-1-de-marco-de-2023-468509746>>. Acesso em: 17 maio 2026.

BRASIL. **Guia alimentar para a população brasileira**. 2. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2014. 156 p. Disponível em: <https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_alimentar_populacao_brasileira_2ed.pdf>. Acesso em: 31 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). **Agronegócio brasileiro fecha 2025 com recorde em exportações de US\$ 169 bilhões e superávit de US\$ 149,07 bilhões**. Brasília, DF: MAPA, 2026. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt->

br/assuntos/noticias/agronegocio-brasileiro-fecha-2025-com-recorde-em-exportacoes-de-us-169-bilhoes-e-superavit-de-us-149-07-bilhoes>. Acesso em: 18 maio 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 22, de 24 de novembro de 2005**. Aprova o Regulamento Técnico para rotulagem de produto de origem animal embalado. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 25 nov. 2005. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/legislacao>>. Acesso em: 17 maio 2026.

CANADIAN FOOD INSPECTION AGENCY (CFIA). *Preventive control recommendations on the use of nitrites in the curing of meat products*. Ottawa: CFIA, 2021. Disponível em: <https://inspection.canada.ca/en/preventive-controls/meat/nitrites>. Acesso em: 2 jun. 2025.

CANTOR, K. P. Nitrate and nitrite in drinking water and methemoglobinemia risk: a review. *Environmental Health Perspectives*, v. 105, n. 1, p. 49–59, 1997.

CASSENS, R. G. *Meat preservation: preventing losses and assuring safety*. Trumbull, CT: Food & Nutrition Press, 1994.

CASTANHEIRA, F. *Cook-chill*. Trabalho de Investigação em Ciências da Nutrição. Porto: Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação, Universidade do Porto, 2009.

CHAN, D. S. M. et al. Red and processed meat and colorectal cancer incidence: meta-analysis of prospective studies. *PLoS ONE*, v. 6, n. 6, e20456, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020456>.

CHOI, Y.-S.; JEONG, T.-J.; HWANG, K.-E.; SONG, D.-H.; HAM, Y.-K.; KIM, Y.-B.; JEON, K.-H.; KIM, H.-W.; KIM, C.-J. Effects of various salts on physicochemical properties and sensory characteristics of cured meat. *Meat Science*, v. 83, n. 3, p. 403–408, 2009. DOI: 10.5851/kosfa.2016.36.2.152.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Produção de carnes se mantém acima de 31 milhões de toneladas em 2025**. Brasília, DF: Conab, 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-carne-se-mantem-acima-de-31-milhoes-de-toneladas-em-2025>>. Acesso em: 18 maio 2026.

DJENANE, D.; SÁNCHEZ-ESCALANTE, A.; BELTRÁN, J. A.; RONCALÉS, P. Extension of the shelf life of beef steaks packaged in modified atmosphere by antioxidant addition. *Meat Science*, v. 60, n. 1, p. 87–100, 2002.

DOMÍNGUEZ, R.; PATEIRO, M.; GAGAOUA, M.; BARBA, F. J.; ZHANG, W.; LORENZO, J. M. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*, Basel, v. 8, n. 10, artigo 429, 2019. DOI: 10.3390/antiox8100429. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/antiox8100429>>. Acesso em: 18 maio 2026.

EARLE, R. L. **Unit Operations in Food Processing**. 2. ed. Oxford: Pergamon Press, 1983. 314 p. ISBN 978-0-08-025536-1

FEITOSA, T. **Contaminação, conservação e alteração da carne**. Fortaleza: Embrapa-CNPAT, 1999. 24p. (Embrapa-CNPAT. Documentos, 34).

FELLOWS, P. J. *Food Processing Technology: Principles and Practice*. 2. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2000.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; SAYAS-BARBERÁ, E.; SENDRA, E.; NAVARRO, C.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A. Influence of storage conditions on the antioxidant activity of rosemary in meat products. *Meat Science*, v. 71, n. 3, p. 373–382, 2005.

FERREIRA, T. A.; RODRIGUEZ, J. A.; SÁNCHEZ-ORTEGA, I.; LORENZO, J. M.; SANTOS, E. M. Antioxidant activity of *Bougainvillea spectabilis* bracts as an alternative to nitrites in cooked pork ham. *Foods*, v. 13, n. 19, artigo 3070, 2024. DOI: 10.3390/foods13193070.

FERYSIUK, K.; WÓJCIAK, K. M. **Reduction of Nitrite in Meat Products through the Application of Various Plant-Based Ingredients**. *Antioxidants*, v. 9, 2020. DOI: 10.3390/antiox9080711.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Meat Market Review: Overview of global market developments in 2025**. Rome: FAO, 2026. Acesso em: 18 maio 2026.

FOOD SAFETY AND STANDARDS AUTHORITY OF INDIA (FSSAI). *Food Safety and Standards (Food Products Standards and Food Additives) Regulations, 2011*. New Delhi: FSSAI, 2011.

FRASER, D.; DUNCAN, I. J. H.; EDWARDS, S. A. *et al.* General principles for the welfare of animals in production systems: the underlying science and its application. *The Veterinary Journal*, v. 198, n. 1, p. 19-27, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.06.028>

FRAZIER, W. C.; WESTHOFF, D. C.; M, Vanitha N. **Food Microbiology**. 5ª edition. ed. New Delhi: McGraw Hill Education, 2014. 523 p.

FURTADO, Â. A. L.. **Tratamento térmico**. Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/tipos-de-processos/tratamento-termico>>. Acesso em: 4 jun. 2025.

GEORGE, M. H.; CANTOR, K. P. Infant methemoglobinemia and dietary nitrate exposure. *Toxicology and Applied Pharmacology*, v. 198, n. 2, p. 174–185, 2004.

GONÇALVES, L. A.; LORENZO, J. M.; TRINDADE, M. A.. **Fruit and Agro-Industrial Waste Extracts as Potential Antimicrobials in Meat Products: A Brief Review**. *Foods*, Basel, v. 10, n. 7, art. 1469, 2021. DOI: 10.3390/foods10071469.

GREGORY, N. G.; GRANDIN, T. *Animal welfare and meat production*. 2. ed. Wallingford: CABI Publishing, 2007.

HONIKEL, K.-O. **The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products.** *Meat Science*, v. 78, n. 1-2, p. 68-76, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.05.030>.

HORBAŃCZUK, O. K.; KUREK, M. A.; ATANASOV, A. G.; BRNČIĆ, M.; BRNČIĆ, S. R.. The Effect of Natural Antioxidants on Quality and Shelf Life of Beef and Beef Products. **Food Technology and Biotechnology**, p. 439-447, 2019. DOI: 10.17113/ftb.57.04.19.6267.

HWANG, K.-E.; KIM, T.-K.; KIM, H.-W.; SEO, D.-H.; KIM, Y.-B.; JEON, K.-H.; CHOI, Y.-S. Effect of natural pre-converted nitrite sources on color development in raw and cooked pork sausage. **Meat Science**, v. 92, p. 863–869, 2012. DOI: 10.1016/j.meatsci.2012.07.008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Em 2025, Brasil registra a maior produção de leite, couro e ovos da história; abate de bovinos, frangos e suínos também é recorde. Agência de Notícias, 18 mar. 2026. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/46123-em-2025-brasil-registra-a-maior-producao-de-leite-couro-e-ovos-da-historia-abate-de-bovinos-frangos-e-suinos-tambem-e-recorde>>. Acesso em: 18 maio 2026.

INTERNATIONAL AGENCY ON RESEARCH OF CANCER (IARC). IARC Monographs evaluate consumption of red meat and processed meat. **Press release WHO**, n. 240, p. 1-2, 2015.

KIM, T.-K.; HWANG, K.-E.; SONG, D.-H.; HAM, Y.-K.; KIM, Y.-B.; PAIK, H.-D.; CHOI, Y.-S.. Effects of natural nitrite source from Swiss chard on quality characteristics of cured pork loin. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 32, n. 12, p. 1933-1941, 2019b. DOI: 10.5713/ajas.19.0117.

KIM, T.-K.; YONG, H. I.; JANG, H. W.; LEE, H.; KIM, Y.-B.; JEON, K.-H.; CHOI, Y.-S. Quality of sliced cured pork loin with spinach: effect of incubation period with starter culture. **Journal of Food Quality**, v. 2019, art. 6373671, p. 1–8, 2019c. DOI: 10.1155/2019/6373671.

KIM, Y.-J.; KIM, J.-H.; CHA, J. Y.; KIM, T.-K.; HAN, J. H.; HAN, S. G.; CHOI, Y.-S.. Using natural nitrites from *Angelica keiskei* and high hydrostatic pressure treatment for producing high-quality cured pork loin with significant nitrous pigment formation. **Food Chemistry**, v. 493, parte 4, artigo 146004, 2025. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.146004.

KIM, T.-K.; LEE, M.-A.; SUNG, J.-M.; JEON, K.-H.; KIM, Y.-B.; CHOI, Y.-S.. Combination effects of nitrite from fermented spinach and sodium nitrite on quality characteristics of cured pork loin. **Animal Bioscience**, v. 32, n. 10, p. 1603-1610, 2019a. DOI: 10.5713/ajas.18.0903.

KITTIPONGPITTAYA, K.; PANYA, A.; PHONSATTA, N.; DECKER, E. A.. Effects of environmental pH on antioxidant interactions between rosmarinic acid and α -tocopherol in oil-in-water (O/W) emulsions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 64, n. 34, p. 6575-6583, 2016. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b02700.

LIBERA, J.; LATOCH, A.; WÓJCIAK, K. M.. Utilization of grape seed extract as a natural antioxidant in the technology of meat products inoculated with a probiotic strain of LAB. **Foods**, v. 9, n. 1, artigo 103, 2020. DOI: 10.3390/foods9010103.

LUNDBERG, J. O.; WEITZBERG, E. **Nitric oxide signaling in health and disease.** *Cell*, v. 172, n. 6, p. 1100–1115, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.02.010>

MANESSIS, G.; KALOGIANNI, A. I.; LAZOU, T.; MOSCHOVAS, M.; BOSSIS, I.; GELASAKIS, A. I. Plant-Derived Natural Antioxidants in Meat and Meat Products. **Antioxidants (Basel)**, [S. l.], v. 9, n. 12, 30 p., 2 dez. 2020. DOI: 10.3390/antiox9121215.

MASNIYOM, P. Modified atmosphere packaging and its application to seafood products. **Food Science and Technology International**, v. 17, n. 3, p. 213–224, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1177/1082013210385723>.

MÉXICO. SECRETARÍA DE SALUD. **Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.** Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, 2002. Disponível em: <https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5036954>. Acesso em: 2 jun. 2025.

NASSU, R. T.. **Técnicas.** In: Agência Embrapa de Informação Tecnológica – Ageitec. Tecnologia de Alimentos: Defumação. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 09 dez. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/grupos-de-alimentos/carneos/fabricacao-de-produtos-carneos/defumacao/tecnicas>>. Acesso em: 11 jun. 2025.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Alternatives to the Current Use of Nitrite in Foods: Part 2 of a 2-Part Study.** Washington, DC: National Academy Press, 1982. Disponível em: <<https://doi.org/10.17226/19635>>. Acesso em: 25 maio 2025.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **The Health Effects of Nitrate, Nitrite, and N-Nitroso Compounds: Part 1 of a 2-Part Study.** Washington, DC: National Academy Press, 1981. Disponível em: <<https://doi.org/10.17226/19738>>. Acesso em: 22 maio 2025.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2024-2033.** Paris: OECD Publishing, 2024. DOI: 10.1787/4c5d2cfb-en. Disponível em: <<https://doi.org/10.1787/4c5d2cfb-en>>. Acesso em: 18 maio 2026.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). **Tecnologias de conservação aplicadas à segurança de alimentos.** Washington, D.C.: OPAS; 2019. Disponível em: <https://www.academia.edu/112427806/Tecnologias_de_conserva%C3%A7%C3%A3o_aplicadas_%C3%A0_seguran%C3%A7a_de_alimentos>. Acesso em: 1 maio 2025.

OUZZANI, M.; HAMMADY, H.; FEDOROWICZ, Z.; ELMAGARMID, A.. **Rayyan: a web and mobile app for systematic reviews.** *Systematic Reviews*, Londres, v. 5, n. 1, p. 210, 2016. DOI: 10.1186/s13643-016-0384-4. Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5139140/>>. Acesso em: 28 nov. 2025.

PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C.; MULROW, C. D.; SHAMSEER, L.; TETZLAFF, J. M.; AKL, E. A.; BRENNAN, S. E.; CHOU, R.; GLANVILLE, J.; GRIMSHAW, J. M.; HRÓBJARTSSON, A.; LALU, M. M.; LI, T.; LODER, E. W.; MAYO-WILSON, E.; MCDONALD, S.; MCGUINNESS, L. A.; STEWART, L. A.; THOMAS, J.; TRICCO, A. C.; WELCH, V. A.; WHITING, P.; MOHER, D.. A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. **Revista panamericana de salud publica**, v. 46, p. e112, 2022.

PAPUC, C.; GORAN, G. V.; PREDESCU, C. N.; NICORESCU, V.; STEFAN, G.. Plant polyphenols as antioxidant and antibacterial agents for shelf-life extension of meat and meat products: classification, structures, sources, and action mechanisms. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s. l.], v. 16, n. 6, p. 1243-1268, 2017. DOI: 10.1111/1541-4337.12298.

PATEIRO, M.; DOMÍNGUEZ, R.; BERMÚDEZ, R.; MUNEKATA, P. E. S.; ZHANG, W.; GAGAOUA, M.; LORENZO, J. M. Antioxidant active packaging systems to extend the shelf life of sliced cooked ham. **Current Research in Food Science**, v. 1, p. 24-30, nov. 2019. DOI: 10.1016/j.crfs.2019.10.002.

QUINTO, Emiliano J; CARO, Irma; DELGADO, Luz H Villalobos; MATEO, Javier; SILLERAS, Beatriz De-Mateo; RÍO, María P Redondo-Del. Food Safety through Natural Antimicrobials. **Antibiotics (Basel)**, v. 8, 2019. DOI: 10.3390/antibiotics8040208.

RAHMAN, MM; HASHEM, MA; AZAD, MAK; CHOUDHURY, MSH; BHUIYAN, MKJ. Techniques of meat preservation-A review. **Meat Research**, Bangladesh, v. 3, 12 p., 2023. DOI: <https://doi.org/10.55002/mr.3.3.55>.

RAYYAN. **Rayyan: Intelligent Systematic Review**. [S. l.], 2025. Disponível em: <<https://www.rayyan.ai>>. Acesso em: 28 nov. 2025.

RIBAS-AGUSTÍ, Albert; GRATACÓS-CUBARSÍ, Marta; SÁRRAGA, Carmen; GUÀRDIA, M. Dolors; GARCÍA-REGUEIRO, José-Antonio; CASTELLARI, Massimo. Stability of phenolic compounds in dry fermented sausages added with cocoa and grape seed extracts. **LWT - Food Science and Technology**, v. 57, p. 329-336, 2014. DOI: 10.1016/j.lwt.2013.12.046.

ROÇA, R. O. **Cura de carnes**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.fca.unesp.br/Home/Instituicao/Departamentos/Gestaoetecnologia/Teses/Roca111.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2025.

ROSA, L. C. M.; PINTRO, P. T. M. Antioxidantes naturais aplicados em produtos à base de carne bovina: uma alternativa promissora. **Revista Principia**, João Pessoa, v. 59, n. 4, p. 1376–1390, 2022. DOI: 10.18265/1517-0306a2021id5752.

SANTIESTEBAN-LÓPEZ, N. A.; GÓMEZ-SALAZAR, J. A.; SANTOS, E. M.; CAMPAGNOL, P. C. B.; TEIXEIRA, A.; LORENZO, J. M.; SOSA-MORALES, M. E.; DOMÍNGUEZ, R. Natural antimicrobials: a clean label strategy to improve the shelf life and safety of reformulated meat products. **Foods**, v. 11, n. 17, p. 2613, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11172613>. Acesso em: 2 jun. 2025.

SEBRANEK, J. G.; BACUS, J. N. Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues? *Meat Science*, v. 77, n. 1, p. 136–147, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.03.025>.

SHAKIL, M. H.; TRISHA, A.T.; RAHMAN, M.; TALUKDAR, S.; KOBUN, R.; HUDA, N.; ZZAMAN, W. **Nitrites in cured meats, health risk issues, alternatives to nitrites: a review.** *Foods*, Basel, v. 11, n. 21, art. 3355, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11213355>.

SPIEGELHALDER, B.; EISENBRAND, G.; PREUSSMAANN, R. Influence of dietary nitrate on nitrite content of human saliva: possible relevance to in vivo formation of N-nitroso compounds. *Food and Cosmetics Toxicology*, v. 14, p. 545–548, 1976.

TEIXEIRA, L. J. Q.; VIMERCATI, W. C. (orgs.). **Fundamentos de processos térmicos, processos não térmicos e tecnologias do processamento de alimentos.** 1. ed. Vitória: EDUFES, 2023. v. 49.

TOCAI (MOȚOC), A. C.; ROSAN, C. A.; TEODORESCU, A. G.; VENTER, A. C.; VICAS, S. I. **Multifunctional Roles of Medicinal Plants in the Meat Industry: Antioxidant, Antimicrobial, and Color Preservation Perspectives.** *Plants*, v. 14, art. 2737, 2025. DOI: [10.3390/plants14172737](https://doi.org/10.3390/plants14172737).

UNIÃO EUROPEIA. Comissão Europeia. Regulamento (UE) 2023/2108 da Comissão, de 6 de outubro de 2023, que altera o anexo II do Regulamento (CE) n.º 1333/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho e o anexo do Regulamento (UE) n.º 231/2012 da Comissão no que diz respeito aos aditivos alimentares nitritos (E 249-250) e nitratos (E 251-252). **Jornal Oficial da União Europeia**, L 2023/2108, 9 out. 2023. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=OJ%3AL_202302108>. Acesso em: 29 maio 2025.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **FOOD SAFETY AND INSPECTION SERVICE (FSIS).** *Japan Export Library*. Washington, DC: USDA-FSIS, 2021. Disponível em: <https://www.fsis.usda.gov/inspection/import-export/import-export-library/japan?utm_source=chatgpt.com>. Acesso em: 2 jun. 2025.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L.. **Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping.** *Scientometrics*, Dordrecht, v. 84, n. 2, p. 523-538, 2010.

VAOU, N.; STAVROPOULOU, E.; VOIDAROU, C.; TSIGALOU, C.; BEZIRTZOGLU, E. Towards advances in medicinal plant antimicrobial activity: a review study. *Foods*, Basel, v. 10, n. 10, p. 2255, 2021. DOI: [10.3390/foods10102255](https://doi.org/10.3390/foods10102255).

VASCONCELOS, M. A. da S.; FILHO, A. B. de M.. **Conservação de Alimentos.** Recife: Escola Técnica Aberta do Brasil, 2010. Disponível em: <https://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/316/Cons_Alimentos.pdf?sequence=2>. Acesso em: 6 maio 2025.

VOSVIEWER. **VOSviewer**. Leiden: Centre for Science and Technology Studies (CWTS), Leiden University, 2025. Disponível em: <<https://www.vosviewer.com/>>. Acesso em: 2 dez. 2025.

VOSVIEWER. **VOSviewer manual version 1.6.17**. Leiden: Centre for Science and Technology Studies, Leiden University, 2020. Disponível em: <https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.17.pdf>. Acesso em: 24 maio 2026.

WÓJCIAK, K.; MATERSKA, M.; PEŁKA, A.; MICHALSKA, A.; MAŁECKA-MASSALSKA, T.; KAČÁNIOVÁ, M.; ČMIKOVÁ, N.; SŁOWIŃSKI, M.. Effect of the addition of dandelion (*Taraxacum officinale*) on the protein profile, antiradical activity, and microbiological status of raw-ripening pork sausage. **Molecules**, v. 29, artigo 2249, 2024. DOI: 10.3390/molecules29102249.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Evaluation of certain food additives: fifth-ninth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee of Food Additives. **WHO Technical Report Series**. Geneva: WHO Library, 2002, 153p.

WU, H.; BAK, K. H.; GORAN, G. V.; TATIYABORWORNTHAM, N.. Inhibitory mechanisms of polyphenols on heme protein-mediated lipid oxidation in muscle food: new insights and advances. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Philadelphia, v. 64, p. 4921-4939, 2024. DOI: 10.1080/10408398.2022.2146654.

ZHANG, K.; HUANG, J.; WANG, D.; WAN, X.; WANG, Y.. Covalent polyphenols-proteins interactions in food processing: formation mechanisms, quantification methods, bioactive effects, and applications. **Frontiers in Nutrition**, Lausanne, v. 11, artigo 1371401, 2024. DOI: 10.3389/fnut.2024.1371401.

ZHOU, L.; ELIAS, R.. J. Factors influencing the antioxidant and pro-oxidant activity of polyphenols in oil-in-water emulsions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 60, n. 11, p. 2906-2915, 2012. DOI: 10.1021/jf204939h.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ITENS DA LISTA DE CHECAGEM PRISMA

Seção/tópico	N.	Item da lista de checagem	Relatado na página nº
TÍTULO			
Título	1	Identifique o artigo como uma revisão sistemática, meta-análise, ou ambos.	1
ABSTRACT			
Resumo estruturado	2	Apresente um resumo estruturado incluindo, se aplicável: referencial teórico; objetivos; fonte de dados; critérios de elegibilidade; participantes e intervenções; avaliação do estudo e síntese dos métodos; resultados; limitações; conclusões e implicações dos achados principais; número de registro da revisão sistemática.	5
INTRODUÇÃO			
Racional	3	Descreva a justificativa da revisão no contexto do que já é conhecido.	19
Objetivos	4	Apresente uma afirmação explícita dos objetivos ou questões abordadas pela revisão.	20
MÉTODOS			
Protocolo e registro	5	Indique se existe um protocolo de revisão, se e onde pode ser acessado (ex. endereço eletrônico), e, se disponível, forneça informações sobre o registro da revisão, incluindo o número de registro.	47
Critérios de elegibilidade	6	Especifique características do estudo (ex.: PICOS, extensão do seguimento) e características dos relatos (ex. anos considerados, idioma, a situação da publicação) usadas como critérios de elegibilidade, apresentando justificativa.	48
Fontes de Informação	7	Descreva todas as fontes de informação na busca (ex.: base de dados com datas de cobertura, contato	47

		com autores para identificação de estudos adicionais) e data da última busca.	
Busca	8	Apresente a estratégia completa de busca eletrônica para pelo menos uma base de dados, incluindo os limites utilizados, de forma que possa ser repetida.	48
Seleção dos estudos	9	Apresente o processo de seleção dos estudos (isto é, rastreados, elegíveis, incluídos na revisão sistemática, e, se aplicável, incluídos na meta-análise).	47, 48, 49, 50 e 51
Processo de coleta de dados	10	Descreva o método de extração de dados dos artigos (ex.: formulários piloto, de forma independente, em duplicata) e todos os processos para obtenção e confirmação de dados dos pesquisadores.	48, 49, 50 e 51
Lista dos dados	11	Liste e defina todas as variáveis obtidas dos dados (ex.: PICOS, fontes de financiamento) e quaisquer suposições ou simplificações realizadas.	N/A
Risco de viés em cada estudo	12	Descreva os métodos usados para avaliar o risco de viés em cada estudo (incluindo a especificação se foi feito no nível dos estudos ou dos resultados), e como esta informação foi usada na análise de dados.	N/A
Medidas de sumarização	13	Defina as principais medidas de sumarização dos resultados (ex.: risco relativo, diferença média).	N/A
Síntese dos resultados	14	Descreva os métodos de análise dos dados e combinação de resultados dos estudos, se realizados, incluindo medidas de consistência (por exemplo, I ²) para cada meta-análise.	49, 50, 56, 57, 58 e 59
Risco de viés entre estudos	15	Especifique qualquer avaliação do risco de viés que possa influenciar a evidência cumulativa (ex.: viés de publicação, relato seletivo nos estudos).	N/A
Análises adicionais	16	Descreva métodos de análise adicional (ex.: análise de sensibilidade ou análise de subgrupos, meta-regressão), se realizados, indicando quais foram pré-especificados.	53, 54 e 55

RESULTADOS			
Seleção de estudos	17	Apresente números dos estudos rastreados, avaliados para elegibilidade e incluídos na revisão, razões para exclusão em cada estágio, preferencialmente por meio de gráfico de fluxo.	51
Características dos estudos	18	Para cada estudo, apresente características para extração dos dados (ex.: tamanho do estudo, PICOS, período de acompanhamento) e apresente as citações.	56, 57, 58 e 59
Risco de viés em cada estudo	19	Apresente dados sobre o risco de viés em cada estudo e, se disponível, alguma avaliação em resultados (ver item 12).	N/A
Resultados de estudos individuais	20	Para todos os desfechos considerados (benefícios ou riscos), apresente para cada estudo: (a) sumário simples de dados para cada grupo de intervenção e (b) efeitos estimados e intervalos de confiança, preferencialmente por meio de gráficos de floresta.	N/A
Síntese dos resultados	21	Apresente resultados para cada meta-análise feita, incluindo intervalos de confiança e medidas de consistência.	N/A
Risco de viés entre estudos	22	Apresente resultados da avaliação de risco de viés entre os estudos (ver item 15).	N/A
Análises adicionais	23	Apresente resultados de análises adicionais, se realizadas (ex.: análise de sensibilidade ou subgrupos, meta-regressão [ver item 16]).	N/A
DISCUSSÃO			
Sumário da evidência	24	Sumarize os resultados principais, incluindo a força de evidência para cada resultado; considere sua relevância para grupos-chave (ex.: profissionais da saúde, usuários e formuladores de políticas).	N/A
Limitações	25	Discuta limitações no nível dos estudos e dos desfechos (ex.: risco de viés) e no nível da revisão	105 e 106

		(ex.: obtenção incompleta de pesquisas identificadas, viés de relato).	
Conclusões	26	Apresente a interpretação geral dos resultados no contexto de outras evidências e implicações para futuras pesquisas.	106, 107 e 108
FINANCIAMENTO			
Financiamento	27	Descreva fontes de financiamento para a revisão sistemática e outros suportes (ex.: suprimimento de dados); papel dos financiadores na revisão sistemática.	N/A

APÊNDICE B – OS SOFTWARES RAYYAN E VOSVIEWER NA REVISÃO SISTEMÁTICA: FUNDAMENTOS, PROCEDIMENTOS E LIMITAÇÕES

Este apêndice tem como objetivo detalhar os softwares Rayyan e VOSviewer, empregados respectivamente nas etapas de triagem e de análise bibliométrica da revisão sistemática apresentada neste trabalho. São apresentados os fundamentos conceituais de cada ferramenta, os recursos efetivamente utilizados, a forma de interpretação dos resultados gerados e a relação de cada software com o procedimento metodológico descrito no Capítulo 4, encerrando-se com uma discussão sobre as limitações inerentes ao seu uso.

B.1 RAYYAN E A TRIAGEM DOS ESTUDOS

O Rayyan é uma plataforma web e aplicativo móvel gratuito, desenvolvido pelo Qatar Computing Research Institute em parceria com a Cochrane Collaboration, destinado a apoiar pesquisadores nas etapas iniciais de triagem de revisões sistemáticas (OUZZANI et al., 2016; RAYYAN, 2026). A ferramenta foi concebida para agilizar a leitura de títulos e resumos de grandes volumes de referências bibliográficas, combinando interação humana com recursos de semiautomação.

Segundo Ouzzani et al. (2016), o Rayyan foi testado originalmente com revisões Cochrane contendo mais de mil registros e demonstrou reduzir em cerca de 40% o tempo médio de triagem em comparação a métodos manuais, sendo a organização da leitura e a colaboração entre revisores os recursos mais valorizados pelos usuários. Essas características tornam o software especialmente útil em revisões que partem de amostras iniciais numerosas, como ocorreu neste trabalho.

B.1.1 Recursos utilizados e conceitos operacionais

Entre os recursos disponibilizados pelo Rayyan, destacam-se: a importação de referências em formatos padronizados (como RIS e BibTeX) exportados diretamente das bases de dados; a detecção automática de duplicatas, feita por comparação de metadados como título, autores e ano de publicação; a rotulagem de estudos como incluídos, excluídos ou em dúvida; o registro do motivo de exclusão; e um classificador baseado em aprendizado de máquina que, à medida que o revisor toma decisões, aprende padrões de inclusão e exclusão e passa a sugerir prioridades de leitura (OUZZANI et al., 2016). O software também oferece um

modo cego (blind mode), que oculta as decisões de um revisor em relação aos demais até a etapa de resolução de conflitos, funcionalidade voltada a revisões conduzidas por mais de um avaliador.

Neste trabalho, o recurso central empregado foi a identificação e remoção de duplicatas entre os registros recuperados nas três bases de dados consultadas (Web of Science, ScienceDirect e PubMed), conforme descrito no subcapítulo 4.1. O uso do Rayyan possibilitou a organização, identificação e exclusão de trabalhos duplicados, além de facilitar a seleção independente dos artigos (OUZZANI et al., 2016; RAYYAN, 2026), etapa que reduziu a amostra de 7.604 para 1.460 estudos, ao eliminar 6.144 registros duplicados.

B.1.2 Relação com o procedimento metodológico

No fluxo metodológico da revisão, o Rayyan atuou imediatamente após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão baseados em tipo de publicação, idioma, acesso e data, funcionando como etapa de "limpeza" da amostra antes da análise bibliométrica. Sua função, portanto, não foi a de selecionar estudos por relevância temática, mas sim a de garantir que a amostra submetida ao VOSviewer estivesse livre de registros redundantes, o que é uma condição relevante para a fidedignidade de qualquer análise de rede subsequente.

B.2 VOSVIEWER E A ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

O VOSviewer é um programa de computador de acesso livre, desenvolvido pelo Centre for Science and Technology Studies (CWTS) da Universidade de Leiden, destinado à construção e à visualização de mapas bibliométricos (VAN ECK; WALTMAN, 2010; VOSVIEWER, 2025). A ferramenta baseia-se na técnica VOS (Visualization of Similarities), um método de mapeamento que posiciona os itens analisados no espaço de acordo com sua similaridade relativa, de modo que itens fortemente relacionados tendem a aparecer próximos entre si, enquanto itens pouco relacionados aparecem distantes.

De acordo com Van Eck e Waltman (2010), o software permite construir mapas a partir de diferentes tipos de relação bibliográfica, entre elas a coautoria, a cocitação, o acoplamento bibliográfico e a coocorrência de termos, podendo esses dados serem extraídos diretamente de arquivos exportados por bases como Web of Science, Scopus e PubMed, ou inseridos por meio de arquivos de texto delimitado.

B.2.1 Funcionamento dos recursos utilizados e conceitos operacionais

O funcionamento do VOSviewer combina duas técnicas complementares: a técnica de mapeamento VOS, responsável por posicionar os itens (no caso deste trabalho, os autores) em um espaço bidimensional conforme sua força de relacionamento; e a técnica de clusterização VOS, um algoritmo baseado em modularidade que agrupa os itens em clusters (aglomerados) de acordo com a intensidade das conexões entre eles (VAN ECK; WALTMAN, 2010; WALTMAN; VAN ECK, 2013). O parâmetro de resolução da clusterização determina o nível de detalhe dos agrupamentos formados: quanto maior o valor do parâmetro, maior o número de clusters obtidos, cabendo ao pesquisador testar diferentes valores até alcançar o nível de detalhamento mais adequado à aplicação (VOSVIEWER, 2020).

Na interface do programa, cada autor é representado por um círculo (nó), cujo tamanho é proporcional à sua relevância dentro da rede — geralmente associada ao número de publicações ou conexões — e as linhas que ligam os nós representam a existência de coautoria entre eles. As cores atribuídas aos nós indicam o cluster ao qual cada autor pertence, permitindo identificar visualmente subgrupos de colaboração científica dentro do conjunto total de dados analisado.

B.2.2 Análise de coautoria realizada

Neste trabalho, o VOSviewer foi utilizado exclusivamente para a construção de redes de coautoria, ou seja, redes que conectam autores que publicaram trabalhos em conjunto, conforme descrito no subcapítulo 4.1 e nos resultados apresentados no subcapítulo 5.1. Foram elaborados dois mapas distintos: o primeiro reunindo os registros provenientes das bases Web of Science e ScienceDirect (Figura 5), viabilizado pela compatibilidade dos formatos de exportação em arquivos RIS entre essas duas bases; e o segundo reunindo exclusivamente os registros da base PubMed (Figura 6), tratada separadamente devido a diferenças estruturais nos metadados exportados por essa base.

Essa separação metodológica decorreu de uma limitação própria do software: conforme o manual oficial (VOSVIEWER, 2020), os dados exportados do PubMed não podem ser utilizados para a construção de redes de citação, cocitação ou acoplamento bibliográfico, sendo compatíveis apenas com análises de coautoria e de coocorrência de termos; além disso, o programa não permite combinar, em um único mapa, dados provenientes de fontes

bibliográficas distintas. Por essa razão, os registros de bases diferentes precisaram ser processados separadamente para a construção de redes de coautoria consistentes.

No mapa referente às bases Web of Science e ScienceDirect, foram identificados aproximadamente doze clusters de colaboração científica, com destaque para um grupo de autores fortemente conectados e para a presença de um autor com baixa integração à rede principal. Já no mapa da base PubMed, foram identificados aproximadamente cinco clusters, formando uma rede menos fragmentada, com autores centrais que conectavam diferentes grupos de pesquisa entre si, conforme detalhado no subcapítulo 5.1.

B.2.3 Interpretação dos mapas gerados

A leitura de um mapa de coautoria gerado pelo VOSviewer segue três critérios visuais principais. O primeiro é a proximidade entre os nós: autores posicionados próximos entre si colaboram com maior frequência ou intensidade, enquanto autores distantes apresentam pouca ou nenhuma relação direta (VAN ECK; WALTMAN, 2010). O segundo é o tamanho dos círculos, que indica a relevância do autor dentro da rede analisada, geralmente relacionada ao volume de publicações ou ao número de conexões estabelecidas. O terceiro é a cor dos nós, que identifica o cluster ao qual cada autor pertence, permitindo distinguir subgrupos de colaboração científica dentro da rede total.

A partir desses critérios, um cluster denso e coeso — com muitos nós de tamanho semelhante próximos entre si — indica um grupo de pesquisa consolidado, com produção científica recorrente e colaborativa. Já um nó periférico, afastado dos demais clusters e com poucas conexões, sugere um autor ou grupo com participação pontual na temática, sem vínculo estreito com os núcleos centrais de pesquisa. Foi essa lógica de leitura que permitiu, neste trabalho, identificar os autores e grupos de pesquisa mais consolidados na temática da substituição de nitritos e nitratos por compostos bioativos vegetais na conservação da carne suína.

B.2.4 Relação com o procedimento metodológico

No fluxo metodológico da revisão, o VOSviewer foi empregado após a etapa de remoção de duplicatas realizada no Rayyan, atuando como ferramenta complementar de apoio ao refinamento da amostra. A partir da análise dos clusters e da identificação dos autores com maior centralidade nas redes de coautoria, foram selecionados os estudos de autores com

maior relevância e proximidade científica ao tema investigado, reduzindo a amostra de 1.460 para 27 estudos. Essa pré-seleção foi posteriormente refinada pela leitura completa dos textos e pela reaplicação dos critérios de inclusão e exclusão, conforme descrito no subcapítulo 4.1, resultando na amostra final de 10 estudos analisados no Capítulo 5.

É importante destacar que, embora o VOSviewer seja tradicionalmente utilizado apenas para visualização de redes bibliométricas, neste trabalho o software também cumpriu uma função auxiliar na etapa de seleção da amostra final, complementando (e não substituindo) a leitura crítica e a aplicação dos critérios de elegibilidade estabelecidos no protocolo PRISMA (PAGE et al., 2022).

B.3 LIMITAÇÕES DAS FERRAMENTAS

O uso do Rayyan e do VOSviewer neste trabalho apresentou limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Em relação ao Rayyan, a detecção automática de duplicatas depende da qualidade e da padronização dos metadados exportados pelas bases de dados, de modo que registros com pequenas divergências de formatação podem não ser identificados como duplicados, exigindo conferência manual complementar. Além disso, os recursos de sugestão baseados em aprendizado de máquina dependem de um volume mínimo de decisões prévias do revisor para gerar recomendações confiáveis, o que limita sua utilidade em amostras muito reduzidas.

Quanto ao VOSviewer, a principal limitação identificada foi a impossibilidade de combinar, em uma mesma rede, registros provenientes de bases de dados distintas, o que exigiu a construção de dois mapas separados e dificultou uma visão unificada da colaboração científica entre todas as bases consultadas (VOSVIEWER, 2020). Adicionalmente, os dados exportados do PubMed restringiram-se às análises de coautoria e de coocorrência de termos, não sendo compatíveis com redes de citação e cocitação. Por fim, cabe ressaltar que o VOSviewer é uma ferramenta de mapeamento e visualização, não de avaliação de qualidade metodológica ou de relevância temática dos estudos; sua contribuição neste trabalho foi complementar ao processo de seleção, que permaneceu fundamentado na leitura crítica dos textos e na aplicação dos critérios de inclusão e exclusão previamente definidos.