



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

TESE

**UTILIZAÇÃO DE FOLHAS E FRUTOS DE AROEIRA (*Schinus terebinthifolius* Raddi)
COMO ANTIOXIDANTES NATURAIS EM SALAMES SUÍNOS**

TATIANA LABRE DA SILVA

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Utilização de folhas e frutos de Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) como antioxidantes naturais em salames suínos

Sob a orientação da Professora
Tatiana Saldanha

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora** em Ciência e Tecnologia de Alimentos, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Ciência de Alimentos.

SEROPÉDICA, RJ

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada com os dados fornecidos pela autora

S586u SILVA, TATIANA LABRE DA, 1980-
UTILIZAÇÃO DE FOLHAS E FRUTOS DE AROEIRA (*Schinus terebinthifolius* Raddi) COMO ANTIOXIDANTES NATURAIS
EM SALAMES SUÍNOS / TATIANA LABRE DA SILVA. -
Seropedica, 2024.
126 f.: il.

Orientadora: TATIANA SALDANHA. Tese(Doutorado).
- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos, 2024.

1. Antioxidantes naturais. 2. compostos bioativos.
3. especiarias. 4. oxidação lipídica. I. SALDANHA,
TATIANA, 1971-, orient. II Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Ciência
e Tecnologia de Alimentos III. Titulo.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS



TERMO N° 1210/2024 - PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)

Nº do Protocolo: 23083.070451/2024-12

Seropédica-RJ, 16 de dezembro de 2024.

TATIANA LABRE DA SILVA

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de Concentração em Ciência de Alimentos.

TESE APROVADA EM 16/12/2024

TATIANA SALDANHA,(Dra) (orientador) UFRRJ

ANA PAULA AMARAL DE ALCÂNTARA SALIM PEREIRA, (Dra)

SANDRA REGINA GREGORIO (Dra) UFRRJ

ELIZABETH APARECIDA FERAZ DA SILVA TORRES, (Dra) USP

PAULO CEZAR DA CUNHA JÚNIOR. (Dr)

Documento não acessível publicamente

(Assinado digitalmente em 17/12/2024 11:37)

SANDRA REGINA GREGORIO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DTA (12.28.01.00.00.00.46)
Matrícula: ###506#8

(Assinado digitalmente em 28/12/2024 16:56)

TATIANA SALDANHA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DTA (12.28.01.00.00.00.46)
Matrícula: ###634#2

(Assinado digitalmente em 16/12/2024 19:13)

ELIZABETH APARECIDA FERRAZ DA SILVA TORRES
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.907-4#

(Assinado digitalmente em 17/12/2024 11:27)

ANA PAULA AMARAL DE ALCÂNTARA SALIM PEREIRA
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.007-4#

(Assinado digitalmente em 30/12/2024 17:25)

PAULO CEZAR DA CUNHA JÚNIOR.
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.517-4#

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço com muita alegria e satisfação a possibilidade de realização do presente estudo, o que atribuo a orientação da professora Tatiana Saldanha, grata por ter acreditado no nosso projeto. A excelência profissional e ensinamentos da colega Vanessa Sales de Oliveira. A parceria e colaboração das queridas colegas do grupo de pesquisa, em destaque para a graduanda Thainara dos Reis do Nascimento, a doutoranda Bárbara Mariano, a mestrandra Laura Monteiro Keller e a técnica Dra. Ivanilda Maria Augusta. Destaque para a contribuição fundamental do professor Otávio Cabral Neto, co-orientador do presente estudo, gratidão eterna! Aproveito para agradecer aos colaboradores externos (Davy William Hidalgo Chávez, Rosane Nora Castro, Mario Geraldo de Carvalho, Alexandra Christine Helena Frankland Sawaya e Micheli da Silva Ferreira), responsáveis por elevar a qualidade e alcance da pesquisa. Agradeço ao professor Ormindo Domingues Gamalho e aos queridos Fernanda De Jorge Gouvêa, Willian Bonner e Júlia do Santos Fonseca, pela amizade e apoio, muito importantes na caminhada. Ao Programa de Pós-graduação, docentes e discentes, pelo esmero na qualidade do curso. Ao colega Mariano, pelos aprendizados e assistência na Planta de Carnes. Sem mais delongas, não poderia deixar de agradecer ao meu pai Heriberto Dias da Silva, maior incentivador e expectador dessa conquista, te amo infinito, gratidão por sua referência! E a minha família (Pedro Labre Ribeiro da Silva, Juliana Labre da Silva, Hérima Labre da Silva, Heriane Evangelista, Maria de Fátima Labre e Expedito), as amigas Cíntia Gomes Figueira, Daniele Cristina Galvão Bellon e a todos que formaram uma verdadeira corrente de apoio e amparo nos muitos turbilhões do processo! Gratidão a todos!

“O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.”

RESUMO

DA SILVA, Tatiana Labre. Utilização de folhas e frutos de Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) como antioxidantes naturais em salames suínos 2024. 126p.Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

Palavras-chave: aditivos naturais, compostos bioativos, especiarias, oxidação lipídica.

A Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi), também conhecida como pimenta brasileira ou pimenta rosa, é uma planta nativa da América do Sul, amplamente distribuída no território brasileiro. Os frutos e folhas são utilizados para fins terapêuticos e em sistemas agrícolas de produção, como defensivo natural. Em alimentos, a Aroeira é empregada como condimento para conferir sabor, cor e aroma. Adicionalmente, a Aroeira também tem se destacado devido ao seu potencial antioxidante. Em virtude da presença de lipídios insaturados como os ácidos graxos e colesterol, o salame apresenta suscetibilidade à oxidação lipídica. Os antioxidantes sintéticos são amplamente utilizados pela indústria alimentícia. Entretanto, estes compostos apresentam risco à saúde dos consumidores, com restrições de uso. Assim a utilização de fontes naturais de compostos com propriedades antioxidantes representa uma estratégia para reduzir a oxidação lipídica em salames, além de agregarem sabor, aroma e cor. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito protetivo à oxidação lipídica de diferentes níveis de adição de folhas e frutos da Aroeira a formulação de salame tipo italiano padrão. A avaliação sensorial também foi realizada por meio de análise de aceitação e questionário “Check All That Apply” (CATA). A utilização de frutos de Aroeira no processamento de salames em diferentes níveis de adições (0,25, 0,50, 0,75, 1%) elevou a estabilidade oxidativa lipídica, devido a prevenção na formação de compostos oxidados, com conservação de ácidos graxos poli-insaturados e determinação de teores inferiores de óxidos de colesterol. A adição dos frutos não afetou os parâmetros de cor e textura, e apresentou boa aceitação global, superior à 69%. Para a utilização de folhas de Aroeira (1, 2 e 3%) no processamento de salames, o nível inferior de adição foi mais satisfatório para os parâmetros de qualidade relativos a redução da atividade de água e do índice de aterogenicidade, e a prevenção da formação de compostos primários da oxidação lipídica, recurso para elevar a estabilidade oxidativa de salames suínos. Entretanto, estudos futuros devem ser realizados para avaliar níveis

inferiores de adição no processamento de salames suínos, visto que houve efeito pro-oxidante nos níveis mais elevados de adição das folhas.

ABSTRACT

DA SILVA, Tatiana Labre. Aroeira leaves and fruits (*Schinus terebinthifolius* Raddi) and their application as a natural antioxidant in salami 2024. 126p. Thesis (Doctorate in Food Science and Technology). Institute of Technology, Food Technology Department, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

Keywords: natural additives, bioactive compounds, spices, lipid oxidation.

Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi), also known as Brazilian pepper or pink pepper, is a plant native to South America, widely distributed in Brazilian territory. The fruits and leaves are used for therapeutic purposes and in agricultural production systems as a natural defensive. In foods, Aroeira is used as a condiment to impart flavor, color and aroma. In addition, Aroeira has also been highlighted due to its antioxidant potential. Synthetic antioxidants are widely used by the food industry. However, these compounds present a risk to the health of consumers, with restrictions on their use. Due to the presence of unsaturated lipids such as fatty acids and cholesterol, salami is susceptible to lipid oxidation. Thus, the development of natural condiments containing bioactive compounds with antioxidant properties represents a strategy to reduce lipid oxidation in meat products, in addition to adding flavor, aroma and color to salami. In this context, the objective of this study is to develop dry condiments prepared with leaves and fruits of pink pepper that will be added to salami in different formulations and the quality of the lipid fraction will be evaluated after processing the product. Sensory evaluation will also be performed through acceptance analysis and CATA. The use of Aroeira fruits in the processing of salami at different levels of additions (0.25, 0.50, 0.75, 1%) increased lipid oxidative stability, due to the prevention of oxidized compounds, conservation of unsaturated fat acids and inferior levels of cholesterol oxides. The addition of fruits did not affect the color and texture parameters, and showed good overall acceptance, greater than 69%. For the use of Aroeira leaves (1, 2 and 3%) in the processing of salami, the lower level of addition was more satisfactory for the quality parameters related to the reduction of water activity and the atherogenicity index, and the prevention of formation of primary lipid oxidation compounds, a resource to increase the oxidative stability of pork salami. However, future studies should be carried out to evaluate inferior levels of addition in the

processing of pork salami, as there was a pro-oxidant effect at higher levels of addition to the leaves.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma básico do processamento de salames	14
Figura 2: Representação do esquema de auto-oxidação de radicais livres de lipídios (RH: ácido graxo, In: iniciação, R*: radical alílico, ROO*: radical peroxil do lipídio, ROOH: hidroperóxido lipídico e ROOR: produto não radicalar).....	22
Figura 3: Principais óxidos de colesterol nas diferentes porções da estrutura química.....	23
Figura 4: Estrutura química de compostos antioxidantes comumente utilizados	33
Figura 5: Frutos e folhas da Aroeira (<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi).....	38
Figura 6: Compostos bioativos presentes na Aroeira	39

CAPÍTULO 1

Figure 1A) Total contents of saturated fatty acids (SFA), monounsaturated fatty acids (MUFA), and polyunsaturated fatty acids (PUFA) of salami samples (control and with pink pepper at 0.25%, 0.5%, 0.75%, and 1.0%). B) Cholesterol (mg/100 g, dry basis) and cholesterol oxides (µg/g, dry basis) contents of salami samples (control and with pink pepper at 0.25%, 0.5%, 0.75%, and 1.0%).	94
--	----

Figure 2 Sensory analysis of salami samples (control and with pink pepper at 0.25%, 0.5%, 0.75%, and 1.0%). Scores obtained for each attributed using a 9-point hedonic scale.....	95
---	----

Figure 3: Responses from the 9-point hedonic scale.	96
---	----

Figure 4: Multivariate analyses. A) Principal component analyses for treatments and variables B) Heatmap. The values 0.0, 0.25, 0.5, 0.75, and 1.0% represent the levels of pink pepper addition to salami samples.	97
---	----

Material suplementar

Figure 1 MS/MS spectra in negative ion mode of compounds identified in pink pepper extract.	101
--	-----

Figure 2 MS/MS spectra in positive ion mode of compounds identified in pink pepper extract.	102
--	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Aditivos alimentares autorizados para uso em produtos cárneos secos	8
Tabela 2. Relação dos principais tipos de salames	11
Tabela 3: Padrões microbiológicos de alimentos	15
Tabela 4: Parâmetros físico-químicos e de cor em salames.....	17
Tabela 5: Composição da fração lipídica de salames	27
Tabela 6. Parâmetros de avaliação da oxidação lipídica em salames	30

CAPÍTULO 1

Table 1: Putative identification of bioactive compounds of pink pepper extract by UHPLC-ESI-MS in negative and positive ion modes.	98
Table 2 Water activity, moisture (g/100 g), total lipids (g/100 g, dry basis), and TBARS values (mg MDA/kg sample) of salami samples (control and with pink pepper at 0.25%, 0.50%, 0.75%, and 1.0%).	99
Table 3 Color and texture parameters of salami samples (control and with pink pepper at 0.25%, 0.5%, 0.75%, and 1.0%).	100

Material suplementar

Table 1: Fatty acid composition (g/100 g oil) of salami samples (control and with pink pepper at 0.25%, 0.5%, 0.75%, and 1.0%).	103
Table 2: Cholesterol (mg/100 g, dry basis) and cholesterol oxides (μ g/g, dry basis) contents of salami samples (control and with pink pepper at 0.25%, 0.5%, 0.75%, and 1.0%).	104

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Perfil de ácidos graxos do antioxidante bio-based de folhas de Aroeira (ABFA).115
Tabela 2. Composição físico-química de salames adicionados de antioxidante bio-based de folhas de Aroeira (ABFA).....116
Tabela 3. Perfil de ácidos graxos (g/100 g de lipídios) em salames (controle e com adição antioxidante bio-based de folhas de Aroeira (ABFA).....117
Tabela 4. Índices de Qualidade nutricional da fração lipídica de salames adicionados de antioxidante bio-based de folhas de Aroeira (ABFA).....118

Tabela 5. Índice de peróxidos (meq de peróxido/Kg de amostra) e formação de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (mg MDA/Kg de amostra) em salames adicionados de antioxidante bio-based de folhas de Aroeira (ABFA).....	119
Tabela 6. Parâmetros de cor em salames adicionados de antioxidante bio-based de folhas de Aroeira (ABFA).....	120

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

%AA	Percentual de atividade antioxidante
AGMI	Ácido graxo monoinsaturado
AGPI	Ácido graxo poli-insaturado
AOAC	Association of Official Analytical Chemist
CE ₅₀ /IC ₅₀	Concentração efetiva para redução de 50% de atividade
DHA	Ácido docosaexaenoico / Docosahexaenoic acid
DPPH	2,2-difenill-1-picril-hidraliza
EAG	Equivalente ácido gálico
EPA	Ácido eicosapentaenoico / Eicosapentaenoic acid
EQ	Equivalente queracetina
FAO	Food and Agriculture Organization
FAME	Fatty acid methyl ester
FRAP	Poder Antioxidante de Redução do Ferro
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
ORAC	Oxygen Radical Absorbance Capacity
PDA	Photo Diode Array
POC	Produto da oxidação do colesterol
PPM	Partes por milhão
TPTZ	2,4,6-tri (2-piridil)1,3,5-triazina
UPLC	Ultra Performance Liquid Chromatograph
UV	Ultravioleta
ω ³	Ômega 3
ω ⁶	Ômega 6
ω ⁹	Ômega 9
5,6α-OH	5,6α-hidroxicolesterol
5,6β-OH	5,6β-hidroxicolesterol
7-ceto	7-cetocolesterol
7α-OH	7α-hidroxicolesterol
7β-OH	7β-hidroxicolesterol
20α-OH	20α-hidroxicolesterol

Sumário

INTRODUÇÃO GERAL	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
1. Salames e novos paradigmas de consumo de produtos cárneos processados	4
2. Tecnologia da produção de salames	10
3. Oxidação lipídica	21
4. Oxidação lipídica em salames	25
5. Antioxidantes sintéticos x antioxidantes naturais	32
6. Antioxidantes naturais em salames	34
7. Aroeira.....	37
7.1 Aplicações dos frutos da Aroeira em sistemas alimentares.....	40
7.2 Folhas de Aroeira	43
REFERÊNCIAS.....	45
CAPÍTULO 1	67
IMPACT OF INCORPORATING PINK PEPPER (<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi) ON THE LIPID OXIDATIVE STABILITY, CHOLESTEROL OXIDES FORMATION, PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS, AND SENSORY ACCEPTANCE OF PORK SALAMI	67
ABSTRACT.....	68
1 INTRODUCTION	69
2 MATERIALS AND METHODS	70
2.1 Standards, reagents, and solvents	70
2.2 Plant material.....	71
2.3 Pink pepper analyses	71
2.3.1 Extract preparation	71
2.3.2 Total phenolics and flavonoids contents	71
2.3.3 DPPH and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays.....	71
2.3.4 Identification of bioactive compounds by UHPLC-ESI-MS analyses	72
2.4 Salami samples	72
2.5 Salami analyses	73
2.5.1 Water activity (a_w), total moisture, and total lipids	73
2.5.2 Thiobarbituric acid reactive substances (TBARs) assay	73
2.5.3 Fatty acids composition	73
2.5.4 Determination of cholesterol and cholesterol oxides.....	73
2.5.5 Instrumental color	74
2.5.6 Texture.....	74
2.5.8 Sensory analysis	74
2.6 Statistical analysis	75
3 Results and discussion	75
3.1 Pink pepper analyses	75
3.1.1 Phenolics compounds, flavonoids, and antioxidant capacity	75
3.1.2 Bioactive compounds from pink pepper extract determined by UHPLC-ESI-MS	76
3.2 Salami analyses	77
3.2.1 Water activity, moisture, and total lipids.....	77
3.2.2 Formation of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)	78
3.2.3 Effects on fatty acids degradation	78
3.2.4 Effects on cholesterol and cholesterol oxides.....	80
3.2.5 Physicochemical and sensory analyses	82
3.2.6 Principal component analysis	84
4 CONCLUSIONS	84
5 REFERENCES	85
Graphical abstract	105

Highlights	105
CAPÍTULO 2	106
DESENVOLVIMENTO DE ANTIOXIDANTE “BIO-BASED” A PARTIR DE FOLHAS DE AROEIRA (<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi) E EFEITO DA SUA APLICAÇÃO NO PROCESSAMENTO DE SALAMES SUÍNOS	106
RESUMO	107
ABSTRACT.....	108
1 INTRODUÇÃO.....	109
2 MATERIAIS E MÉTODOS	110
2.1 Padrões, reagentes e solventes.....	110
2.2 Preparo da farinha de folhas de aroeira (ABFA).....	110
2.3 Salames.....	110
2.4 Análises no antioxidante bio-based de folhas de Aroeira.....	111
2.4.1 Macronutrientes	111
2.4.2 Preparo do extrato	111
2.4.3 Determinação de fenólicos totais	111
2.4.4 Determinação do conteúdo de carotenoides totais	111
2.4.5 Determinação do DPPH e da capacidade de redução férrea (FRAP)	112
2.4.6 Perfil de ácidos graxos e índices nutricionais da fração lipídica.....	112
2.5 Análises nos salames	112
2.5.1 Determinação da atividade de água	112
2.5.2 Macronutrientes	112
2.5.3 Perfil de ácidos graxos e índices nutricionais da fração lipídica.....	113
2.5.4 Índice de Peróxidos e acidez.....	113
2.5.5 Ensaio de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)	113
2.5.6 Cor	113
2.6 Análise estatística	113
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	113
3.1 Aroeira.....	113
3.1.1 Composição de macronutrientes.....	113
3.1.2 Conteúdo de fenólicos totais, clorofilas, carotenoides e capacidade antioxidant.....	114
3.1.3 Perfil de ácidos graxos e índices nutricionais da fração lipídica.....	115
3.2 Salames.....	116
3.2.1 Macronutrientes e atividade de água	116
3.2.2 Perfil de ácidos graxos e dos índices nutricionais da fração lipídica	117
3.2.4 Determinação do IP e TBARS	119
3.2.5 Parâmetros de cor	120
4 CONCLUSÃO	121
5 REFERÊNCIAS.....	121
CONCLUSÕES GERAIS.....	126

INTRODUÇÃO GERAL

A oxidação lipídica é uma das principais vias responsáveis pelas alterações da qualidade de alimentos, acarretando perdas nutricionais e sensoriais e a formação de compostos oxidados potencialmente deletérios à saúde (Kumar *et al.*, 2015; Mariutti; Bragagnolo, 2017). Dessa forma, torna-se necessário o controle dos processos oxidativos em alimentos, o que pode ser alcançado pelo uso de antioxidantes. Os antioxidantes sintéticos são amplamente utilizados pela indústria alimentícia, representando uma alternativa prática e viável. No entanto, estudos têm destacado os efeitos nocivos à saúde associados ao consumo desses (Wang *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2021). Assim, é crescente a tendência pela restrição de antioxidantes sintéticos e sua substituição por antioxidantes naturais, os quais podem ser amplamente encontrados na natureza (Embuscado, 2019; Mariano *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2018).

A oxidação lipídica é um fenômeno complexo que pode ocorrer devido a mecanismos de oxidação enzimática e a auto-oxidação. Em alimentos, a via de oxidação da auto-oxidação ocorre na presença de oxigênio e iniciadores, como luz, calor, fotossensibilizadores, metais e espécies reativas de oxigênio e nitrogênio. A auto-oxidação é associada à reação de oxigênio com lipídios insaturados através de um mecanismo de reações em cadeia de radicais, espécies químicas instáveis e de alta reatividade, que contêm um ou mais elétrons não pareados (Kumar *et al.*, 2015; Mariutti; Bragagnolo, 2017). Assim, os antioxidantes são capazes de retardar ou inibir as reações oxidativas por meio da doação de elétrons ou átomos de hidrogênio e estabilização dos radicais ou pela ação protetora frente aos iniciadores dessas reações (Kebede; Admassu, 2019; Kumar *et al.*, 2015).

De acordo com a Instrução Normativa (IN) nº 22, de 31 de Julho de 2000, que aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade (RTIQ) de Salames, entende-se por salame o produto cárneo industrializado obtido de carne suína ou suína e bovina adicionado de toucinho, ingredientes, embutido em envoltórios naturais e/ou artificiais, fermentado, maturado, defumado ou não e dessecado, cuja presença de "mofos" característicos é consequência natural do seu processo tecnológico de fabricação (Brasil, 2000).

Os alimentos de origem animal como o salame apresentam ampla produção e consumo no Brasil. No entanto, a fração lipídica é suscetível a alterações decorrentes do processamento e estocagem, com perdas na qualidade sensorial e nutricional, além da formação de compostos

oxidados indesejáveis.

A instabilidade da fração lipídica se deve aos teores de lipídios insaturados, a exemplo dos ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) e colesterol. A suscetibilidade à oxidação lipídica desses compostos resulta na redução de ácidos graxos e a formação de compostos oriundos da oxidação do colesterol, denominados produtos de oxidação do colesterol (POCs). O termo POCs refere-se a um grupo de esteróis com estrutura semelhante ao colesterol que contém um grupo adicional hidroxila, cetona ou epóxido no núcleo esterol ou um grupo hidroxila localizado na cadeia lateral da molécula. A ingestão de POCs resulta em um amplo espectro de atividades biológicas, dentre as quais citotóxicas, carcinogênicas e pró-oxidativas, com efeitos nocivos à saúde que vão desde processos mutagênicos a distúrbios neurodegenerativos, além de alterações das propriedades das membranas celulares e no metabolismo do colesterol (Malaguti *et al.*, 2019; Pandian; Kumar; Jayakumar, 2021).

A oxidação dos esteróis em alimentos ocorre de forma similar à oxidação dos lipídios insaturados, via mecanismo de auto-oxidação, e acarreta na formação de compostos conhecidos como óxidos de colesterol (Smith, 1987), que atuam reduzindo a energia de ativação necessária para a abstração do hidrogênio, o que ocasiona a formação de radicais, iniciando, assim, as reações em cadeia da auto-oxidação (Barriuso; Ansorena; Astiasarán, 2017).

Em contrapartida, diversos estudos reportam o potencial da flora brasileira como fonte de compostos bioativos com propriedades antioxidantes (de Oliveira *et al.*, 2020a; Ferreira *et al.*, 2022; Mariano *et al.*, 2022) os quais são caracterizados principalmente por pigmentos ou produtos do metabolismo secundário das plantas, que podem atuar tanto individualmente como em sinergia (Embuscado, 2019; Oroian; Escriche, 2015). Os antioxidantes naturais presentes em maior quantidade no reino vegetal são os compostos fenólicos, como os ácidos fenólicos, os flavonoides, as lignanas e os estilbenos. Estes, variam estruturalmente de uma única molécula fenólica a complexos polímeros de alto peso molecular que possuem um anel aromático com uma ou mais hidroxilas (Oroian; Escriche, 2015; Shahidi; Ambigaipalan, 2015).

A propriedade antioxidant do composto fenólico está associada principalmente à facilidade com a qual um átomo de hidrogênio de um grupo hidroxila do anel aromático é doado para um radical, assim como a habilidade do composto fenólico em suportar um elétron não emparelhado por meio do mecanismo de ressonância (McClements; Decker, 2018). Os antioxidantes sintéticos utilizados pela indústria apresentam o mesmo princípio de ação dos

compostos antioxidantes presentes na natureza, chamando a atenção para pesquisas que envolvam novas fontes naturais e sua aplicação em produtos alimentícios. Além de minimizar os processos oxidativos e reduzir a ingestão de aditivos sintéticos, o emprego dos antioxidantes naturais também proporciona benefícios extras à saúde, visto que estes podem ser efetivamente assimilados pelo organismo e apresentam diversas propriedades biológicas (Verma e Thakur, 2021).

A Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi), conhecida como pimenta rosa ou pimenta brasileira, está presente desde o Nordeste até o Sul do território brasileiro e apresenta um elevado potencial de exploração associado à diversidade de funcionalidades atribuídas a essa espécie. A Aroeira é uma planta ornamental e suas folhas são amplamente utilizadas na medicina popular, apresentando potencial para aplicação na indústria farmacêutica e cosmética (da Silva *et al.*, 2021). Ademais, seu fruto é vastamente empregado como condimento na culinária nacional e internacional (Bezerra, 2022; da Silva *et al.*, 2021).

Os compostos fitoquímicos com efeito antioxidante foram determinados na Aroeira, citando-se: ácidos fenólicos, flavonoides, taninos e terpenos (da Silva *et al.*, 2021; Feriani *et al.*, 2021; de Oliveira *et al.*, 2020a; da Silva *et al.*, 2019; Feuereisen *et al.*, 2017). Assim, a adição de frutos e de folhas da Aroeira a matrizes alimentícias como o salame pode, além de agregar características nutricionais e sensoriais, representar uma alternativa frente aos efeitos decorrentes da oxidação lipídica durante o processamento e estocagem, contribuindo para a sua estabilidade oxidativa e representar uma opção aos aditivos sintéticos.

O uso da Aroeira como antioxidante natural, assim como os processos oxidativos em salame e o efeito do processamento sobre a composição lipídica de alimentos já foram apresentados em pesquisas prévias. Entretanto, não existem estudos que reportem o emprego da Aroeira, tanto as folhas quanto dos frutos, como condimento e antioxidante natural em salames, justificando a realização deste estudo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Salames e novos paradigmas de consumo de produtos cárneos processados

Dentre os alimentos cárneos industrializados, a fabricação de embutidos representa um segmento importante e citam-se: linguiças, salames, salsichas e mortadelas. Estes são bastante consumidos, cujas diferenças dão-se principalmente pelo grau de fragmentação dos principais ingredientes, sujeitos às forças do corte, esmagamento e ruptura características desse tipo de produto (Ordoñez, 2005), formando ou não emulsões cárneas. Os embutidos cárneos são produtos elaborados com carne ou órgãos comestíveis, curados ou não, condimentados, podendo ou não serem cozidos, defumados, ou não, dessecados e contido em envoltório natural, sendo permitido o emprego de envoltórios artificiais, desde que previamente aprovados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), órgão regulador da saúde (Brasil, 2017).

O efeito da fragmentação dos tecidos musculares e adiposos determina a capacidade da carne sofrer as transformações necessárias à elaboração do produto desejado. Durante o processamento dos embutidos, as partículas de carne e gordura ficam aderidas entre si devido à extração de proteínas, exsudação de água e liberação de lipídios, que se encontram distribuídos ao redor de partículas íntegras de tecido. E a massa obtida, constituída de partículas de diferentes tamanhos, é moldada através do embutimento (Meireles *et al.*, 2020).

Em relação ao processamento de salames, a influência da fração lipídica nas propriedades sensoriais de produtos de carne de suíno, embutidos em invólucros de pequeno diâmetro, curados, fermentados, secos, adicionados de sal e especiarias, deve-se a fenômenos hidrolíticos e oxidativos, bem como à sua tipologia e composição (Summo *et al.*, 2010). Dentre as principais reações descritas, citam-se a degradação lipídica (reações oxidativas), degradação da tiamina, fermentação microbiana de carboidratos e metabolismo microbiano, assim como as interações complexas entre eles, a exemplo da degradação de aminoácidos produzida por produtos de oxidação lipídica (Flores, 2018).

A qualidade do produto é associada pelos consumidores aos sinais extrínsecos, relacionados aos sistemas de criação (bem-estar animal), agrobiodiversidade e tradição. O consumo também é estimulado pela redução do uso de aditivos nos produtos (Škrlep *et al.*, 2019), assim como o interesse pelas produções locais de alimentos dá-se devido às suas propriedades nutricionais. A influência da carne suína nas características químicas, físicas e organolépticas de

produtos cárneos como o salame destaca o componente lipídico, ressalta-se que o componente genético e a dieta alteram o perfil de ácidos graxos da matriz cárnea (Ambrosio *et al.*, 2021)

Baggio e Bragagnolo (2006) avaliaram a composição da fração lipídica salames armazenados em diferentes períodos, observando, em média, para os teores de lipídios totais (g/100 g) e colesterol (mg/100 g), respectivamente: 23 ± 5 e 53 ± 5 no tempo zero, 21 ± 4 e 55 ± 4 aos 30 dias, $21,3 \pm 1$ e 57 ± 4 aos 60 dias, 21 ± 5 e 55 ± 9 aos 90 dias e 22 ± 5 e 48 ± 6 aos 120 dias, não diferindo ($p > 0,05$) entre os tempos de avaliação. Para o perfil de ácidos graxos (g/100g) foram mensurados o total de 39 de ácidos graxos saturados (AGS), 46 de ácidos graxos monoinsaturados (AGMI), 15 de ácidos graxos poli-insaturados (AGPI), 0,5 de total de ω^3 , 14,4 de total de ω^6 , 0,4 para AGPI/AGS e 29 para ω^6/ω^3 . De acordo com os pesquisadores, o uso de aditivo sintético (eritorbato de sódio) e condimentos no processamento dos salames evitou a redução de formação de radicais livres oriundos de ácidos graxos insaturados e não houve formação de óxidos de colesterol.

Resultados semelhantes foram identificados por Baggio e Bragagnolo (2008), os pesquisadores avaliaram a composição da fração lipídica de cinco diferentes marcas comerciais de salames, observando, em média: $25 \pm 3,0$ g/100 g de lipídios totais, 59 ± 7 mg/100 g de colesterol e ausência de óxidos de colesterol. No perfil de ácidos graxos (g/100 g de lipídios) foram quantificadas frações equivalentes à: 39 de AGS, 46 de AGMI e 15 de AGPI. De acordo com os pesquisadores, os resultados divergiram da literatura, fato justificado pelos níveis de lipídios e colesterol variarem em função da idade, raça, sexo, dieta e sistema de criação dos animais, assim como devido às formulações e métodos analíticos diversificados.

A indústria de alimentos está atenta à demanda por “rótulos limpos” e não só as novas soluções tecnológicas, como o desenvolvimento contínuo de métodos de processamento e de conservação de alimentos são continuamente aprimorados (Guimarães *et al.*, 2021; Stoica *et al.*, 2022). A produção e o consumo sustentável de alimentos são fatores-chave para promover os objetivos de desenvolvimento sustentável e a transição para uma economia circular, a fim de tornar os sistemas alimentares justos, saudáveis e ambientalmente amigáveis (Cassani, Marcovich e Gomez-Zavaglia, 2022).

Estudos relatam as evidências do alto consumo de carnes, especialmente as processadas, associadas a riscos de várias doenças crônicas. A ingestão diária de carnes não processadas (100 g/dia) resultou em risco não significativo a estatisticamente aumentado, equivalente à: 11% para

acidente vascular cerebral e câncer de mama, 15% para mortalidade cardiovascular, 17% para colo retal e 19% para câncer de próstata avançado, enquanto que para a ingestão de carne processada (50 g/dia), os riscos foram significativos para maioria das doenças estudadas (4% para câncer próstata, 8% para mortalidade por câncer, 9% para mama, 18% para câncer colo retal e 19% para câncer pancreático, 13% para acidente vascular cerebral, 24% para mortalidade cardiovascular e 32% para diabetes) (Wolk, 2017).

Dessa forma, as mudanças nos hábitos alimentares surgem em resposta aos desafios sociais urgentes de saúde pessoal, pública e planetária. O avanço em direção a modelos de sistemas integrados, práticas de pesquisa para dietas saudáveis e sustentáveis e consumidores engajados, significa considerar as complexas interações entre indivíduos e sistemas. Há uma intersecção entre a saúde nutricional, sustentabilidade ambiental e comportamento do consumidor, com sinergias entre a vida e as ciências sociais, para a conquista de inovações transversais no apoio à transição alimentar (Tufford *et al.*, 2023). O que desafia para a busca de estratégias para melhorar a qualidade global dos alimentos cárneos ultraprocessados, parte integrante da dieta e do suprimento nutricional para a segurança alimentar.

Adicionalmente, a preocupação crescente com a saúde, relacionada ao uso de antioxidantes sintéticos estimula a indústria de alimentos a identificar alternativas para minimizar a oxidação lipídica e assim melhorar a qualidade e segurança alimentar (Bayram e Decker, 2023). É notável a preferência dos consumidores por alimentos adicionados de produtos naturais, visto que estão mais conscientes da relação entre seus hábitos alimentares e a qualidade nutricional, desta forma há tendência de substituição parcial ou total desses aditivos sintéticos por naturais, não só pelas capacidades antioxidantes e antimicrobianas, mas devido aos aspectos sensoriais que conferem ao produto, impulsionando a venda desses alimentos (Santos *et al.*, 2018, Embuscado, 2019).

Em relação ao uso de aditivos nutricionais, a avaliação é baseada no controle da IDA (Ingestão Diária Aceitável), que foi desenvolvida pelo comitê The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives – JECFA (Joint FAO, 2014). Segundo o JECFA, aditivos alimentares são substâncias que não são normalmente consumidas como alimentos e não funcionam como ingrediente para o alimento, podendo ter ou não um valor nutritivo. Além disso, são adicionados intencionalmente aos alimentos com um propósito tecnológico nas fases de manufatura, processamento, preparação, tratamento, acondicionamento, embalagem e transporte, que pode resultar, direta ou indiretamente, na preservação de sua composição ou derivados, ou

afetar as características do alimento. Com o advento de alimentos processados na segunda metade do século XX, muito mais aditivos têm sido empregados, sendo esses de origem artificial ou natural, diretos ou indiretos.

Todavia, a legislação brasileira por meio do Decreto n. 9.013 de 2017 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento define ingrediente como qualquer substância empregada na fabricação ou na preparação de um produto, incluídos os aditivos alimentares, e que permaneça ao final do processo, ainda que de forma modificada, conforme estabelecido em legislação específica e normas complementares, sob efeito do Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal (DIPOA). Este, estabelecerá dentre os aditivos e coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso em alimentos, aqueles que possam ser utilizados nos produtos de origem animal e seus limites máximos, quando couber (Brasil, 2017).

Os aditivos alimentares são ingredientes adicionados de forma intencional ao alimento com o objetivo de modificar as características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais. São ingredientes que desempenham funções como antioxidantes, corantes, espessantes, reguladores de acidez e emulsificantes. Por outro lado, os coadjuvantes de tecnologia de fabricação são substâncias adicionadas durante o processo de fabricação de matérias-primas alimentares, alimentos ou ingredientes alimentares, de forma a obter uma finalidade tecnológica durante a elaboração dos alimentos.

A utilização de aditivos tem como justificativas razões tecnológicas, nutricionais ou sensoriais. Segundo a Portaria nº 540 - SVS/MS, de 27 de Outubro de 1997 (Brasil, 1997), a necessidade tecnológica do uso de um aditivo se justifica sempre que propiciar benfeitorias de caráter tecnológico e não quando estas puderem ser atingidas por adequação das operações de fabricação, por maiores cuidados de higiene ou operação. O uso de aditivos tem como restrição ser limitado à alimentos e condições específicas, e deve ser utilizado o menor nível para que se alcance o efeito desejado. Para sua utilização, é necessário seguir o valor de IDA recomendado e atender às exigências de pureza previamente estabelecidas pela FAO-OMS ou pelo Food Chemical Codex.

A Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 272, de 14 de Março de 2019 estabelece os aditivos alimentares autorizados para uso em carnes e produtos cárneos. Em relação aos produtos cárneos industrializados secos, que compreendem aqueles submetidos a um processo de desidratação parcial para favorecer sua conservação por um período prolongado, a exemplo dos

salames, o seguintes aditivos alimentares contendo suas respectivas funções, limites máximos e condições de uso permitidos estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Aditivos alimentares autorizados para uso em produtos cárneos secos

Função	INS	Nome	Limite máximo (g/100 g)	Notas
Acidulante	270	Ácido láctico (L-, D- e DL-)	<i>Quantum satis</i>	
	330	Ácido cítrico	<i>Quantum satis</i>	
	575	Glucono-delta-lactona	<i>Quantum satis</i>	
Regulador de acidez	325	Lactato de sódio	3,5	
	326	Lactato de potássio	3	
	327	Lactato de cálcio	<i>Quantum satis</i>	
	331iii	Citrato trissódico, citrato de sódio	<i>Quantum satis</i>	
	332ii	Citrato tripotássico, citrato de potássio	<i>Quantum satis</i>	
	333	Citrato tricálcico, citrato de cálcio	<i>Quantum satis</i>	
	261	Acetato de potássio	<i>Quantum satis</i>	
	262(i)	Acetato de sódio	<i>Quantum satis</i>	
Antioxidante	300	Ácido ascórbico (L-)	<i>Quantum satis</i>	
	301	Ascorbato de sódio	<i>Quantum satis</i>	
	302	Ascorbato de cálcio	<i>Quantum satis</i>	
	303	Ascorbato de potássio	<i>Quantum satis</i>	
	315	Ácido eritóblico, ácido isoascórbico	<i>Quantum satis</i>	
	316	Eritorbato de sódio, isoascorbato de sódio	<i>Quantum satis</i>	
Aromatizante	----	Todos os autorizados pela RDC n. 2/2007 e alterações.	<i>Quantum satis</i>	-----
Corante	100i	Cúrcuma ou curcumina	0,002	Expresso como curcumina
	120	Carmim	0,01	Expresso como ácido carmínico
	150a	Caramelo I	<i>Quantum satis</i>	
	150b	Caramelo II - processo sulfito	<i>Quantum satis</i>	Para uso na superfície. Limite de 0,2 g/100g, na massa de produtos que contêm proteína vegetal na sua composição.

	150c	Caramelo III processo amônia		
	150d	Caramelo IV processo sulfito- amônia		
	160ai,	Carotenos: extratos naturais	0,002	
	160b	Urucum, bixina, norbixina, extrato de annatto e sais de Na e K	0,002	Expresso como norbixina e somente para tratamento de superfície.
	160c	1Extrato de páprica, capsorubina, capsantina	0,001	Expresso como capsantina.
	162	Vermelho beterraba	<i>Quantum satis</i>	
Conservador	200	Ácido sórbico	0,02	Expresso como ácido sórbico, somente para uso externo, tratamento de superfície (ausência na massa) e sozinhos ou em combinação.
	201	Sorbato de sódio		
	202	Sorbato de potássio		
	203	Sorbato de cálcio		
	235	Pimaricina, natamicina	0,002	Somente para tratamento da superfície da peça inteira de produtos embutidos, equivalente a 1 mg/dm ² aplicado na superfície a uma profundidade máxima de 5 mm.
	249	Nitrito de potássio	0,015	A soma dos nitritos e nitratos, determinados como quantidade máxima residual, não deve superar 0,015g/100g, expressa como nitrito de sódio.
	250	Nitrito de sódio		
	251	Nitrito de sódio	0,03	
	252	Nitrito de potássio		
Estabilizante/ Espessante	262ii	Diacetato de sódio, diacetato ácido de sódio	0,1	
	338, 339i, 339ii, 339iii, 340i, 340ii, 340iii, 341i, 341ii, 341iii, 342i, 342ii, 343i, 343ii, 343iii, 450i, 450ii, 450iii,	Fosfatos	0,05	-Limite máximo expresso como P_2O_5 . - Quantidade adicionada, sem considerar a quantidade naturalmente presente na carne.
	450v, 450vi, 450vii, 450ix, 451i, 451ii, 452i, 452ii, 452iii			
Realce de sabor	620	Ácido glutâmico	<i>Quantum satis</i>	-----
	621	Glutamato monossódico	<i>Quantum satis</i>	-----

	622	Glutamato monopotássico	<i>Quantum satis</i>	-----
	623	Diglutamato de cálcio	<i>Quantum satis</i>	-----
	624	Glutamato monoamônico	<i>Quantum satis</i>	-----
	625	Glutamato de magnésio	<i>Quantum satis</i>	-----
	627	Guanilato dissódico	<i>Quantum satis</i>	-----
	628	Guanilato 5'-dipotássio	<i>Quantum satis</i>	-----
	629	Guanilato 5'- cálcio	<i>Quantum satis</i>	-----
	630	Ácido inosínico 5'-	<i>Quantum satis</i>	-----
	631	Inosinato dissódico	<i>Quantum satis</i>	-----
	632	Inosinato 5'-dipotássio	<i>Quantum satis</i>	-----
	633	Inosinato 5'- cálcio	<i>Quantum satis</i>	-----
Emulsificante	472a	Ésteres de mono e diglicerídeos de ácidos	<i>Quantum satis</i>	Somente para uso na superfície, para adesão de condimentos e especiarias no produto final.

Fonte: RDC Nº 272, de 14 de Março de 2019 (BRASIL, 2019).

A RDC nº 272/2019 incorpora ao ordenamento jurídico nacional a Resolução GMC/MERCOSUL nº 63/18 e determina que os aditivos devem atender às especificações mais atuais estabelecidas pelo Comitê da FAO/OMS de Especialistas em Aditivos Alimentares, pelo Food Chemicals Codex- FCC (Código dos Produtos Químicos Alimentícios) ou pela União Europeia, o que confere conformidade com a legislação internacional quanto aos uso de aditivos alimentares. Considerando as restrições de uso de aditivos sintéticos, a busca por antioxidantes naturais e seu emprego na produção de salames é recurso para a prevenção e controle de processos oxidativos durante o processamento e armazenamento, com redução da ingestão de compostos nocivos à saúde e preservação da qualidade nutricional deste produto cárneo reestruturado.

2. Tecnologia da produção de salames

O salame é definido como um produto cárneo industrializado, mais precisamente, um embutido cru, curado, fermentado, maturado, dessecado e defumado ou não. Na sua composição apresenta ingredientes obrigatórios: carne suína (mínimo de 60%, exceto para o salame tipo hambúrguer, onde o teor permitido é mínimo de 50%), toucinho, sal, nitrito e/ou nitrato de sódio

e/ou potássio. Dentre os ingredientes opcionais: carne bovina, leite em pó, açúcares, maltodextrinas, proteína animal, aditivos intencionais, vinho, condimentos, aromas e especiarias e substâncias glaceantes (revestimento externo). Embutidos em envoltórios naturais e/ou artificiais, podendo conter mofos como uma consequência natural do processo tecnológico de fabricação (Brasil, 2000). As culturas starters são adicionadas como coadjuvantes de tecnologia, responsáveis pela maturação do produto cárneo e caracterização de cor e sabor.

O processamento de salames deve garantir a obtenção desse produto cárneo reestruturado conforme a Instrução Normativa (IN) n. 22, de 31 de julho de 2000 do MAPA, que define as características de identidade e qualidade de diferentes tipos de salames, conforme apresentado na Tabela 3, cujas principais diferenças estão relacionadas ao tipo de matéria-prima utilizada na fabricação e na granulometria da carne e do toucinho, com maior ênfase na condimentação presente (Brasil, 2000).

De acordo com a IN n. 22 do MAPA, o salame apresenta parâmetros físico-químicos que caracterizam o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade (RTIQ) deste produto cárneo reestruturado, dentre os quais: o valor de atividade de água (a_w) máximo de 0,92, para a umidade máximo de 40%, gordura o máximo de 35%, proteínas o mínimo de 20% e 4,0% de limite máximo de carboidratos (BRASIL, 2000). Na figura 1, as etapas do processo de fabricação de salames estão apresentadas.

Tabela 2. Relação dos principais tipos de salames

Salame	Definição	Composição		Características físico-química
		Obrigatório	Opcional	
Salaminho	Produto cárneo industrializado, elaborado de carne suína ou suína e bovina, toucinho, com granulometria média entre 6 e 9 mm, embutido em envoltórios naturais ou artificiais, adicionado de ingredientes, curado, defumado ou não fermentado, maturado e dessecado por tempo indicado pelo processo de fabricação	Carne Suína (mínimo de 60%) Toucinho Sal Nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio	Carne Bovina Leite em pó Açúcares Maltodextrinas Proteínas lácteas Aditivos intencionais Vinho Condimentos, aromas e especiarias Substâncias glaceantes (revestimento externo)	Atividade de água a_w (máx.) - 0,90 Umidade (máx.) - 35% Gordura (máx.) - 32% Proteína (mín.) - 25% Carboidratos totais (máx.) - 4,0%

Tipo Italiano	Produto cárneo industrializado, elaborado de carnes suínas ou suínas e bovinas, toucinho, adicionado de ingredientes, moídos em granulometria média entre 6 e 9 mm, embutidos em envoltórios naturais ou artificiais, curado, defumado ou não, fermentado, maturado e dessecado por tempo indicado pelo processo de fabricação	Carne de Suíno (min. 60%) Toucinho Sal Nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio	Carne bovina Leite em pó Açúcares Maltodextrinas Proteínas lácteas Aditivos intencionais Vinho Condimentos, aromas e especiarias Substâncias glaceantes (revestimento externo)	Atividade de água a_w (max.) - 0,90 Umidade (max.) - 35% Gordura (max.) - 32% Proteína (mín.) - 25% Carboidratos totais (máx.) - 4,0%
Tipo Milano	Produto cárneo industrializado, elaborado de carnes suínas ou suínas e bovinas, toucinho, adicionado de ingredientes, com granulometria média entre 3 e 6 mm, embutido em envoltórios naturais ou artificiais, curado, defumado ou não, fermentado, maturado e dessecado por tempo indicado pelo processo de fabricação.	Carne de Suíno (mín. 60%) Toucinho Sal Nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio	Carne bovina Leite em pó Açúcares Maltodextrinas Proteínas lácteas Aditivos intencionais Vinho Condimentos, aromas e especiarias Substâncias glaceantes (revestimento externo)	Atividade de água a_w (máx.) 0,90 Umidade (máx.) 35% Gordura (máx.) 35% Proteína (mín.) 23% Carboidratos totais (máx.) - 4,0%
Tipo Napolitano	Produto cárneo industrializado, elaborado a partir de carnes suínas ou suínas e bovinas, adicionado de toucinho, ingredientes, moídos em granulometria grossa (de 8 a 12 mm), pimenta do reino quebrada ou em grãos, alho, embutido em envoltório natural ou artificial, curado, fermentado, maturado, defumado ou não e dessecado por tempo indicado pelo processo de fabricação.	Carne de suíno (mínimo de 60%) Toucinho Pimenta do reino Alho Sal Nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio	Carne bovina Leite em pó Açúcares Maltodextrinas Proteínas lácteas Aditivos intencionais Vinho Condimentos, aromas e especiarias Substâncias glaceantes (revestimento externo)	Atividade de água a_w (max.) - 0,91 Umidade (max.) - 35% Gordura (máx.) - 35% Proteína (mix.) - 23% Carboidratos totais (máx.) - 4,0%
Tipo Friolano	Produto cárneo industrializado, elaborado	Carne de suíno Toucinho Sal	Leite em pó Açúcares Maltodextrinas	Atividade de água a_w (máx.) - 0,90

	exclusivamente de carnes suínas e toucinho, adicionado de ingredientes, moídos em granulometria média entre 6 e 9 mm, embutido em envoltórios naturais ou artificiais, adicionados de ingredientes, curado, defumado ou não, fermentado, maturado e dessecado por tempo indicado pelo processo de fabricação	Nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio	Proteínas lácteas Aditivos intencionais Vinho Condimentos, aromas especiarias Substâncias glaceantes (revestimento externo)	Umidade (máx.) - 35% Gordura (máx.) - 30% Proteína (mín.) - 25% Carboidratos totais (máx.) - 4,0%
Tipo Hambúrguês	Produto cárneo industrializado, elaborado de carnes suínas ou suínas e bovinas, adicionado de ingredientes, com granulometria média entre 3 e 6 mm embutido em envoltórios naturais ou artificiais, curado, defumado, fermentado, maturado, e dessecado por tempo indicado pelo processo de fabricação.	Carne de Suíno (mínimo 50%) Toucinho Sal Nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio	Carne Bovina Leite em pó Açúcares Maltodextrinas Proteínas lácteas Aditivos Vinho Condimentos, aromas especiarias Substâncias glaceantes (revestimento externo)	Atividade de água a_w (max.) - 0,92 Umidade (max.) - 40% Gordura (max.) - 35% Proteína (min.) - 23% Carboidratos totais (máx.) - 4,0%
Tipo Alemão	Produto cárneo industrializado, elaborado a partir de carne exclusivamente de suínos, adicionado de toucinho, moídos em granulometria fina (de 3 a 6 mm), embutidos em envoltório natural ou artificial, curado, fermentado, maturado, defumado ou não e dessecado por tempo indicado pelo processo de fabricação.	Carne de suíno Toucinho Sal Nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio	Leite em pó Açúcares Maltodextrinas Proteínas lácteas Aditivos intencionais Vinho Condimentos Aromas especiarias Substâncias glaceantes (revestimento externo)	Atividade de água a_w (max.) - 0,92 Umidade (max.) - 40% Gordura (max.) - 35% Proteína (min.) - 25% Carboidratos totais (máx.) - 4,0%
Tipo Calabês	Produto cárneo industrializado, elaborado de carne suína ou suína e bovina, adicionado de toucinho, moídos em granulometria média entre 10 e 15 mm, adicionado de ingredientes, embutido em envoltório natural	Carne de Bovina (mín. 60%) Toucinho Sal Nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio Pimenta calabresa	Leite em Pó Açúcares Maltodextrinas Proteínas lácteas Aditivos intencionais Vinho Condimentos, aromas especiarias Substâncias	Atividade de água a_w (max.) - 0,90 Umidade (max.) - 35% Gordura (max.) - 35% Proteína (min.) - 25% Carboidratos totais (máx.) - 4,0%

	ou artificial, curado, fermentado, maturado e dessecado por tempo indicado pelo processo de fabricação.	glaceantes (revestimento externo)	
--	---	-----------------------------------	--

Fonte: IN 22, de 31 de julho de 2000 (BRASIL, 2000).

Os valores de a_w associados ao pH tornam o produto estável, podendo ser conservado sem refrigeração. O declínio do pH durante os primeiros dias de fermentação é fundamental para garantir a inibição de microrganismos indesejáveis, conversão e estabilização da cor, com a formação de compostos relacionados às características de sabor e aroma. A legislação brasileira não define o pH como parâmetro de qualidade para salames, porém valores próximos do ponto isoelétrico das proteínas é considerado ideal, uma vez que irá contribuir para perda de umidade e atividade de água do produto. Entretanto, o pH, a atividade de água e a textura são fatores decisivos no momento da aquisição do produto, pois interferem nas características sensoriais (Altemio *et al.*, 2022).

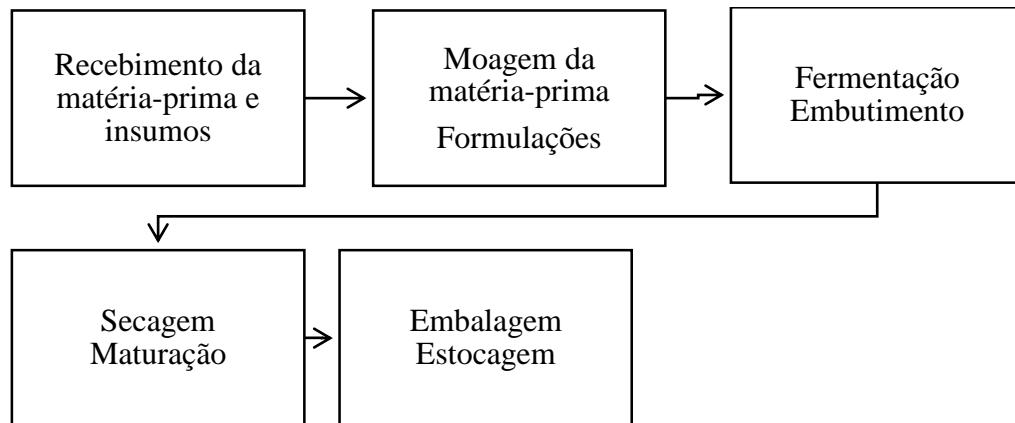


Figura 1: Fluxograma básico do processamento de salames

Durante a produção de salames, os micro-organismos naturalmente presentes nas matérias-primas e eventualmente inoculadas como starters são responsáveis pelo processo de fermentação. No processamento ocorrem uma sucessão de eventos que caracterizam o gotejamento, a fermentação, secagem e as fases de amadurecimento. Estes, precisam ser monitorados para garantir a higiene, a segurança e a qualidade sensorial do produto. Adicionalmente, as propriedades intrínsecas da carne podem afetar o crescimento e a sobrevivência de grupos microbianos, as composições químicas orgânicas, assim como as propriedades sensoriais (Gaglio *et al.*, 2016). De

acordo com Erdmann, Lautenschlaeger, Weiss (2015), os produtos cárneos fermentados crus são processados com uma combinação de obstáculos, como a redução do pH e da atividade de água, mantendo-se seguros por até dois anos em temperatura ambiente.

As bactérias podem crescer e sobreviver em uma enorme variedade de alimentos e ambientes, dessa forma, a capacidade de controlar seu crescimento é o princípio-chave para se obter um alimento seguro (Altemio *et al.*, 2022). Os alimentos não podem conter micro-organismos patogênicos, suas toxinas ou metabólitos em quantidades que causem dano para a saúde humana. Para tal, a Tecnologia de Obstáculos é uma técnica pela qual fatores de conservação são aplicados no alimento para potencializar sua segurança, de forma a controlar o crescimento de bactérias indesejáveis, sem comprometer a integridade do produto alimentício (por exemplo, coloração, sabor e textura).

A ANVISA estabelece as listas de padrões microbiológicos de alimentos prontos para oferta ao consumidor, conforme regulamentado na IN 60, de 23 de Dezembro de 2019 (Colegiada, 2019) e RDC nº 331, de 23 de dezembro de 2019 (ANVISA, 2019). Na Tabela 3 estão apresentados os padrões microbiológicos para frutas e derivados (secos, desidratados ou liofilizados) e para o produto pronto para consumo do tipo salame.

Tabela 3: Padrões microbiológicos de alimentos

Alimento	Microrganismo	Tolerância para amostra representativa			
		n	c	m	M
Frutas e derivados (Secos, desidratados ou liofilizados)	<i>Escherichia coli</i> /g	5	2	10	10^2
	<i>Salmonella</i> sp/25g	10	0	Aus	-
	Bolores e leveduras/g	5	1	10^3	10^4
Produtos cárneos (Maturados, dessecados - salames)	<i>Salmonella</i> /25g	5	0	Aus	-
	Estafilococos coagulase positiva/g	5	1	10^2	10^3
	<i>Escherichia coli</i> /g	5	2	<10	10^2

n = plano de amostragem: componente do padrão microbiológico que define o número de unidades amostrais a serem coletadas aleatoriamente de um mesmo lote e analisadas individualmente; c = tamanho da unidade analítica e a indicação do número de unidades amostrais toleradas com qualidade intermediária; m = limite microbiológico (m): limite que, em um plano de três classes, separa unidades amostrais de "Qualidade Aceitável" daquelas de "Qualidade Intermediária" e que, em um plano de duas classes, separa unidades amostrais de "Qualidade Aceitável" daquelas de "Qualidade Inaceitável"; M = limite microbiológico (M): limite que, em um plano de três classes, separa unidades amostrais de "Qualidade Intermediária" daquelas de "Qualidade Inaceitável".

Fonte: IN 60, de 23 de Dezembro de 2019 (Colegiada, 2019)

A fermentação é uma das técnicas de conservação mais antigas e é um dos obstáculos mais utilizados na fabricação de salames. A fermentação de carnes é obtida pela adição de bactérias

selecionadas e seguras utilizadas como culturas iniciais, estas concorrem para uma acentuada redução no pH. Outro obstáculo importante é a diminuição da atividade aquosa durante a produção, com redução da quantidade de água livre disponível para o crescimento bacteriano. Contudo, Brugnini *et al.* (2024) destacaram que embora a queda do pH durante a fermentação e a diminuição da atividade da água durante a secagem sejam parâmetros que devam ser controlados durante a produção do salame, para garantir a segurança dos processos, os fabricantes de embutidos fermentados do tipo salame devem validar sua formulação (cultura starter utilizada, ingredientes e quantidades adicionadas) e condições de processamento (temperatura de fermentação, temperatura de secagem e calibre) para demonstrar que o alvo de inativação de *Listeria* (maior que 3 log UFC/g (Unidades Formadoras de Colônias)) e a inativação de outros patógenos foi alcançado.

A fermentação é um método simples e barato para a preservação de produtos cárneos específicos, com aroma agradável. Trata-se de um processo biológico natural que pode ser facilmente adotado mesmo em países em desenvolvimento, com a vantagem de dispensar refrigeração. Existem centenas de formulações diferentes para produtos cárneos fermentados no mundo todo. Em cada país, nomes e processos diferentes podem ser encontrados e a maioria deles são tradicionais. Sucuk (Turquia), Salame Húngaro, Kantwurst (Áustria), Lup cheong (China), Salame Milano (Itália), salsicha de verão (EUA), salame eros (Grécia), Chouriço (México, Espanha), Salchichon (Espanha), Fuet (Espanha) e Pepperoni (Canadá, EUA) são exemplos de produtos cárneos fermentados.

Apesar do salame ser um produto tradicional, o modo de preparo, a formulação e as matérias-primas utilizadas podem interferir nas características finais do produto elaborado, com influência na preferência dos consumidores (Altemio *et al.*, 2022). Vale ressaltar que os produtos fermentados curados são considerados como prontos para consumo, então, não precisam de um tratamento térmico antes de serem consumidos. Quando o alimento necessita ser armazenado por um período prolongado, o uso de aditivos e conservantes é essencial, a fim de manter a qualidade, viabilidade e sabor.

Embora a fermentação e a secagem estejam entre os mais antigos métodos de preservação e conservação de alimentos. A ampla variedade de processos, sob influência de fatores físicos, químicos, biológicos e microbiológicos, torna necessária a pesquisa contínua. Entretanto, vale ressaltar que a legislação vigente para controle da qualidade e segurança alimentar, de acordo com a IN n.22 do MAPA (BRASIL, 2000), estabelece os parâmetros físico-químicos que caracterizam

o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade dos salames. Estes requisitos são requeridos para garantir as características mínimas de qualidade desse produto cárneo reestruturado, e devem ser considerados para o desenvolvimento de novas tecnologias no processamento de salames.

A seguir, os parâmetros físico-químicos (perda de peso durante o processamento, pH, atividade de água, acidez, umidade, lipídios totais, proteína, cinzas, carboidratos totais, teor de cloreto de sódio e cor) de salames variados identificados na literatura estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros físico-químicos e de cor em salames

Referência / Estratégias de fabricação	Umidade	Lipídios	Proteína	Cinzas	NaCl	pH	a_w	PP	L*	a*	b*	c*	h
(Zanardi <i>et al.</i> , 2000) Salame tipo Milano suíno	36,5 ± 2,1	29,5 ± 1,4	28,71 ± 1,3		4,3 ± 0,3	5,7±0,3							
(Zanardi <i>et al.</i> , 2002) Salame tipo Milano fatiado (tempo 0) e após maturação (60 dias)	55,40 ± 0,8 - 38,63 ± 0,60	22,26 ± 0,21 - 31,91 ± 0,83	18, 27 ± 0,25- 23,99 ± 0,24	3,87 ± 0,30, 5,24 ± 0,12	2,74 ± 0,16	6,32 ± 0,04 - 5,55 ± 0,06 - 4,15 ± 0,12	0,949 ± 0,003 - 0,887 ± 0,003						
(Nobile <i>et al.</i> , 2009) Salame com pão de forma e proteína do soro de leite	26,01 - 37,04	23,64 - 29,84	30,88 - 38,52	5,73 - 7,49					40,39 - 45,70	7,99 - 10,13	2,58 - 4,91		
(Van Schalkwyk <i>et al.</i> , 2011) Salames de animais de caça	34,3 ± 1,18 - 48,6 ± 0,37	30,1 ± 2,19 - 31,1 ± 1,77,	22,8 ± 1,12 - 15,5 ± 0,21	3,8 ± 0,0 - 5,0 ± 0,30	3,11 ± 1,12 - 3,9 ± 0,0	4,98 ± 0,067- 5,46 ± 0,034 - 0,83 ± 0,001	0,79 ± 0,007 - 0,83						
(Campagnol <i>et al.</i> , 2011) Salame com macela (<i>Achyrocline satureoides</i>)									37,78 ± 0,81 - 54,39 ± 0,18	11,23 ± 0,15 - 24,33 ± 0,82	10,59 ± 0,05 - 13,23 ± 0,14		
(Backes <i>et al.</i> , 2013) Salame Italiano com óleo de canola									40,53 ± 1,70 - 55,98	5,04 ± 0,43 - 13,79	13,56 ± 2,18 - 25,74		

								\pm 1,05	\pm 1,08	\pm 3,34		
(Novelli <i>et al.</i> , 2014) Salames com fenólicos						5,21 \pm 0,03 - 5,36 \pm 0,02	0,911 \pm 0,007 - 0,921 \pm 0,002					
(Mendes <i>et al.</i> , 2014) Salame Milano com subprodutos de vinho	28,60 \pm 0,55 - 34,56 6,17	30,38 \pm 1,94 - 34,37 \pm 1,18	24,25 \pm 0,74 - 27,07 \pm 0,93	3,30 \pm 0,24 - 4,26 \pm 0,29			0,803 \pm 0,011 - 0,885 \pm 0,019	32,13 \pm 3,33 - 39,00 \pm 0,56				
(Marino <i>et al.</i> , 2015) Salames com carne de jumento	29,68 - 31,46	27,02 - 35,88	27,55 - 33,55	6,89 - 7,37								
(Gaglio <i>et al.</i> , 2016) Salame bovino (descarte, adultos e jovens)	41,77 \pm 0,40 - 37,01 \pm 0,32	32,07 \pm 0,44 - 41,66 \pm 0,51	49,07 \pm 0,17 - 56,25 \pm 0,54	9,34 \pm 0,06 - 11,21 \pm 0,10		5,23 \pm 0,01 - 5,3 \pm 0,01	0,86 \pm 0,39 - 0,88 \pm 0,65 \pm 0,02	41,91 \pm 0,95 - 45,43 \pm 77,02 \pm 1,03	37,66 \pm 1,37 - 15,47 \pm 0,93	10,44 \pm 8,24 - 15,47 \pm 1,03	3,25 \pm 0,6, - 8,24	
(Pramualkijja; Pirak; Kerdsup, 2016) Salames de carne bovina com farelo de arroz e malva						5,39 \pm 0,05 - 5,33 \pm 0,0	0,873 \pm 0,27 - 0,880 \pm 0,0,0	20,34 \pm 0,62 - 20,99 \pm 1,22	49,88 \pm 0,61- 10,33 - 50,42 \pm 0,44	9,77 \pm 0,75 - 8,49 \pm 0,44 \pm 0,84	7,67	
(Kunrath <i>et al.</i> , 2017) Salames tipo Italiano com própolis	28,38 \pm 1,39 - 31,15 \pm 2,82, P:28,86 \pm 0,62 - 32,78 \pm 1,17	23,72 \pm 0,44 - 25,44 \pm 0,38		11,49 \pm 0,53 - 13,20 \pm 1,15								
(Miraglia <i>et al.</i> , 2017) Salame Fabriano de suínos suplementados com orégano (<i>Origanum vulgare L.</i>)	33,69 \pm 0,76 - 34,06 \pm 0,68	37,31 \pm 1,06 - 37,61 \pm 0,94	23,48 \pm 0,64 - 24,10 \pm 0,93	4,85 \pm 0,14 - 4,90 \pm 0,17		5,13 \pm 0,03 - 5,95 \pm 0,07	0,896 \pm 0,002 - 0,954 \pm 0,009					
(Kharrat <i>et al.</i> , 2018) Salames com figo da Índia (<i>Opuntia stricta</i>)								48,15 \pm 0,26 - 49,43	22,45 \pm 0,87 - 25,53	5,01 \pm 0,81 - 5,75		

								\pm 0,51	\pm 0,75	\pm 0,52		
(Chakanya <i>et al.</i> , 2018) Salame de espécies de carne de caça	32,5 ± 3,07 - 37,3 ± 3,68	34,4 ± 2,56 - 37,3 ± 3,68	21,2 ± 2,13 - 25,8 ± 2,30	4,46 ± 0,07 - 4,94 ± 0,12	3,29 ± 0,03 - 3,10 ± 0,06	5,01 ± 0,18 - 5,77 ± 0,26						
(Ranucci <i>et al.</i> , 2019) Salame de corça x suíno	28 29,52	- 30,69 35,61	- 27,08, 29,26	- 8,03 10,53								
(Škrlep <i>et al.</i> , 2019) Salame de raça eslovena (Krškopolje) convencional e orgânico	27,7 32,3	-				5,83 6,27	- 0,868 - 0,910	32,8 - 37,7				
(Bonacina; Da Silva; Mitterer-Daltoé, 2020) Salame suíno tipo Italiano 2 marcas comerciais	33,95 ± 2,43 - 31,68 ± 7,73					4,84 ± 0,20 - 5,81 ± 0,12		50,56 ± 2,41 - 52,64 ± 3,75	17,40 ± 1,71 - 17,80 ± 0,60	11,18 ± 0,93 - 11,29 ± 0,47		
(Settanni <i>et al.</i> , 2020) Salame bovino, equino, javali e suíno, sem adição de sais de cura	48,59 66,73	- 38,87 56,93		- 6,80 9,92	- 5,26 6,30			68,59 - 88,59	1,71 - 8,30	0,30 - 2,83		
(Smit <i>et al.</i> , 2020) Salame com Honeybush	33,5 35,3	-				5,54 - 5,63	- 0,923 - 0,928	34,5 - 35,7				
(Özünlü; Ergezer, 2021) Salame misto de bovino e suíno com cogumelos (<i>Pleurotus ostreatus</i>)	56,75 ± 0,10 - 58,73 ± 0,10	18,99 ± 0,01 - 20,02 ± 0,02	18,25 ± 0,02 - 19,50 ± 0,01	1,47 ± 0,03 - 2,31 ± 0,02		5,69 ± 0,01 - 6,25 ± 0,01						
(Faria <i>et al.</i> , 2020) Salame tipo Italiano de carne com aspargos do mar						5,11 ± 0,03 - 5,66 ± 0,01		41,2 ± 0,5 - 43,5 ± 0,89	41,18 ± 0,61 - 18,81 ± 0,23	15,94 ± 0,45 - 11,71 ± 0,14		
(Bis-Souza; Penna; Da Silva Barretto, 2020)	37,12 60,85	-				4,65 - 6,01		8,59 - 38,55 - 59,90	43,85 - 14,07	12,62 - 14,07	9,84 - 12,91	

Salame com fruto-oligossacarídeos, com redução de gordura e uso de cultura starter													
(Yim; Ali; Nam, 2020)					4,42 5,36	0,83 - 0,99		40,84 - 56,71	0,47 - 7,78	1,27 - 9,96			
Salames com uso de sais alternativos													
(Ambrosio <i>et al.</i> , 2021)					5,08 0,01 5,97 0,01	0,794 ± 0,008 -		35,81 ± 1,94- 46,98	8,78 ± 0,14 -	2,79 ± 0,81- 8,77	10,76 ± 1,11 -	13,68 ± 3,50	
Salame de animais Apulo-calabresa						0,978 ± 0,002		13,84 ± 0,21 0,30	± 0,20	16,09 ± 0,36	37,95 ± 2,54		
(Demarco <i>et al.</i> , 2022)	35,35 0,05	± -	23,48 0,12	± -	27,39 0,07	± -		39,71 ± 1,29	16,51 ± 2,25	10,18 ± 1,81			
Salame com antioxidantes naturais	40,37 0,08	± 0,08	27,06 0,08	± 0,27	29,03 0,27	± -	4,54 0,01 5,04 0,04	0,866 ± 0,001 -	45,41 ± 2,87	19,78 ± 1,77	13,74 ± 1,38		
(Scerra <i>et al.</i> , 2022)	71,5 72,1	-	22,9 27,9	-	21,4 22,2	-	1,13 1,23		41,7 -	6,0	8,2	10,3	53,6 -
Salame de suínos Apulo-Calabrese alimentados com bergamota									43,8				54,2
(Mafra <i>et al.</i> , 2022)	18,6 1,33	± -	7,01 1,05	± -					39,70 ± 1,67	7 ± 2,83	17,63 ± 1,75		
Salame de Tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	21,8 2,14	± -	8,61 1,12	± -					48,61 ± 1,22	17,65 ± 0,11	36,08 ± 0,40		
(Varga-Visi <i>et al.</i> , 2022)		37	21						41,3 -			26,1- 38,8	
Salame de pálpica suíno									49,7				
(Tabanelli <i>et al.</i> , 2022)									40,26 ± 3,0	11,58 ± 1,68	4,44 ± 0,50	12,4 ± 1,6	0,37 ± 0,05
Salames com adição de KNO ₃ , NaNO ₂ e glicose									42,27 ± 4,46	- 13,51 ± 1,22	- 5,50 ± 1,01	14,6 ± 1,4	0,40 ± 0,06
(Espinales <i>et al.</i> , 2023)		8,69 0,12	± -		8,29 0,09	± -		0,985 -					
Salames com arroz		21,56 0,71	± -		10,48 ± 0,09	± -		0,988					

Valores percentuais (%), Média ± desvio padrão, U: umidade, P: proteína, L: lipídios, C: cinzas, PP: perda de peso.

3. Oxidação lipídica

Os alimentos fornecem nutrientes e atuam em funções sensoriais e na regulação fisiológica. Dentre os componentes principais, os lipídios são constituintes funcionais e estruturais das células (Wang *et al.*, 2023). Todavia, os lipídios insaturados sofrem deterioração oxidativa iniciada por radicais livres, resultando em um dos problemas mais relevantes para a qualidade e desperdício de alimentos. A oxidação lipídica ocasiona sabores indesejáveis, aldeídos tóxicos, co-oxidação de proteínas e alterações em compostos de cor (Bayram e Decker, 2023), afetando a qualidade, sabor e digestibilidade dos lipídios, assim como a segurança dos alimentos (Liu *et al.*, 2023). Além da perda de ácidos graxos essenciais, os radicais livres podem destruir vitaminas lipossolúveis e outros compostos bioativos (Rodriguez-Amaya, Shahidi, 2021).

A oxidação lipídica pode ocorrer através de três vias principais: a oxidação enzimática através da ação de enzimas como a lipoxigenases, a foto-oxidação através da ativação de um sensibilizador pela luz e auto-oxidação. Embora as duas primeiras sejam geralmente bem controladas nos alimentos através de tratamento térmico e embalagem, a auto-oxidação permanece um desafio, em particular para responder à crescente procura por parte dos consumidores de produtos mais sustentáveis e naturais. Novas tendências estão surgindo, incluindo o uso de mais antioxidantes naturais de extratos de plantas (Hennebelle *et al.*, 2024).

A oxidação lipídica é a principal razão para a mudança da fração lipídica, com decomposição oxidativa, hidrólise, isomerização, reação de ciclização e polimerização (Liu *et al.*, 2023). A auto-oxidação, reação espontânea de lipídios com o oxigênio atmosférico é o mecanismo autocatalítico de radicais livres que consiste em três estágios: iniciação, propagação e término. A etapa limitante é a formação de radicais livres (iniciação) mediados por luz, calor, metais ou enzimas, e desperta preocupação na indústria de alimentos visto que prejudica a qualidade e origina produtos deletérios à saúde (Rodriguez-Amaya, Shahidi, 2021).

Dentre as três etapas da auto-oxidação, conforme representado na figura 2, na iniciação ocorre a formação de radicais livres. O radical alquil lipídico é formado pela abstração do hidrogênio do carbono adjacente que possui uma ligação dupla (alílico). A etapa de propagação apresenta elevado consumo de oxigênio, com acréscimo nos teores de peróxidos e hidroperóxidos, associado à alteração sensorial dos alimentos. Já na etapa de terminação, há redução dos níveis de hidroperóxidos, com alterações sensoriais e físicas relevantes (Hadidi *et al.*, 2022, Liu *et al.*, 2023, Rodriguez-Amaya, Shahidi, 2021, Wang *et al.*, 2023). As reações entre radicais livres dão origem

a compostos não reativos e alteram a própria propagação. Contudo, reações entre radicais livres e antioxidantes também ocorrem nesta etapa (Hadidi *et al.*, 2022).

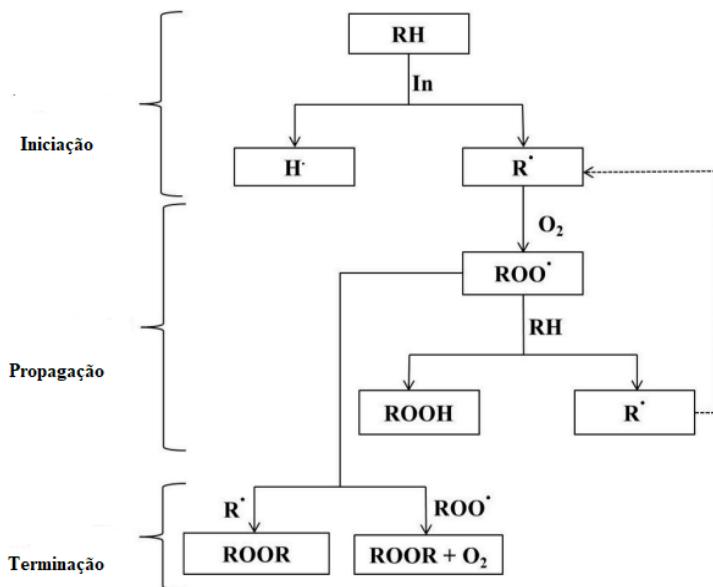


Figura 2: Representação do esquema de auto-oxidação de radicais livres de lipídios (RH: ácido graxo, In: iniciação, R*: radical alílico, ROO*: radical peroxil do lipídio, ROOH: hidroperóxido lipídico e ROOR: produto não radicalar)

Fonte: Wang *et al.* (2020)

O oxidação lipídica também pode ser dividida em duas fases, a primária e a secundária. A oxidação primária é iniciada pela formação de radicais lipídicos ($L\cdot$) a partir de um ácido graxo insaturado (LH). Estes $L\cdot$ reagem rapidamente com O_2 para formar radicais peroxil ($LOO\cdot$). O último reage ainda mais com outro LH para formar novos radicais alquil ($L\cdot$) que podem propagar a reação. Os hidroperóxidos (LOOHs) também são descritos como produtos primários de oxidação. A terminação ocorre quando dois radicais reagem entre si para formar produtos não radicais. Finalmente, durante a oxidação secundária, os LOOHs são degradados ainda mais em aldeídos (ADs), epóxidos (EPs) e outros produtos de oxidação secundária, que incluem compostos voláteis que são responsáveis pelos sabores e odores desagradáveis (Nguyen *et al.*, 2024).

Em relação aos alimentos, os que possuem origem animal apresentam ácidos graxos e colesterol em sua fração lipídica insaturada, com implicações na saúde, visto que estes compostos quando expostos a fatores oxidantes sofrem perdas nutricionais e sensoriais e há formação de POCs (de Oliveira *et al.*, 2018), conforme ilustrado na figura 3. O colesterol, é uma molécula complexa com quatro anéis, principal esterol nos tecidos animais e apresenta funções biológicas

essenciais, precursor de hormônios esteróis, constituinte de membranas plasmáticas de animais, encontrado livre ou esterificado em cadeias longas de ácidos graxos, com implicações à saúde devido a oxidação, predispondo a aterosclerose. Variações na estrutura do anel diferenciam esteróis de mamíferos e plantas (Dinh e Thompson, 2015), cuja presença de duplas ligações eleva a instabilidade (Hu *et al.*, 2018).

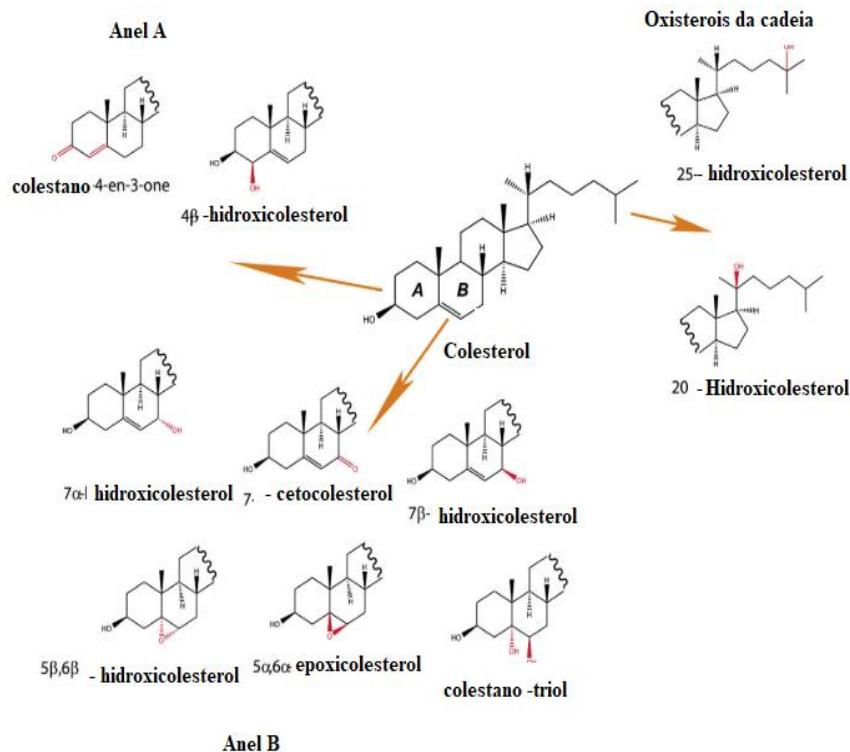


Figura 3: Principais óxidos de colesterol nas diferentes porções da estrutura química.

Fonte: (Maldonado-Pereira *et al.*, 2018).

Os tipos de óxidos de colesterol formados nos alimentos são diversos e complexos, o que direciona cada vez mais as pesquisas em ciência dos alimentos e saúde nutricional para estudos sobre oxidação lipídica (Cassani, Marcovich, Gomez-Zavaglia, 2022). Não obstante, diferentes processos de oxidação podem gerar a formação de oxisteróis no organismo humano, alguns com a participação de sistemas enzimáticos, e são eliminados pelo lúmen intestinal, esterificados ou distribuídos em lipoproteínas para diferentes tecidos, ou degradados (Otaegui-Arrazola *et al.*, 2010).

Os POCs são nocivos aos consumidores, cuja composição varia sob influência da ação do oxigênio, calor, ácidos graxos poli-insaturados, água, pH, radiação e embalagens inadequadas (Vicente *et al.*, 2012). As condições de armazenamento também exercem influência na oxidação de produtos de origem animal e acarretam na elevação da formação de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), consequência de quebra de hidroperóxidos assim como de POCs (Cardenia *et al.*, 2015). Tanto a matriz, como o processamento, tipo de embalagem e condições de armazenamento influenciam a formação destes compostos, gerando o seu acúmulo em carnes, ovos, peixes, aves e laticínios (Maldonado-Pereira *et al.*, 2018, Wang *et al.*, 2019, Wang *et al.*, 2023).

A redução do pH é outro fator que gera um ambiente pró-oxidante. O maior contato das moléculas de água com as proteínas miofibrilares pode resultar na solubilização e maior exposição de lipídios a fatores pró-oxidantes (de Carvalho *et al.*, 2021). Também na presença de oxigênio, luz, calor e íons metálicos pode haver indução da geração de radicais livres que atacam a molécula de glicerol para arrebatar o hidrogênio e formar hidroperóxidos (Liu *et al.*, 2023). Dentre os íons metálicos em sistemas alimentares, particularmente o ferro e o cobre desencadeiam na formação de radicais livres. Estes, normalmente estão ligados a proteínas em tecidos biológicos e durante a captura, abate dos animais, operações de processamento, salga, cozimento, mudanças de pH e alimentação, os íons metálicos ligados podem ser liberados e resultam em íons metálicos livres mais reativos (Bayram e Decker, 2023).

Vicente *et al.* (2012) destacaram a ocorrência de mais de 70 diferentes compostos derivados da oxidação de colesterol em alimentos, que desencadeiam processos citotóxicos, aterogênicos e carcinogênicos, consequência de alterações nas características das membranas celulares e inibição de vias biosintéticas no organismo. De acordo com Cais-Sokolińska e Rudzińska (2018), estes compostos exibem um amplo espectro de atividades biológicas, dentre as quais, citotóxicas, carcinogênicas e pró-oxidativas.

Contudo, Maldonado-Pereira *et al.* (2018) ressaltaram que os produtos da oxidação do colesterol (POCs) formados na fração lipídica de alimentos de origem animal apresentam efeitos deletérios à saúde, que vão desde os processos mutagênicos a distúrbios neurodegenerativos, ocorrem via mecanismos moleculares pouco explorados. Todavia, Zmysłowski e Szterk (2019) elucidaram que oxisteróis endógenos formados por reações enzimáticas ou não enzimáticas auxiliam no estabelecimento do equilíbrio do corpo humano, cujos mecanismos são alterados

durante processos de doenças, utilizados como biomarcadores para diagnóstico ou monitoramento da progressão dessas perturbações, a exemplo do 24(S)-hCh utilizado como marcadores em diferentes fases da progressão de escleroses múltiplas e de doenças de Huntington (HD).

Neste contexto, o consumo de determinados alimentos eleva a ingestão de compostos lipídicos oxidados nocivos à saúde, o que demonstra a importância dessas moléculas geradas durante o processamento e manuseio (Maldonado-Pereira *et al.*, 2018). Ademais, estes compostos estão associados a efeitos como: citotoxicidade, aterogênese, carcinogênese e doenças neurodegenerativas, além de alterações das propriedades das membranas celulares e no metabolismo do colesterol (Liu *et al.*, 2023, Malaguti *et al.*, 2019, Pandian, Kumar, Jayakumar, 2021).

4. Oxidação lipídica em salames

Considerando que a carne suína é a principal matéria-prima de salames, o comportamento dessa matriz alimentar frente à oxidação lipídica auxilia na compreensão das possíveis modificações durante o processamento do produto cárneo reestruturado. Broncano *et al.* (2009) identificaram em amostras de carne suína submetidas a diferentes métodos de processamento o total de seis tipos de POCS, dentre os quais: 7 α -hidroxicoleserol (7 α -OH), 7 β -hidroxicoleserol (7 β -OH), 7-cetocoleserol (7-ceto), 20 α -hidroxicoleserol, colestanetriol e 25-hidroxicoleserol (25-OH), com predomínio do 7 α -hidroxicoleserol (0,739 a 1,598 1 μ g/g de músculo) seguido do 7 β -hidroxicoleserol (0,764 a 1,563 μ g/g de músculo) e 25-hidroxicoleserol (de 0,221 a 0,471 μ g/g de músculo).

Em estudo posterior, Hung *et al.* (2021) quantificaram os níveis totais de POCs (μ g/g) em fatias de carne de suíno com variações entre: $0,011 \pm 0,0$ e $0,117 \pm 0,002$ para 7 α -OH, $0,016 \pm 0,001$ e $0,174 \pm 0,003$ para 7 β -OH, $0,275 \pm 0,009$ e $1,268 \pm 0,045$ para 5,6 β -epoxicoleserol, $0,645 \pm 0,033$ e $0,665 \pm 0,014$ para 5,6 α -epoxicoleserol, $0,113 \pm 0,0$ e $0,120 \pm 0,001$ para o triol, traços de 25-OH e 7-ceto, com o total de POCs entre 0,027 e 2,030 (Hung *et al.*, 2021).

A confecção de salames tipo Milano fatiado foi alvo de estudos realizados por Zanardi *et al.* (2002), com o objetivo de caracterizar a composição de produtos cárneos reestruturados fermentados e avaliar a segurança de consumo. De acordo com os pesquisadores, os sistemas redutores endógenos e adicionados (nitrito/ascorbato) neste tipo de produto foram suficientes para controlar a produção de compostos de oxidação oriundos de ácidos graxos e colesterol até o final

da maturação e durante o armazenamento, correspondentes a 1 mg malonaldeído MDA/kg para os valores de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) e teores de POCs equivalentes a 0,2 ($\mu\text{g/g}$), após 60 dias de observação.

Entretanto, a oxidação lipídica varia dependendo das propriedades das matérias-primas e dos parâmetros de fabricação, a exemplo da temperatura, pH e tempo de processamento da carne. Conforme observado por Visessanguan *et al.* (2006), a ocorrência de oxidação lipídica em salames durante a fermentação resultou na elevação de peróxidos e redução de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico, com ausência de odor e sabor desagradáveis.

Baggio e Bragagnolo (2006) avaliaram a composição da fração lipídica de salames italianos durante 90 dias, em intervalos de 30 dias, armazenados em temperatura ambiente e ao abrigo da luz. Em relação ao colesterol (mg/100 g), foram identificados teores entre 48 ± 6 e 57 ± 4 , sem a formação de óxidos de colesterol. Estes resultados foram associados a adição de antioxidantes (eritorbato de sódio, especiarias e condimentos naturais) nas formulações, o que previu a formação de radicais derivados de AGPI e POCs.

A utilização de irradiação (0, 2, 5, 8 Kgy) induziu a oxidação lipídica em salames pela a formação de TBARS, conforme identificado por Zanardi *et al.* (2009). No entanto, de acordo com os pesquisadores, os teores de POCs foram cerca de 100 vezes inferiores aos níveis tóxicos relatado em experimentos *in vitro* e *in vivo*.

De Lima *et al.* (2018) avaliaram o uso de banho de ultrassom (US) (EUA, 25 kHz) em diferentes tempos (0, 3, 6 e 9 min) no processamento (0, 2, 15 e 28 dias) e armazenamento (1, 30 e 120 dias) de salames tipo italiano. De acordo com os pesquisadores, o tempo mais elevado de exposição ao US ocasionou crescimento superior de micro-organismos, porém não afetou o pH e o processo de fermentação. Todavia, os processos oxidativos de lipídios (IP e TBARS) e proteínas foram acelerados pelo US, mantendo-se dentro dos limites aceitáveis.

A utilização de cepas de *Lactobacillus casei* no processo de fermentação de salames tipo italiano com baixos teores de gordura adicionados de fruto-oligossacarídeos (FOS) em diferentes faixas de pH (5,5, 5,0 e 4,5) e temperaturas de incubação (15 e 25°C) foi determinada por Bis-Souza, Penna e Silva Barreto (2020). De acordo com os pesquisadores, a adição do probiótico não alterou a oxidação lipídica e a coloração dos produtos, resultado promissor para o processamento de salames com baixos teores de gordura, com consequente elevação da saudabilidade do produto.

Liu *et al.* (2023) realizaram a detecção de TBARS durante o processamento de salames com uso de diferentes culturas starters de leveduras, o que resultou em valores entre 0,70 e 1,25 mg MDA/kg, inferiores ao observado nas formulações controle e com uso exclusivo de bactérias lácticas, correspondentes à 2,45 e 3,60 mg MDA/kg de salame, respectivamente. De acordo com o observado, a utilização de leveduras foi estratégica para prevenir a oxidação lipídica.

Nas tabelas 5 e 6 estão expostos resultados identificados na literatura consultada, referentes à composição lipídica de salames (ácidos graxos, colesterol e índices nutricionais) e ensaios *in vitro* para avaliar a formação de produtos da oxidação em salames, sejam primários pelo índice de peróxidos, ou secundários, pela avaliação de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS).

Tabela 5: Composição da fração lipídica de salames

Referências/ Tipo de salame	Perfil de ácidos graxos (g/100g de lipídios)	Colesterol
(Zanardi <i>et al.</i> , 2000) Salame tipo Milano processado com carne de suínos suplementados com dieta de referência padrão (controle), dieta com adição de 6% de óleo de girassol, dieta com 6% de óleo de girassol e 100 ppm de vitamina E, e dieta com 6% de óleo de girassol e 200 ppm de vitamina E		Colesterol (mg/100g): 94,8 ± 4,7 a 110,5 ± 8,9 7β-hidroxicoleserol (μg/g): 0,10 ± 0,08 a 0,56 ± 0,84, 5,6α-epoxicolesterol (μg/g): 0,10 ± 0,09 a 0,23 ± 0,21, 7-cetocoleserol (μg/g): 0,12 ± 0,08 a 0,52 ± 0,71, (% de oxidação): 0,12 ± 0,10 a 0,04 ± 0,02
(Zanardi <i>et al.</i> , 2002) Salame fatiado tipo Milano	C14:0: 1,62 ± 0,08 a 1,68 ± 0,14, C16:0: 24,45 ± 1,25 a 24,96 ± 0,49, C16:1: 2,40 ± 0,15 a 2,43 ± 0,12, C18:0: 12,63 ± 0,39 a 13,08 ± 0,39, C18:1: 43,10 ± 0,63 a 43,51 ± 0,62, C18:2: 11,93 ± 0,52 a 11,99 ± 1,10, C18:3: 0,55 ± 0,05 a 0,57 ± 0,08, C20:1: 0,91 ± 0,05 a 1,03 ± 0,07, C20:2: 0,54 ± 0,15 a 0,64 ± 0,09, C20:4: 0,35 ± 0,05 a 0,42 ± 0,04, AGS: 39,63 ± 0,53 a 39,71 ± 1,70 AGMI: 46,56 ± 0,54 a 46,87 ± 0,57 AGPI: 13,50 ± 0,68 a 13,73 ± 1,30 AGMI/AGS: 1,18 ± 0,02 a 1,70 ± 0,06, AGPI/AGS: 0,34 ± 0,02 a 0,35 ± 0,05	Óxidos de colesterol (μg/g): 7β hidroxicoleserol: 0,11 ± 0,06 a 0,40 ± 0,09, 5,6α epoxicolesterol: 0,13 ± 0,05 a 0,81 ± 0,13, 7 cetocoleserol: 0,14 ± 0,04 a 0,82 ± 0,19 Total de COP's: 0,52 ± 0,25 a 1,90 ± 0,28 % oxidação: 0,06 ± 0,03 a 0,21 ± 0,03
(Baggio e Bragagnolo, 2006) Salame tipo Italiano	(% área) - 39 (AGS), 46 (AGMI) e 14 (AGPI)	Colesterol mg/100g: (48 ± 6 a 57 ± 4)
((Baggio e Bragagnolo 2008) Salame tipo Italiano, (5 marcas comerciais)	(% área) média - C14:0 1,5 ± 0,1, C16:0: 24,6 ± 1,1, C18:0: 11,7 ± 0,9, C16:1: 2,6 ± 0,3, 18:1: 42,7 ± 0,9, C20:1: 0,6 ± 0,1, 18:2: 13,5 ± 0,3, 18:3 ω ⁶ : 0,5 ± 0,1, 18:3 ω ³ : 0,6 ± 0,1, 20:2: 0,5 ± 0,1, 20:4: 0,4 ± 0,0, AGS: 39, AGMI: 46, AGPI: 15, ω ³ : 0,5, ω ⁶ : 15, AGPI/AGS: 0,38, ω ⁶ /ω ³ : 30,	Colesterol mg/100g: 52,4 ± 25 a 65,5 ± 44,0 Média de colesterol: 59,0 ± 7,0
(Del Nobile <i>et al.</i> , 2009)	Sequência dos resultados:	

Salame com substituição de gordura por pão de forma e por proteína do soro de leite	C14:0: 0,61 a 1,38, C16:0: 17,08 a 24,70, C18:0: 7,23 a 14,08, C20:0: 0,20 a 0,33, C16:1: 1,60 a 2,61, C18:1: 43,06 a 62,63, C20:1: 0,60 a 0,87, C18:2: 8,66 a 11,18, C20:2: 0,22 a 0,52, C20:4: 0,23 a 0,40, C18:3: 0,74 a 0,84, C20:5: 0,01 a 0,05, C22:6: 0,05 a 0,13 AGS: 25,26 a 40,37 AGMI: 46,54 a 64,84 AGPI: 10,12 a 13,09 ω^6 : 9,11 a 12,01 ω^3 : 0,8 a 0,99 IA: 0,26 a 0,51 IT: 0,67 a 1,35 AGPI/AGS: 0,32 a 0,41	(Zanardi <i>et al.</i> , 2009) Salames submetidos a irradiação	Colesterol mg/100g: 72,3 ± 3,1 a 75,5 ± 2,3, 7β-hidroxicolesterol: 0,23 ± 0,03 a 0,83 ± 0,05, 5,6α-epoxicolesterol: 0,29 ± 0,02 a 0,98 ± 0,08, 7-Cetocolesterol: 0,11 ± 0,01 a 1,26 ± 0,13, Total de POCs: 0,63 ± 0,06 a 3,08 ± 0,23, % colesterol oxidado: 0,08 ± 0,01 a 0,42 ± 0,02, Colesterol mg/100g: 30,30 ± 1,13 a 52,41 ± 0,47
(Stajić <i>et al.</i> , 2011) Salames com carne suína de diferentes grupamentos raciais	AGPI: 8,69 ± 0,41 a 43,14 ± 0,75, AGS: 39,42 ± 0,49 a 44,54±0,47 AGPI/AGS: 0,20 a 0,54, IA: 0,42 a 0,61		
(Marino <i>et al.</i> , 2015) Salames com carne de jumento	C12:0: 1,12 a 1,28, C14:0: 1,02 a 1,95, C16:0: 22,85 a 25,36, C18:0: 14,08 a 15,43, C16:1: 2,61 a 2,93, C18:1: 41,21 a 42,58, C20:1: 0,77 a 0,95, C18:2: 10,68 a 11,85, C20:4: 0,25 a 0,55, C18:3: 0,35 a 1,05, C20:5: 0,05 a 0,45, C22:6: 0,09 a 0,35, ω^6 : 10,93 a 12,40 ω^3 : 0,49 a 1,76 AGS: 39,98 a 42,67 AGPI/AGS: 0,27 a 0,36 AGMI: 45,09 a 45,96, AGPI: 11,42 a 14,25, ω^6/ω^3 : 7,05 a 22,31, IA: 0,47 a 0,62, IT: 1,15 a 1,38,		
(Škrlep <i>et al.</i> , 2019) Salame suíno oriundo de sistema convencional e orgânico	Sequência dos resultados: convencional, orgânico AGS: 44,18 a 44,98 AGMI: 44,18 a 44,98 AGPI: 12,65 a 14,47 C18:1 ω^9 : 37,75 a 38,65 C18:2 ω^6 :10,85 a 12,38 C18:3 ω^3 : 0,68 a 0,85		
(Settanni <i>et al.</i> , 2020) Salame bovino, equino, javali e suíno	Sequência dos resultados: bovino, equino, javali e suíno (g/100g)		

(Alabiso *et al.*, 2021)

Salames processados com carne de animais: criados a pasto, de touros jovens e vacas adultas da raça bovina Cinisara (cru, após 45 dias inoculados com cultura starter, e após 45 dias inoculados sem cultura starter)

AGS: 43,11, 40,79, 40,21, 43,10
AGMI: 45,87, 47,09, 46,83, 46,04
AGPI: 10,42, 11,37, 12,10, 10,20
AGI: 56,29, 58,47, 58,93, 56,23
AGI/AGS: 1,31, 1,44, 1,48, 1,31
AGPI/AGS: 0,24, 0,28, 0,31, 0,24
 ω^6 : 9,45, 9,95, 11,17, 9,28
 ω^3 : 0,79, 1,34, 0,84, 0,75
IT: 1,37, 1,19, 1,22, 1,37
HPI: 1,79, 1,85, 2,02, 1,76
HH: 1,82, 1,89, 1,99, 1,80
Sequência dos resultados (g/100g de salame):
C14:0: 1,48 a 1,89, C16:0: 20,04 a 24,98,
C18:0: 11,07 a 15,18, C16:1: 2,21 a 3,01,
C18:1: 29,33, 34,68 a 30,41, C18:2 ω^6 :
7,33 a 18,29, C20:4 ω^6 : 2,67 a 3,86, C20:5
 ω^3 : 0,41 a 0,72, C22:5 ω^3 : 0,72 a 1,06,
AGS: 38,68 a 41,17,
AGMI: 34,01 a 46,77
AGPI: 11,93 a 26,42
AGMI/AGS: 0,87 a 1,15
 ω^6 : 9,57 a 21,48,
 ω^3 : 1,84 a 3,57
 ω^6/ω^3 : 5,15 a 7,23
AGPI/AGS: 0,29 a 0,68
TI: 0,98 a 1,18
HPI: 1,81 a 2,29

(Ambrosio *et al.*, 2021)

Salame suíno de carne comercial 100% (Duroc × Landrace × Large White), com adição de 50% de carne de animais (Apulo-calabresa), ou com adição de 75% de carne de animais (Apulo-calabresa)

Sequência de resultados (g/100g de salame):
100% comercial, 50% Apulo-calabresa, 75% Apulo-calabresa
AGS: $41,61 \pm 0,18$ - $42,66 \pm 0,09$, 38,16
 $\pm 0,09$ - $39,43 \pm 0,05$, $35,98 \pm 0,21$ -36,93
 $\pm 0,02$
AGMI: $45,95 \pm 0,08$ - $47,96 \pm 0,17$, 48,55
 $\pm 0,23$ - $50,42 \pm 0,05$, $50,72 \pm 0,05$ - 52,43
 $\pm 0,03$
AGPI: $10,43 \pm 0,06$ - $11,45 \pm 0,14$, 10,86
 $\pm 0,10$ - $12,23 \pm 0,07$, $11,19 \pm 0,02$ -12,35
 $\pm 0,08$
 $\sum \omega^3$: $0,31 \pm 0,03$ - $0,47 \pm 0,05$, $0,31 \pm 0,03$ - $0,60 \pm 0,01$, $0,32 \pm 0,02$ - $0,53 \pm 0,02$
 $\sum \omega^6$: $10,02 \pm 0,05$ - $11,13 \pm 0,17$, $10,26 \pm 0,09$ - $11,92 \pm 0,10$, $10,66 \pm 0,04$ - $12,03 \pm 0,06$
AI: $0,52 \pm 0,0$ - $0,58 \pm 0,01$, $0,47 \pm 0,0$ - $0,50 \pm 0,0$, $0,42 \pm 0,0$ - $0,45 \pm 0,0$
TI: $1,35 \pm 0,01$ - $1,41 \pm 0,0$, $1,16 \pm 0,01$ -
 $1,23 \pm 0,0$, $1,06 \pm 0,01$ - $1,11 \pm 0,21$
HH: $2,06 \pm 0,01$ - $2,27 \pm 0,01$, $2,36 \pm 0,0$ -
 $2,52 \pm 0,0$, $2,65 \pm 0,0$ - $2,79 \pm 0,01$
AGPI/AGS: $0,25 \pm 0,0$ - $0,27 \pm 0,01$, $0,28 \pm 0,0$ - $0,31 \pm 0,0$, $0,28 \pm 0,05$ - $0,32 \pm 0,01$

(Scerra <i>et al.</i> , 2022)	AGMI/AGS: 1,08 ± 0,0 - 1,15 ± 0,01, 1,24 ± 0,01 - 1,32 ± 0,01, 1,14 ± 0,23 - 1,46 ± 0,01 C14:0: 1,19 a 1,58, C16:0: 20,2 a 22,1, C16:1: 2,18 a 3,58, C18:0: 9,49 a 10,9, C18:1: 37,7 a 45,1, C18:2: 11,3 a 12,3 AGS: 31,2 a 34,7 AGMI: 47,7 a 49,3 AGPI: 12,9 a 18 ω^3 : 0,82 a 2,94 ω^6 : 12,1 a 15,3 ω^6/ω^3 : 4,48 a 14,7 AGPI/AGS: 0,37 a 0,56 IT: 0,76 a 1,06
(Saccani <i>et al.</i> , 2023)	C16:0: 23,06 a 23,82, C18:0: 13,05 a 14,36, C18:1: 39,62 a 41,98, C18:2: 10,37 a 11,37, C18:3: 0,99 a 4,29, AGS: 38,81 a 40,78, AGMI: 42,96 a 45,67 AGPI: 13,56, a 18,23 ω^6 : 12,24 a 12,97 ω^3 : 1,29 a 5,26 ω^6/ω^3 : 2,47 a 9,55 Sequência de resultados: Carne suína fresca, salame sem adição de timol, salame com adição de timol AGS: 40,07, 40,76, 39,95 AGMI: 46,02, 46,21, 45,96 AGPI: 13,91, 13,03, 14,10 ω^3 : 0,85, 0,73, 0,86 ω^6 : 12,54, 11,79, 12,67 ω^6/ω^3 : 14,81, 16,07, 14,81
(Varga-Visi <i>et al.</i> , 2022)	Salame de páprica suíno com adição de timol (500 mg/Kg) na superfície das fatias.

AGS = ácidos graxos saturados; AGMI = ácidos graxos monoinsaturados; AGPI = ácidos graxos poli-insaturados; IT = índice de trombogenicidade; IA = índice de aterogenicidade; HPI índice de promoção de saúde; HH: relação entre ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos

Tabela 6. Parâmetros de avaliação da oxidação lipídica em salames

Referências	Tipo de salame	TBARS
(Ghiretti <i>et al.</i> , 1997)	Seis formulações de salames (durante cinco meses): sem adição de antioxidante (controle), com uso de 0,05-0,1% de ascorbato, 0,2% de ascorbato, catequinas, ácido fítico, e sesamol	Índice de peróxidos (meq O ₂ /Kg de gordura): 0,0 ± 0,1 a 14,1 ± 1,6 TBARS (mg MDA/Kg): 0,11 ± 0,01 a 0,28 ± 0,02
(Zanardi <i>et al.</i> , 2000)	Salame tipo Milano processado com carne de suínos suplementados com dieta de referência padrão (controle), dieta com adição de 6% de óleo de girassol, dieta com 6% de óleo de girassol e 100 ppm de vitamina E, e dieta com 6% de óleo de girassol e 200 ppm de vitamina	TBARS (mg MDA/Kg): 0,18 ± 0,05 a 0,28 ± 0,01,
(Zanardi <i>et al.</i> , 2002)	Salame tipo Milano, embalado à vácuo e em embalagem com atmosfera	TBARS (mg MDA/Kg): 0,33 ± 0,12 a 1,05 ± 0,19

(Zanardi <i>et al.</i> , 2009)	modificada N ₂ , nos tempos 0, 14, 28, 42 e 60 dias de maturação Salames submetidos a irradiação, em três níveis (0, 2, 5, 8 Kgy)	TBARS (mg MDA/Kg): Nos tempos 0 e 60 dias de armazenamento (0): 0,109 ± 0,008 a 0,149 ± 0,011 (60): 0,104 ± 0,005 a 0,313 ± 0,041 Índice de peróxidos (meq O ₂ /Kg de gordura): 12,2 ± 0,5 a 48,6 ± 9,2 mg MDA eq /Kg: 0,09 ± 0,003 a 0,026 ± 0,003
(Novelli <i>et al.</i> , 2014)	Salames com formulação básica (controle) e adicionados de extrato purificado de compostos fenólicos (65% de conteúdo fenólico) (75 e 150 mg/100 g)	Índice de peróxidos (mEq O ₂ / Kg): 1,94 ± 0,18 a 8,72±0,41 mg MDA eq /Kg: 0,22 ± 0,01 a 1,32 ± 0,12,
(Zhang <i>et al.</i> , 2016)	Salame suíno convencional e salame com adição de pólen de abelha (RBP) oriundo de colza (<i>Brassica campestris</i> L.) em 0,05% e 1%,	mg MDA eq /Kg: 0,98 ± 0,14 a 1,21 ± 0,18 e
(Forte <i>et al.</i> , 2018)	Salame Fabriano processado com a massa cárnea oriunda de suínos sem suplementação (ração comercial) e suplementados com orégano (0,2% de extrato de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.)	mg MDA eq /Kg: 0,48 com Honeybush (0,5%), 0,41 com nitrito (100mg/kg), 1,34 sem adição de nitrito
(Smit <i>et al.</i> , 2020)	Salame com Honeybush (0,5%), comparado ao convencional com nitrito (100 mg/kg) e sem adição de nitrito	mg MDA eq /Kg 0,235 a 0,288
(Bis-Souza, Penna e Silva Barreto, 2020)	Salame com fruto-oligossacarídeos-C (controle), FOS (25% de gordura reduzida com 2% de FOS), FOS_66 (25% de redução de gordura com 2% de FOS e <i>L. casei</i> SJRP 66) e FOS_169 (25% de redução de gordura com 2% de FOS e <i>L. casei</i> SJRP 169),	mg MDA eq/Kg: 0,08 ± 0,01 a 0,45 ± 0,01 (controle), 0,07 ± 0,01 a 0,29 ± 0,01 (1%), 0,06 ± 0,01 a 0,18 ±0,01 (2%), 0,07 ± 0,01 a 0,13 ± 0,01 (3%)
(Özünlü e Ergezer, 2021)	Salame misto de bovino e suíno sem adição de cogumelos (controle) e com adição de (1, 3 e 5% de cogumelos (<i>Pleurites ostreatus</i>))	mg MDA eq/Kg: 0,160 a 0,305
(Vilarinho <i>et al.</i> , 2021)	Filmes de embalagens de salames: controle com uso exclusivo de ácido polilático (PLA), PLA com 2% de nanocristais de celulose (CNC), PLA com 2% de CNC e 1% de extrato de chá verde (GTE), e PLA 5% CNC,	mg MDA eq/Kg: 0,68 Carne suína fresca, 8,32 salame sem adição de timol, 0,68 salame com adição de timol
(Varga-Visi <i>et al.</i> , 2022)	Salame de páprica suíno fresco, após refrigeração sem adição de timol, após refrigeração com adição de timol (500 mg/Kg) na superfície das fatias,	mg MDA eq/Kg: 0,37 - 0,59 (bovino), 0,46 - 1,23 (equino), 0,83 - 0,98 (javalí), 0,43 - 0,66 (suíno)
(Settanni <i>et al.</i> , 2020)	Salame bovino, equino, javali e suíno	mg MDA eq/Kg: 0,303 ± 0,001 (50% Apulo-calabresa), 0,102 ± 0,01 a 0,264 ± 0,0 (75% Apulo-calabresa)
(Ambrosio <i>et al.</i> , 2021)	Salame suíno de carne comercial 100% (Duroc × (Landrace × Large White) e com adição de 50% de carne de animais (Apulo-calabresa) ou 75% de carne de animais (Apulo-calabresa)	mg MDA eq/Kg: 0,034 ± 0,0 a 0,3 ± 0,0 (100% comercial), 0,07 ± 0,002 a 0,303 ± 0,001 (50% Apulo-calabresa), 0,102 ± 0,01 a 0,264 ± 0,0 (75% Apulo-calabresa)

(Mafra <i>et al.</i> , 2022)	Salame de Tilápis (<i>Oreochromis niloticus</i>)	mg MDA eq/Kg: 0,11 - 0,80
(Yim; Ali; Nam, 2020)	Salames com uso de sais alternativos: NaCl 1,9%, NaCl 1,9%+NaNO ₂ 0,01%, KCl 1,9%+NaNO ₂ 0,01%, e MgCl ₂ 1,9%+NaNO ₂ 0,01%,	mg MDA eq/Kg: 0,55 a 2,01
(Demarco <i>et al.</i> , 2022)	Salame convencional, salame com mistura de antioxidantes naturais (extratos de folhas de alecrim e curry + mistura de tocoferóis): 0,08%+0,03%, 0,08%+0,07%, 0,12%+0,03%, 0,12%+0,07%, 0,10%+0,05%,	mg MDA eq/Kg: 0,08 ± 0,0 a 0,167 ± 0,01
(Saccani <i>et al.</i> , 2023)	Salame cru convencional, salame cru com adição de ω ³ , Com adição de fito-complexo e ω ³ , sem sais de cura e com adição de fito-complexo, sem sais de cura com adição de fito-complexo e ω ³	TBARS (mg MDA/kg):1,03 a 1,43

TBARS = espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico; MDA= malonaldeído.

5. Antioxidantes sintéticos x antioxidantes naturais

A indústria alimentícia emprega combinações de antioxidantes com diferentes mecanismos de ação, a exemplo da capacidade quelante, de eliminação de radicais livres e de extinção de oxigênio singuleto. Desta forma, a combinação de antioxidantes com mecanismos moleculares distintos pode resultar em uma estabilidade superior, devido a efeitos sinérgicos, em que são comumente utilizados os quelantes de metais e sequestradores de radicais livres, resultando em uma maior vida útil dos alimentos (Bayram e Decker, 2023). Os antioxidantes capturam os radicais produzidos pela oxidação e os neutralizam. Atualmente, antioxidantes sintéticos comumente usados na indústria de alimentos incluem: 2,6-di-terc-butil-4-metilfenol (BHA), hidroxitolueno butilado (BHT), terc-butil-hidroquinona (TBHQ) e galato de propila (PG) (Figura 5) (Wang *et al.*, 2023).

Os aditivos sintéticos, devido ao alto custo e efeitos negativos à saúde associados a alterações cancerígenas e toxicológicas, tendem a ser substituídos por fontes naturais na indústria de carnes. Esta, busca alternativas de antioxidantes naturais de baixo custo que além de inibirem a oxidação, também podem afetar outros atributos de qualidade dos alimentos (Hadidi *et al.*, 2022). Para tal, estes requerem prévia identificação, caracterização de compostos, otimização de processos e extração e atenção às especificidades da indústria de alimentos em termos de estabilidade e toxicidade, em acordo com a legislação alimentar vigente (Dupas *et al.*, 2020).

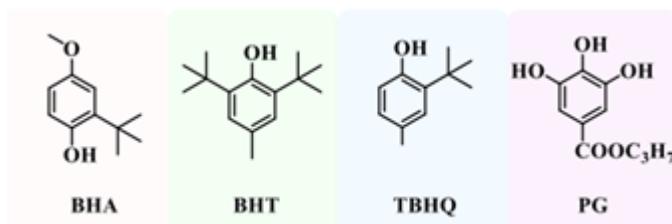


Figura 4. Estrutura química de compostos antioxidantes comumente utilizados
(Wang *et al.*, 2023)

De uma perspectiva prática, o futuro das aplicações de recursos naturais antioxidantes em produtos cárneos serão fortemente influenciados por dois fatores: sustentabilidade e segurança. O processamento é a principal fonte de instabilidade oxidativa e a redução de aditivos é uma demanda dos consumidores. O uso de antioxidantes vegetais em alimentos pode viabilizar a produção de produtos cárneos mais seguros que, além de proteger os mesmos contra a oxidação, os fitoquímicos presentes em vegetais podem ainda fortalecer a saúde intestinal e a elevar a expectativa de vida (Estévez, 2021).

Em relação a compostos naturais de origem vegetal, existem vários temperos como ervas e especiarias presentes na natureza, em muitas formas e padrões. Algumas proporcionam benefícios anti-inflamatórios, antimicrobianos e de natureza digestiva, devido à presença de fitoquímicos, principalmente óleos essenciais, compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas, com múltiplas propriedades e uma ampla variedade de aplicações (Pal *et al.*, 2020). As ervas e especiarias são usadas para conferir aroma e sabor aos alimentos. Estas, apresentam propriedades terapêuticas como: antioxidantes, anti-inflamatória, antidiabética, anti-hipertensiva e atividades antimicrobianas (El-Sayed, Youssef, 2019).

Os fitoquímicos são associados a promoção da saúde, nutrição e preservação de alimentos. No entanto, esses compostos são quimicamente instáveis, principalmente quando expostos a altas temperaturas, luz e umidade. Os compostos presentes nos antioxidantes naturais podem ser aplicados como conservantes de alimentos, corantes naturais, ingredientes funcionais e medicamentos. No entanto, muitos compostos biologicamente ativos são lipofílicos e pouco solúveis em água (curcumina e carotenoides), o que dificulta a entrega desses compostos em matrizes alimentares e/ou liberá-los no corpo humano, no qual devem estar biodisponíveis para absorção no intestino (Luiza Koop *et al.*, 2022).

A indústria de alimentos utiliza várias estratégias para o emprego dos antioxidantes para controlar a oxidação lipídica e aumentar o prazo de validade dos produtos. Entretanto, diversos fatores influenciam a transferência de radicais entre antioxidantes, especialmente em sistemas alimentares complexos, tais como: atividade antioxidant/pro-oxidante, propriedades termodinâmicas, solubilidade e polaridade dos antioxidantes, distribuição de antioxidantes na matriz alimentar devido à presença de micelas e membranas. Já as interações estão sob influência da estrutura química, concentração e proporção de antioxidantes, tipo de alimento e interação entre antioxidantes (Bayram e Decker, 2023).

As interações entre antioxidantes podem resultar em impactos positivos ou negativos em relação à estabilidade oxidativa dos sistemas alimentares, consequência de reações de sinergismo ou antagonismo. Em sistemas alimentares complexos é difícil prever quais combinações de antioxidantes funcionarão sinergicamente, porém, compreender os mecanismos de sinergismo ajudará a indústria de alimentos na produção de misturas antioxidantes eficazes para melhorar a estabilidade oxidativa e o prazo de validade, bem como no desenvolvimento de métodos simples, rápidos e confiáveis para determinar e avaliar o sinergismo (Bayram e Decker, 2023). Os antioxidantes capturam os radicais produzidos pela oxidação e os neutralizam (Wang *et al.*, 2023). Embora os sequestradores de radicais livres sejam adicionados e desativem os radicais livres nos sistemas alimentares, estes, se esgotam e a atividade antioxidant cessa (Bayram e Decker, 2023).

Dessa forma, são de grande valia pesquisas envolvendo os fitoquímicos de origem vegetal e seu emprego na indústria de alimentos, gerando dados para minimizar o emprego de substâncias químicas sabidamente cancerígenas, além do enriquecimento nutricional dos alimentos a partir destes compostos naturais. Somada às questões de saudabilidade, o uso tecnológico de fontes vegetais como aditivos naturais possibilita incremento de renda a comunidades de agricultores familiares, o que requer integração entre os diferentes elos de produção para garantia de fornecimento de matéria-prima com elevada qualidade.

6. Antioxidantes naturais em salames

A fim de evitar a rancificação e alterações sensoriais desagradáveis, faz-se uso de antioxidantes artificiais ou naturais para reduzir o grau de oxidação de produtos cárneos reestruturados (Liu *et al.*, 2023). A seguir, serão apresentadas diferentes estratégias de uso de fontes vegetais antioxidantes no processamento de salames.

O efeito da adição de dois níveis de extrato hidro-alcoólico de macela (*Achyrocline satureioides*) (0,5% e 1%) na qualidade de salames foi avaliado por Campagnol *et al.* (2011). Os pesquisadores não identificaram influência nos parâmetros de pH, atividade de água e perda de peso, entretanto, foram observadas variações nos parâmetros de cor durante a maturação. A adição de 0,5% do extrato reduziu a oxidação lipídica e não alterou as características sensoriais, indicado para a formulação de salames, com oferta de produtos mais seguros aos consumidores.

A utilização de fontes naturais como antioxidantes em produtos cárneos tipo salame foi investigada por Cullere, Dalle Zotte, Hoffman (2012). Os pesquisadores utilizaram a erva africana (*Aspalathus linearis*) em diferentes níveis de adição (controle (0), 0,25%, 0,5% e 1%) durante o preparo de salames de carne de avestruz. A adição dos extratos naturais resultou em perda de peso superior durante os 30 dias de maturação e efeito protetivo à oxidação lipídica mais eficiente durante os 15 dias iniciais, através do monitoramento da formação de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), equivalentes a 5,81, 5,52, 3,96 e 3,93 mg de malonaldeído /Kg para as formulações controle e com adições de 0,25%, 0,50% e 1% de adição do extrato, respectivamente.

Os extratos de alecrim e licopeno foram testados em embutidos fermentados secos, tipo salame de páprica e apresentaram eficiência como antioxidantes naturais. A estabilidade dos lipídios frente à oxidação foi efetiva para o extrato de alecrim, principalmente com adição de 0,5 g/kg do extrato, com valores inferiores de TBARS em comparação ao licopeno e sua combinação. A adição de extrato de alecrim e a associação de extrato de alecrim e licopeno supriu a oxidação lipídica na massa cárnea. Para a coloração, o valor de vermelhidão a* elevou-se durante o tempo de armazenamento devido ao processo de secagem com influência na concentração de pigmentos heme. Todavia, a exposição dos salames à luz e ao ar por 48 horas resultou em alteração da cor devido à degradação dos pigmentos heme, enquanto no escuro, foi relativamente estável (Rohlík, Pipek e Pánek, 2013).

O tom vermelho da carne é um fator relevante para a avaliação da qualidade do produto, o que acarreta na utilização de vários aditivos na formulação da massa cárnea que visam a estabilização da cor (Summo *et al.*, 2010). Erdmann, Lautenschlaeger, Weiss (2015), em estudo sobre o efeito da adição de extratos de alecrim (100 ppm) em diferentes emulsões óleo-água (160-7200 nm) aplicados aos salames, identificaram alterações nas propriedades físico-químicas dos compostos, na microestrutura do sistema e na aplicação específica aos salames.

A substituição de aditivos sintéticos por um extrato natural de figo da Índia (*Opuntia stricta*) (EPI), fruta com elevado teor de polissacarídeos bioativos, principalmente galactose e ácido galacturônico, foi estudada por Kharrat *et al.* (2018). Esta fruta contem elevados teores de carboidratos (18,81%), polifenóis ($152,25 \pm 0,26 \mu\text{g QE/mg EPI}$) e flavonóides ($370,60 \pm 0,12 \mu\text{g Ácido Gálico Equivalente (GAE)/mg de EPI}$), e apresenta expressiva capacidade antioxidante e antimicrobiana. Os pesquisadores substituíram sais de cura e corante de cochinilha nas formulações de salames, com adição de 1,0% e 2,5% de extrato de figo da Índia. A adição de 2,5% de EPI atuou como corante natural e agente antimicrobiano, com inibição do crescimento bacteriano em salames armazenados a 4°C, durante 30 dias. Adicionalmente, agregou cor, sabor e textura ao salame, com apreciação superior na avaliação sensorial. De acordo com os resultados observados, o pigmento betalaína, carboidratos e compostos fenólicos presentes no EPI configuraram opção de corante natural, antioxidante e agente antimicrobiano.

O efeito da adição de 1% de extrato de aspargos do mar (*Salicornia neei*) na formulação de salames tipo italiano de carne suína, sem adição de eritorbato de sódio e com redução dos sais de cura em 50% e 25% foi avaliado por Faria *et al.* (2020). De acordo com os pesquisadores, os parâmetros físico-químicos ao final da maturação apresentaram valores de pH e perda de peso ligeiramente inferiores ao controle, contudo, mantiveram os padrões para este tipo de produto curado, com o pH variando de 5,0 a 6,0 e perda de peso de 30% a 42%. Na avaliação do aspecto visual, os salames apresentaram alterações nos parâmetros de cor do vermelho e amarelo, com acréscimo de luminosidade, devido a coloração verde do extrato e redução dos teores de sal de cura. Este, auxilia para a estabilidade na cor vermelha em produtos cárneos, bem como no desenvolvimento de sabor e aroma. O estudo sugeriu a substituição parcial dos teores de nitrito para minimizar os impactos de qualidade especialmente na cor e prevenir a oxidação lipídica, parâmetro que não apresentou diferença para a formulação controle. Adicionalmente, o uso do extrato de *S. neei* apresentou capacidade antioxidante superior (18% e 5% superiores ao controle, para as formulações com redução de 50% e 25% de sais de cura, respectivamente), com valores de malonaldeído (mg/Kg) entre: $0,18 \pm 0,01$ a $0,22 \pm 0,07$, utilizados como marcadores da oxidação lipídica.

Smit *et al.* (2020) utilizaram *Cyclopia subternata Vogel*, arbusto nativo da África do Sul, como antioxidante natural no processamento de salames tipo Italiano. Os efeitos da adição foram avaliados em comparação ao uso de nitrato (100 mg/Kg) e o controle (sem adição de nitrato e sem

Cyclopia). Após 35 dias de maturação, o pH final (5,24 a 5,35) e a perda de peso (35%) não diferiram entre as formulações. Entretanto, a oxidação lipídica mensurada pela presença de TBARS foi reduzida pela adição do antioxidante natural, com valores semelhantes ao antioxidante sintético quando comparada ao controle. De acordo com os pesquisadores, o extrato de *Cyclopia* (0,5%) apresentou potencial para uso como ingrediente natural devido a capacidade antioxidante no controle da oxidação lipídica dos produtos cárneos.

A adição de antioxidantes naturais (extratos de folhas de alecrim e curry e mistura de tocoferóis isolados) em salames fatiados foi realizada por Demarco *et al.* (2022), com os objetivos de evitar a oxidação lipídica, preservar as características físico-químicas e sensoriais do produto e elevar o tempo de vida útil. Os pesquisadores desenvolveram seis diferentes formulações, incluindo a controle (com composição convencional, sem adição de antioxidantes naturais intencionais) e outras cinco formulações, com misturas de antioxidantes naturais em diferentes proporções (extratos de folhas de alecrim e curry + mistura de tocoferóis): 0,08% + 0,03%, 0,08% + 0,07%, 0,12% + 0,03%, 0,12% + 0,07% e 0,10% + 0,05%. Na avaliação das características físico-químicas e sensoriais, não foram observadas alterações em comparação ao controle, contudo, os antioxidantes naturais retardaram as reações de oxidação, preservaram a cor e proporcionaram uma extensão de 30 dias na vida útil do salame fatiado. O uso de antioxidantes naturais nas concentrações especificadas aumentou a vida útil do salame fatiado em 33,3% e representa recurso tecnológico para a indústria de carne minimizar perdas e aumentar os lucros.

Assim, de acordo com os estudos avaliados, a associação ou substituição de aditivos sintéticos por componentes naturais é viável em produtos cárneos fermentados, sendo de grande valia o aperfeiçoamento destas formulações, demandando demais estudos a respeito.

7. Aroeira

A Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi), cujo os frutos são conhecidos como pimenta brasileira ou pimenta rosa, é uma planta nativa da América do Sul e distribuída em todo o território brasileiro. Trata-se de uma planta perene, de alta plasticidade ecológica e quando frutifica fica recoberta por cachos com frutos pequenos de cor vermelha e brilhante (Figura 5) (Patocka e De Almeida, 2017). A Aroeira participa na sucessão ecológica secundária e apresenta diferenciação na expressão de fitoquímicos, decorrentes de fatores, tais como: temperatura, precipitação, umidade, composição do solo, herbívoros, polinizadores e dispersão das sementes, com respostas

alelopáticas diferenciadas (Pilatti *et al.*, 2019).



Figura 5: Frutos e folhas da Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi)

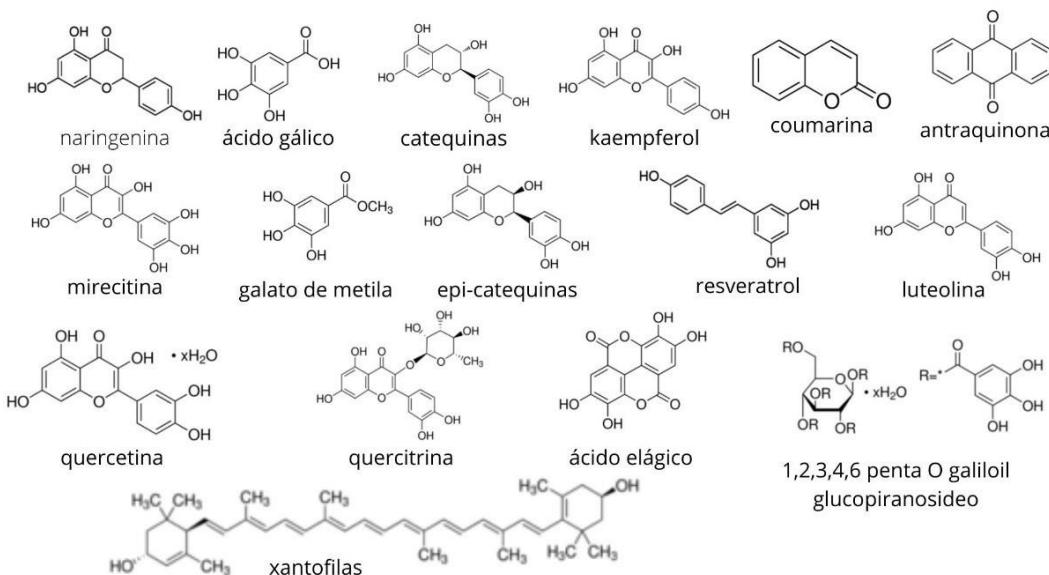
Fonte: Arquivo pessoal

Os compostos bioativos presentes nas diferentes partes da Aroeira podem variar em decorrência de fatores como o período do ciclo produtivo, sistemas de cultivo, adubação, microbiologia do solo e sistema de extração, conferindo diversas aplicações biológicas e tecnológicas (Contin e Munné-Bosch, 2016, Tabaldi *et al.*, 2016, Ennigrou *et al.*, 2017, Pillati *et al.*, 2019). O potencial dos fitoquímicos presentes nas diferentes partes da Aroeira é atribuído às propriedades antioxidantes de compostos bioativos, como alcaloides, saponinas, ácidos fenólicos, taninos, flavonoides glicosídeos e terpenos (Scheibe *et al.*, 2016).

Os frutos da Aroeira apresentam compostos fenólicos que são principalmente ácidos fenólicos e flavonoides. Dentre os flavonoides, predominam as formas glicosiladas e os biflavonoides. Dentre estes compostos, citam-se: a naringenina, ácido gálico, proto-catequinas, catequinas, caempeferol, miricetina, epicatequinas, resveratrol, antraquinonas, triterpenos, coumarinas, 1,2,3,4-6-penta-O-galloyl- β -glucopiranosideo, galato de metila, robusflavona, queracetina, quercitrina, luteonina, ácido elágico, triterpenos esteroides, saponinas, taninos hidrolisados, taninos condensados e xantofilas (Figura 6) (Contin e Munné-Bosch, 2016, Tabaldi *et al.*, 2016, Ennigrou *et al.*, 2017, Pillati *et al.*, 2019). Além disso, os taninos e estilbenos também foram encontrados, o que confere suas propriedades antioxidantes e uso potencial como aditivo natural, com o objetivo de limitar a oxidação lipídica nos alimentos, com redução da formação de

compostos nocivos à saúde, como óxidos de colesterol (Vieira *et al.*, 2023).

Figura 6: Compostos bioativos presentes na Aroeira



Os frutos da Aroeira são utilizados no tratamento de desordens gástricas, inflamatórias e respiratórias pela medicina tradicional (Nunes-Neto *et al.*, 2017) e são bastante apreciados na culinária, além de serem considerados seguros para o consumo, com elevado valor agregado de mercado, devido às suas propriedades medicinais e como condimentos (Santos *et al.*, 2019). Além de suas propriedades antioxidantes, seus compostos têm sido relacionados a outras atividades bioativas, como atividades antimicrobianas, antivirais, antidiabéticas, anti-inflamatórias, anti-nociceptivas e anti-hipertensivas (Vieira *et al.*, 2023).

As folhas da Aroeira são fornecidas pelo Sistema Único de Saúde (SUS), estando presente na lista de espécies de interesse terapêutico (Pinto *et al.*, 2016). As folhas são utilizadas no tratamento de desordens gástricas, inflamatórias e respiratórias pela medicina tradicional (Nunes-Neto *et al.*, 2017) e possuem efeito neuro protetor, mediado por compostos antioxidantes e anti-inflamatórios, com potencial terapêutico no tratamento da doença de Parkinson (Sereniki *et al.*, 2016).

Pesquisas identificaram atividade antiproliferativa na inibição de células do câncer ovariano em associação à redução de edema agudo induzido por carragenina pelo uso de extrato de folhas de Aroeira, contudo não houve influência na atividade da mieloperoxidase (Da Silva *et al.*, 2017). Também atuou como adjuvante no tratamento de dores neuropáticas após injúria por constrição

crônica do nervo ciático, com modificação dos marcadores pro-oxidantes e antioxidantes da medula espinhal e indução de efeitos antinociceptivos, sem apresentar efeitos tóxicos (Scheid *et al.*, 2018).

Adicionalmente, a literatura relata eficácia de uso na cicatrização no pós-cirúrgico de cecorrafia, com presença de polimorfonucleares, hiperemia, angiogênese, proliferação fibroblástica e variação histológica do colágeno (Scheibe *et al.*, 2016). Também foram relatadas a atividade antidermatófita para *Trichophyton mentagrophytes* (Biasi-Garbin *et al.*, 2016), ação anti-hipertensiva e vasodilatadora (Oliveira *et al.*, 2020). Já Viegas *et al.* (2020) reportaram atividade antifúngica em culturas e biofilmes de *Candida albicans*, *Candida dubliniensis*, *Candida glabrata* e *Candida krusei*, além da perspectiva no controle de *Candida spp* e como antibiótico, antitumoral, anti-inflamatório e citotóxicos em antifúngicos.

Adicionalmente, o uso de seus compostos naturais no controle biológico representa forma segura de manejo fitossanitário, benéfica para o meio ambiente e com custo acessível (Abdel Bar *et al.*, 2018; Shabana *et al.*, 2017), a exemplo do biocontrole do fungo *Puccinia triticina* em folhas de trigo, inibindo o crescimento e proliferação pela indução de mecanismos de resistência dos vegetais (Shabana *et al.*, 2017). Também observou-se ação nematicida frente ao *Meloidogyne incógnita*, parasito comumente encontrado em tomateiros, associada a elevação do potencial de defesa enzimático pela polifenol-oxidase e peroxidase (Abdel Bar *et al.*, 2018).

Neste contexto, a Aroeira configura uma opção de complementação de renda para comunidades tradicionais, cujas colheitas são fontes de emprego e renda, o que torna fundamental a integração da produção e incentivos aos produtores e indústrias, para implementação de novas potencialidades de aplicação da espécie. O uso da Aroeira como aditivo natural contribui ainda para o desenvolvimento sustentável associado a atributos de saúde, além de conferir sabor, cor e aroma aos alimentos.

7.1 Aplicações dos frutos da Aroeira em sistemas alimentares

Mediante a diversidade de compostos bioativos com propriedades antioxidantes identificados na Aroeira, esta, representa opção de aditivo natural com possível substituição parcial ou total de compostos sintéticos, indesejáveis nos sistemas alimentares (Dannenberg *et al.*, 2017, Moreira *et al.*, 2016). É uma fonte a ser empregada não apenas na indústria alimentícia mas também para cozinheiras domésticas, visto que a oxidação lipídica pode ocorrer tanto durante o

preparo de alimentos quanto em processos industriais, com resultados promissores para substituição de antioxidantes sintéticos e eficiência semelhante ou até superiores (Vieira *et al.*, 2023).

Devido aos teores de bioativos e, consequentemente, a elevada capacidade antioxidant, os frutos e os resíduos da Aroeira revelaram potencial de uso como condimentos, tanto no desenvolvimento de ingredientes funcionais quanto na produção de conservantes *bio-based* (Ennigrou *et al.*, 2017).

O perfil lipídico dos frutos de Aroeiras foi estudado por Silva *et al.* (2019). Dentre os ácidos graxos (g/100 g de lipídios), os majoritários observados foram os ácidos oléico (34,51), palmítico (24,53) e linoléico (17,58), com destaque para o ácido eicosapentaenóico e α-linolênico, ambos da série ω³. Oliveira *et al.* (2020) observaram a presença de 20 ácidos graxos (g/100 g de lipídios) nos frutos da Aroeira, com predomínio dos ácidos linoléico ($36,33 \pm 0,62$), oleico ($18,71 \pm 0,32$), palmítico ($9,01 \pm 0,33$) e palmitoléico ($7,87 \pm 0,33$), em um total de 26,53 AGS, 29,32 de AGMI, 37,01 de AGPI, 36,94 de ω⁶, 0,61 de ω³, equivalente à 1,40 para razão entre AGPI/AGS, e 60,55 para ω⁶/ω³. Bittencourt Fagundes *et al.* (2020) caracterizaram o perfil de ácidos graxos de frutos de Aroeira, com predomínio do ácido palmítico, do ácido oléico e do ácido linoléico para os ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados, respectivamente.

Dentre os compostos fenólicos presentes, destacam-se a naringenina e o ácido gálico, com teores de 140,69 mg rutina equivalente/g de flavonoides totais, 650 mg GAE/g fenólicos totais, e inibição pelo método de DPPH superior a 70% (De Lima Glória *et al.*, 2017). Os compostos fenólicos agem como antioxidantes pelo sequestro de radicais livres, ativos quando utilizados em concentrações adequadas, contudo, efeitos pro-oxidantes ocorrem em quantidades excessivas, com interferência em processos de auto-oxidação de lipídios (Kozłowska, Gruczyńska, 2018).

Ennigrou *et al.* (2017) avaliaram a influência do período de maturação nos frutos de Aroeira sobre os teores de fenólicos e flavonoides, o que revelou teores máximos de fenólicos totais quando maduros e flavonoides totais nos períodos intermediários. Em estudo realizado por De Oliveira *et al.* (2020a), a Aroeira apresentou teores de compostos fenólicos totais equivalentes à: $3,11 \pm 0,26$ mg AGE/g. Ademais, também foram determinados flavonoides, taninos e terpenos, além de outros fitoquímicos bioativos como o schinol, ácido masticadienoico, triterpenos ácidos, hinoquiflavona, 7-O-metil pelargonidina, agastiflavona, galotanina, tetra-hidro-amentoflavona e galato de etila.

Catequinas, epicatequinas e resveratrol foram identificados no perfil de fenólicos de frutos

da Aroeira e conferiram atividade antioxidante e foto-protetora, o que eleva a valorização dos seus produtos oriundos da agricultura familiar (Oliveira *et al.*, 2020). Estes compostos apresentam reconhecida capacidade antioxidante e assim podem atuar inibindo ou retardando reações indesejáveis decorrentes da oxidação lipídica, destacando o potencial tecnológico da Aroeira para o emprego como aditivo natural em alimentos (Fortunato *et al.*, 2019, Menegali *et al.*, 2020, De Oliveira *et al.*, 2020b, De Oliveira *et al.*, 2020c).

Os métodos de avaliação da capacidade antioxidante *in vitro* são amplamente utilizados para determinar o potencial antioxidante de extratos naturais. No entanto, as metodologias empregadas na extração, tipo de solvente e fatores outros inerentes aos procedimentos experimentais exercem influência na recuperação e quantificação dos compostos, justificando os resultados variados reportados na literatura.

Serrano-León *et al.* (2018) identificaram em extrato etanólico obtido de resíduos industriais da Aroeira um teor de $45,01 \pm 0,54$ mg AGE/g para fenólicos totais e uma capacidade antioxidante de $535,7 \pm 0,32$ $\mu\text{mol TE/g}$ para o ensaio DPPH. O extrato foi incorporado à embalagens ativas de quitosana ou diretamente na massa cárnea de produtos reestruturados de carne de frango, os quais foram estocados sob temperatura de refrigeração. De acordo com os pesquisadores, após 7 dias de armazenamento, a adição direta do extrato ou o uso de aditivo sintético, o hidroxi-butil-tolueno (BHT), resultou em 64% e 51% de redução dos valores de TBARS, respectivamente, em comparação aos produtos sem adição de antioxidante.

De acordo com De Oliveira *et al.* (2020b), a Aroeira apresentou capacidade antioxidante *in vitro* equivalente à $42,68 \pm 0,05\%$ no ensaio DPPH, $43,40 \pm 6,22\mu\text{M TE/g}$ no ensaio ORAC e $61,41 \pm 5,30\%$ no ensaio de co-oxidação do β -caroteno/ácido linoleico. Além disso, análises *in vivo* demonstraram a capacidade de extratos da Aroeira em reduzir danos oxidativos ocasionados pelo tratamento com hidróxido de peróxido (H_2O_2) em células de *Saccharomyces cerevisiae*.

O efeito protetor do extrato metanólico de Aroeira ($12,17$ mg AGE/g de fenólicos totais) adicionado a hambúrgueres de frango (90 mg extrato/Kg carne) estocados por 7 dias sob refrigeração (2°C) foi avaliado por Menegali *et al.* (2020). De acordo com os pesquisadores, o uso do antioxidante natural foi tão eficaz quanto o aditivo sintético (BHT), com redução dos valores de TBARS em 79,44% e 67,29%, respectivamente, em relação aos hambúrgueres sem adição de antioxidantes.

Em estudo comparando diferentes tipos de pimentas, Martini *et al.* (2021) observaram

teores mais elevados de fenólicos na Aroeira (Anacardiaceae) que nas pimentas preta e verde (Piperaceae). Os pesquisadores identificaram efeito protetivo da Aroeira na prevenção à oxidação lipídica durante o cozimento superior ao observado em ensaios de digestão *in vitro*.

7.2 Folhas de Aroeira

Além dos frutos da Aroeira, a literatura também reporta a aplicação das folhas da Aroeira, principalmente relacionadas a farmacologia. De acordo com Ennigrou *et al.* (2018), nas diferentes partes da planta da Aroeira são determinados diferentes compostos bioativos, cujas propriedades são conferidas também pelo conteúdo lipídico das suas folhas, que contêm ácidos graxos essenciais, como o α -linolênico e linoleico.

Em relação aos demais fitoquímicos, o extrato etanólico de folhas da Aroeira foi analisado por Sereniki *et al.* (2016), dentre os quais observaram a presença de ácido gálico, ácido elágico, catequinas e epicatequinas. Tabaldi *et al.* (2016) avaliaram os teores de fenólicos totais e flavonoides totais em folhas de Aroeira cultivadas com adição de diferentes níveis de cama de frango (0; 5; 10; 15 e 20 t/ha), em cultivos simples e duplos. Para os teores de fenólicos totais, valores entre $360,34 \pm 1,59$ e $414,41 \pm 3,40$ mg AGE por g de extrato foram observados. Para os teores de flavonoides, foram mensurados teores entre $83,24 \pm 0,85$ e $110,35 \pm 1,15$ mg de rutina equivalente/g amostra. Para o ensaio antioxidante pelo DPPH (IC_{50}) ($\mu\text{g/ml}$) foram identificados valores entre $9,30 \pm 0,70$ e $12,03 \pm 1,44$.

Em estudo realizado por Da Silva *et al.* (2017), sete compostos foram identificados no extrato metanólico de folhas de Aroeira, dentre os quais: sitosterol-3-O- β -glucopiranosideo, 1,2,3,4,6-penta-O-galoil- β - glucopiranosideo, galato de metila, robusflavona, queracetina, queracetrina e luteonina. De forma semelhante, Abdel Bar *et al.* (2018) utilizaram extratos de acetato de etila e aquoso de folhas de Aroeira, com identificação de 9 compostos: 1,2,3,4,6-pentagaloil glucose, caempferol-3-O- α rhanmoside, queracetina-3-O- α -L rhanmoside, mireacetina, mireacetina-3-O- α -L-rhamnoside, metil-galato, proto-catequinas, queracetina e ácido gálico.

Silva *et al.* (2017) avaliaram a atividade antioxidante de folhas de Aroeira em extrato metanólico. Os pesquisadores identificaram valores correspondentes à: $12,32 \pm 1,50$ $\mu\text{g/ml}$ para os ensaios DPPH (IC_{50}), $70,44 \pm 0,88$ (AA%) para β -caroteno/ácido linoleico e $87,32 \pm 1,33$ (AA%) para o ensaio ABTS.

Scheid *et al.* (2018) realizaram sucessivas extrações de folhas de Aroeira, com obtenção de diferentes frações, correspondentes a uso de n-hexano (HcF), diclorometano (DcF), acetato de etila (EtF) e metanol (MeF). Os pesquisadores avaliaram o rendimento, correspondentes à: 3,84% (HcF), 1,84% (DcF), 1,63% (EtF) e 5,30% (MeF) e os teores de fenólicos totais correspondentes à: $7,49 \pm 1,0$ (HcF), $32,27 \pm 8,4$ (DcF), $357,62 \pm 19$ (EtF) e $406,35 \pm 16,1$ (MeF), mg AGE por g de extrato, respectivamente. Para o radical DPPH (IC_{50}), foram observados valores correspondentes à: $596,2 \pm 0,4$ (HcF), $238,99 \pm 6,2$ (DcF), $5,19 \pm 0,1$ (EtF), $3,0 \pm 0,1$ (MeF), $6,25 \pm 0,1$ (BHT) e $2,43 \pm 0,1$ (ácido ascórbico).

De Souza *et al.* (2018) identificaram em extratos etanol:água (80:20) de folhas de Aroeira, teores de fenólicos totais (mg de AGE/g de amostra seca) correspondentes à: $14,8 \pm 0,02$ com uso de extração por ultrassom assistida e $12,5 \pm 0,10$ com extração em orbital shaker.

Em estudo realizado por Sales *et al.* (2018), os teores de clorofila a, clorofila b, clorofila total, carotenoides, clorofila a\|b e Clorofila total\ carotenoides foram mensurados em folhas de Aroeira submetidas a cultivo com diferentes resíduos de matéria orgânica, na proporção de 20:80 (matéria orgânica: substrato). Dentre os resíduos: lodo de curtume, resíduo da indústria de torrefação de café, esterco bovino curtido, resíduo de laticínio e resíduo urbano, os compostos variaram entre: 246,3 e 283,3 mmol.m⁻² para clorofila a, 52,1 e 67,5 mmol.m⁻² para clorofila b, 299,6 e 335,8 mmol.m⁻² para clorofila total, 42,0 e 46,6 para carotenoides, 4,0 e 5,1 para clorofila a\|b e 6,8 e 7,5, para clorofila total\ carotenoides, respectivamente.

O perfil de extratos metanólicos de folhas de Aroeira provenientes de diferentes origens (Floresta Estacional Semidecídua (FESD) e Floresta Ombrófila Densa (FOD)) apresentaram as mesmas classes de compostos. Entretanto, teores superiores de flavonoides, triterpenoides esteroides e xantofilas foram identificados nas folhas oriundas da FESD. Dentre os taninos, ocorreram taninos hidrolisados na FESD e condensados na FOD (Pilatti *et al.*, 2019).

A Aroeira é considerada uma espécie pioneira no processo de reflorestamento, com fácil adaptação à presença de luz. Em estudo realizado por Contin e Munné-Bosch (2016) para a determinação da composição química das folhas de Aroeira, teores de 4,77 µmol/g de α-tocoferol e 1,63 µmol/g γ-tocoferol (peso seco) foram mensurados, associados à correlação negativa entre os teores de vitamina E e de clorofila, visto que tocoferóis têm sua síntese dependente do fitol derivado da clorofila. A correlação negativa entre a formação de malonaldeído e os teores de

tocoferóis confirmou o efeito antioxidante dos tocoferóis, superior para o α -tocoferol, com relação ao seu precursor, γ -tocoferol

Conforme elucidado na presente revisão de literatura, a prevenção de processos oxidativos e a manutenção da qualidade de produtos cárneos processados, com ênfase na produção de salames, requer a utilização de antioxidantes exógenos, em que o uso da Aroeira como antioxidante natural é alternativa para reduzir o uso de aditivos sintéticos e agregar características sensoriais.

O emprego da Aroeira, como antioxidante natural em salames ainda não foi reportado, o que justifica a avaliação de diferentes adições de suas folhas e frutos para manutenção ou incremento da qualidade de salames, com identificação do efeito protetivo a estabilidade oxidativa e influência na cor, textura e aceitação sensorial, como alternativa para o desenvolvimento de aditivos naturais na elaboração de produtos cárneos.

REFERÊNCIAS

ABDEL BAR, F. M.; IBRAHIM, D. S.; GEDARA, S. R.; ABDEL-RAZIQ, M. S.; ZAGHLOUL, A. M. Nematicidal compounds from the leaves of *schinus terebinthifolius* against root-knot nematode, *meloidogyne incognita* infecting tomato. **Natural Product Sciences**, v. 24, n. 4, p. 272–283, 2018. <https://doi.org/10.20307/NPS.2018.24.4.272>.

ALABISO, M.; MANIACI, G.; GIOSUÈ, C.; DI GRIGOLI, A.; BONANNO, A. Fatty acid composition of salami made by meat from different commercial categories of indigenous dairy cattle. **Animals**, v. 11, n. 4, p. 1–13, 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11041060>.

ALTEMIO, A. D. C.; GONZALEZ, C. S.; SILVA, C. O.; MACHADO, G. L.; PESSOA, L. B.; SOUSA, N. A. de. Market research, sensory, physical and chemical analysis of Italian-type salami sold in the city of Dourados – MS. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e8511527783, 2022.

AMBROSIO, R. L.; SMALDONE, G.; DI PAOLO, M.; VOLLANO, L.; CERUSO, M.; ANASTASIO, A.; MARRONE, R. Effects of different levels of inclusion of apulo-calabrese pig meat on microbiological, physicochemical and rheological parameters of salami during ripening. **Animals**, v. 11, n. 11, 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11113060>.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Uso de aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia Guia de procedimentos para pedidos de inclusão e extensão de uso de aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia de fabricação na legislação

brasileira. 2020.

AUGUSTO VIANA ANDRADE, G.; SOUZA RIBEIRO, J.; CAMELO ELOI DE SOUZA, CASSIARA; MENDONÇA FIGUEIREDO, R.; ELENA ZANUTO, M. Caracterização Química, Teor De Compostos Bioativos E Atividade Antioxidante Da Farinha De Manga “Tommy Atkins”. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 11, n. 2, p. 915–921, 2021. <https://doi.org/10.18378/rebagro.v12i2.8878>.

BACKES, Â. M.; TERRA, N. N.; MILANI, L. I. G.; REZER, A. P. De S.; LÜDTKE, F. L.; CAVALHEIRO, C. P.; FRIES, L. L. M. Características físico-químicas e aceitação sensorial de salame tipo Italiano com adição de óleo de canola. **Semina: Ciencias Agrarias**, v. 34, n. 6 SUPPL. 2, p. 3709–3720, 2013. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6Supl2p3709>.

BAGGIO, S. R.; BRAGAGNOLO, N. Cholesterol oxide, cholesterol, total lipid and fatty acid contents in processed meat products during storage. **Lwt**, v. 39, n. 5, p. 513–520, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.03.007>.

BAGGIO, S. R.; BRAGAGNOLO, N. Lipid fraction quality evaluation of Brazilian meat-based products. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 19, n. 3, p. 463–470, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532008000300013>.

BARRIUSO, B.; ANSORENA, D.; ASTIASARÁN, I. Oxysterols formation: A review of a multifactorial process. **Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology**, v. 169, n. 2015, p. 39–45, 2017. DOI 10.1016/j.jsbmb.2016.02.027. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsbmb.2016.02.027>.

BAYRAM, I.; DECKER, E. A. Underlying mechanisms of synergistic antioxidant interactions during lipid oxidation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 133, n. January, p. 219–230, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.02.003>.

BEZERRA, J. J. L. Usos medicinais de Schinus terebinthifolius Raddi (Anacardiaceae) em diferentes regiões di Brasil: uma revisão. **Ethnoscientia**, v. 7, n. 1, p. 88–108, 2022.

BIASI-GARBIN, R. P.; DEMITTO, F. de O.; DO AMARAL, R. C. R.; FERREIRA, M. R. A.; SOARES, L. A. L.; SVIDZINSKI, T. I. E.; BAEZA, L. C.; YAMADA-OGATTA, S. F. Antifungal potential of plant species from Brazilian caatinga against dermatophytes. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, v. 58, n. 1, p. 18–22, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1678-9946201658018>.

BIS-SOUZA, C. V.; PENNA, A. L. B.; DA SILVA BARRETTO, A. C. Applicability of

potentially probiotic *Lactobacillus casei* in low-fat Italian type salami with added fructooligosaccharides: in vitro screening and technological evaluation. **Meat Science**, v. 168, n. April, p. 108186, 2020. DOI 10.1016/j.meatsci.2020.108186. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108186>.

BITTENCOURT FAGUNDES, M.; BALLUS, C. A.; PERCEVAL SOARES, V.; DE FREITAS FERREIRA, D.; SENA VAZ LEÃES, Y.; SASSO ROBALO, S.; GUIDETTI VENDRUSCOLO, R.; BASTIANELLO CAMPAGNOL, P. C.; SMANIOTO BARIN, J.; CICHOSKI, A. J.; BEVILACQUA MARCUZZO, S.; ASSUMPÇÃO BERTUOL, D.; WAGNER, R. Characterization of olive oil flavored with Brazilian pink pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) in different maceration processes. **Food Research International**, v. 137, n. April, p. 109593, 2020. DOI 10.1016/j.foodres.2020.109593. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109593>.

BONACINA, M.; DA SILVA, G. S.; MITTERER-DALTOÉ, Marina Leite. Physicochemical quality and consumer discrimination of industrial and traditional fermented sausages. **Ciência Rural**, v. 50, n. 7, p. 1–9, 2020. <https://doi.org/10.1590/0103-8478CR20200143>.

BRASIL Ministério da Saúde RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC N° 331, DE 23 de Dezembro. 2019.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria N° 540, de 27 de outubro de 1997. Estabelece o Regulamento técnico para aditivos alimentares. **Diário Oficial da União**, v. 1997, n. Dispõe sobre o regulamento de procedimentos para registro de alimento com alegação de propriedades funcionais e ou de saúde em sua rotulagem, p. 1–4, 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 22, de 31 de julho de 2000. Regulamento técnico de identidade e qualidade do salame tipo italiano. DOU 03/08/2000. Seção 1, <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/defesa-agropecuaria/suasa/regulamentos-tecnicos-de-identidade-e-qualidade-de-produtos-de-origem-animal-1/rtiq-carneos-e-seus-derivados-1>

BRONCANO, J M; PETRÓN, M J; PARRA, V; TIMÓN, M L. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of free cholesterol oxidation products (COPs) in *Latissimus dorsi* muscle of Iberian pigs. **Meat Science**, v. 83, n. 3, p. 431–437, 2009. DOI 10.1016/j.meatsci.2009.06.021. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.06.021>.

BRUGNINI, G.; RODRÍGUEZ, J.; RODRÍGUEZ, S.; MARTÍNEZ, I.; PELAGGIO, R.; RUFO, C. Effects of Fermentation Temperature, Drying Temperature, Caliber Size, Starter Culture, and Sodium Lactate on *Listeria monocytogenes* Inactivation During Salami Production. **Journal of Food Protection**, v. 87, n. 6, p. 100286, 2024. DOI 10.1016/j.jfp.2024.100286. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2024.100286>.

CAIS-SOKOLIŃSKA, D.; RUDZIŃSKA, M. Short communication: Cholesterol oxidation products in traditional buttermilk. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 3829–3834, 2018. DOI 10.3168/jds.2017-13942. Available at: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-13942>.

CAMBESES-FRANCO, C.; GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; FEIJOO, G.; MOREIRA, M. T. Driving commitment to sustainable food policies within the framework of American and European dietary guidelines. **Science of the Total Environment**, v. 807, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150894>.

CAMPAGNOL, P. C. B.; FRIES, L. L. M.; TERRA, N. N.; SANTOS, B. A.; FURTADO, A. S.; TONETO, E. R. L.; CAMPOS, R. M. L. De. The influence of Achyrocline satureioides (“Marcela”) extract on the lipid oxidation of salami. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 1, p. 101–105, 2011. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612011000100013>.

CARDENIA, V.; MASSIMINI, M.; POERIO, A.; VENTURINI, M. C.; RODRIGUEZ-ESTRADA, M. T.; VECCHIA, P.; LERCKER, G. Effect of dietary supplementation on lipid photooxidation in beef meat, during storage under commercial retail conditions. **Meat Science**, v. 105, p. 126–135, 2015. DOI 10.1016/j.meatsci.2015.02.010. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.02.010>.

CARVALHO, M.G.; MELO, A.G.N.; ARAGÃO, C.F.S.; RAFFIN, F.N.; MOURA, T.F.A.L. *Schinus terebinthifolius* Raddi: chemical composition, biological properties and toxicity. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 15, n. 1, p. 158–169, 2013. <https://doi.org/10.1590/s1516-05722013000100022>.

CASSANI, L.; MARCOVICH, N.E.; GOMEZ-ZAVAGLIA, A. Valorization of fruit and vegetables agro-wastes for the sustainable production of carotenoid-based colorants with enhanced bioavailability. **Food Research International**, v. 152, n. August 2021, p. 110924, 2022. DOI 10.1016/j.foodres.2021.110924. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110924>.

CHAKANYA, C.; ARNAUD, E.; MUCHENJE, V.; HOFFMAN, L. C. Changes in the physico-chemical attributes through processing of salami made from blesbok (*Damaliscus*

pygargus phillipsi), eland (*Taurotragus oryx*), fallow deer (*Dama dama*), springbok (*Antidorcas marsupialis*) and black wildebeest (*Connochaetes gnou*) in co. **Meat Science**, v. 146, n. July, p. 87–92, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.07.034>.

CHONG, C. H.; LAW, C. L.; FIGIEL, A.; WOJDYLO, A.; OZIEMBLOWSKI, Maciej. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. **Food Chemistry**, v. 141, n. 4, p. 3889–3896, 2013. DOI 10.1016/j.foodchem.2013.06.042. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.042>.

CIVIL, Casa. Presidência da República. 2017.

COLEGIADA, Diretoria. Instrução normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019. 2019.

CONTIN, D. R.; MUNNÉ-BOSCH, S. Interspecific variation in Vitamin E levels and the extent of lipid peroxidation in pioneer and non-pioneer species used in tropical forest restoration. **Tree Physiology**, v. 36, n. 9, p. 1151–1161, 2016. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpw018>.

CULLERE, M; DALLE ZOTTE, A; HOFFMAN, L.C. Preliminary study to test rooibos (*Aspalathus linearis*) as a natural antioxidant applied to ostrich meat patties and Italian type salami. **58th International Congress of Meat Science and Technology**, n. August, p. 9–12, 2012.

DA, Resolução; COLEGIADA, Diretoria; N°, R D C; DE, D E D E Março. Resolução da diretoria colegiada - RDC nº 272, de 14 de março de 2019. 2019.

DA SILVA, Marciane M.; IRIGUCHI, Edna K.K.; KASSUYA, Candida Aparecida L.; VIEIRA, M. do C.; FOGLIO, M. A.; DE CARVALHO, J. E.; RUIZ, A. L. T.G.; SOUZA, K. de P.; FORMAGIO, A. S.N. *Schinus terebinthifolius*: Phenolic constituents and in vitro antioxidant, antiproliferative and in vivo anti-inflammatory activities. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 27, n. 4, p. 445–452, 2017. DOI 10.1016/j.bjp.2016.12.007. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjp.2016.12.007>.

DA SILVA, T.; DE OLIVEIRA, V.; BARBOSA, M. I.; SALDANHA, T.. Pimenta rosa (*Schinus terebinthifolius* Raddi): capacidade antioxidante, aplicação em hambúrgueres de tilápia e sistema de produção. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 11, n. 2, p. 1070–1076, 2021. <https://doi.org/10.18378/rebagro.v12i2.8918>.

DA SILVA, T. L.; DE OLIVEIRA, V. S.; AUGUSTA, I. M.; KELLER, L. Monteiro; GAMALLO, O. D.; SALDANHA, T. Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) fruit: Chemical composition and antioxidant capacity. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 5, p. 1614–1624,

2019. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190113>.

DANNENBERG, G. S.; FUNCK, G. D.; CRUXEN, C. E. S.; MARQUES, J. L.; SILVA, W. P.; FIORENTINI, Â. M. Essential oil from pink pepper as an antimicrobial component in cellulose acetate film: Potential for application as active packaging for sliced cheese. **LWT - Food Science and Technology**, v. 81, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.002>.

DE CARVALHO, I. O. A. M.; DE OLIVEIRA, V. S.; CHÁVEZ, D. W. H.; GAMALLO, O. D.; CASTRO, R. N.; SAWAYA, A. C. H. F.; SAMPAIO, G. R.; TORRES, E. A. F. da S.; SALDANHA, T. The use of lemon juice and its role on polyunsaturated fatty acids and cholesterol oxides formation in thermally prepared sardines. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 104, n. July, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104087>.

DE LIMA ALVES, L.; STEFANELLO DA SILVA, M.; MARTINS FLORES, D. R.; RODRIGUES ATHAYDE. D.; ROGGIA RUVIARO, A.; DA SILVA BRUM, D.; FAGUNDES BATISTA, V. S.; DE OLIVEIRA MELLO, R.; RAGAGNIN DE MENEZES, C.; BASTIANELLO CAMPAGNOL, P. C.; WAGNER, R.; SMANIOTO BARIN, J.; CICHOSKI, A. J. Effect of ultrasound on the physicochemical and microbiological characteristics of Italian salami. **Food Research International**, v. 106, n. November 2017, p. 363–373, 2018. DOI 10.1016/j.foodres.2017.12.074. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.074>.

DE LIMA GLÓRIA, L.; DE SOUZA ARANTES, M. B.; DE FARIA PEREIRA, S.M.; DE SOUZA VIEIRA, G.; MARTINS, C. X.; DE CARVALHO JUNIOR, A. R.; ANTUNES, F.; BRAZ-FILHO, R.; VIEIRA, I. J. C.; DA CRUZ, L. L.; DE ALMEIDA CHAVES, D.S.; DE PAIVA FREITAS, S.; DE OLIVEIRA, D. B. Phenolic compounds present *Schinus terebinthifolius* Raddi influence the lowering of blood pressure in rats. **Molecules**, v. 22, n. 10, 2017. <https://doi.org/10.3390/molecules22101792>.

DE OLIVEIRA, V. S.; AUGUSTA, I. M.; BRAZ, M. V. da C.; RIGER, C. J.; PRUDÊNCIO, E. R.; SAWAYA, A. C. H. F.; SAMPAIO, G. R.; TORRES, E. A. F. da S.; SALDANHA, T. Aroeira fruit (*Schinus terebinthifolius* Raddi) as a natural antioxidant: Chemical constituents, bioactive compounds and in vitro and in vivo antioxidant capacity. **Food Chemistry**, v. 315, n. April 2019, p. 126274, 2020a. DOI 10.1016/j.foodchem.2020.126274. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126274>.

DE OLIVEIRA, V. S.; AUGUSTA, I. M.; BRAZ, M. V. da C.; RIGER, C. J.; PRUDÊNCIO, E. R.; SAWAYA, A. C. H. F.; SAMPAIO, G. R.; TORRES, E. A. F. da S.;

SALDANHA, T. Aroeira fruit (*Schinus terebinthifolius* Raddi) as a natural antioxidant: Chemical constituents, bioactive compounds and in vitro and in vivo antioxidant capacity. **Food Chemistry**, v. 315, n. January, p. 126274, 2020b. DOI 10.1016/j.foodchem.2020.126274. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126274>.

DE OLIVEIRA, V. S.; CHÁVES, D. W. H.; GAMALLO, O. D.; SAWAYA, A. C. H. F.; SAMPAIO, G. R.; CASTRO, R. N.; TORRES, E. A. F. da S.; SALDANHA, T. Effect of aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) fruit against polyunsaturated fatty acids and cholesterol thermo-oxidation in model systems containing sardine oil (*Sardinella brasiliensis*). **Food Research International**, v. 132, n. October 2019, p. 109091, 2020. DOI 10.1016/j.foodres.2020.109091. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109091>.

DE OLIVEIRA, V. S.; FERREIRA, F. S.; COPLE, M. C. R.; LABRE, T. da S.; AUGUSTA, I. M.; GAMALLO, O. D.; SALDANHA, T. Use of Natural Antioxidants in the Inhibition of Cholesterol Oxidation: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 6, p. 1465–1483, 2018. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12386>.

DE SALES, R A; DE SALES, R A; DOS SANTOS, R A; QUARTEZANI, W Z; DA SILVA BERILLI, S; DE OLIVEIRA, E C. Influence of different sources of organic matter on physiological components of leaves of the species *Schinus terebinthifolius* Raddi. (Anacardiaceae) Influência De Diferentes Fontes De Matéria Orgânica Em Componentes Fisiológicos De Folhas Da Espécie Schi. **Scientia Agraria**, v. 19, n. 1, p. 132–141, 2018. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85047765333&partnerID=40&md5=14cb00d22a51d5807a7950d003fbe6f5>.

DE SOUZA, M. M.; DA SILVA, B.; COSTA, C. S.B.; BADIALE-FURLONG, E. Free phenolic compounds extraction from Brazilian halophytes, soybean and rice bran by ultrasound-assisted and orbital shaker methods. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 4, p. 3363–3372, 2018. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170745>.

DEL NOBILE, M. A.; CONTE, A.; INCORONATO, A. L.; PANZA, O.; SEVI, A.; MARINO, R. New strategies for reducing the pork back-fat content in typical Italian salami. **Meat Science**, v. 81, n. 1, p. 263–269, 2009. DOI 10.1016/j.meatsci.2008.07.026. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.026>.

DEMARCO, F.; RÔMIO, A. P.; DA TRINDADE ALFARO, A.; TONIAL, I. B. Effects of Natural Antioxidants on the Lipid Oxidation, Physicochemical and Sensory Characteristics, and

Shelf Life of Sliced Salami. **Food and Bioprocess Technology**, v. 15, n. 10, p. 2282–2293, 2022. DOI 10.1007/s11947-022-02877-2. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02877-2>.

DINH, T.; THOMPSON, L. **Cholesterol: Properties, Processing Effects, and Determination**. 1. ed. [S. l.]: Elsevier Ltd., 2015. DOI 10.1016/B978-0-12-384947-2.00150-1. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00150-1>.

DUPAS, C.; MÉTOYER, B.; EL HATMI, H.; ADT, I.; MAHGOUB, S. A.; DUMAS, E. Plants: A natural solution to enhance raw milk cheese preservation? **Food Research International**, v. 130, n. July 2019, p. 108883, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108883>.

EL-SAYED, S. M.; YOUSSEF, A. M. Potential application of herbs and spices and their effects in functional dairy products. **Heliyon**, v. 5, n. 6, p. e01989, 2019. DOI 10.1016/j.heliyon.2019.e01989. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01989>.

ELAVARASAN, K.; SHAMASUNDAR, B. A. Antioxidant properties of papain mediated protein hydrolysates from fresh water carps (Catla catla, Labeo rohita and Cirrhinus mrigala) and its application on inhibition of lipid oxidation in oil sardine mince during ice storage. **Journal of Food Science and Technology**, 2021. DOI 10.1007/s13197-021-05053-0. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05053-0>.

EMBUSCADO, M. E. Bioactives from culinary spices and herbs: a review. **Journal of Food Bioactives**, v. 6, n. June, 2019. <https://doi.org/10.31665/jfb.2019.6186>.

ENNIGROU, A.; CASABIANCA, H.; LAARIF, A.; HANCHI, B.; HOSNI, K. Maturation-related changes in phytochemicals and biological activities of the Brazilian pepper tree (*Schinus terebinthifolius* Raddi) fruits. **South African Journal of Botany**, v. 108, n. 2017, p. 407–415, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.09.005>.

ENNIGROU, A.; CASABIANCA, H.; VULLIET, E.; HANCHI, B.; HOSNI, K. Assessing the fatty acid, essential oil composition, their radical scavenging and antibacterial activities of *Schinus terebinthifolius* Raddi leaves and twigs. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 4, p. 1582–1590, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3049-6>.

ERDMANN, M. E; LAUTENSCHLAEGER, R.; WEISS, J. Antioxidant effectiveness of differently sized oil-in-water emulsions loaded with rosemary extract in salami. August, 2015.

ESPINALES, C.; PALACIOS-PONCE, S.; PLAZA-IBARRA, L.; PEÑAS, E.; MARTINEZ-VILLALUENGA, C.; CÁCERES, P. J. Addition of ungerminated and germinated

white rice and brown rice to improve the quality of salami. **Lwt**, v. 181, n. April, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114769>.

ESTÉVEZ, M. Critical overview of the use of plant antioxidants in the meat industry: Opportunities, innovative applications and future perspectives. **Meat Science**, v. 181, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108610>.

FARIA, G. Y.Y.; SOUZA, M. M.; OLIVEIRA, J. R.M.; COSTA, C. S.B.; COLLARES, M. P.; PRENTICE, C. Effect of ultrasound-assisted cold plasma pretreatment to obtain *sea asparagus* extract and its application in Italian salami. **Food Research International**, v. 137, n. June, p. 109435, 2020. DOI 10.1016/j.foodres.2020.109435. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109435>.

FERIANI, A.; TIR, M.; ARAFAH, M.; GÓMEZ-CARAVACA, A. M.; CONTRERAS, M. del M.; NAHDI, S.; TAAMALLI, A.; ALLAGUI, M. S.; ALWASEL, S.; SEGURA-CARRETERO, A.; HARRATH, A. H.; TLILI, N. *Schinus terebinthifolius* fruits intake ameliorates metabolic disorders, inflammation, oxidative stress, and related vascular dysfunction, in atherogenic diet-induced obese rats. Insight of their chemical characterization using HPLC-ESI-QTOF-MS/MS. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 269, n. September 2020, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113701>.

FERIANI, A.; TIR, M.; HAMED, M.; SILA, A.; NAHDI, S.; ALWASEL, S.; HALIM, A.; TLILI, N. International Journal of Biological Macromolecules Multidirectional insights on polysaccharides from *Schinus terebinthifolius* and *Schinus molle* fruits : Physicochemical and functional profiles , in vitro antioxidant , anti-genotoxicity and antidiabetic. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 165, p. 2576–2587, 2020. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2020.10.123. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.123>.

FERREIRA, F. S.; SAMPAIO, G. R.; KELLER, L. M.; SAWAYA, A. C.H.F.; CHÁVEZ, D. W.H.; TORRES, E. A.F.S.; SALDANHA, T. Impact of Air Frying on Cholesterol and Fatty Acids Oxidation in Sardines: Protective Effects of Aromatic Herbs. **Journal of Food Science**, v. 82, n. 12, p. 2823–2831, 2017. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13967>.

FERREIRA, F. S.; DE OLIVEIRA, V. S.; CHÁVEZ, D. W. H.; CHAVES, D. S.; RIGER, C. J.; SAWAYA, A. C. H. F.; GUIZELLINI, G. M.; SAMPAIO, G. R.; TORRES, E. A. F. da S.; SALDANHA, T. Bioactive compounds of parsley (*Petroselinum crispum*), chives (*Allium schoenoprasum* L) and their mixture (Brazilian cheiro-verde) as promising antioxidant and anti-

cholesterol oxidation agents in a food system. **Food Research International**, v. 151, n. March 2021, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110864>.

FEUEREISEN, M. M.; GAMERO BARRAZA, M.; ZIMMERMANN, B. F.; SCHIEBER, A.; SCHULZE-KAYSERS, N. Pressurized liquid extraction of anthocyanins and biflavonoids from *Schinus terebinthifolius* Raddi: A multivariate optimization. **Food Chemistry**, v. 214, p. 564–571, 2017. DOI 10.1016/j.foodchem.2016.07.002. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.002>.

FLORES, M. Understanding the implications of current health trends on the aroma of wet and dry cured meat products. **Meat Science**, v. 144, n. April, p. 53–61, 2018. DOI 10.1016/j.meatsci.2018.04.016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.016>.

FORTE, C.; BRANCIARI, R.; PACETTI, D.; MIRAGLIA, D.; RANUCCI, D.; ACUTI, G.; BALZANO, M.; FREGA, N. G.; TRABALZA-MARINUCCI, M. Dietary oregano (*Origanum vulgare* L.) aqueous extract improves oxidative stability and consumer acceptance of meat enriched with CLA and n-3 PUFA in broilers. **Poultry Science**, v. 97, n. 5, p. 1774–1785, 2018. DOI 10.3382/ps/pex452. Available at: <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pex452>.

GAGLIO, R.; FRANCESCA, N.; MANIACI, G.; CORONA, O.; ALFONZO, A.; GIOSUÈ, C.; DI NOTO, A.; CARDAMONE, C.; SARDINA, M. T.; PORTOLANO, B.; ALABISO, M. Valorization of indigenous dairy cattle breed through salami production. **Meat Science**, v. 114, p. 58–68, 2016. DOI 10.1016/j.meatsci.2015.12.014. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.12.014>.

GHIRETTI, G. P.; ZANARDI, E.; NOVELLI, E.; CAMPANINI, G.; DAZZI, G.; MADARENA, G.; CHIZZOLINI, R. Comparative evaluation of some antioxidants in salami Milano and mortadella production. **Meat Science**, v. 47, n. 1–2, p. 167–176, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(97\)00059-4](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(97)00059-4).

GUIMARÃES, A. S.; GUIMARÃES, J. S.; ARAÚJO, A. B. S.; RODRIGUES, L. M.; CARVALHO, E. E. N.; RAMOS, A. de L. S.; RAMOS, E. M. Characterization of natural curing agents from Japanese radish (*Raphanus sativus* L.) for their use in clean label restructured cooked meat products. **LWT**, v. 150, n. March, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111970>.

GUINE, R.; J. GONCALVES, F. Chemistry and Health Effects of Bioactive Compounds in Selected Culinary Aromatic Herbs. **Current Nutrition & Food Science**, v. 11, n. 2, p. 145–164, 2015. <https://doi.org/10.2174/1573401311666150327001113>.

HADIDI, M.; ORELLANA-PALACIOS, J. C.; AGHABABAEI, F.; GONZALEZ-SERRANO, D. J.; MORENO, A.; LORENZO, J. M. Plant by-product antioxidants: Control of protein-lipid oxidation in meat and meat products. **LWT**, v. 169, n. April, p. 114003, 2022. DOI 10.1016/j.lwt.2022.114003. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114003>.

HENNEBELLE, M.; VILLENEUVE, P.; DURAND, E.; LECOMTE, J.; VAN DUYNHOVEN, J.; MEYNIER, A.; YESILTAS, B.; JACOBSEN, C.; BERTON-CARABIN, C. Lipid oxidation in emulsions: New insights from the past two decades. **Progress in Lipid Research**, v. 94, n. October 2023, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2024.101275>.

HU, Y.; XU, J.; HUANG, W.; ZHAO, Y.; LI, M.; WANG, M.; ZHENG, L.; LU, B. Structure–activity relationships between sterols and their thermal stability in oil matrix. **Food Chemistry**, v. 258, n. March, p. 387–392, 2018. DOI 10.1016/j.foodchem.2018.03.086. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.086>.

HUNG, Y. T.; LEE, Y. T.; INBARAJ, B. S.; SRIDHAR, K.; CHEN, B. H. Analysis and formation of polycyclic aromatic hydrocarbons and cholesterol oxidation products in thin slices of dried pork during processing. **Food Chemistry**, v. 353, n. February, p. 129474, 2021. DOI 10.1016/j.foodchem.2021.129474. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129474>.

JOINT FAO/WHO CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. Codex Alimentarius : Food Additives. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2014. Available at: <https://sis.binus.ac.id/2016/12/15/pasar-monopoli/>.

KEBEDE, M.; ADMASSU, S. Application of Antioxidants in Food Processing Industry: Options to Improve the Extraction Yields and Market Value of Natural Products. **Advances in Food Technology and Nutritional Sciences – Open Journal**, v. 5, n. 2, p. 38–49, 2019. <https://doi.org/10.17140/aftnsoj-5-155>.

KHARRAT, N.; SALEM, H.; MRABET, A.; ALOUI, F.; TRIKI, S.; FENDRI, A.; GARGOURI, Y. Synergistic effect of polysaccharides, betalain pigment and phenolic compounds of red prickly pear (*Opuntia stricta*) in the stabilization of salami. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 111, p. 561–568, 2018. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2018.01.025. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.025>.

KIMURA-OVANDO, A. Functional foods. **Medicina Interna de Mexico**, v. 36, n. 2, p. S8–S10, 2020. <https://doi.org/10.24245/mim.v36id.4964>.

KOZŁOWSKA, M.; GRUCZYŃSKA, E. Comparison of the oxidative stability of soybean

and sunflower oils enriched with herbal plant extracts. **Chemical Papers**, v. 72, n. 10, p. 2607–2615, 2018. DOI 10.1007/s11696-018-0516-5. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11696-018-0516-5>.

KUMAR, Y.; YADAV, D. N.; AHMAD, T.; NARSAIAH, K. Recent Trends in the Use of Natural Antioxidants for Meat and Meat Products. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, n. 6, p. 796–812, 2015. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12156>.

KUNRATH, C. A; SAVOLDI, D. C; PAULO, J.; MILESKI, F.; NOVELLO, C. R. C. R.; ALFARO, T.; MARCHI, J. F. J. F.; TONIAL, I. B. I. B.; MILESKI, J. P. F.; NOVELLO, C. R. C. R.; DA TRINDADE ALFARO, A.; MARCHI, J. F. J. F.; TONIAL, I. B. I. B. Application and evaluation of propolis, the natural antioxidant in Italian-type salami. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 4, p. 1–10, 2017.

LAGUERRE, M.; LECOMTE, J.; VILLENEUVE, P. Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges. **Progress in Lipid Research**, v. 46, n. 5, p. 244–282, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2007.05.002>.

LENZI, M.; ORTH, A. I. Caracterização funcional do sistema reprodutivo da aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi), em Florianópolis-SC, Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 198–201, 2004. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452004000200004>.

LIU, W.; LUO, X.; HUANG, Y.; ZHAO, M.; LIU, T.; WANG, J.; FENG, F. Influence of cooking techniques on food quality, digestibility, and health risks regarding lipid oxidation. **Food Research International**, p. 112685, 2023. DOI 10.1016/j.foodres.2023.112685. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112685>.

LIU, Y.; CAO, Y.; YOHANNES WOLDEMARIAM, K.; ZHONG, S.; YU, Q.; WANG, J. Antioxidant effect of yeast on lipid oxidation in salami sausage. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, n. January, 2023. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1113848>.

LUIZA KOOP, B.; NASCIMENTO DA SILVA, M.; DINIZ DA SILVA, F.; THAYRES DOS SANTOS LIMA, K.; SANTOS SOARES, L.; JOSÉ DE ANDRADE, C.; AYALA VALENCIA, G.; RODRIGUES MONTEIRO, A. Flavonoids, anthocyanins, betalains, curcumin, and carotenoids: Sources, classification and enhanced stabilization by encapsulation and adsorption. **Food Research International**, v. 153, n. January, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110929>.

MAFRA, J. F.; DE SANTANA, T. S.; CRUZ, A. I. C. I; FERREIRA, M. A; MIRANDA,

F. M.; ARAÚJO, F. M.; RIBEIRO, P. R.; EVANGELISTA-BARRETO, N. S. Influence of red propolis on the physicochemical, microbiological and sensory characteristics of tilapia (*Oreochromis niloticus*) salami. **Food Chemistry**, v. 394, n. June, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133502>.

MALAGUTI, M.; CARDENIA, V.; RODRIGUEZ-ESTRADA, M. T.; HRELIA, S. Nutraceuticals and physical activity: Their role on oxysterols-mediated neuro degeneration. **Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology**, v. 193, n. July, p. 105430, 2019. DOI 10.1016/j.jsbmb.2019.105430. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2019.105430>.

MALDONADO-PEREIRA, L.; SCHWEISS, M.; BARNABA, C.; MEDINA-MEZA, I. G. The role of cholesterol oxidation products in food toxicity. **Food and Chemical Toxicology**, v. 118, n. May, p. 908–939, 2018a. DOI 10.1016/j.fct.2018.05.059. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.05.059>.

MARIANO, B. J.; DE OLIVEIRA, V. S.; CHÁVEZ, D. W. H.; CASTRO, R. N.; RIGER, C. J.; MENDES, J. S.; SOUZA, M. da C.; SAWAYA, A. C. H. F.; SAMPAIO, G. R.; TORRES, E. A. F. da S.; SALDANHA, T. Biquinho pepper (*Capsicum chinense*): Bioactive compounds, in vivo and in vitro antioxidant capacities and anti-cholesterol oxidation kinetics in fish balls during frozen storage. **Food Bioscience**, v. 47, n. February, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101647>.

MARINO, R.; ALBENZIO, M.; DELLA MALVA, A.; MUSCIO, A.; SEVI, A. Nutritional properties and consumer evaluation of donkey bresaola and salami: Comparison with conventional products. **Meat Science**, v. 101, p. 19–24, 2015. DOI 10.1016/j.meatsci.2014.11.001. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.11.001>.

MARIUTTI, L. R.B.; BRAGAGNOLO, N. Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: A review. **Food Research International**, v. 94, p. 90–100, 2017. DOI 10.1016/j.foodres.2017.02.003. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.02.003>.

MCCLEMENTS, D. J.; DECKER, E. Interfacial Antioxidants: A Review of Natural and Synthetic Emulsifiers and Coemulsifiers That Can Inhibit Lipid Oxidation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 1, p. 20–25, 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05066>.

MEIRELES, B. R. L. A.; VITOR, R. C. L.; MORAIS, S. K. Q.; BARBOSA, T. C. M.; COSTA, S. S.; FONSECA, S. B. Avaliação do potencial corante e antioxidante de betalaínas (*Beta*

vulgaris, L.) em mortadela de frango Evaluation of the potential coloring and antioxidant of betalains (*Beta vulgaris*, L.) in chicken mortadella. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 21, n. 1, p. 1–9, 2020.

MENDES, A. C. G.; RETTORE, D. M.; RAMOS, A. de L. S.; DA CUNHA, Simone de F. V.; DE OLIVEIRA, L. C.; RAMOS, E. M. Salames tipo milão elaborados com fibras de subprodutos da produção de vinho tinto. **Ciência Rural**, v. 44, n. 7, p. 1291–1296, 2014. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130389>.

MENEGALI, B. S.; SELANI, M. M.; SALDAÑA, E.; PATINHO, I.; DINIZ, J. P.; MELO, Priscilla Siqueira; PIMENTEL FILHO, Natan de Jesus; CONTRERAS-CASTILLO, Carmen J. Pink pepper extract as a natural antioxidant in chicken burger: Effects on oxidative stability and dynamic sensory profile using Temporal Dominance of Sensations. **LWT**, v. 121, n. September 2019, p. 108986, 2020. DOI 10.1016/j.lwt.2019.108986. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108986>.

MILES, E. A.; CHILDS, C. E.; CALDER, P. C. Long-chain polyunsaturated fatty acids (LCPUFAs) and the developing immune system: A narrative review. **Nutrients**, v. 13, n. 1, p. 1–21, 2021. <https://doi.org/10.3390/nu13010247>.

MIRAGLIA, D.; RANUCCI, D.; TRABALZA-MARINUCCI, M.; ACUTI, G.; FORTE, C.; CODINI, M.; ROILA, R.; BRANCIARI, R. Microbiological, chemical-physical and sensory characteristics of Fabriano salami from pigs fed *Oregano vulgaris* extract. **Italian Journal of Food Safety**, v. 6, n. 4, p. 203–207, 2017. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2017.6906>.

MOREIRA, D. G.; VIEIRA, M. C.; HEREDIA ZÁRATE, N. A.; CARNEVALI, T. O.; TORALES, E. P.; TABALDI, L. A.; LOURENTE, E. R.P.; MERCANTE, F. M. Produtividade de vinagreira, pimenta rosa e carobinha cultivadas em sucessão a mucuna preta e feijão de porco. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 18, n. 1, p. 326–335, 2016. https://doi.org/10.1590/1983-084X/15_085.

NGUYEN, K. A.; HENNEBELLE, M.; VAN DUYNHOVEN, J. P. M.; DUBBELBOER, A.; BOERKAMP, V. J. P.; WIERENGA, P. A. Mechanistic kinetic modelling of lipid oxidation in vegetable oils to estimate shelf-life. **Food Chemistry**, v. 433, n. July 2023, p. 137266, 2024. DOI 10.1016/j.foodchem.2023.137266. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137266>.

NOVELLI, E.; FASOLATO, L.; CARDAZZO, B.; CARRARO, L.; TATICCHI, A.;

BALZAN, S. Addition of phenols compounds to meat dough intended for salami manufacture and its antioxidant effect. **Italian Journal of Food Safety**, v. 3, n. 3, p. 154–156, 2014. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2014.1704>.

NUNES-NETO, P. A.; PEIXOTO-SOBRINHO, T. J. Da S.; DA SILVA JÚNIOR, E. D.; LEOPOLDINA DA SILVA, J.; RODRIGO DA SILVA OLIVEIRA, A.; PUPO, A. S.; ARAÚJO, A. V.; COSTA-SILVA, J. H. Da; WANDERLEY, A. G. The Effect of *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) Bark Extract on Histamine-Induced Paw Edema and Ileum Smooth Muscle Contraction. **Evidence-based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2017, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1416375>.

OLIVEIRA, M. S. de; GONTIJO, S. M.; TEIXEIRA, M. S.; TEIXEIRA, K. I. R.; TAKAHASHI, J. A.; MILLAN, R. D. S.; SEGURA, M. E. Cortés. Chemical composition and antifungal and anticancer activities of extracts and essential oils of *Schinus terebinthifolius* Raddi fruit. **Revista Fitoterá**, v. 12, n. 2, p. 135–146, 2018. <https://doi.org/10.5935/2446-4775.20180013>.

OLIVEIRA, M. B.S.; VALENTIM, I. B.; ROCHA, T. S.; SANTOS, J. C.; PIRES, K. S. N.; TANABE, E. L. L.; BORBELY, K. S. C.; BORBELY, A. U.; GOULART, M. O. F. *Schinus terebinthifolius* Raddi extracts: From sunscreen activity toward protection of the placenta to Zika virus infection, new uses for a well-known medicinal plant. **Industrial Crops and Products**, v. 152, n. April, p. 112503, 2020. DOI 10.1016/j.indcrop.2020.112503. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112503>.

ORDOÑEZ, J. A. **Tecnología de Alimentos: Alimentos de Origem Animal**. 1^a. Porto Alegre - RG: Artmed, 2005.

OROIÁN, M.; ESCRICHE, I. Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. **Food Research International**, v. 74, p. 10–36, 2015. DOI 10.1016/j.foodres.2015.04.018. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.018>.

OTAEGUI-ARRAZOLA, A.; MENÉNDEZ-CARREÑO, M.; ANSORENA, D.; ASTIASARÁN, I. Oxysterols: A world to explore. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, n. 12, p. 3289–3303, 2010. DOI 10.1016/j.fct.2010.09.023. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2010.09.023>.

ÖZÜNLÜ, O.; ERGEZER, H. Possibilities of using dried oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in the production of beef salami. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 2, p. 1–12, 2021. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15117>.

PAL, R. S.; PAL, Y.; SARASWAT, N.; WAL, P. A Review on the Recent Flavoring Herbal Medicines of Today. **Open Medicine Journal**, v. 7, n. 1, p. 1–6, 2020. <https://doi.org/10.2174/1874220302007010001>.

PANDIAN, M.; KUMAR, V. A.; JAYAKUMAR, R. Antiseptic chitosan bandage for preventing topical skin infections. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 193, n. PB, p. 1653–1658, 2021. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2021.11.002. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.002>.

PATOČKA, J.; DE ALMEIDA, J. D. Brazilian Pepper Tree: Review of Pharmacology. **Military Medical Science Letters**, v. 86, n. 1, p. 32–41, 2017. <https://doi.org/10.31482/mmsl.2017.005>.

PILATTI, D. M.; FORTES, A. M.T.; JORGE, T. C.M.; BOIAGO, N. P. Comparison of the phytchemical profiles of five native plant species in two different forest formations. **Brazilian Journal of Biology**, v. 79, n. 2, p. 233–242, 2019. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.179526>.

PINTO, J. V.C.; CRISPIM, B. A.; VASCONCELOS, A. A.; GEELEN, D.; GRISOLIA, A. B.; VIEIRA, M. C. Intravarietal polymorphisms reveal possible common ancestor of native *Schinus terebinthifolius* Raddi populations in Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 1, p. 1–10, 2016. <https://doi.org/10.4238/gmr.15017477>.

PRAMUALKIJJA, T.; PIRAK, T.; KERDSUP, P. Effect of salt, rice bran oil and malva nut gum on chemical, physical and physico - Chemical properties of beef salt - Soluble protein and its application in low fat salami. **Food Hydrocolloids**, v. 53, p. 303–310, 2016. DOI 10.1016/j.foodhyd.2015.03.004. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.004>.

RANUCCI, D.; ROILA, R.; MIRAGLIA, D.; ARCANGELI, C.; VERCILLO, F.; BELLUCCI, S.; BRANCIARI, R. Microbial, chemical-physical, rheological and organoleptic characterisation of roe deer (*Capreolus capreolus*) salami. **Italian Journal of Food Safety**, v. 8, n. 3, p. 137–142, 2019. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2019.8195>.

RATHER, S. A.; MASOODI, F. A.; RATHER, J. A.; AKHTER, R.; GANI, A.; GANAIE, T. A. Effects of xanthan gum, canning and storage period on fatty acid profile and cholesterol oxidation of restructured low-fat meat product of India. **Food Chemistry**, v. 359, n. September 2020, p. 128450, 2021. DOI 10.1016/j.foodchem.2020.128450. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128450>.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; SHAHIDI, F. **Oxidation of lipids**. [S. l.]: INC, 2021. DOI

10.1016/b978-0-12-817380-0.00004-x. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-817380-0.00004-X>.

ROHLÍK, B. A.; PIPEK, P.; PÁNEK, J. The effect of natural antioxidants on the colour and lipid stability of paprika salami. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 31, n. 4, p. 307–312, 2013. <https://doi.org/10.17221/327/2012-cjfs>.

SACCANI, G.; BERGAMASCHI, M.; SCHIVAZAPPA, C.; CIRLINI, M.; GALAVERNA, G.; VIRGILI, R. Evaluation of the antioxidant effect of a phytocomplex addition in clean label pork salami enriched in n-3 PUFA. **Food Chemistry**, v. 399, n. August 2022, p. 133963, 2023. DOI 10.1016/j.foodchem.2022.133963. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133963>.

SANTOS, C. C.; LEITE, L. F. B.; DA SILVA, O. B.; TORALES, E. P.; ZÁRATE, N. A. H.; DO CARMO VIEIRA, M. Number of leaves and bokashi in budding and production costs of *Schinus terebinthifolius* Raddi. Seedlings per cutting. **Revista em Agronegocio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 219–232, 2019. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n1p219-232>.

SANTOS, S; SALEM, R. D S; GRANATO, D.; MORTAZAVIAN, A. M; ROCHA, R. S; CRUZ, A. G. Effects of herbal extracts on quality traits of yogurts , cheeses, fermented milks, and ice creams: a technological perspective. **Science Direct** 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.11.013>.

SCERRA, M.; FOTI, F.; CAPARRA, P.; CILIONE, C.; RAO, R.; PRIOLO, A.; NATALELLO, A.; LUCIANO, G.; CHIES, L. Effect of feeding pigs with bergamot by-product on fatty acid composition and oxidative stability of meat and salami. **Meat Science**, v. 183, n. August 2021, p. 108662, 2022. DOI 10.1016/j.meatsci.2021.108662. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108662>.

SCERRA, M.; RAO, R.; FOTI, F.; CAPARRA, P.; CILIONE, C.; NATALELLO, A.; BIONDI, L.; BELLA, M. S.; CHIES, L. Influence of Dietary Inclusion of Exhausted Bergamot By-Product in Pigs on Animal Performance, Fatty Acid Profile and Oxidative Stability of Meat and Meat Products. **Animals**, v. 12, n. 6, p. 1–16, 2022. <https://doi.org/10.3390/ani12060757>.

SCHEIBE, C. L.; RIBAS-FILHO, J. M.; CZECZKO, N. G.; MALAFIAIA, O.; BARBOZA, L. E. D.; RIBAS, F. M.; WENDLER, E.; TORRES, O.; LOVATO, F. C.; SCAPINI, J. G. S. *Schinus terebinthifolius* Raddi (Aroeira) and *Orbignya phalerata* mart. (Babassu) effect in cecorrahphy healing in rats. **Acta Cirurgica Brasileira**, v. 31, n. 6, p. 402–410, 2016.

<https://doi.org/10.1590/S0102-86502016006000007>.

SCHEID, T.; MORAES, M. S.; HENRIQUES, T. P.; RIFFEL, A. P. K.; BELLÓ-KLEIN, A.; POSER, G. L. V.; ETHUR, E. M.; PARTATA, W. A. Effects of Methanol Fraction from Leaves of *Schinus terebinthifolius* Raddi on Nociception and Spinal-Cord Oxidative Biomarkers in Rats with Neuropathic Pain. **Evidence-based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2018, n. Cci, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5783412>.

SERENIKI, A.; LINARD-MEDEIROS, C. F. B; SILVA, S. N.; SILVA, J. B. R; PEIXOTO, T. J S; JULIANO, R; ALVES, L. D S; SMAILY, S. S; WANDERLEY, A. G; LAFAYETTE, S. S. L. *Schinus terebinthifolius* administration prevented behavioral and biochemical alterations in a rotenone model of *Parkinson* ' s disease. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 26, n. 2, p. 240–245, 2016. DOI 10.1016/j.bjp.2015.11.005. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjp.2015.11.005>.

SETTANNI, L.; BARBACCIA, P.; BONANNO, A.; PONTE, M.; DI GERLANDO, R.; FRANCIOSI, E.; DI GRIGOLI, A.; GAGLIO, R. Evolution of indigenous starter microorganisms and physicochemical parameters in spontaneously fermented beef, horse, wild boar and pork salamis produced under controlled conditions. **Food Microbiology**, v. 87, n. November 2019, p. 103385, 2020. DOI 10.1016/j.fm.2019.103385. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103385>.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Novel functional food ingredients from marine sources. **Current Opinion in Food Science**, v. 2, n. Table 1, p. 123–129, 2015. DOI 10.1016/j.cofs.2014.12.009. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2014.12.009>.

ŠKRLEP, M.; ČANDEK-POTOKAR, M.; ATOREK-LUKAČ, N. B.; TOMAŽIN, U.; FLORES, M. Aromatic profile, physicochemical and sensory traits of dry-fermented sausages produced without nitrites using pork from krškopolje pig reared in organic and conventional husbandry. **Animals**, v. 9, n. 2, 2019. <https://doi.org/10.3390/ani9020055>

SMIT, P.; CULLERE, M.; DALLE ZOTTE, A.; BALZAN, S.; HOFFMAN, L. C.; NOVELLI, E. Effects of honeybush (*Cyclopia subternata*) extract on physico-chemical, oxidative and sensory traits of typical Italian salami. **Food Science and Nutrition**, v. 8, n. 5, p. 2299–2306, 2020. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1509>.

SMITH, L. L. Cholesterol autoxidation 1981-1986. **Chemistry and Physics of Lipids**, v. 44, n. 2–4, p. 87–125, 1987. [https://doi.org/10.1016/0009-3084\(87\)90046-6](https://doi.org/10.1016/0009-3084(87)90046-6).

STAJIĆ, S.; ŽIVKOVIĆ, D.; PERUNOVIĆ, M.; ŠOBAJIĆ, S.; VRANIĆ, D. Cholesterol content and atherogenicity of fermented sausages made of pork meat from various breeds.

Procedia Food Science, v. 1, p. 568–575, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.086>.

STOICA, M.; ANTOHI, V. M.; ALEXE, P.; IVAN, A. S.; STANCIU, S.; STOICA, D.; ZLATI, M. L.; STUPARU-CRETU, M. New Strategies for the Total/Partial Replacement of Conventional Sodium Nitrite in Meat Products: a Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 15, n. 3, p. 514–538, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02744-6>.

SUMMO, C.; CAPONIO, F.; PARADISO, V. M.; PASQUALONE, A.; GOMES, T. Vacuum-packed ripened sausages: Evolution of oxidative and hydrolytic degradation of lipid fraction during long-term storage and influence on the sensory properties. **Meat Science**, v. 84, n. 1, p. 147–151, 2010. DOI 10.1016/j.meatsci.2009.08.041. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.041>.

TABANELLI, G.; BARBIERI, F.; SOGLIA, F.; MAGNANI, R.; GARDINI, G.; PETRACCI, M.; GARDINI, F.; MONTANARI, C. Safety and technological issues of dry fermented sausages produced without nitrate and nitrite. **Food Research International**, v. 160, n. March, p. 111685, 2022. DOI 10.1016/j.foodres.2022.111685. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111685>.

TAHERI-GARAVAND, A.; FATAHI, S.; OMID, M.; MAKINO, Y. Meat quality evaluation based on computer vision technique: A review. **Meat Science**, v. 156, n. December 2018, p. 183–195, 2019. DOI 10.1016/j.meatsci.2019.06.002. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.06.002>.

TUFFORD, A. R.; BRENNAN, L.; VAN TRIJP, H.; D'AURIA, S.; FESKENS, E.; FINGLAS, P.; KOK, F.; KOLESÁROVÁ, A.; POPPE, K.; ZIMMERMANN, K.; VAN 'T VEER, P. A scientific transition to support the 21st century dietary transition. **Trends in Food Science and Technology**, v. 131, n. October 2022, p. 139–150, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.11.021>.

VAN SCHALKWYK, D. L.; McMILLIN, K. W.; BOOYSE, M.; WITTHUHN, R. C.; HOFFMAN, L. C. Physico-chemical, microbiological, textural and sensory attributes of matured game salami produced from springbok (*Antidorcas marsupialis*), gemsbok (*Oryx gazella*), kudu (*Tragelaphus strepsiceros*) and zebra (*Equus burchelli*) harvested in Namibia. **Meat Science**, v. 88, n. 1, p. 36–44, 2011. DOI 10.1016/j.meatsci.2010.11.028. Available at:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.11.028>.

VARGA-VISI, É.; JÓCSÁK, I.; KOZMA, V.; LÓKI, K.; ALI, O.; SZABÓ, A. Effects of Surface Treatment with Thymol on the Lipid Oxidation Processes, Fatty Acid Profile and Color of Sliced Salami during Refrigerated Storage. **Foods**, v. 11, n. 23, 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11233917>.

VICENTE, S. J. V.; SAMPAIO, G. R.; FERRARI, C. K. B.; TORRES, E. A. F. S. Oxidation of Cholesterol in Foods and Its Importance for Human Health. **Food Reviews International**, v. 28, n. 1, p. 47–70, 2012. <https://doi.org/10.1080/87559129.2011.594972>.

VERMA, D. K.; THAKUR, M. (Ed.). Phytochemicals in food and health: Perspectives for research and technological development. CRC Press, 2021.

VIEGAS, D. J.; AMÊNDOLA, I.; BOTREL, T. M.; DE OLIVEIRA, F. E.; FIGUEIRA, L. W.; SPER, F. L.; DE OLIVEIRA, J. R.; DE OLIVEIRA, L. D. *Schinus terebinthifolius* (Brazilian peppertree) extract used as antifungal to control candida spp. in planktonic cultures and biofilms. **Brazilian Dental Science**, v. 23, n. 4, p. 1–7, 2020. <https://doi.org/10.14295/bds.2020.v23i4.2077>.

VIEIRA, J. de S.; DE OLIVEIRA, V. S; CARNEIRO, M. J.; DA SILVA, T. L.; AUGUSTA, I. M.; DE CARVALHO, M. G.; SAWAYA, A. C. H. F.; SALDANHA, T. Phenolic composition and insights into the use of pink pepper (*Schinus terebentifolius* Raddi) fruit against lipid oxidation in food systems. **Food Bioscience**, v. 53, n. March, p. 102556, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102556>.

VILARINHO, F.; STANZIONE, M.; BUONOCORE, G. G.; BARBOSA-PEREIRA, L.; SENDÓN, R.; VAZ, M. F.; SANCHES SILVA, A. Green tea extract and nanocellulose embedded into polylactic acid film: Properties and efficiency on retarding the lipid oxidation of a model fatty food. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 27, n. November 2020, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100609>.

VISESSANGUAN, W.; BENJAKUL, S.; RIEBROY, S.; YARCHAI, M.; TAPINGKAE, W. Changes in lipid composition and fatty acid profile of Nham, a Thai fermented pork sausage, during fermentation. **Food Chemistry**, v. 94, n. 4, p. 580–588, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.051>.

VON SCHACKY, C. Importance of EPA and DHA blood levels in brain structure and function. **Nutrients**, v. 13, n. 4, 2021. <https://doi.org/10.3390/nu13041074>.

WANG, C.; SIRIWARDANE, D. A.; JIANG, W.; MUDALIGE, T. Quantitative analysis

of cholesterol oxidation products and desmosterol in parenteral liposomal pharmaceutical formulations. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 569, n. July, p. 118576, 2019. DOI 10.1016/j.ijpharm.2019.118576. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2019.118576>.

WANG, D.; XIAO, H.; LYU, X.; CHEN, H.; WEI, F. Lipid oxidation in food science and nutritional health: A comprehensive review. **Oil Crop Science**, 2023. DOI 10.1016/j.ocsci.2023.02.002. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2023.02.002>.

WANG, J.; HAN, L.; WANG, D.; SUN, Y.; HUANG, J.; SHAHIDI, F. Stability and stabilization of omega-3 oils: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 118, n. PA, p. 17–35, 2021. DOI 10.1016/j.tifs.2021.09.018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.018>.

WANG, S.; CHEN, Q.; ZHANG, Y.; ZHENG, F.; XUE, T.; GE, X.; MA, R.; LI, X.; WU, R.; LIANG, K.; QIAN, Z.; GE, Y.; MA, J.; YAO, B. Omega-3 polyunsaturated fatty acids alleviate hydrogen sulfide-induced blood-testis barrier disruption in the testes of adult mice. **Reproductive Toxicology**, v. 98, n. September, p. 233–241, 2020. DOI 10.1016/j.reprotox.2020.10.007. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2020.10.007>.

WOLK, A. Potential health hazards of eating red meat. **Journal of Internal Medicine**, v. 281, n. 2, p. 106–122, 2017. <https://doi.org/10.1111/joim.12543>.

XU, X.; LIU, A.; HU, S; ARES, I; MARTÍNEZ-LARRAÑAGA, M. R.; WANG, X.; MARTÍNEZ, M.; ANADÓN, A.; MARTÍNEZ, M. A. Synthetic phenolic antioxidants: Metabolism, hazards and mechanism of action. **Food Chemistry**, v. 353, n. September 2020, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129488>.

YIM, D. G.; ALI, M.; NAM, Ki C. Comparison of meat quality traits in salami added by nitrate-free salts or nitrate pickling salt during ripening. **Food Science of Animal Resources**, v. 40, n. 1, p. 11–20, 2020. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e61>.

ZANARDI, E.; BATTAGLIA, A.; GHIDINI, S.; CONTER, M.; BADIANI, A.; IANIERI, A. Lipid oxidation of irradiated pork products. **Lwt**, v. 42, n. 7, p. 1301–1307, 2009. DOI 10.1016/j.lwt.2009.02.016. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2009.02.016>.

ZANARDI, E.; DORIGONI, V.; BADIANI, A.; CHIZZOLINI, R. Lipid and colour stability of Milano-type sausages: Effect of packing conditions. **Meat Science**, v. 61, n. 1, p. 7–14, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00152-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00152-8).

ZANARDI, E.; NOVELLI, E.; GHIRETTI, G. P.; CHIZZOLINI, R. Oxidative stability of

lipids and cholesterol in salame Milano, coppa and Parma ham: Dietary supplementation with vitamin E and oleic acid. **Meat Science**, v. 55, n. 2, p. 169–175, 2000.
[https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00140-0](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00140-0).

ZHANG, Y.; YANG, F.; JAMALI, M. A.; PENG, Z. Antioxidant enzyme activities and lipid oxidation in rape (*Brassica campestris* L.) bee pollen added to salami during processing. **Molecules**, v. 21, n. 11, 2016. <https://doi.org/10.3390/molecules21111439>.

ZMYSŁOWSKI, A.; SZTERK, A. Oxysterols as a biomarker in diseases. **Clinica Chimica Acta**, v. 491, n. November 2018, p. 103–113, 2019. DOI 10.1016/j.cca.2019.01.022. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cca.2019.01.022>.

CAPÍTULO 1

IMPACT OF INCORPORATING PINK PEPPER (*Schinus terebinthifolius* Raddi) ON THE LIPID OXIDATIVE STABILITY, CHOLESTEROL OXIDES FORMATION, PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS, AND SENSORY ACCEPTANCE OF PORK SALAMI

Tatiana Labre da Silva^a, Vanessa Sales de Oliveira^a, Thainara dos Reis do Nascimento^b, Davy William Hidalgo Chávez^a, Otávio Cabral Neto^c, Rosane Nora Castro^d, Mario Geraldo de Carvalho^d, Alexandra Christine Helena Frankland Sawaya^e, Micheli da Silva Ferreira^f, Tatiana Saldanha^{a,b*}

^aGraduate Program in Food Science and Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Rodovia Br 465, Seropédica, RJ, 23890-000, Brazil.

^bDepartment of Food Technology, Institute of Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Rodovia Br 465, Seropédica, RJ, 23890-000, Brazil.

^cFederal Institute of Education, Science, and Technology of Tocantins, Palmas, TO, 77021-090, Brazil.

^dDepartment of Organic Chemistry, Institute of Chemistry, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Rodovia Br 465, Seropédica, RJ, 23890-000, Brazil.

^eFaculty of Pharmaceutical Science, University of Campinas, UNICAMP, Campinas, SP, Brazil.

^fGraduate Program in Veterinary Medicine, Processing Technology of Animal Products, Fluminense Federal University, Av. Alm. Ary Parreiras 507, Niterói, RJ, 24230-321, Brazil

*Corresponding author

Work address: Department of Food Technology, Institute of Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Rodovia Br 465, Seropédica, RJ, 23890-000, Brazil.

E-mail address: tatysal@gmail.com, Phone number: + 55 11 981472296

ABSTRACT

This study investigated the effectiveness pink pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) as a natural ingredient to reduce lipid oxidation of pork salami. Firstly, the bioactive composition of pink pepper extract was evaluated using ultra-high performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry analyses, revealing the presence of flavonoids, tannins, terpenes, and fatty acids. Then, the samples of pork salami were prepared with different concentrations of pink pepper (0.0, 0.25, 0.5, 0.75, and 1.0%). The addition of pink pepper increased the lipid oxidative stability as it reduced the formation of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), represented by malonaldehyde, and the degradation of polyunsaturated fatty acids (PUFAs). Additionally, samples containing pink pepper had lower levels of cholesterol oxides (ranging from 58.84 ± 0.53 to 191.73 ± 5.53 $\mu\text{g/g}$) compared to the control (338.55 ± 9.0 $\mu\text{g/g}$). Instrumental analysis demonstrated that pink pepper did not affect color and texture parameters. Moreover, the salami samples, regardless of pink pepper addition, were sensorially well accepted, since over 69% of sensory test responses indicated their overall liking.

Keywords: lipid oxidation, fatty acids, cholesterol oxides, bioactive compounds, texture, color, sensory analysis.

1 INTRODUCTION

Meat and meat products contain essential amino acids, fatty acids, vitamins (B₁₂ and D), and minerals (selenium, iron, and zinc), which are crucial elements of the human diet. This highlights the importance of meat processing, which enables the development of products with extended shelf life, improved sensory attributes, enhanced safety, and quality assurance (Halagarda & Wójciak, 2022; Karbowiak et al., 2023).

Salami sausages are globally consumed meat products with a remarkable market share. Traditionally, they are fermented, cured, dried, and ripened sausages manufactured with varying rations of fresh cuts, salt, preservatives, and other ingredients, which may include condiments, aromas, and glazing substances (Demarco et al., 2022; Grispoldi et al., 2022). Thus, their unique characteristics result from complexes interactions between meat and non-meat ingredients and processing (Demarco et al., 2022; Saccani et al., 2023). However, these meat products are susceptible to lipid oxidation, a primary cause of quality loss during processing and storage (Demarco et al., 2022; Domínguez et al., 2019; Varga-Visi et al., 2022).

Although lipids enhance the sensory properties of meats and provide energy for human metabolism, they may be easily oxidized, causing off-flavors and rancidity. Moreover, lipid oxidation may result in the degradation of important fatty acids and the formation of compounds linked to various human pathologies (Barreira et al., 2023; Deng et al., 2023; Domínguez et al., 2019). For instance, cholesterol oxidation forms cholesterol oxides, whose consumption has been associated with deleterious activities, including cytotoxic, carcinogenic, mutagenic, neurodegenerative, and pro-oxidative effects (Deng et al., 2023; Huang et al., 2024).

Lipid oxidation affects the overall quality and safety of meat products. Consequently, research on controlling oxidative reactions in salami is increasing, focusing on natural sources since synthetic preservatives have raised concerns due to their potential carcinogenic and toxicological effects (Demarco et al., 2022; Saccani et al., 2023; Varga-Visi et al., 2022). Recent trends include enhancing the antioxidant potential of muscle tissue by adding exogenous antioxidants through animal feed (Bolletta et al., 2024) and incorporating antioxidant ingredients into food formulations (Demarco et al., 2022; Grispoldi et al., 2022). Thus, plant-based sources have been explored for their ability to inhibit oxidation and confer other quality attributes (Demarco et al., 2022; Grispoldi et al., 2022; Smit et al., 2020).

Regarding the Brazilian flora, *aroeira* fruit or pink pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) have been traditionally used as a condiment worldwide and have attracted the scientific community's attention due to their antioxidant properties (Vieira et al., 2023). Phytochemicals in pink pepper, like phenolic acids, flavonoids, tannins, and terpenes (Barreira et al., 2023; de Oliveira et al., 2020a,b), suggest its high potential as a natural food additive, which has been previously demonstrated in different food matrices (Barreira et al., 2023; da Silva et al., 2021; de Oliveira et al., 2020c; Menegali et al., 2020). However, the direct addition of pink pepper fruit to the meat mass of widely consumed meat products like salami has not yet been evaluated.

Moving from these considerations, bioactive compounds found in pink pepper were identified by UHPLC-MS analyses and *in vitro* antioxidant assays characterized the fruit extract. This study investigated the impact of incorporating pink pepper (0.0, 0.25, 0.50, 0.75, and 1.0%) into pork salami formulations on the oxidative stability, which was measured considering the formation of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), the degradation of polyunsaturated fatty acids (PUFAs), and the levels of cholesterol oxidation products (COPs). Additionally, the influence of pink pepper on quality parameters, such as color and texture, and the consumer sensory liking of salami samples were evaluated.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 Standards, reagents, and solvents

DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl), Trolox, Folin-Ciocalteu reagent, gallic acid, quercetin, TPTZ (2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine), cholesterol, cholesterol oxides, undecanoic methyl ester, and sodium methoxide were purchased from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA). The standard fatty acid mixtures were from Supelco TM 37 (FAME Mix 18919, Bellefonte, Pa., USA). HPLC grade solvents were acquired as follows: formic acid (Synth, São Paulo, Brazil), hexane (Scharlau, Barcelone, Spain), acetonitrile (Merck, Darmstadt, Germany), and 2-propanol (St. Louis, MO, USA). All other solvents and reagents were purchased from Vetec (São Paulo, Brazil) and from Merck (Darmstadt, Germany).

2.2 Plant material

Pink pepper samples were collected at the Institute of Agronomy (latitude 22°75'96" S and longitude 43°69'66" W) of the Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, Rio de Janeiro, Brazil, in July 2023. The botanical identification was carried out and a voucher specimen was deposited in the Herbarium of UFRRJ (RBR 15557). The ripe fruits were manually harvested and selected for their red color, firmness, and absence of injuries. Then, the fruits were dried in a ventilated oven (SL-102/27, Solab, São Paulo, Brazil) at 30 °C for 24 hours, ground with an analytical mill (IKA A11 basic; IKA-Werke GmbH, Staufen, Germany), sieved (1 mm), and packaged in polyethylene bags.

2.3 Pink pepper analyses

2.3.1 Extract preparation

The extract was prepared using the ground pink pepper fruits and an ethanol/water solution (70:30 %, v/v) as described by Barreira et al. (2023), being solubilized in spectroscopic methanol at a concentration of 1.0 mg/mL for analysis.

2.3.2 Total phenolics and flavonoids contents

Both analyses were carried out as described by Salgueiro and Castro (2016). The total phenolic content was determined using the Folin-Ciocalteu reagent. The absorbance was measured at 760 nm and results were expressed as mg gallic acid equivalent (GAE)/g extract. For the total flavonoids, the readings were performed at 425 nm and results were expressed as mg of quercetin equivalent (QE)/g extract.

2.3.3 DPPH and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays

The DPPH assay was performed according to Salgueiro and Castro (2016). The absorbance was measured at 520 nm using a microplate reader (Bio-Rad Model 680, CA, USA), and results were expressed as IC 50 (μg/mL). For FRAP, the extract (90 μL) was diluted in 270 μL of distilled water and added to 2.7 mL of the FRAP reagent (sodium acetate buffer at pH 3.6), TPTZ (2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine) solution, and ferric chloride). The solution was maintained in a water bath at 37 °C for 30 min. Then, it was cooled and the absorbance

was measured at 595 nm (Barreira et al., 2023). The results were expressed as µmol Trolox equivalent (TE)/g extract.

2.3.4 Identification of bioactive compounds by UHPLC-ESI-MS analyses

Chromatographic analyses of pink pepper were performed using an UHPLC Acquity chromatograph (Waters, Milford, MA, USA) coupled with a triple quadrupole (TQD) Acquity mass spectrometer (Micromass-Waters), with electrospray ionization (ESI) in the negative and positive ion modes, under the conditions described by de Oliveira et al. (2020a). MS/MS spectra of selected ions were obtained via collision-induced dissociation (CID). A C18 BEH Waters Acquity (2.1 mm × 50 mm x1.7 µm) column at 30 °C was used. The mobile phases A (0.1% formic acid) and B (acetonitrile) were applied (0.2 mL/min) with a linear gradient starting at 30% B and increasing to up 100% acetonitrile in 8 min, holding until 9 min, then returning to the initial conditions and re-equilibrating until 10 min. Compounds were putatively identified by comparison of their precursor and product ions with data from literature.

2.4 Salami samples

Five salami formulations were developed, where the standard formulation was: pork shank (6.0 kg), pork bacon (10.0%), sodium erythorbate (0.25%), salt (1.7%), curing salt (0.25%), starter culture (CHR Hansen, model Bactoferm® T-SPX, USA, 0.4%), dextrose (0.8%) and powdered milk (3.0%). The ingredient percentages were based on the pork shank mass. Thus, according to the level of ground pink pepper (PP), the treatments were divided as follows: control (0.0% PP), 0.25% PP, 0.5% PP, 0.75% PP, and 1.0% PP. Bacon and pork were cooled to -4 °C, ground in a meat grinder 8' (CAF Máquinas, Piracicaba, São Paulo, Brazil), and mixed with non-meat ingredients. The salami ingredient mixture was stuffed into 45 mm artificial collagen casings (Tripas & Cia, Ourinhos, São Paulo, Brazil) using a manual machine (METVISA, Brusque, Santa Catarina, Brazil) and tied using simple polyester string. The salami sausages were kept in a maturation chamber for 72 hours at 23 °C and a relative humidity of 90% (fermentation). Then, the chamber temperature was reduced to 13 °C and the relative humidity was maintained at 80%, for the period necessary to lose about 30% of the initial weight, which was 40 days. The samples were removed, vacuum packed, and kept at 3 °C until analyses. Three salami sausages (400 g each)

were prepared for each formulation, totaling 15 samples. The Technical Regulation of Salami Identity and Quality (MAPA, 2000) was considered for processing and formulations.

2.5 Salami analyses

2.5.1 Water activity (a_w), total moisture, and total lipids

Water activity was determined using an Aqualab CX₂ device (Decagon Devices Inc., Pullman, USA). Moisture and total lipids were determined as described by method 950.46 (AOAC, 2006) and method 963.15 (AOAC, 2002), respectively.

2.5.2 Thiobarbituric acid reactive substances (TBARs) assay

TBARS analysis was performed according to the methodology described by de Oliveira et al. (2020a). Samples were mixed with 5 mL of 7.5% trichloroacetic acid solution and 5 mL of 2-thiobarbituric acid solution (0.02 M). The mixtures were heated in a boiling water bath for 35 min. Then, the samples were filtered through filter paper and the absorbance was measured at 532 nm. A standard curve was prepared using TEP (1,1,3,3-tetraethoxypropane) and results were expressed as mg malonaldehyde (MDA)/kg sample.

2.5.3 Fatty acids composition

Lipids were converted into methyl esters by transesterification (Zhu et al., 2011). Methyl esters were analyzed using a gas chromatograph (Shimadzu GC 2010, Tokyo, Japan) with a flame ionization detector and a SP-2560 capillary column (100 m × 0.25 mm i.d., 0.20 µm film thickness) (Chrompack, Middelburg, The Netherlands), operating in the split mode (1:50). The chromatographic conditions were according to de Oliveira et al. (2020a). Identification of the chromatographic peaks of the samples was done by evaluating the retention times of fatty acids methyl esters standards and the quantification was performed by internal standardization with undecanoic methyl ester.

2.5.4 Determination of cholesterol and cholesterol oxides

Cholesterol and cholesterol oxides were obtained by direct saponification at room temperature (23–25 °C) for 22 h as described by Saldanha et al. (2006). Chromatographic analyses were performed using a HPLC-MS (Shimadzu LCMS-2020, Tokyo, Japan) equipped with an

autoinjector and a photodiode array detector (PDA). The column was a Hypersil Cyano (250 × 4.6 mm) (Thermo Scientific, Massachusetts, USA). The chromatographic conditions were established as reported by Barreira et al. (2023). MS detection was performed in the positive ion mode with Atmospheric Pressure Chemical Ionization (APCI). The mobile phase was n-hexane:2-propanol (97:3, v/v) and the chromatograms were obtained in the selective ion monitoring (SIM) mode: m/z 367, 369, 385, 401, and 403. The compounds were determined by comparison of retention times of peaks in samples with those of reference standards and by *m/z*. Quantification was performed by external standardization using calibration curves of cholesterol and COPs.

2.5.5 Instrumental color

The values of *L** (lightness), *a** (redness), and *b** (yellowness) were determined using a CM-600D spectrophotometer (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan) equipped with illuminant A, 8 mm aperture, and 10° standard observer (AMSA, 2012). Four measurements were performed randomly on the salami surfaces, with two salamis per treatment, totaling eight readings.

2.5.6 Texture

The texture profile analysis (TPA) was performed according to Huidobro et al. (2005), using a texture analyzer (TA.XT Plus, Stable Micro System, United Kingdom) equipped with a cylindrical metal probe (72 mm diameter). Three cubes (2.0 cm × 2.0 cm × 2.0 cm) were obtained from each sample and subjected to compression of 75% of the height in three cycles: pre-test (3 mm/s), test (1 mm/s), and post-test (3 mm/s), with an interval of two seconds between compressions. The Texture Exponent Software (Stable Micro System, United Kingdom) was used to process the data and express the results as hardness, springiness, cohesiveness, chewiness, and resilience.

2.5.8 Sensory analysis

The study was approved by the ethics committee no. 082463/2024 X of the Federal Institute of Education, Science, and Technology of Tocantins. All participants signed a consent term agreeing to participate. Sensory analysis was performed by 118 untrained participants: 55.93%

females and 44.07% male, aged from 18 to 25 years old (95.77%), aged between 26 and 35 years old (1.69%), and aged between 36 and 45 years old (2.54%).

The acceptance test for flavor, color, texture, aroma, salt content, and overall liking was performed using a 9-point hedonic scale (from "dislike extremely" - 1 to "like extremely" - 9). The participants also answered a CATA (check-all-that-apply) questionnaire, consisting of 17 (previously selected) descriptive terms based on appearance, texture, color, smell and taste. Thus, the participants were asked to select all the attributes they considered appropriate to describe each the sample.

2.6 Statistical analysis

The results were expressed as mean \pm SD. A single factor design was used to study the possible differences among samples with various percentages of pink pepper (0.0%, 0.25%, 0.5%, 0.75%, and 1.0%) by performing the one-way ANOVA, while sensory data was analyzed using two-way ANOVA to block the consumer effects. The Tukey test was carried out when necessary. A significant a level of 5% was considered. A Principal Component Analysis (PCA) was also used after data standardization to avoid the different magnitudes effect, followed by Hierarchical Clustering on Principle Components (HCPC) to form groups with similar characteristics. The HCPC was performed using Euclidian distances and Ward's criterion on PCs. Then, the HeatMAP was carried out to evidence the differences among samples. Finally, Cochran's Q test was applied to identify differences in CATA attributes among samples. Then, correspondence analysis was performed to evaluate the relationship between samples and the CATA attribute. All analyses were performed using the software R for statistical computing, version 3.2.4 and the FactoMineR package version 1.32.

3 Results and discussion

3.1 Pink pepper analyses

3.1.1 Phenolics compounds, flavonoids, and antioxidant capacity

The total phenolic content of pink pepper was 42.40 ± 0.06 mg GAE/g extract, which is close to the one determined by Serrano-León et al. (2018) (45.01 ± 0.54 mg GAE/g for an ethanolic extract). However, the literature reports variable values: from 3.11 to 650 mg GAE/g extract for methanolic extracts (de Lima Glória et al., 2017; de Oliveira et al., 2020a) and from 12.17 to

137.73 mg GAE/g for ethanolic extracts (da Silva et al., 2021; Menegali et al., 2020). Regarding the flavonoids, the pink pepper extract exhibited 7.98 ± 0.39 mg QE/g extract, which is lower than the content reported by de Oliveira et al. (2020b), 10.33 mg QE/g for a methanolic extract (80:20% v/v), and by Zouaoui et al. (2024), with 13.2 mg QE/g for an ethanolic extract (80:20% v/v).

The DPPH expressed in IC₅₀ was 43.38 mg/mL. Zouaoui et al. (2024) found 190 mg/mL (IC₅₀) for an ethanolic extract (80:20% v/v). However, comparing values with the literature can be challenging due to variations in methodologies and result expressions. Previous studies have reported inhibition percentages higher than 42.68% (Barreira et al., 2023; de Lima Glória et al., 2017; de Oliveira et al., 2020b), while Serrano-León et al. (2018) reported 535.7 μ mol TE/g. Regarding the FRAP assay, it presented 364.67 ± 6.33 μ mol TE/g extract, which is higher than the value determined by Barreira et al. (2023) for an ethanolic extract (58.51 μ mol TE/g).

Although *in vitro* methods are widely used to assess the antioxidant potential of natural extracts, parameters related to extraction procedures (e.g. solvent, temperature, solvent ratio) may influence the recovery and quantification of compounds, leading to variable results. Additionally, the bioactive composition of pink pepper may vary due to factors like production cycle, cultivation systems, origin, genotype, and climatic conditions (Vieira et al., 2023).

3.1.2 Bioactive compounds from pink pepper extract determined by UHPLC-ESI-MS

Flavonoids, tannins, terpenes, and fatty acids were putatively identified in pink pepper extract through MS/MS fragmentation, compared to literature data (Table 1, Supplementary material Figures 1 and 2). Among the flavonoids, two compounds were determined in the positive ion mode: 7-O-methylpelargonidin 3-O-galactoside (*m/z* 447) and hinokiflavone (*m/z* 539), aligning with previous research findings (Barreira et al., 2023; de Oliveira et al., 2020a,b; Feuereisen et al., 2017). Furthermore, other biflavonoids were detected in the negative ion mode, including tetrahydroamentoflavone (*m/z* 451) and agathisflavone (*m/z* 537) (Barreira et al., 2023; de Araújo Gomes et al., 2020; de Oliveira et al., 2020a,b). Gallotannins (*m/z* 349 and 539), hydrolysable tannins derived from gallic acid, were also present in pink pepper extract in the negative ion mode (Barreira et al., 2023; de Oliveira et al., 2020a,b; Feuereisen et al., 2017).

Terpenes represented by a terpene acid (*m/z* 371), a triterpene acid (*m/z* 469), and triterpenes like masticadienoic acid (*m/z* 453) and 3 α -hydroxymasticadienolic acid (*m/z* 455) were observed in the negative ion mode, as previously reported (Barreira et al., 2023; de Araújo Gomes

et al., 2020; de Oliveira et al., 2020b). Additionally, linoleic and stearic acids were detected at *m/z* 279 and 283, respectively (de Araújo Gomes et al., 2020; de Oliveira et al, 2020b).

These compounds found in pink pepper have demonstrated biological properties generally associated to their antioxidant capacities. Studies have shown *in vitro* antioxidant properties of agathisflavone (Andrade et al., 2018) and tetrahydroamentoflavone (Li et al., 2013), while a recent review highlighted the potential of hinokiflavone in cancer treatment (Patel, 2024). Anthocyanins, such as 7-O-methylpelargonidin 3-O-galactoside, have been linked to improvements in gut microbiota, vascular and endothelial health, and neurodegenerative disease prevention (Laudani et al., 2023; Zaa et al., 2023).

Masyita et al. (2022) emphasized the biological activities and potential of terpenes as natural food preservatives. Furthermore, Barreira et al. (2023) associated the antioxidant effect of pink pepper in canned sardines to compounds like 3α -hydroxymasticadienolic and masticadienoic acids, which migrated from the fruit added to the liquid medium to the fish muscle and remained in samples even after processing. Therefore, results from the MS/MS analysis and the current literature underscore pink pepper as a health-promoting food additive with promising potential to control lipid oxidation, suggesting its further investigation for use in salami.

3. 2 Salami analyses

3.2.1 Water activity, moisture, and total lipids

The water activity varied from 0.84 (0.25% PP) to 0.87 (control; 0.5% PP), showing that the addition of pink pepper did not have significant impact on this parameter ($p > 0.05$) (Table 2). These results agree with previous studies that reported water activity ranging from 0.81 to 0.92 in salami (Park et al., 2017; Smit et al., 2020).

The control presented a moisture of 35.98 ± 0.83 g/100 g, while in salami samples with pink pepper it ranged from 31.43 ± 2.31 (0.25% PP) to 38.16 ± 1.44 g/100 g (0.50% PP) (Table 2). However, only 0.25% PP sample showed difference from the control ($p \leq 0.05$). Total lipids varied from 18.26 ± 0.67 (1.0% PP) to 24.71 ± 0.67 g/100 g (dry basis) (0.75% PP) (Table 2). Demarco et al. (2022) also studied salami sausages using natural antioxidants (rosemary and curry leaves extracts + tocopherols) and found similar lipid contents ranging from 23.48 to 27.70 g/100 g. For moisture, Demarco et al. (2022) determined levels from 35.05 to 40.37 g/100 g. However, since there is no standard for the maturation and formulation of salamis, findings from the literature on

salami composition tend to vary. Moreover, both parameters were in accordance with the Brazilian legislation, which establishes maximum contents of 40 and 35% for moisture and lipids, respectively (MAPA, 2000).

3.2.2 Formation of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)

The TBARS for the control was 1.17 ± 0.34 mg MDA/kg sample (Table 2), while previous studies have reported values ranging from 0.41 to 1.08 mg MDA/kg (Saccani et al., 2023; Smit et al., 2020; Varga-Visi et al., 2022). The addition of pink pepper impacted the TBARS values, particularly when applied at 1.0%, leading to salami sausages with lower TBARS (0.57 ± 0.04 mg MDA/kg sample) compared to the control ($p \leq 0.05$) (Table 2). This demonstrates the effectiveness of pink pepper in reducing MDA formation, a secondary lipid product that is highly related to the sensory quality and degree of fat oxidation in meat products.

Similar findings on reduced TBARS values in samples with pink pepper were reported by Serrano-León et al. (2018) and Menegali et al. (2020), who showed the potential of pink pepper extract as a natural antioxidant in restructured chicken meat products during storage, with results comparable to those of the synthetic antioxidant BHT. Additionally, other natural materials have been incorporated into salami formulations with promising results against MDA formation (Saccani et al., 2023; Smit et al., 2020; Varga-Visi et al., 2022). After eight weeks of storage under refrigeration, salami samples treated with thymol showed 0.68 mg MDA/kg, compared to 8.32 mg MDA/kg in untreated samples (Varga-Visi et al., 2022).

3.2.3 Effects on fatty acids degradation

The main fatty acids found in control salami were: oleic (C₁₈:1_n9c, 42.38 ± 1.09 g/100 g oil), palmitic (C₁₆:0, 25.24 ± 1.16 g/100 g oil), and stearic acids (C₁₈:0, 11.53 ± 0.82 g/100 g oil). Regarding the groups of fatty acids, the sum fatty acids levels were determined in the following order: monounsaturated (MUFA) (44.81 ± 1.15 g/100 g oil) > saturated (SFA) (38.56 ± 1.97 g/100 g oil) > polyunsaturated (PUFA) (7.06 ± 0.85 g/100 g oil) (Figure 1A, Supplementary material Table 1). The fatty acid profiles of the different formulations containing pink pepper were similar, consistent with findings from other studies on salamis (Saccani et al., 2023; Varga-Visi et al., 2022).

In general, adding pink pepper at concentrations of 0.75 and 1.0% influenced the content of fatty acids concerning the distinct groups. Salami samples with 0.75 and 1.0% PP showed lower levels of SFAs (31.93 ± 0.30 - 33.10 ± 0.04 g/100 g oil) and MUFA (41.59 ± 0.14 - 42.82 ± 0.19 g/100 g oil) compared to control (38.56 ± 1.97 and 44.81 ± 1.15 g/100 g oil for SFAs and MUFA, respectively) ($p \leq 0.05$). For PUFAs, these formulations presented higher contents, with 14.35 ± 0.29 g/100 g oil (0.75% PP) and 14.47 ± 0.58 g/100 g oil (1.0% PP), compared to 7.06 ± 0.85 g/100 g oil in the control ($p \leq 0.05$) (Figure 1A, Supplementary material Table 1).

PUFAs are often the focus in lipid oxidation studies due to their high susceptibility to oxidation. Thus, these results indicate that pink pepper provides a protective effect against lipid oxidation and, consequently, PUFAs degradation. As a source of antioxidant phenolic compounds, pink pepper not only provide extra health benefits in terms of nutritional value and protection against oxidative stress but also contribute to food quality.

Lipid oxidation in salami is affected by both intrinsic and extrinsic factors. Meat muscle contains unsaturated lipids like fatty acids and cholesterol, which makes it particularly prone to oxidation as they are substrates for the oxidation process. Additionally, meat muscle naturally contains prooxidant agents, such as heme pigments, metallic ions and enzymes (Domínguez et al., 2019). Ingredients added to salami sausages also influence lipid oxidation. For example, salt disrupts cell membrane integrity, allowing prooxidants to interact with unsaturated lipids, as well as releases iron from iron-containing molecules and inhibits the activity of antioxidant enzymes (Mariutti & Bragagnolo, 2017).

In salami, exposure to pro-oxidants is also increased by the reduction in particle size through mincing (Zanardi et al., 2009) and the low pH achieved during the fermentation, which reduces protein-protein interactions and may lead to protein solubilization (Liu et al., 2010). The starter culture also plays an important role, mainly due to the lipolytic activity of microbial lipases, which increases the levels of free unsaturated fatty acids that are more prone to oxidation (Van Ba et al., 2016). Moreover, especially during maturation, lipids are exposed to oxygen and light, which further intensifies oxidation (Cardenia et al., 2013; Johnson & Decker, 2015).

In contrast, antioxidants, including vitamins, enzymes, and peptides, are naturally present in meat (Domínguez et al., 2019). Nitrite, used as a curing agent, retards lipid oxidation by binding heme pigments, chelating metals, and stabilizing lipids (Karwowska et al., 2019). Additionally, the starter culture applied may present antioxidant potential (Liu et al., 2023), and synthetic

additives like sodium erythorbate are usually considered. Thus, since the degree of lipid oxidation in salamis depend on the balance between pro- and antioxidant factors, the addition of pink pepper was suggested, revealing it as a promising strategy to minimize oxidative processes. As demonstrated in this study, the potential of pink pepper to act as a natural antioxidant and reduce the degradation of PUFAs was proved by other authors in different food matrices like, salmon fillet (Merlo et al., 2019), fish oil (de Oliveira et al., 2020a) and canned sardines (Barreira et al., 2023).

3.2.4 Effects on cholesterol and cholesterol oxides

The cholesterol level varied from of 73.25 ± 1.03 to 76.52 ± 1.54 mg/100 g (dry basis) among the different formulations with no significant differences ($p > 0.05$) (Figure 1B, Supplementary material Table 2). These values are higher than those determined by Baggio and Bragagnolo (2006) and Baggio and Bragagnolo (2008) for Italian salamis (48 - 59 mg/100 g). In contrast, Zanardi et al. (2009) found similar values (72.3 - 75.5 mg/100 g) in salamis subjected to irradiation. In fact, the lipid fraction and cholesterol levels of salamis may vary due to factors related to the animal (age, breed, sex, diet, farming system), as well as differences on manufacturing procedures and formulations.

Regarding the cholesterol oxides, the following COPs were found in control salamis: 7-ketocholesterol (7-keto), 7α -hydroxycholesterol (7α -OH), 7β -hydroxycholesterol (7β -OH), $5,6\beta$ -epoxycholesterol ($5,6\beta$ -EP), and $5,6\alpha$ -epoxycholesterol ($5,6\alpha$ -EP). The predominant COP was 7-keto (130.0 ± 6.07 $\mu\text{g/g}$, dry basis), followed by 7α -OH (79.65 ± 1.15 $\mu\text{g/g}$, dry basis) and 7β -OH (63.98 ± 2.16 $\mu\text{g/g}$, dry basis). Thus, the total COPs content was 338.55 ± 9.0 $\mu\text{g/g}$, dry basis. Similar COP profiles were determined for samples containing pink pepper concerning the major compounds in samples. However, total COP levels were significantly lower in these samples, ranging from 58.84 ± 0.53 to 191.73 ± 5.53 $\mu\text{g/g}$, dry basis ($p \leq 0.05$). Therefore, reductions in total COPs were equivalent to 43.4% (0.25% PP), 52.62% (0.5% PP), 77.22% (0.75% PP), and 82.62% (1.0% PP) compared to control (Figure 1B, Supplementary material Table 2).

Although the presence of COPs in food of animal origin is expected since they are endogenously synthesized by enzymatic processes in animals, processing may induce COPs formation (Liu et al., 2022). Cholesterol oxidation in food occurs similarly to fatty acid autoxidation. Thus, it initiates with the abstraction of a hydrogen atom allylic to the double bond,

forming a delocalized allylic radical between C5, C6, and C7, being induced by prooxidant factors (Smith, 1987).

7-keto is the most characteristic COP commonly found in processed food products (Risso et al., 2022; Smith, 1987). The favored hydrogen abstraction at C7, due to the double bond between carbons 5 and 6 of cholesterol, results in the simultaneous formation of 7 α - and 7 β -hydroperoxides, which are reduced to form their corresponding alcohols (7 α -OH and 7 β -OH) and 7-keto (Barriuso et al., 2017; Smith, 1987). 5,6 β -EP and 5,6 α -EP are commonly identified as products of cholesterol oxidation by air. Cholesterol oxidation may also occur in the side chain, with C20 and C25 being the main oxidative sites (Smith, 1987). However, in the present study, COPs derived from the cholesterol side chain were not determined at detected levels.

Studies on cholesterol oxidation in salami are scarce. 7-keto, 5,6 α -EP, 7 β -OH (Ghiretti et al., 1997; Zanardi et al., 2000; Zanardi et al., 2002), and 25-OH (Zanardi et al., 2002) were detected in Salami Milano, which is also made of pork meat. Whereas, Baggio and Bragagnolo (2008) did not detect cholesterol oxides in Italian salamis from the Brazilian market. In fact, cholesterol oxidation is a complex process that may occur through distinct pathways, leading to the formation of various oxides in different concentrations (Barriuso et al., 2017; Smith, 1987). Salami Milano formulations were studied aiming at evaluating the effect of different antioxidants (catechin, sodium ascorbate, sesamol, phytic acid) on cholesterol oxidation, which was measured once a month during maturation, up to five months. No oxides were found in the fresh mince, but 7-keto, 5,6 α -EP, and 7 β -OH were regularly determined in samples during maturation, evidencing cholesterol oxidation. Regarding the antioxidants applied, COPs formation was mostly inhibited by sesamol and sodium ascorbate, while catechin showed the least effect (Ghiretti et al., 1997).

The implications of lipid oxidation extend beyond just changing the nutritional components alteration of nutritional components, affecting overall quality and safety of meat products. In this study, it was mainly demonstrated by the formation of COPs during salami processing. However, lower levels were detected in samples containing pink pepper, indicating its effectiveness against cholesterol oxidation. COPs have been linked to cardiovascular and neurodegenerative diseases, inflammations, and changes in the properties of cell membranes and cholesterol metabolism (Deng et al., 2023; Huang et al., 2024; Liu et al., 2022). Therefore, using pink pepper as a natural anti-cholesterol oxidation agent in salamis may positively impact public health, where COPs formation is a concern.

The antioxidant properties of pink pepper are mainly attributed to phenolic compounds, which inactivate free radicals through hydrogen atom and electron transfer mechanisms, being stabilized through resonance (Olszowy-Tomczyk, 2020). As demonstrated in item 3.1.2, phenolics like biflavonoids, tannins, and anthocyanins were detected in pink pepper extract. Besides, terpenes were also identified. This result supports the concept that natural materials contain complex mixtures of compounds with varied antioxidant mechanisms and interactions with food constituents, providing additive, synergistic, or antagonistic effects that protect lipids from oxidation.

3.2.5 Physicochemical and sensory analyses

The control salami presented 52.62 ± 4.0 for L^* (lightness), 13.32 ± 2.80 for a^* (redness), and 13.01 ± 2.11 for b^* (yellowness). For the formulations containing pink pepper, results were found as follows: from 48.52 ± 1.55 to 52.24 ± 1.78 (L^*), from 11.39 ± 4.95 to 16.26 ± 1.17 (a^*), and from 13.05 ± 1.75 to 15.13 ± 2.01 (b^*) (Table 3). In general, these values did not differ ($p > 0.05$) from the control, indicating that pink pepper did not affect the color attributes of salamis.

The natural antioxidant did not impact the texture parameters either ($p > 0.05$). Therefore, the different formulations presented the following ranges: hardness (17.23 ± 2.16 to 23.38 ± 6.01), springiness (0.68 ± 0.04 to 0.75 ± 0.04), cohesiveness (0.58 ± 0.04 to 0.65 ± 0.03), chewiness (7.81 ± 2.10 to 10.60 ± 2.97), and resilience (0.17 ± 0.02 to 0.20 ± 0.01) (Table 3).

Consumers have specific expectations regarding the color of meat and meat products and texture is a crucial property influenced by factors like fat, salt, protein type, and other ingredients (de Araújo et al., 2022; Xu & Falsafi, 2023). Thus, introducing new ingredients into salami formulations requires careful research on their effects on the final product. Most studies focus on pink pepper extracts, which often lack significant color and texture effects. However, since adding pink pepper did not affect the color and texture of salamis in the present study, it may be a viable strategy with minimal impact on quality, reducing the risk of consumer rejection.

Figure 2 presents the acceptability of flavor, color, texture, and salt content, along with the average score the overall liking. Salami samples were well-evaluated by the participants, with all attributes scoring above 5. Moreover, more than 60% of the responses indicated a positive evaluation, including scores from 6 to 9. Figure 3 shows that samples with pink pepper had higher acceptability than the control for most attributes.

Color (7.14 ± 1.89 to 7.70 ± 1.68) and salt content (7.05 ± 2.07 to 7.48 ± 1.82) were the best-rated parameters, with less than 15% of negative responses (Figure 3). Aroma received the lowest score (5.92 ± 2.49), but samples with pink pepper scored higher ($p \leq 0.05$), indicating its positive impact.

Flavor was better evaluated for samples containing 0.25% (7.04 ± 1.99) and 0.75% (7.17 ± 1.83) of pink pepper compared to the control (6.20 ± 2.27) ($p \leq 0.05$), while salt content showed no significant differences ($p > 0.05$) (Figure 2). The sensory analysis indicated that pink pepper did not affect the color and texture of salamis, consistent with instrumental analysis. Combining these analyses provides complementary insights, offering a more accurate understanding of how new ingredients influence quality (instrumental and sensory) characteristics of food products.

Scores varied among samples with different pink pepper concentrations. The 0.25% PP sample (7.08 ± 1.80) had the highest overall liking compared to the control (6.39 ± 2.10) (Figure 2). Moreover, 83% of responses reflected a good overall liking for 0.25% PP salami samples (Figure 3). Purchase intention was highest for 0.75% PP salamis (80.34%) and lowest for 0.5% PP (57.26%), with 63.56% and 65.81% for 0.25% and 1.0% PP samples, respectively. The highest overall liking (0.25%) did not correspond to the highest purchase intention, underscoring the complexity of sensory evaluations, where multiple physiological and psychological factors influence perception. Despite this, sensory tests are essential for optimizing products and aligning the development with consumer preferences, which is essential for successful product launches in the meat industry.

Seventeen descriptive terms related to appearance, texture, color, smell and taste were considered for the CATA (Check-All-That-Apply) analysis. A bi-plot of correspondence analysis explained 90.80% of the variability of the experiment. Positive attributes like "tender", "attractive color", "good flavor", "tasty", "succulent", "juicy", and "characteristic aroma" were predominantly used to describe samples formulated with 0.25 % and 0.75% PP, while negative terms, including "bad and strange taste," "salty," and "rubbery," were associated with the control and the 0.5% PP samples. These results corroborate those observed for purchase intention and overall liking of the salamis using the hedonic scale.

The questionnaire answered by the participants before the sensory test revealed that most of them occasionally consume salami (79.66%) and are unaware of what natural antioxidants are (57.63%). These findings, along with the positive sensory test results, suggest a promising market

for our salamis, which had great liking. Moreover, informing consumers about the benefits of natural antioxidants could further increase purchase intention, as there is a growing preference for healthier meat products.

The literature supports the use of pink pepper in various foods. Minas-type fresh cheese had acceptance rates and purchase intentions similar to those of control (Scheffel et al., 2021). Adding pink pepper was considered a viable strategy to meet consumer demand for diverse flavors and aromas, as it did not influence parameters like color, aroma, taste, or purchase intention (Gamba et al., 2021). Additionally, chicken burgers with pink pepper extracts also showed good consumer liking (Menegali et al., 2022; Saldana et al., 2020). Thus, these sensory evaluation results highlight the potential of pink pepper as a natural ingredient in food products, which was also demonstrated in the present study as pink pepper can reduce lipid oxidation in salami while maintaining improved sensory characteristics and good consumer acceptance.

3.2.6 Principal component analysis

The first two principal components explain 86.8% of the data variability (Dim 1: 74.5 %, Dim 2: 12.3 %) (Figure 4A). The heatmap (Figure 4B) shows (greenish) or high (redness) values of variables for each treatment.

Control presented the highest values for cholesterol oxidation indicators (7-keto, 7 α -OH, and 7 β -OH) and TBARS, but the lowest content of PUFAs, suggesting that pink pepper increased the oxidative stability of samples (Figure 4A and 4B).

Figure 4B shows three groups formed according to their similarities. The control (in pink) exhibited high levels of COPs and TBARS values, while samples with pink pepper were divided into other two groups: a green group with the 0.25 and 0.5% PP and a black-colored group with 0.75 and 1.0% PP. Higher pink pepper concentrations (0.75 and 1.0%) showed more pronounced antioxidant effects, which is evident the heatmap color variations.

4 CONCLUSIONS

Bioactive compounds with known antioxidant properties, mainly biflavonoids, were identified in pink pepper extract. The results demonstrated pink pepper's potential to minimize lipid oxidative processes in pork salami, as evidenced by the reduced TBARS values and the lower

degradation of PUFAs. Additionally, pink pepper decreased cholesterol oxidation, contributing to lower the intake of COPs, a public health concern in processed meats. Salami samples containing pink pepper were as sensorially accepted as the control. Therefore, pink pepper can serve as a valuable alternative to be used as a natural antioxidant in pork salami, addressing consumer demand for safer, healthier, and higher-quality meat products. Moreover, these promising results also suggest a strategy for reducing the use of synthetic additives by the meat industry in the production of salamis.

Acknowledgments

The authors thank FAPERJ (Rio de Janeiro Research Fundation; Project number: E-26211374/2021 and E-26/204.328/2021), FAPESP (São Paulo Research Foundation; Grant 2008/58035-6), and CAPES (the Natl. Brazilian Research Foundations; Project number: 88887.692809/2022-00) for the financial support.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

5 REFERENCES

- AMSA (2012). American Meat Science Association. *Meat Color Measurement Guidelines*. Illinois. USA: American Meat Science Association.
- Andrade, A. W. L., Machado, K. D. C., Machado, K. D. C., Figueiredo, D. D. R., David, J. M., Islam, M. T., & Costa, J. P. (2018). In vitro antioxidant properties of the biflavonoid agathisflavone. *Chemistry Central Journal*, 12, 1-9. <https://doi.org/10.1186/s13065-018-0443-0>
- AOAC (2002). Association of Official Analytical Chemists. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Gaithersburg. MD: Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC (2006). Association of Official Analytical Chemists. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Gaithersburg. MD: Association of Official Analytical Chemists.

Baggio, S. R., & Bragagnolo, N. (2006). Cholesterol oxide, cholesterol, total lipid and fatty acid contents in processed meat products during storage. *Lwt*, 39(5), 513–520. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.03.007>

Baggio, S. R., & Bragagnolo, N. (2008). Lipid fraction quality evaluation of Brazilian meat-based products. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 19(3), 463–470. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532008000300013>

Barreira, C. F. T., de Oliveira, V. S., Chávez, D. W. H., Gamallo, O. D., Castro, R. N., Júnior, P. C. D., Sawaya, A. C. H. F., Ferreira, M. S., Sampaio, G. R., Torres, E. A. F. S., & Saldanha, T. (2023). The impacts of pink pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) on fatty acids and cholesterol oxides formation in canned sardines during thermal processing. *Food Chemistry*, 403, 134347. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134347>

Barriuso, B., Ansorena, D., & Astiasarán, I. (2017). Oxysterols formation: A review of a multifactorial process. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 169, 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2016.02.027>

BRASIL. (2000). MAPA [Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento]. Instrução Normativa nº22/2000, de 31 de julho de 2000. Regulamento técnico de identidade e qualidade de copa. *Diário Oficial da União Seção 1, Página 15, 22, 63.* chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/http://site.sindicarnes-sp.org.br/wp2/wp-content/uploads/2016/11/Reestruturados.pdf

Bolletta, V., Menci, R., Valenti, B., Morbidini, L., Servili, M., Taticchi, A., & Pauselli, M. (2024). Feeding pigs with hazelnut skin and addition of a concentrated phenolic extract from olive-milling wastewaters during pork processing: Effects on salami quality traits and acceptance by the consumers. *Meat Science*, 213, 109479. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109479>

Cardenia, V., Rodriguez-Estrada, M. T., Baldacci, E., & Lercker, G. (2013). Health-related lipids components of sardine muscle as affected by photooxidation. *Food and Chemical Toxicology*, 57, 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.02.053>

da Silva, T., de Oliveira, V., Barbosa, M. I., & Saldanha, T. (2021). Pimenta rosa (*Schinus terebinthifolius* Raddi): capacidade antioxidante, aplicação em hambúrgueres de tilápia e sistema de produção. *Revista Brasileira de Agrotecnologia*, 11(2), 1070–1076. <https://doi.org/10.18378/rebagro.v12i2.8918>

de Araújo, P. D., Araújo, W. M. C., Patarata, L., & Fraqueza, M. J. (2022). Understanding the main factors that influence consumer quality perception and attitude towards meat and processed meat products. *Meat Science*, 193, 108952. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108952>

de Araújo Gomes, R. B., de Souza, E. S., Barraqui, N. S. G., Tosta, C. L., Nunes, A. P. F., Schuenck, R. P., Ruas, F. G., Ventura, J. A., Filgueiras, P. R., & Kuster, R. M. (2020). Residues from the Brazilian pepper tree (*Schinus terebinthifolia* Raddi) processing industry: Chemical profile and antimicrobial activity of extracts against hospital bacteria. *Industrial Crops and Products*, 143, 11143. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.079>

de Huidobro, F. R., Miguel, E., Blázquez, B., & Onega, E. (2005). A comparison between two methods (Warner–Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science*, 69(3), 527-536. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.09.008>

de Lima Glória, L., De Souza Arantes, M. B., De Faria Pereira, S. M., De Souza Vieira, G., Martins, C. X., De Carvalho Junior, A. R., Antunes, F., Braz-Filho, R., Vieira, I. J. C., Da Cruz, L. L., De Almeida Chaves, D. S., De Paiva Freitas, S., & De Oliveira, D. B. (2017). Phenolic compounds present *Schinus terebinthifolius* raddi influence the lowering of blood pressure in rats. *Molecules*, 22(10), 1792. <https://doi.org/10.3390/molecules22101792>

Demarco, F., Rômio, A. P., da Trindade Alfaro, A., & Tonial, I. B. (2022). Effects of natural antioxidants on the lipid oxidation, physicochemical and sensory characteristics, and shelf life of sliced salami. *Food and Bioprocess Technology*, 15(10), 2282–2293. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02877-2>

Deng, C., Li, M., Liu, Y., Yan, C., He, Z., Chen, Z. Y., & Zhu, H. (2023). Cholesterol oxidation products: potential adverse effect and prevention of their production in foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(48), 18645-18659. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c05158>

de Oliveira, V. S., Cháves, D. W. H., Gamallo, O. D., Sawaya, A. C. H. F., Sampaio, G. R., Castro, R. N., Torres, E. A. F. da S., & Saldanha, T. (2020a). Effect of aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) fruit against polyunsaturated fatty acids and cholesterol thermo-oxidation in model systems containing sardine oil (*Sardinella brasiliensis*). *Food Research International*, 132, 109091. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109091>

de Oliveira, V. S., Augusta, I. M., Braz, M. V. da C., Riger, C. J., Prudêncio, E. R., Sawaya, A. C. H. F., Sampaio, G. R., Torres, E. A. F. da S., & Saldanha, T. (2020b). Aroeira fruit (*Schinus terebinthifolius* Raddi) as a natural antioxidant: Chemical constituents, bioactive compounds and in vitro and in vivo antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 315, 126274. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126274>

de Oliveira, R. F., da Costa Henry, F., do Valle, F., de Oliveira, D. B., do Santos Junior, A. C., de Resende, E. D., Junior, J. A. M., & Martins, M. L. L. (2020c). Effect of the fruit aqueous extract of Brazilian pepper tree (*Schinus terebinthifolius*, Raddi) on selected quality parameters of frozen fresh pork sausage. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100055. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100055>

Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*, 8(10), 429. <https://doi.org/10.3390/antiox8100429>

Feuereisen, M. M., Gamero Barraza, M., Zimmermann, B. F., Schieber, A., & Schulze-Kaysers, N. (2017). Pressurized liquid extraction of anthocyanins and biflavonoids from *Schinus terebinthifolius* Raddi: A multivariate optimization. *Food Chemistry*, 214, 564–571. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.002>

Gamba, M. M., Busato, B. M., Leão, S. F., Monteiro, T. A. D. O. P., de Carvalho, R. V., Lima Filho, T., & Maria, S. (2021). Craft beer added with pink pepper: studying package, acceptance and purchase intention of the beverage. In: *Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos* (pp. 130-150). Editora Científica Digital.

Ghiretti, G. P., Zanardi, E., Novelli, E., Campanini, G., Dazzi, G., Madarena, G., & Chizzolini, R. (1997). Comparative evaluation of some antioxidants in salame Milano and mortadella production. *Meat Science*, 47(1–2), 167–176. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(97\)00059-4](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(97)00059-4)

Grispoldi, L., Ianni, F., Blasi, F., Pollini, L., Crotti, S., Cruciani, D., Cenci-Goga, B. T., & Cossignani, L. (2022). Apple pomace as valuable food ingredient for enhancing nutritional and antioxidant properties of Italian salami. *Antioxidants*, 11(7), 1221. <https://doi.org/10.3390/antiox11071221>

Halagarda, M., & Wójciak, K. M. (2022). Health and safety aspects of traditional European meat products. A review. *Meat Science*, 184, 108623. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108623>

Huang, W., Liu, Y., Zhang, Q., Chen, C., Wang, Z., Chen, Q. & Lu, B. (2024). 7-Ketocholesterol promotes cholesterol uptake and inflammation in macrophage: Potential mechanisms of dietary COP in atherosclerosis promotion. *Food Bioscience*, 61, 104773. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104773>

Johnson, D. R., & Decker, E. A. (2015). The role of oxygen in lipid oxidation reactions: a review. *Annual Review of Food Science and Technology*, 6(1), 171-190. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022814-015532>

Karbowiak, M., Szymański, P., & Zielińska, D. (2023). Synergistic effect of combination of various microbial hurdles in the biopreservation of meat and meat products—systematic review. *Foods*, 12(7), 1430. <https://doi.org/10.3390/foods12071430>

Karwowska, M., Kononiuk, A., & Wójciak, K. M. (2019). Impact of sodium nitrite reduction on lipid oxidation and antioxidant properties of cooked meat products. *Antioxidants*, 9(1), 9. <https://doi.org/10.3390/antiox9010009>

Laudani, S., Godos, J., Di Domenico, F. M., Barbagallo, I., Randazzo, C. L., Leggio, G. M., & Grossi, G. (2023). Anthocyanin effects on vascular and endothelial health: evidence from clinical trials and role of gut microbiota metabolites. *Antioxidants*, 12(9), 1773. <https://doi.org/10.3390/antiox12091773>

Li, X., Han, W., Mai, W., & Wang, L. (2013). Antioxidant activity and mechanism of Tetrahydroamentoflavone in vitro. *Natural Product Communications*, 8(6), 1934578X1300800626. <https://doi.org/10.1177/1934578X1300800626>

Liu, R., Zhao, S. M., Liu, Y. M., Yang, H., Xiong, S. B., Xie, B. J., & Qin, L. H. (2010). Effect of pH on the gel properties and secondary structure of fish myosin. *Food Chemistry*, 121(1), 196-202. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.030>

Liu, Y., Yang, X., Xiao, F., Jie, F., Zhang, Q., Liu, Y., & Lu, B. (2022). Dietary cholesterol oxidation products: Perspectives linking food processing and storage with health implications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(1), 738-779. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12880>

Liu, Y., Cao, Y., Yohannes Woldemariam, K., Zhong, S., Yu, Q., & Wang, J. (2023). Antioxidant effect of yeast on lipid oxidation in salami sausage. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1113848. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1113848>

MAPA. Ministério da Agricultura e do Abastecimento (2000). Regulamento técnico de identidade e qualidade de salame. Retrieved from <http://site.sindicarnes-sp.org.br/wp2/wp-content/uploads/2016/11/SALAME.pdf>. Accessed July 17, 2024.

Mariutti, L. R. B., & Bragagnolo, N. (2017). Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: A review. *Food Research International*, 94, 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.02.003>

Masyita, A., Sari, R. M., Astuti, A. D., Yasir, B., Rumata, N. R., Emran, T. B., & Simal-Gandara, J. (2022). Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chemistry: X*, 13, 100217. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217>

Menegali, B. S., Selani, M. M., Saldaña, E., Patinho, I., Diniz, J. P., Melo, P. S., Pimentel Filho, N. de J., & Contreras-Castillo, C. J. (2020). Pink pepper extract as a natural antioxidant in chicken burger: Effects on oxidative stability and dynamic sensory profile using Temporal Dominance of Sensations. *Lwt*, 121, 108986. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108986>

Merlo, T. C., Contreras-Castillo, C. J., Saldana, E., Barancelli, G. V., Dargelio, M. D. B., Yoshida, C. M. P., Júnior, E. E. R., Massarioli, A., & Venturini, A. C. (2019). Incorporation of pink pepper residue extract into chitosan film combined with a modified atmosphere packaging: Effects on the shelf life of salmon fillets. *Food Research International*, 125, 108633. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108633>

Olszowy-Tomeczyk, M. (2020) Synergistic, antagonistic and additive antioxidant effects in the binary mixtures. *Phytochemistry Reviews*, 19, 63-103. <https://doi.org/10.1007/s11101-019-09658>

Patel, D. K. (2024). Biological potential and therapeutic effectiveness of hinokiflavone in medicine: the effective components of herbal medicines for treatment of cancers and associated complications. *Current Nutrition & Food Science*, 20(4), 439-449. <https://doi.org/10.2174/1573401319666230602121227>

Park, W., Kim, J. H., Ju, M. G., Hong, G. E., Yeon, S. J., Seo, H. G., & Lee, C. H. (2017). Enhancing quality characteristics of salami sausages formulated with whole buckwheat flour

during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 54(2), 326–332. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2465-8>

Risso, D., Leoni, V., Canzoneri, F., Arveda, M., Zivoli, R., Peraino, A., Poli, G., & Menta, R. (2022). Presence of cholesterol oxides in milk chocolates and their correlation with milk powder freshness. *Plos One*, 17, e0264288. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264288>

Saccani, G., Bergamaschi, M., Schivazappa, C., Cirlini, M., Galaverna, G., & Virgili, R. (2023). Evaluation of the antioxidant effect of a phytocomplex addition in clean label pork salami enriched in n-3 PUFA. *Food Chemistry*, 399, 133963. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133963>

Saldaña, E., Serrano-Leon, J., Selani, M. M., & Contreras-Castillo, C. J. (2020). Sensory and hedonic impact of the replacement of synthetic antioxidant for pink pepper residue extract in chicken burger. *Journal of Food Science & Technology*, 57(2), 617–627. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04093-x>

Saldanha, T., Frankland Sawaya, A. C. H., Eberlin, M. N., & Bragagnolo, N. (2006). HPLC separation and determination of 12 cholesterol oxidation products in fish: Comparative study of RI, UV, and APCI-MS detectors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12), 4107–4113. <https://doi.org/10.1021/jf0532009>

Salgueiro, F. B., & Castro, R. N. (2016). Comparação entre a composição química e capacidade antioxidante de diferentes extratos de própolis verde. *Química Nova*, 39, 1192-1199. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20160136>.

Scheffel, J., Stein, A. C., & Ziegler, V. (2021). Development of mines cheese type fresh coaguland with kefir and seasoned with basil and pink pepper. *Brazilian Journal of Development*, 7(6), 61287–61301. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-482>

Serrano-león, J. S., Bergamaschi, K. B., Yoshida, C. M. P., Saldaña, E., Selani, M. M., Rios-mera, J. D., Alencar, S. M., & Contreras-castillo, C. J. (2018). Chitosan active films containing agro-industrial residue extracts for shelf life extension of chicken restructured product. *Food Research International*, 108, 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.031>

Smit, P., Cullere, M., Dalle Zotte, A., Balzan, S., Hoffman, L. C., & Novelli, E. (2020). Effects of honeybush (*Cyclopia subternata*) extract on physico-chemical, oxidative and sensory traits of typical Italian salami. *Food Science and Nutrition*, 8(5), 2299–2306. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1509>

Smith, L. L. (1987). Cholesterol autoxidation 1981–1986. *Chemistry and Physics of Lipids*, 44(2-4), 87-125. [https://doi.org/10.1016/0009-3084\(87\)90046-6](https://doi.org/10.1016/0009-3084(87)90046-6)

Van Ba, H., Seo, H. W., Kim, J. H., Cho, S. H., Kim, Y. S., Ham, J. S., Park, B., Kim, H., Kim, T., & Seong, P. N. (2016). The effects of starter culture types on the technological quality, lipid oxidation and biogenic amines in fermented sausages. *LWT*, 74, 191-198. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.019>

Varga-Visi, É., Jócsák, I., Kozma, V., Lóki, K., Ali, O., & Szabó, A. (2022). Effects of surface treatment with thymol on the lipid oxidation processes, fatty acid profile and color of sliced salami during refrigerated storage. *Foods*, 11(23), 3917. <https://doi.org/10.3390/foods11233917>

Vieira, J. de S., de Oliveira, V. S., Carneiro, M. J., da Silva, T. L., Augusta, I. M., de Carvalho, M. G., Sawaya, A. C. H. F., & Saldanha, T. (2023). Phenolic composition and insights into the use of pink pepper (*Schinus terebentifolius* Raddi) fruit against lipid oxidation in food systems. *Food Bioscience*, 53, 102556. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102556>

Xu, S., & Falsafi, S. R. (2023). Juiciness of meat, meat products, and meat analogues: definition, evaluation methods, and influencing factors. *Food Reviews International*, 1-34. <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2273923>

Zaa, C. A., Marcelo, Á. J., An, Z., Medina-Franco, J. L., & Velasco-Velázquez, M. A. (2023). Anthocyanins: molecular aspects on their neuroprotective activity. *Biomolecules*, 13(11), 1598. <https://doi.org/10.3390/biom13111598>

Zanardi, E., Novelli, E., Ghiretti, G. P., & Chizzolini, R. (2000). Oxidative stability of lipids and cholesterol in salame Milano, coppa and Parma ham: Dietary supplementation with vitamin E and oleic acid. *Meat Science*, 55(2), 169–175. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00140-0](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00140-0)

Zanardi, E., Dorigoni, V., Badiani, A., & Chizzolini, R. (2002). Lipid and colour stability of Milano-type sausages: Effect of packing conditions. *Meat Science*, 61(1), 7–14. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00152-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00152-8)

Zanardi, E., Battaglia, A., Ghidini, S., Conter, M., Badiani, A., & Ianieri, A. (2009). Lipid oxidation of irradiated pork products. *Lwt*, 42(7), 1301–1307. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.02.016>

Zhu, X., Svendsen, C., Jaepelt, K. B., Moughan, P. J., & Rutherford, S. M. (2011). A comparison of selected methods for determining eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid

in cereal-based foods. *Food Chemistry*, 125(4), 1320-1327.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.105>

Zouaoui, Z., Laabar, A., El Asri, S., Ennoury, A., Kabach, I., Mondello, L., Cacciola, F., Taghzouti, K., Nhiri, M., & Nhiri, N. (2024). Phytochemical profile, antioxidant screening, and antidiabetic effect of pink pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) leaves in diabetic mice. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101309. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101309>

Figures

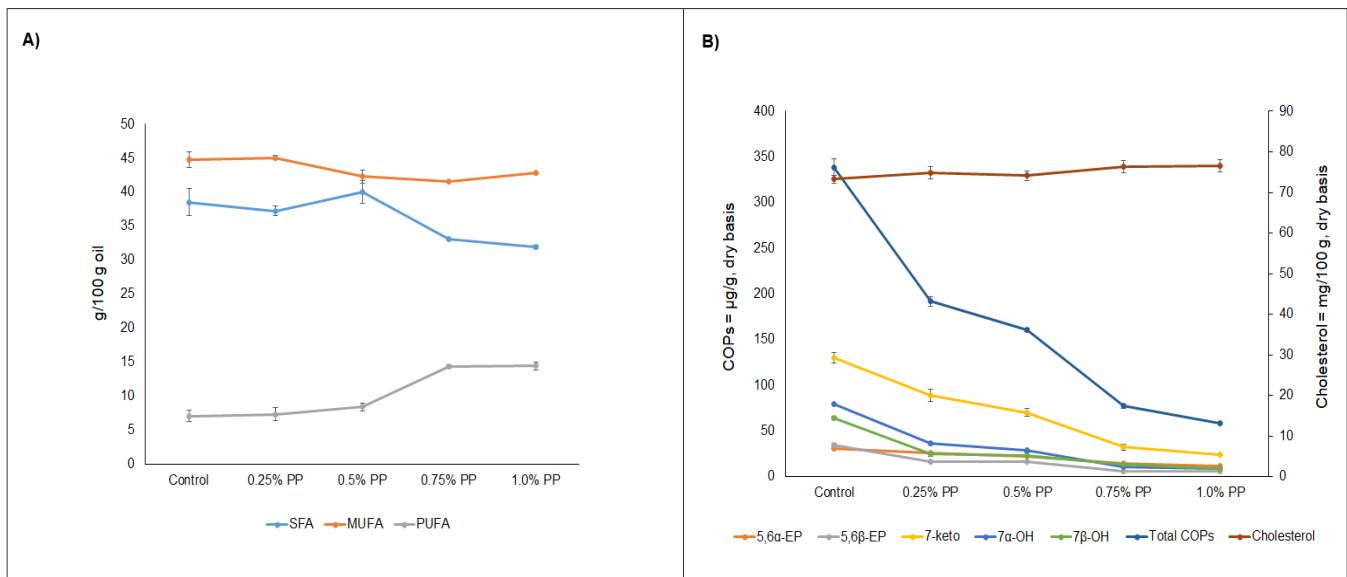


Figure 1A) Total contents of saturated fatty acids (SFA), monounsaturated fatty acids (MUFA), and polyunsaturated fatty acids (PUFA) of salami samples (control and with pink pepper at 0.25%, 0.5%, 0.75%, and 1.0%). **B)** Cholesterol (mg/100 g, dry basis) and cholesterol oxides ($\mu\text{g/g}$, dry basis) contents of salami samples (control and with pink pepper at 0.25%, 0.5%, 0.75%, and 1.0%).

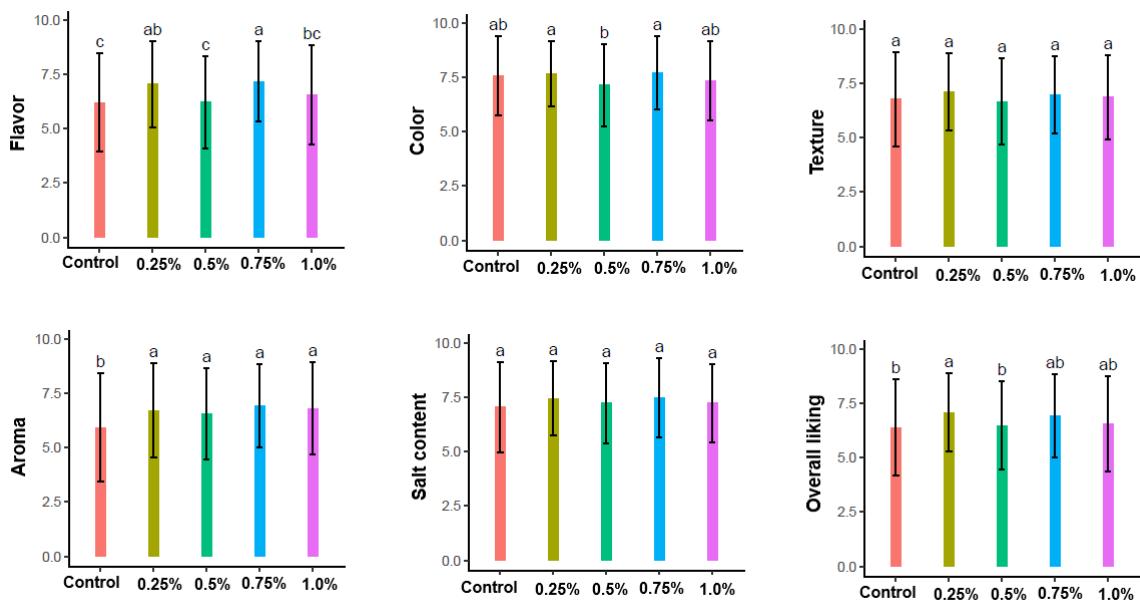


Figure 2 Sensory analysis of salami samples (control and with pink pepper at 0.25%, 0.5%, 0.75%, and 1.0%). Scores obtained for each attributed using a 9-point hedonic scale.

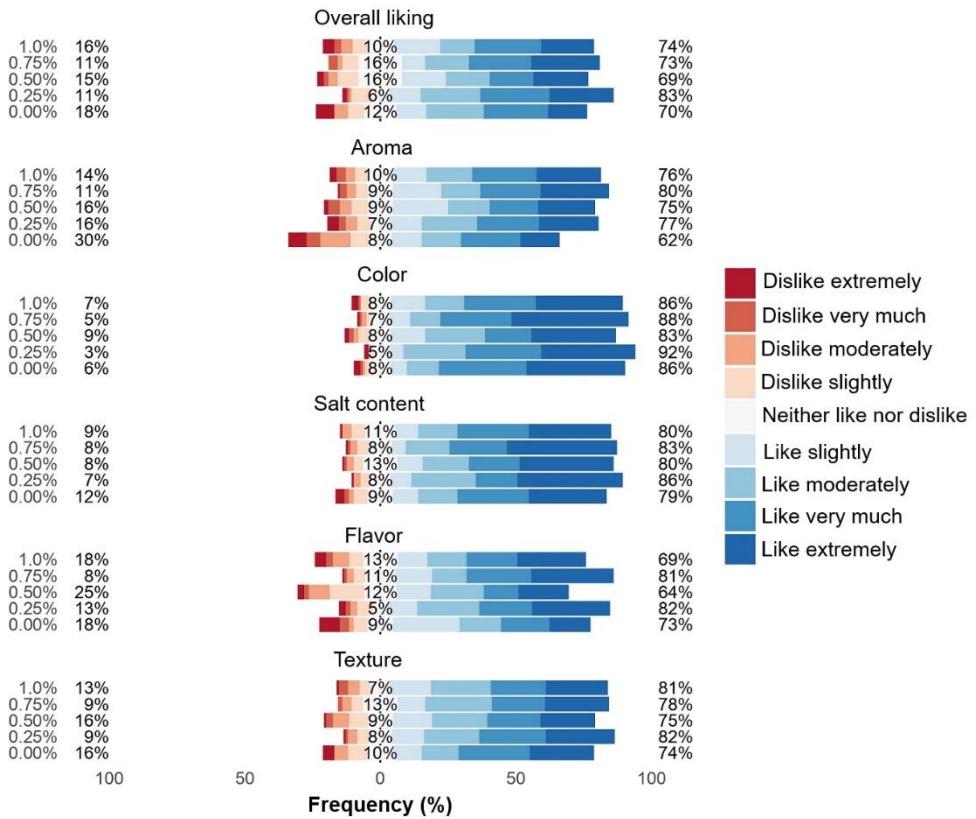


Figure 3: Responses from the 9-point hedonic scale.

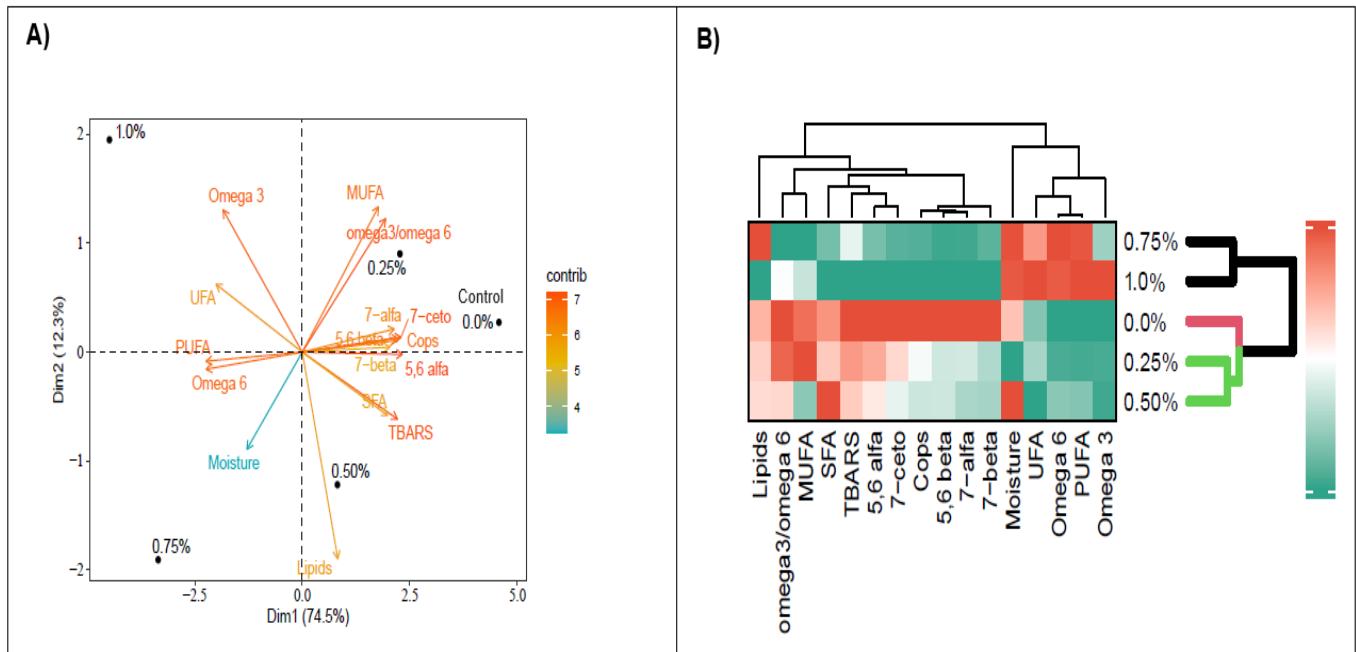


Figure 4: Multivariate analyses. A) Principal component analyses for treatments and variables B) Heatmap. The values 0.0, 0.25, 0.5, 0.75, and 1.0% represent the levels of pink pepper addition to salami samples.

Tables

Table 1: Putative identification of bioactive compounds of pink pepper extract by UHPLC-ESI-MS in negative and positive ion modes.

Rt (min)	ESI ion mode	Precursor ion (<i>m/z</i>)	Main product ion(s) (<i>m/z</i>)	Putative identification	Reference
3.076	-	349	197.3	Gallotanin	De Oliveira et al. (2020b)
3.862	-	541	415; 389.2	Tetrahydroamentoflavone	Barreira et al. (2023); de Araújo Gomes et al. (2019); de Oliveira et al. (2020a,b)
4.159	-	539	413.3; 387.3	Gallotanin	Barreira et al. (2023); de Oliveira et al. (2020a,b); Feuereisen et al. (2017)
4.389	+	447	285.3	7-O-methylpelargonidin 3-O-galactoside	Barreira et al. (2023); de Oliveira et al. (2020a,b); Feuereisen et al. (2017)
4.489	-	537	537	Agathisflavone	Barreira et al. (2023); de Araújo Gomes et al. (2019); de Oliveira et al. (2020a,b)
4.521	+	539	375.4; 403.0	Hinokiflavone	Barreira et al. (2023); de Oliveira et al. (2020a,b); Feuereisen et al. (2017)
6.826	-	469	469.4	Triterpene acid	Barreira et al. (2023); de Araújo Gomes et al. (2019); de Oliveira et al. (2020b)
7.568	-	279	279.3	Linoleic acid	de Araújo Gomes et al. (2019); de Oliveira et al. (2020b)
7.631	-	453	453.4	Masticadienoic acid	de Araújo Gomes et al. (2019); de Oliveira et al. (2020b)
7.825	-	455	455.4	3 α -hydroxymasticadienolic acid	Barreira et al. (2023); de Oliveira et al. (2020b)
8.020	-	371	327.3; 371.3	Terpene acid	de Oliveira et al. (2020b)
8.153	-	283	283.6	Stearic acid	de Araújo Gomes et al. (2019); de Oliveira et al. (2020b)
8.232	-	373	329.5; 373.5	Terpene acid	De Oliveira et al. (2020b)

Rt = Retention time.

Table 2 Water activity, moisture (g/100 g), total lipids (g/100 g, dry basis), and TBARS values (mg MDA/kg sample) of salami samples (control and with pink pepper at 0.25%, 0.50%, 0.75%, and 1.0%).

	0.0% PP (control)	0.25% PP	0.50% PP	0.75% PP	1.0% PP
Water activity	0.87 ± 0.01 ^a	0.84 ± 0.01 ^a	0.87 ± 0.01 ^a	0.86 ± 0.01 ^a	0.86 ± 0.00 ^a
Moisture	35.98 ± 0.83 ^a	31.43 ± 2.31 ^b	38.16 ± 1.44 ^a	38.12 ± 0.59 ^a	37.98 ± 1.98 ^a
Total lipids	22.90 ± 1.43 ^a	22.38 ± 0.71 ^a	22.16 ± 1.34 ^a	24.71 ± 0.67 ^a	18.26 ± 0.67 ^b
TBARS	1.17 ± 0.34 ^a	1.05 ± 0.07 ^a	0.97 ± 0.01 ^{ab}	0.83 ± 0.07 ^{ab}	0.57 ± 0.04 ^b

PP = pink pepper. Results presented as mean ± standard deviation, n = 3. Different letters in the same row indicate significant differences.

Table 3 Color and texture parameters of salami samples (control and with pink pepper at 0.25%, 0.5%, 0.75%, and 1.0%).

	0.0% PP (Control)	0.25% PP	0.5% PP	0.75% PP	1.0% PP
L*	52.62 ± 4.00 ^a	48.52 ± 1.55 ^b	51.42 ± 2.74 ^{ab}	52.24 ± 1.78 ^a	51.62 ± 1.17 ^{ab}
a*	13.32 ± 2.80 ^{ab}	16.26 ± 1.17 ^a	11.39 ± 4.95 ^b	12.13 ± 1.53 ^b	13.66 ± 1.43 ^{ab}
b*	13.01 ± 2.11 ^a	15.13 ± 2.01 ^a	13.25 ± 2.87 ^a	13.05 ± 1.75 ^a	13.37 ± 1.22 ^a
Hardness (Kg)	17.23 ± 2.16 ^a	20.94 ± 2.96 ^a	23.38 ± 6.01 ^a	23.71 ± 5.61 ^a	17.86 ± 2.98 ^a
Springiness	0.75 ± 0.04 ^a	0.73 ± 0.07 ^a	0.70 ± 0.04 ^a	0.68 ± 0.04 ^a	0.74 ± 0.05 ^a
Cohesiveness	0.65 ± 0.03 ^a	0.64 ± 0.02 ^a	0.62 ± 0.06 ^a	0.65 ± 0.02 ^a	0.58 ± 0.04 ^a
Chewiness (Kg)	8.45 ± 1.80 ^a	9.86 ± 2.55 ^a	10.30 ± 3.35 ^a	10.60 ± 2.97 ^a	7.81 ± 2.10 ^a
Resilience	0.20 ± 0.01 ^a	0.19 ± 0.01 ^a	0.19 ± 0.03 ^a	0.20 ± 0.01 ^a	0.17 ± 0.02 ^a

PP = pink pepper; L* = lightness; a* = redness. b* = yellowness. Values represent means ± standard deviation. Different letters in the same row indicate significant differences.

Supplementary material

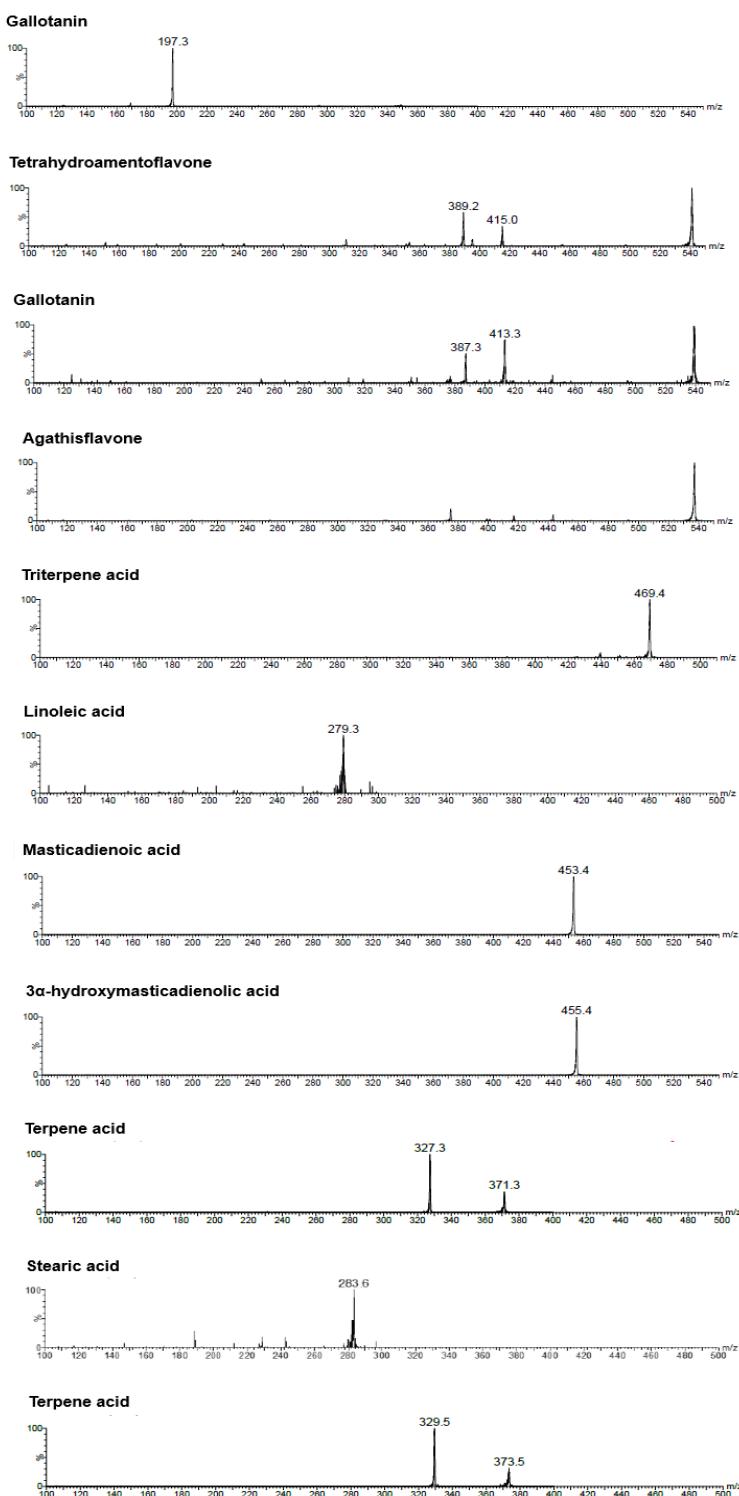
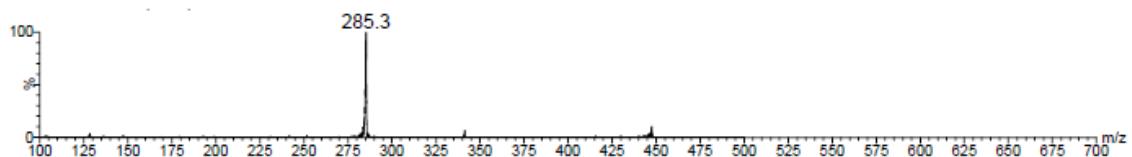


Figure 1 MS/MS spectra in negative ion mode of compounds identified in pink pepper extract.

7-O-methylpelargonidin 3-O-galactoside



Hinokiflavone

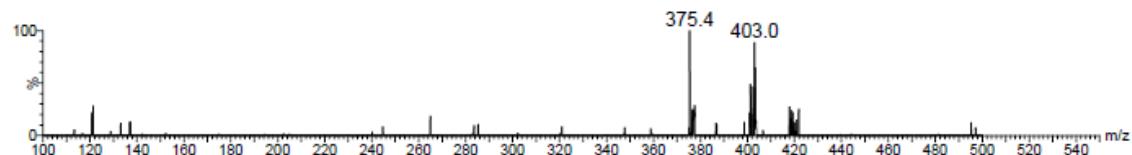


Figure 2 MS/MS spectra in positive ion mode of compounds identified in pink pepper extract.

Table 1 Fatty acid composition (g/100 g oil) of salami samples (control and with pink pepper at 0.25%, 0.5%, 0.75%, and 1.0%).

Fatty acid	0.0% PP (Control)	0.25% PP	0.5% PP	0.75% PP	1.0% PP
C14:0	1.39 ± 0.02 ^a	1.35 ± 0.03 ^{ab}	1.23 ± 0.04 ^c	1.30 ± 0.02 ^{bc}	1.22 ± 0.04 ^c
C16:0	25.24 ± 1.16 ^a	24.39 ± 0.47 ^a	26.08 ± 1.06 ^a	21.65 ± 0.06 ^b	21.38 ± 0.32 ^b
C16:1	1.94 ± 0.06 ^a	1.92 ± 0.06 ^a	1.76 ± 0.04 ^a	1.87 ± 0.04 ^a	1.84 ± 0.18 ^a
C18:0	11.53 ± 0.82 ^a	11.54 ± 0.24 ^a	12.36 ± 0.62 ^a	10.15 ± 0.05 ^b	9.33 ± 0.11 ^b
C18:1n9c	42.38 ± 1.09 ^{ab}	42.97 ± 0.50 ^a	40.15 ± 0.97 ^c	39.72 ± 0.10 ^c	40.98 ± 0.28 ^{bc}
C18:2n6c	5.87 ± 0.83 ^b	6.22 ± 0.93 ^b	7.23 ± 0.53 ^b	12.92 ± 0.26 ^a	12.76 ± 0.53 ^a
C18:3n6	0.17 ± 0.01 ^{bc}	0.17 ± 0.00 ^{abc}	0.20 ± 0.02 ^a	0.18 ± 0.01 ^{ab}	0.14 ± 0.00 ^c
C18:3n3	0.72 ± 0.01 ^b	0.74 ± 0.01 ^b	0.73 ± 0.01 ^b	0.61 ± 0.07 ^c	0.99 ± 0.03 ^a
C20:2n6	0.19 ± 0.03 ^b	0.21 ± 0.03 ^b	0.23 ± 0.02 ^b	0.42 ± 0.00 ^a	0.40 ± 0.01 ^a
C20:3n3	-	-	-	0.22 ± 0.03 ^a	0.18 ± 0.01 ^a
SFA	38.56 ± 1.97 ^a	37.28 ± 0.65 ^a	40.08 ± 1.65 ^a	33.10 ± 0.04 ^b	31.93 ± 0.30 ^b
MUFA	44.81 ± 1.15 ^a	45.10 ± 0.33 ^a	42.29 ± 1.02 ^b	41.59 ± 0.14 ^b	42.82 ± 0.19 ^b
PUFA	7.06 ± 0.85 ^b	7.34 ± 0.96 ^b	8.40 ± 0.56 ^b	14.35 ± 0.29 ^a	14.47 ± 0.58 ^a
UFA	51.87 ± 1.78 ^b	52.44 ± 0.68 ^b	50.69 ± 1.42 ^b	55.94 ± 0.43 ^a	57.29 ± 6.68 ^a
ω³	0.72 ± 0.01 ^c	0.74 ± 0.01 ^c	0.73 ± 0.01 ^c	0.83 ± 0.04 ^b	1.17 ± 0.04 ^a
ω⁶	6.25 ± 0.85 ^b	6.60 ± 0.96 ^b	7.67 ± 0.56 ^b	13.53 ± 0.25 ^a	13.30 ± 0.54 ^a
ω³/ω⁶	0.12 ± 0.01 ^a	0.11 ± 0.01 ^a	0.10 ± 0.01 ^{ab}	0.06 ± 0.00 ^c	0.9 ± 0.00 ^b

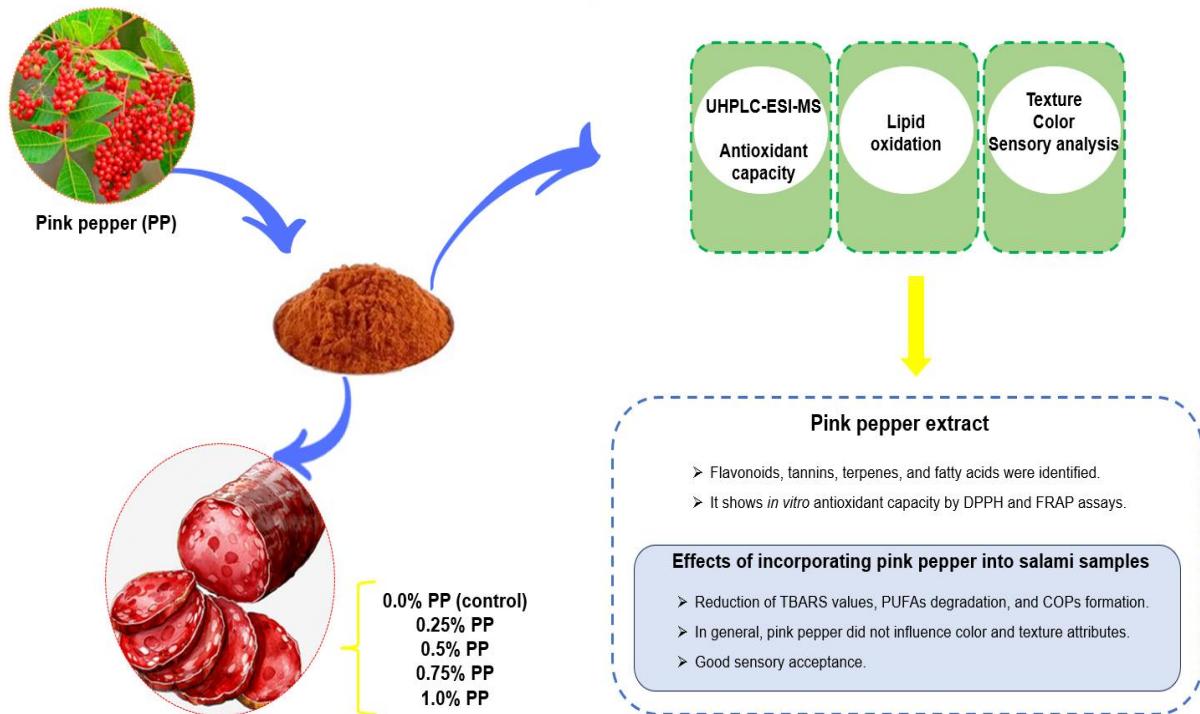
PP = pink pepper; FA = fatty acid; SFA = saturated fatty acid; MUFA = monounsaturated fatty acid; PUFA = polyunsaturated fatty acid. Values represent means ± standard deviation in triplicates. Different letters in the same row indicate significant differences.

Table 2 Cholesterol (mg/100 g, dry basis) and cholesterol oxides ($\mu\text{g/g}$, dry basis) contents of salami samples (control and with pink pepper at 0.25%, 0.5%, 0.75%, and 1.0%).

	0.0% PP (Control)	0.25% PP	0.5% PP	0.75% PP	1.0% PP
Cholesterol	73.25 \pm 1.03 ^a	74.86 \pm 1.56 ^a	74.10 \pm 1.16 ^a	76.33 \pm 1.54 ^a	76.52 \pm 1.54 ^a
5,6α-EP	30.65 \pm 0.51 ^a	25.79 \pm 0.46 ^b	22.25 \pm 1.09 ^c	14.19 \pm 0.44 ^d	11.32 \pm 1.07 ^e
5,6β-EP	34.37 \pm 2.19 ^a	16.25 \pm 1.05 ^b	16.15 \pm 0.90 ^b	6.24 \pm 0.21 ^c	5.53 \pm 0.45 ^c
7-keto	130.00 \pm 6.07 ^a	89.08 \pm 6.49 ^b	70.29 \pm 4.01 ^c	32.27 \pm 3.56 ^d	24.24 \pm 0.71 ^d
7α-OH	79.65 \pm 1.15 ^a	35.97 \pm 1.49 ^b	28.50 \pm 1.15 ^c	11.06 \pm 0.51 ^d	9.17 \pm 0.19 ^d
7β-OH	63.98 \pm 2.16 ^a	24.64 \pm 1.73 ^b	23.22 \pm 2.53 ^b	13.36 \pm 2.07 ^c	8.59 \pm 0.05 ^c
Total COPs	338.55 \pm 9.09 ^a	191.73 \pm 5.53 ^b	160.41 \pm 1.80 ^c	77.12 \pm 2.40 ^d	58.84 \pm 0.53 ^e

PP = pink pepper; 5,6 α -EP = 5,6 α -epoxycholesterol; 5,6 β -EP = 5,6 β -epoxycholesterol; 7-keto = 7-ketocholesterol; 7 β -OH = 7 β -hydroxycholesterol; 7 α -OH = 7 α -hydroxycholesterol. Values represent means \pm standard deviation in triplicates. Different letters in the same row indicate significant differences.

Graphical abstract



Highlights

- Bioactive compounds, mainly biflavonoids, were identified in pink pepper extract.
- Addition of pink pepper as ingredient minimized lipid oxidation in pork salami.
- Salami containing pink pepper showed lower levels of cholesterol oxides.
- Pink pepper did not influence the color and texture parameters of salami.
- Salami formulated with pink pepper were sensorially well accepted.

CAPÍTULO 2

DESENVOLVIMENTO DE ANTIOXIDANTE “BIO-BASED” A PARTIR DE FOLHAS DE AROEIRA (*Schinus terebinthifolius* Raddi) E EFEITO DA SUA APLICAÇÃO NO PROCESSAMENTO DE SALAMES SUÍNOS

Tatiana Labre da Silva

Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Instituição de formação: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Endereço: Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: labrerural@gmail.com

Vanessa Sales De Oliveira

Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Instituição de formação: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Endereço: Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: vanessasdo@bol.com.br

Ivanilda Maria Augusta

Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Instituição de formação: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Endereço: Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: ivanildamariaa@yahoo.com.br

Laura Monteiro Keller

Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Instituição de formação: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Endereço: Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: lauramonteirokeller@gmail.com

Otávio Cabral Neto

Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Instituição de formação: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Endereço: Palmas, Tocantis, Brasil

E-mail: otavio.neto@ifto.edu.br

Mario Geraldo de Carvalho

Doutor em Química Orgânica

Instituição de formação: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Endereço: Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: mariogdecarvalho@gmail.com

Tatiana Saldanha

PhD em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Instituição de formação: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Endereço: Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: tatysal@gmail.com

RESUMO

A Aroeira é fonte de antioxidantes com potencial de uso em alimentos. Os salames, devido a composição lipídica e processamento, são alvos de pesquisas para utilização de conservantes naturais, recurso para agregar sabor, cor, aroma e prevenir a formação de compostos deletérios a saúde. As folhas de Aroeira foram caracterizadas pelas análises de macronutrientes (g/ 100 g) ($38,12 \pm 0,02$ de umidade, $5,59 \pm 0,15$ de lipídios, $1,05 \pm 0,01$ de proteínas, $8,25 \pm 0,45$ de cinzas, $11,93 \pm 0,19$ de fibra bruta e $35,05 \pm 0,75$ de carboidratos), fenólicos totais ($10,34 \pm 0,12$ mg AGE/g), clorofila a ($27,43 \pm 0,02$ µg/g), clorofila b ($43,98 \pm 0,13$ µg/g), clorofila total ($74,41 \pm 0,12$ µg/g), carotenoides ($269,99 \pm 0,0$ µg/g), clorofila a/b ($0,58 \pm 0,0$), clorofila total/carotenoides ($0,27 \pm 0,04$). A capacidade antioxidant para o radical DPPH (80,30%) e FRAP ($1580,03 \pm 13,24$ µmol Fe²⁺/g) e perfil de ácidos graxos: $65,70 \pm 0,37$ de saturados, $25,18 \pm 0,85$ de poli-insaturados e $7,15 \pm 0,06$ de monoinsaturados, em g/100 g de lipídio, base seca, respectivamente. Na sequência, uma farinha “antioxidante bio-based de folhas de Aroeira” (ABFA) foi adicionada (1%, 2% e 3%) aos salames suínos. A adição de 1% do ABFA aos salames é recomendada para elevar a estabilidade lipídica, com reduzida alteração no aspecto visual. O ABFA representa uma fonte alternativa do bioma brasileiro e contribui para uma alimentação saudável, tanto para consumo direto, como para uso como conservante bio-based, contribuindo com os objetivos da agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Agenda 2030, Aditivos naturais, Produtos cárneos reestruturados, Oxidação lipídica.

ABSTRACT

Aroeira is a source of antioxidants with potential for use in foods. Salamis, due to their lipid composition and processing, are the subject of research into the use of natural preservatives, a resource to add flavor, color and prevent the formation of compounds harmful to health. Aroeira leaves were characterized by macronutrient analysis (g/ 100 g) (38.12 ± 0.02 moisture, 5.59 ± 0.15 lipids, 1.05 ± 0.01 proteins, 8.25 ± 0.45 of ash, 11.93 ± 0.19 of crude fiber and 35.05 ± 0.75 of carbohydrates), total phenolics (10.34 ± 0.12 mg AGE/g), chlorophyll a (27.43 ± 0.02 µg/g), chlorophyll b (43.98 ± 0.13 µg/g), total chlorophyll (74.41 ± 0.12 µg/g), carotenoids (269.99 ± 0.0 µg/g), chlorophyll a/b (0.58 ± 0.0), total chlorophyll/carotenoids (0.27 ± 0.04). The antioxidant capacity for the DPPH radical (80.30%) and FRAP (1580.03 ± 13.24 µmol Fe²⁺/g) and fatty acid profile: 65.70 ± 0.37 of saturated, 25.18 ± 0 , 85 of polyunsaturated and 7.15 ± 0.06 of monounsaturated, in g/100 g of lipid, dry base, respectively. Subsequently, a flour “bio-based antioxidant from Aroeira leaves” (ABFA) was added (1%, 2% and 3%) to the pork salami. The addition of 1% ABFA to salami is recommended to increase lipid stability, with reduced visual appearance changes. ABFA represents an alternative source from the Brazilian biome and contributes to a healthy diet, both for direct consumption and for use as a bio-based preservative, supply to the objectives of the 2030 agenda for sustainable development.

Keywords: Appointment 2030, Natural additives, Restructured meat products, Lipid oxidation.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de carnes contribui na alimentação humana como fonte de aminoácidos, vitaminas e minerais. Para a obtenção de produtos cárneos processados, a matéria-prima é submetida a diferentes etapas e tratamentos (cura, fumagem, salga ou utilização de conservantes e aditivos químicos) a fim de melhorar o prazo de validade e/ou sabor (Kopčeková et al., 2020). Dentro os produtos cárneos, o salame é definido como um produto industrializado, cru, curado, fermentado, maturado, dessecado e defumado ou não, e na composição, carne suína e/ou bovina, com adição de toucinho e ingredientes, embutido em envoltórios naturais e/ou artificiais (Brasil, 2000).

Entretanto, as etapas de processamento geram mudanças na composição lipídica, alterando a integridade dos tecidos musculares e facilitando a propagação de reações oxidativas (Rather et al., 2021). Além da perda de ácidos graxos essenciais, os radicais livres podem destruir vitaminas e outros compostos, representando apreensão na indústria de alimentos, devido à perda de qualidade e formação de compostos deletérios à saúde (Elavarasan; Shamasundar, 2021). Assim, para prevenir ou reduzir a formação de compostos oxidados são utilizados antioxidantes, com manutenção das características e acréscimo no tempo de prateleira (Yang et al., 2018).

A dieta e a nutrição são essenciais para a promoção da boa saúde e prevenção de doenças crônicas. Além disso, a demanda por alimentos saudáveis e que envolvam a redução do impacto ambiental é relevante, considerando-se os objetivos relacionados a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável (Cambeses-Franco et al., 2022). É notável a preferência dos consumidores por alimentos que contenham produtos naturais, a exemplo da substituição de aditivos sintéticos, compostos que apresentam restrições de uso, por fontes naturais antioxidantes (Embuscado, 2019).

As ervas e especiarias são usadas para conferir aroma e sabor aos alimentos, além das propriedades sensoriais, a flora brasileira é fonte de antioxidantes (Oliveira et al., 2020). A Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi), é uma planta local em todo o território brasileiro (Silva et al., 2024) e está inclusa na lista de interesses terapêuticos devido a presença de fitoquímicos bioativos. Dentre estes compostos, citam-se: ácidos fenólicos, flavonoides, taninos e terpenos (Scheibe et al., 2016).

O presente estudo foi realizado com o objetivo de preparar uma farinha composta por folhas de Aroeiras, desenvolvendo um antioxidante “bio-based de folhas de Aroeira” (ABFA). Após seu preparo, foram identificados os teores de macronutrientes, de fenólicos totais e de

carotenoides, a capacidade antioxidante in vitro pelos métodos DPPH e FRAP, além do perfil de ácidos graxos. Na sequência, foram processados salames com formulação padrão (controle), adicionado de antioxidante sintético (eritorbato de sódio) e outras três formulações testes, com inclusão da ABFA à formulação padrão em 1%, 2% e 3%. Após o período de processamento, os salames foram caracterizados pela determinação da composição química, qualidade nutricional da fração lipídica e formação de compostos da oxidação lipídica através de análises do índice de peróxidos (IP) e formação de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS). Adicionalmente, os parâmetros de cor foram identificados, como referência de aceitação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Padrões, reagentes e solventes

O DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil), Trolox, reagente de Folin-Ciocalteu, ácido gálico, quercetina, TPTZ (2,4,6-tris(2-piridil)-s-triazina), colesterol, óxidos de colesterol, éster metílico undecanóico e metóxido de sódio foram adquiridos da Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EUA). As misturas padrão de ácidos graxos foram da Supelco TM 37 (FAME Mix 18919, Bellefonte, Pa., EUA). Os solventes de grau HPLC foram adquiridos da seguinte forma: ácido fórmico (Synth, São Paulo, Brasil), hexano (Scharlau, Barcelone, Espanha), acetonitrila (Merck, Darmstadt, Alemanha) e 2-propanol (St. Louis, MO, EUA). Todos os demais solventes e reagentes foram adquiridos da Vetec (São Paulo, Brasil) e da Merck (Darmstadt, Alemanha).

2.2 Preparo da farinha de folhas de aroeira (ABFA)

As folhas de Aroeira foram coletadas na cidade de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil, em agosto de 2023, (latitude 22°76'19,31"S; longitude 43°67'16,99"W). A planta foi autenticada no Herbário da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (RBR 15557). Após coleta, as amostras foram selecionadas e submetidas à secagem em estufa ventilada (SOLAB, Brasil) (30°C/24h). Na sequência, foram homogeneizadas, com moagem em moinho (IKA A11 Basic) e uso de peneira média (1mm). Assim, a farinha composta por folhas de Aroeira foi utilizada como Antioxidante bio-based de Folhas de Aroeira (ABFA).

2.3 Salames

Foram desenvolvidas quatro formulações de salames, onde a padrão foi: pernil suíno (6,0 kg), toucinho suíno (10,0%), eritorbato de sódio (0,25%), sal (1,7%), sal de cura (0,25%), cultura starter (CHR Hansen, modelo Bactoferm® T-SPX, EUA, 0,4%), dextrose (0,8%) e 110

leite em pó (3,0%). As porcentagens dos ingredientes foram baseadas na massa de pernil suíno. A partir da formulação padrão foram adicionados diferentes níveis do ABFA, com os tratamentos divididos da seguinte forma: F₁ (controle), F₂ (1% folhas), F₃ (2% folhas) e F₄ (3% folhas), respectivamente. Para processamento e formulações foi considerado o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Salame (Brasil, 2000). A mistura de ingredientes do salame foi envasada em tripas artificiais de colágeno de 45 mm (Tripas & Cia, Ourinhos, São Paulo, Brasil) e, em seguida, os salames foram mantidos em câmara de maturação por 72 horas a 23°C e umidade relativa de 90% (fermentação). Na sequência, a temperatura da câmara foi reduzida para 13°C e a umidade relativa foi mantida em 80% até a redução de 30% do peso inicial. As amostras foram embaladas a vácuo e mantidas a 3°C. Foram preparados três salames (500 g cada) para cada formulação, totalizando 12 amostras.

2.4 Análises no antioxidante bio-based de folhas de Aroeira

2.4.1 Macronutrientes

Foram realizadas análises de umidade (método 925.10), cinzas (método 923.03), lipídios totais (método 963.15) e proteínas (método 960.52), de acordo com as metodologias descritas pela AOAC (2002). As fibras totais pelos procedimentos do Instituto Adolfo Lutz (2008) e carboidratos totais por diferença.

2.4.2 Preparo do extrato

O extrato foi preparado em etanol/água (70:30%, v/v) conforme descrito por Barreira et al. (2023) para determinação de fenólicos e das capacidades antioxidantes.

2.4.3 Determinação de fenólicos totais

O total de 50 µL do extrato foi utilizado, com uso de reagente Folin-Ciocalteau, de acordo com Quettier-Deleu (2000), com modificações. O conteúdo fenólico total foi determinado utilizando o reagente Folin-Ciocalteu. A absorbância foi medida a 685 nm e os resultados foram expressos em mg de equivalente de ácido gálico (GAE)/g de extrato.

2.4.4 Determinação do conteúdo de carotenoides totais

Os carotenoides foram analisados utilizando uma metodologia que determina carotenoides e clorofitas simultaneamente (Lichtenthaler, 1987).

2.4.5 Determinação do DPPH e da capacidade de redução férrica (FRAP)

O ensaio DPPH foi realizado conforme Fukumoto e Mazza (2000), em leitura à 520 nm de absorbância. A quantificação foi realizada utilizando-se Trolox em uma curva de calibração variando de 5 – 60 µg / mL Trolox ($r = 0,9977$). Para o FRAP foi realizado conforme descrito por Barreira et al. (2023) e a absorbância medida em 595 nm. Os resultados foram expressos em µmol equivalente de Trolox (TE)/g de extrato.

2.4.6 Perfil de ácidos graxos e índices nutricionais da fração lipídica

Os lipídios foram convertidos em ésteres metílicos por transesterificação (Zhu et al., 2011). Os ésteres metílicos foram analisados usando um cromatógrafo gasoso (Shimadzu GC 2010, Tóquio, Japão) com um detector de ionização de chama e uma coluna capilar SP-2560 (100 m × 0, 25 mm de diâmetro interno, 0, 20 µm de espessura de filme) (Chrompack, Middelburg, Holanda), operando no modo split (1:50), conforme Oliveira et al. (2020). A identificação dos picos cromatográficos foi feita avaliando os tempos de retenção dos padrões de ésteres metílicos de ácidos graxos e a quantificação realizada por padronização interna com éster metílico undecanóico.

Os índices foram determinados através do perfil de ácidos graxos, estimando-se a soma dos ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) e monoinsaturados (AGMI) e os ácidos graxos desejáveis (AGD) pela soma dos ácidos graxos insaturados e ácido esteárico. $(AGD) = (AGI + C18:0)$. A proporção de hipocolesterolemia e ácidos graxos hipercolesterolêmicos (HH) foi $HH = (C18:1 \omega^9 + C18:2 \omega^6 + C20:4 \omega^6 + C18:3 \omega^3 + C20:5 \omega^3 + C22:5 \omega^3 + C22:6 \omega^3) / (C14:0 + C16:0)$. Os índices aterogênico (IA) e trombogênico (IT) foram calculados utilizando as equações de Ulbright e Southgate (1991).

2.5 Análises nos salames

2.5.1 Determinação da atividade de água

A atividade de água foi determinada em aparelho Aqualab CX2 (Decagon Devices Inc.)

2.5.2 Macronutrientes

Idem item 2.4.1

2.5.3 Perfil de ácidos graxos e índices nutricionais da fração lipídica

Idem item 2.4.6

2.5.4 Índice de Peróxidos e acidez

Os índices de peróxido e acidez serão determinados de acordo com o método padrão AOCS (cd 8 – 53) (AOCS, 1990), com resultado expresso em mEq/1000g.

2.5.5 Ensaio de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)

TBARS foi realizado conforme metodologia descrita por Oliveira et al. (2020), a 532 nm de absorbância e curva padrão utilizando 1,1,3,3-tetraetoxipropano. Os resultados foram expressos em mg de malonaldeído (MDA)/kg de amostra.

2.5.6 Cor

Para a determinação da cor, os valores de L* (luminosidade), a* (teor de vermelho), b* (teor de amarelo), C* (Chroma), h° (ângulo Hue) e dos comprimentos de onda 630 nm e 580 nm foram medidos, em dois pontos diferentes de três amostras de cada formulação, emm espectrofotômetro CM-600D (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japão) equipado com iluminante A, 8 mm de abertura e 10° de observador padrão. A estabilidade de cor foi indiretamente estimada pela razão de reflectância a 630 nm e 580 nm (R630/580) de acordo com a AMSA (2012).

2.6 Análise estatística

Todas as análises foram realizadas em triplicatas e os resultados analisados por ANOVA para detectar as diferenças estatísticas, com uso do programa Sisvar para aplicação do teste Tukey de comparação múltipla de médias. Todas as análises estatísticas foram realizadas a nível de significância de 5%, e os dados experimentais apresentados como: média \pm desvio-padrão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Aroeira

3.1.1 Composição de macronutrientes

O Antioxidante bio-based obtido a partir das folhas de Aroeiras (ABFA) apresentou $38,12 \pm 0,02$ g/100 g de umidade; $5,59 \pm 0,15$ g/100 g de lipídios totais; $1,05 \pm 0,01$ g/100 g de

proteínas; $8,25 \pm 0,45$ g/100 g de cinzas; $11,93 \pm 0,19$ g/100 g de fibras e $35,05 \pm 0,75$ g/100 g de carboidratos na composição de macronutrientes.

Silva et al. (2024) mensuraram em folhas de Aroeira teores entre: $5,37 \pm 0,09$ e $64,52 \pm 0,22$ g/100 g de umidade, $2,69 \pm 0,12$ e $6,89 \pm 0,01$ g/100 g de cinzas, $0,84 \pm 0,06$ e $5,23 \pm 0,09$ g/100 g de lipídios, $3,29 \pm 0,14$ e $14,12 \pm 0,25$ g/100 g de proteínas, $11,64 \pm 0,22$ e $32,89 \pm 0,07$ g/100 g de fibras bruta e $17,02 \pm 0,01$ a $33,02 \pm 0,9$ g/100 g de carboidratos.

3.1.2 Conteúdo de fenólicos totais, clorofilas, carotenoides e capacidade antioxidante

O teor de fenólicos totais identificado no ABFA foi de $10,34 \pm 0,12$ mg AGE/g extrato etanol/água (70:30 % v/v). Diferentes teores foram determinados por Scheid et al. (2018), em extratos de n-hexano ($0,75 \pm 0,1$ mg de AGE/g de amostra), diclorometano ($3,23 \pm 0,84$ mg de AGE/g de amostra), acetato de etila ($35,76 \pm 0,19$ mg de AGE/g de amostra) e metanol ($40,63 \pm 0,16$ mg de AGE/g de amostra). Teores superiores foram observados por Rocha et al. (2019) ($52,95 \pm 4,23$ mg de AGE/g de amostra), em extrato metanólico. Enquanto, Nascimento et al. (2023) identificaram $19,2 \pm 0,4$ mg de AGE/g de amostra em extrato de acetato de etila de folhas de Aroeira.

O ABFA apresentou $27,43 \pm 0,02$ µg/g de clorofila a, $43,98 \pm 0,13$ µg/g de clorofila b, $74,41 \pm 0,12$ µg/g de clorofila total, $269,99 \pm 0,0$ µg/g de carotenoides totais, $0,58 \pm 0,0$ de clorofila a/b e $0,27 \pm 0,04$ de clorofila total/carotenoides. Teores inferiores foram reportados por De Sales et al. (2018) em extrato de dimetilsulfóxido de folhas de Aroeira, com variações entre: 261,4 e 283,3 µg/g para clorofila a; 52,1 e 67,5 µg/g para clorofila b; 299,6 e 335,8 µg/g de clorofila total; 42,0 e 46,6 µg/g para carotenoides totais; 4,0 e 5,1 para clorofila a/b; 6,8 e 7,5 para clorofila total/carotenoides.

Em relação à capacidade antioxidante do ABFA, o sequestro de radicais livres foi de 80,30% para o radical DPPH e $1580,03 \pm 13,24$ (µmol Fe²⁺/g) para o radical FRAP. A capacidade antioxidante de folhas de Aroeira pelo método DPPH (IC₅₀) relatado por Moreira et al. (2016) variou entre $9,30 \pm 0,70$ e $12,03 \pm 1,44$ (µg/ml) em extrato metanólico, enquanto Scheid et al. (2018) identificaram $596,2 \pm 0,4$ µg/ml em n-hexano, $238,99 \pm 6,2$ µg/ml em diclorometano, $5,19 \pm 0,1$ µg/ml em acetato de etila e $3,0 \pm 0,1$ µg/ml em metanol. Para o FRAP, teores inferiores foram relatados por Silva et al. (2024): $14,74 \pm 0,09$ µmol Fe²⁺/g em amostras frescas, $21,58 \pm 0,15$ µmol Fe²⁺/g em amostras secas em estufa e $20,03 \pm 0,01$ µmol Fe²⁺/g em amostras liofilizadas.

3.1.3 Perfil de ácidos graxos e índices nutricionais da fração lipídica

Os principais ácidos graxos identificados no ABFA foram o ácido α -linolênico (ALA; 18:3) ($15,65 \pm 0,16$ g), ácido tricosanóico (C23:0) ($13,90 \pm 0,03$ g), ácido cáprico (C10:0) ($13,78 \pm 0,34$ g) e ácido docosanóico (C21:0) ($13,03 \pm 0,02$ g). Para os grupos de AG: saturados (AGS) ($65,70 \pm 0,37$ g) > poli-insaturados (AGPI) ($25,18 \pm 0,85$ g) > monoinsaturados (AGMI) ($7,15 \pm 0,06$ g). Os teores de ω^3 ($16,29 \pm 0,18$ g) e ω^6 ($8,88 \pm 0,42$ g) foram majoritariamente compostos pelos C18:3 - ω^3 ($15,65 \pm 0,16$ g) e C18:2 - ω^6 ($7,34 \pm 0,10$ g), em 100 g de lipídios, respectivamente (Tabela 1). Teores superiores de ALA ($43,14 \pm 0,22$ g/100 g de lipídios) foram relatados por Ennigrou et al. (2018)

Tabela 1. Perfil de ácidos graxos do antioxidante bio-based de folhas de Aroeira (ABFA)

Ácidos graxos (g/100 g de lipídios, base seca)	ABFA
C4:0	$6,50 \pm 0,45$
C6:0	$0,28 \pm 0,02$
C10:0	$13,78 \pm 0,34$
C12:0	$4,70 \pm 0,28$
C14:0	$0,72 \pm 0,28$
C16:0	$10,10 \pm 0,02$
C16:1	$0,30 \pm 0,04$
C18:0	$1,61 \pm 0,05$
C18:1cis	$6,30 \pm 0,04$
C18:2 cis	$7,34 \pm 0,10$
C20:0	$0,37 \pm 0,12$
C18:3 ω^6	$1,55 \pm 0,16$
C20:1	$0,60 \pm 0,07$
C18:3 ω^3	$15,65 \pm 0,16$
C21:0	$13,03 \pm 0,02$
C20:3 ω^3	$0,64 \pm 0,02$
C23:0	$13,90 \pm 0,03$
AGS	$65,70 \pm 0,37$
AGMI	$7,15 \pm 0,06$
AGPI	$25,18 \pm 0,85$
AGI	$32,33 \pm 0,55$
$\Sigma\omega^3$	$16,29 \pm 0,18$
$\Sigma\omega^6$	$8,88 \pm 0,42$

AGS: saturados; AGMS: monoinsaturados; AGPI: poli-insaturados.

Fonte: Elaborado pelos autores

Para os índices nutricionais da fração lipídica no ABFA foram observados: $0,38 \pm 0,01$ para $\sum\text{AGPI}/\sum\text{AGS}$, $3,52 \pm 0,11$ para $\sum\text{AGPI}/\sum\text{AGMI}$, $0,11 \pm 0,0$ para $\sum\text{AGMI}/\sum\text{AGS}$, $33,93 \pm 0,50$ para $\sum\text{AGD}$, $0,21 \pm 0,0$ para IT, $0,55 \pm 0,02$ para IA e $2,71 \pm 0,02$ para HH.

3.2 Salames

3.2.1 Macronutrientes e atividade de água

Os salames suínos apresentaram $36,29 \pm 1,40$ g/100 g de umidade, $21,79 \pm 0,46$ g/100 g de lipídios totais, $27,42 \pm 0,47$ g/100 g de proteínas e $8,34 \pm 0,09$ g/100 g de cinzas (Tabela 2). Demarco et al. (2022) identificaram $40,37 \pm 0,08$ g/100 g de umidade, $28,40 \pm 0,09$ g/100 g de lipídios e $29,03 \pm 0,27$ g/100 g de proteínas em salames suínos.

Os salames adicionadas de ABFA apresentaram valores entre: $28,08 \pm 1,83$ e $33,80 \pm 0,62$ g/100 g de umidade, $18,98 \pm 0,59$ e $22,35 \pm 1,70$ g/100 g de lipídios, $25,32 \pm 0,66$ e $26,75 \pm 2,84$ g/100 g de proteínas e $5,39 \pm 0,13$ g/100 g e $7,85 \pm 0,19$ g/100 g para cinzas. A adição do ABFA ocasionou redução da umidade a 1%, de proteínas a 3% e de cinzas a 2% e 3% ($p \leq 0,05$) (Tabela 2).

Demarco et al. (2022) determinaram teores entre $35,35 \pm 0,05$ e $39,69 \pm 0,08$ g/100 g de umidade, $27,48 \pm 0,37$ e $28,36 \pm 0,12$ g/100 g de proteínas e $23,48 \pm 0,12$ e $25,43 \pm 0,06$ de lipídios em salames adicionados de alecrim e curry. Já Varga-Visi et al. (2022) identificaram teores superiores de lipídios (37 g/100 g) e inferiores de proteínas (21 g/100 g) em salames suínos adicionados de pálpica.

Tabela 2. Composição físico-química de salames adicionados de antioxidante bio-based de folhas de Aroeira (ABFA)

(g/100 g)	Controle	1% ABFA	2% ABFA	3% ABFA
Umidade	$36,29 \pm 1,40^a$	$28,08 \pm 1,83^b$	$33,17 \pm 0,14^{ab}$	$33,80 \pm 0,62^{ab}$
Lipídios	$21,79 \pm 0,46$	$22,35 \pm 1,70$	$21,60 \pm 0,31$	$18,98 \pm 0,59$
Proteína	$27,42 \pm 0,47^a$	$26,37 \pm 1,04^{ab}$	$26,75 \pm 2,84^{ab}$	$25,32 \pm 0,66^b$
Cinzas	$8,34 \pm 0,09^a$	$7,85 \pm 0,19^a$	$6,13 \pm 0,98^b$	$5,39 \pm 0,13^b$
a_w	0,8720 ^a	0,8326 ^b	0,8822 ^a	0,8801 ^a

Valores representam as médias \pm desvio padrão. Letras sobreescritas iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey

Fonte: Elaborado pelos autores

Em relação a atividade de água (a_w) (Tabela 2), a adição de ABFA reduziu os teores nos salames com 1% (0,8326) em comparação à formulação controle (0,8720) ($p \leq 0,05$), não diferindo este dos salames adicionados de 2% (0,8822) e 3% (0,8801). Resultados variados foram reportados em salames suínos na literatura. Smit et al. (2020) identificaram valores entre 0,923 e 0,928, em salames suínos adicionados de nitrato de sódio e extrato de Honeybush. Enquanto Ambrosio et al. (2021) identificaram variações de 0,794 a 0,978 na a_w em salames suínos.

3.2.2 Perfil de ácidos graxos e dos índices nutricionais da fração lipídica

Os salames suínos apresentaram no perfil de ácidos graxos predomínio do ácido oléico (C18:1) $45,12 \pm 0,05$, seguido do ácido palmítico (C16:0) $25,86 \pm 0,24$ e do ácido esteárico (C18:0) $14,68 \pm 0,06$ g expressos em g/100 g de lipídios base seca, respectivamente. Para as frações de ácidos graxos, o total de $8,71 \pm 0,43$ g de AGPI, $42,04 \pm 0,33$ g de AGS e $46,78 \pm 0,19$ de AGMI, em g/100 gramas de lipídios (Tabela 3).

Tabela 3. Perfil de ácidos graxos (g/100 g de lipídios) em salames (controle e com adição antioxidante bio-based de folhas de Aroeira (ABFA)

Ácidos graxos	Controle (0% ABFA)	1% ABFA	2% ABFA	3% ABFA
C4:0	----	$1,53 \pm 0,34^b$	$1,65 \pm 0,18^b$	$2,07 \pm 0,06^a$
C13:0	----	$1,55 \pm 0,22$	$1,46 \pm 0,11$	$1,64 \pm 0,44$
C14:0	$1,51 \pm 0,03^a$	$1,46 \pm 0,06^{ab}$	$1,41 \pm 0,03^b$	$1,47 \pm 0,03^{ab}$
C16:0	$25,86 \pm 0,24^a$	$24,48 \pm 0,42^b$	$24,09 \pm 0,32^b$	$23,79 \pm 0,3^b$
C16:1	$1,67 \pm 0,14$	$1,48 \pm 0,05$	$1,50 \pm 0,06$	$1,51 \pm 0,01$
C18:0	$14,68 \pm 0,06^a$	$12,77 \pm 0,36^b$	$12,65 \pm 0,47^b$	$12,19 \pm 0,04^b$
C18:1	$45,12 \pm 0,05^a$	$44,39 \pm 0,67^b$	$44,00 \pm 0,39^b$	$43,71 \pm 0,31^b$
C18:2	$7,63 \pm 0,36$	$8,93 \pm 0,26$	$8,98 \pm 0,54$	$9,24 \pm 0,46$
C20:1	$1,08 \pm 0,07^c$	$1,16 \pm 0,06^{bc}$	$1,18 \pm 0,03^b$	$1,22 \pm 0,01^a$
Σ AGS	$42,04 \pm 0,33$	$41,79 \pm 1,40$	$41,26 \pm 1,10$	$41,17 \pm 0,89$
Σ AGMI	$46,78 \pm 0,19$	$47,04 \pm 0,78$	$46,68 \pm 0,48$	$46,45 \pm 0,32$
Σ AGPI	$8,71 \pm 0,43$	$8,93 \pm 0,26$	$8,98 \pm 0,54$	$9,24 \pm 0,46$

AGS: ácidos graxos saturados, AGMS: ácidos graxos monoinsaturados, AGPI: ácidos graxos poli-insaturados.

Valores representam as médias \pm desvio padrão. Letras sobreescritas iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaborado pelos autores

Os salames adicionados de ABFA (Tabela 3) apresentaram $43,71 \pm 0,31$ a $44,39 \pm 0,67$ g de (C18:1), $23,79 \pm 0,31$ a $24,48 \pm 0,42$ g/100 g de (C16:0) e $12,19 \pm 0,04$ a $12,77 \pm 0,36$ g/100 g de (C18:0), respectivamente. Para as frações de ácidos graxos, $8,93 \pm 0,26$ a $9,24 \pm 0,46$ g de AGPI, $41,17 \pm 0,89$ a $41,79 \pm 1,40$ g de AGS e $46,45 \pm 0,32$ a $47,04 \pm 0,78$ g de AGMI, em 100 gramas de lipídios. A adição do ABFA não influenciou os teores de AGMI e AGPI em comparação à formulação controle ($p > 0,05$).

Resultados semelhantes foram identificados por Varga-visi et al. (2022) em salames suínos com e sem adição de timol, correspondentes a respectivamente: 40,05 e 39,85 g/100 g de lipídios de C18:1, 25,99 e 25,37 g/100 g de lipídios de C16:0 e 12,63 e 12,41 g/100 g de lipídios C18:0. Para os grupos, valores entre: 39,9 e 40,76 g/100 g de lipídios de AGS, 45,96 e 46,21 g/100 g de lipídios de AGMI, 1,03 e 14,10 g/100 g de lipídios de AGPI, com teores superiores de AGPI pela adição de antioxidantes naturais.

De forma similar, Saccani et al. (2023) quantificaram 0,99 a 4,29 g de C18:3, 10,37 a 11,37 g de C18:2, 13,05 a 14,36 g de C18:0, 22,86 a 23,82 g de C16:0 e 39,62 a 41,98 g de

C18:1, em 100 g de lipídios de salames adicionados de fito-complexo e ω3. Para o somatório, variações entre: 38,81 e 40,78 g/100 g de lipídios de AGS, 42,96 e 45,67 g/100 g de lipídios de AGMI e 13,56 e 18,23 g/100 g de lipídios de AGPI, com prevenção da oxidação de lipídios pela adição de antioxidantes naturais.

Para os índices nutricionais da fração lipídica nos salames suínos os resultados corresponderam à $49,68 \pm 0,10$ para $\sum \text{AGPI}/\sum \text{AGS}$, $0,16 \pm 0,01$ para $\sum \text{AGPI}/\sum \text{AGMI}$, $1,14 \pm 0,01$ para $\sum \text{AGMI}/\sum \text{AGS}$, $70,18 \pm 0,52$ para $\sum \text{AGD}$, $1,12 \pm 0,03$ para IT, $0,57 \pm 0,01$ para IA e $58,75 \pm 0,39$ para HH (Tabela 4). As adições de ABFA não influenciaram as razões entre $\sum \text{AGPI}/\sum \text{AGMI}$ ($0,18 \pm 0,03$ a $0,20 \pm 0,01$ x $0,16 \pm 0,01$ controle) ($p > 0,05$), porém elevaram as razões de AGMI/AGS ($1,22 \pm 0,02$ a $1,24 \pm 0,01$) e reduziram a quantificação de AGD ($67,88 \pm 0,13$ a $70,18 \pm 0,52$) ($p \leq 0,05$), em consequência dos teores inferiores de C18:0, nos salames adicionados de ABFA.

Tabela 4. Índices de Qualidade nutricional da fração lipídica de salames adicionados de antioxidante bio-based de folhas de Aroeira (ABFA)

Ácidos graxos	Controle	1% ABFA	2% ABFA	3% ABFA
$\sum \text{AGPI}/\sum \text{AGS}$	$49,68 \pm 0,10^a$	$47,0 \pm 1,16^b$	$47,13 \pm 0,37^b$	$46,69 \pm 0,09^b$
$\sum \text{AGPI}/\sum \text{AGMI}$	$0,16 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,03$	$0,19 \pm 0,01$	$0,20 \pm 0,01$
$\sum \text{AGMI}/\sum \text{AGS}$	$1,14 \pm 0,01^b$	$1,22 \pm 0,02^a$	$1,22 \pm 0,03^a$	$1,24 \pm 0,01^a$
$\sum \text{AGD}$	$70,18 \pm 0,52^a$	$68,10 \pm 0,96^b$	$68,31 \pm 0,41^b$	$67,88 \pm 0,13^b$
IT	$1,12 \pm 0,03^b$	$1,40 \pm 0,03^a$	$1,37 \pm 0,04^a$	$1,35 \pm 0,02^a$
IA	$0,57 \pm 0,01^a$	$0,55 \pm 0,02^b$	$0,53 \pm 0,01^b$	$0,53 \pm 0,01^b$
HH	$58,75 \pm 0,39^a$	$52,69 \pm 0,53^b$	$52,98 \pm 0,24^b$	$52,95 \pm 0,19^b$

AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poli-insaturados; AGD: ácidos graxos desejáveis. Valores representam as médias ± desvio padrão. Letras iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaborado pelos autores

Para os índices de aterogenicidade (IA), houveram reduções pela adição de ABFA ($0,53 \pm 0,01$ a $0,55 \pm 0,02$), condição favorável para a saúde dos consumidores. Para os índices de trombogenicidade (IT) ($1,35 \pm 0,02$ a $1,40 \pm 0,03$) teores superiores foram observados pelas adições de ABFA, com redução da relação entre ácidos graxos hipercolesterolêmicos/hipocolesterolêmicos (HH) ($52,69 \pm 0,53$ a $52,98 \pm 0,24$) ($p \leq 0,05$) (Tabela 4). Semelhantes resultados foram observados por Ambrosio et al. (2021), com valores de $0,42 \pm 0,0$ a $0,58 \pm 0,01$ para IA, $1,06 \pm 0,01$ a $1,41 \pm 0,0$ para IT e $1,08 \pm 0,0$ a $1,46 \pm 0,01$ para AGMI/AGS em salames suínos

3.2.4 Determinação do IP e TBARS

Os salames suínos controles apresentaram $87,91 \pm 2,60$ meq de peróxido/Kg de amostra para o IP e $1,67 \pm 0,05$ mg malonaldeído MDA/Kg de amostra para a quantificação de TBARS (Tabela 5). Em contraste, teores inferiores foram observados por Smit et al. (2020) em salames suínos ($1,34$ mg MDA eq/Kg).

Os salames adicionados de ABFA apresentaram teores entre $27,79 \pm 1,17$ a $30,76 \pm 1,84$ meq de peróxido/Kg de amostra, com valores até três vezes inferiores aos controles ($p \leq 0,05$). Para a formação de TBARS, os salames adicionados de ABFA a 1% ($1,71 \pm 0,44$ mg MDA eq/Kg de amostra) foram semelhantes aos salames controles ($p > 0,05$). Entretanto, teores superiores foram mensurados nos salames 2% ($2,32 \pm 0,42$ mg MDA eq/Kg de amostra) e 3% ($2,98 \pm 0,75$ mg MDA eq/Kg de amostra) ($p \leq 0,05$) (Tabela 5).

Novelli et al. (2014) identificaram $6,5 \pm 1,8$ a $48,6 \pm 9,2$ meq O₂/Kg de amostra para IP e $0,09 \pm 0,003$ a $0,157 \pm 0,012$ mg MDA eq/Kg de amostra de TBARS em salames adicionados de compostos fenólicos. Enquanto Smit et al. (2020) mensuraram $0,41$ mg MDA eq/Kg em salames com adição de antioxidantes naturais (Honeybush – 0,5%).

Tabela 5. Índice de peróxidos (meq de peróxido/Kg de amostra) e formação de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (mg MDA/Kg de amostra) em salames adicionados de antioxidante bio-based de folhas de Aroeira (ABFA)

	Controle (0% ABFA)	1% ABFA	2% ABFA	3% ABFA
Peróxidos	$87,91 \pm 2,60^a$	$27,79 \pm 1,17^b$	$28,44 \pm 1,92^b$	$30,76 \pm 1,84^b$
TBARS	$1,67 \pm 0,05^c$	$1,71 \pm 0,44^{bc}$	$2,32 \pm 0,42^{ab}$	$2,98 \pm 0,75^a$

Valores representam as médias ± desvio padrão. Letras iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaborado pelos autores

A adição de 1% ABFA aos salames reduziu a formação de compostos oxidados primários (IP) ($p \leq 0,05$), não diferindo para a formação de compostos secundários (TBARS) ($p > 0,05$), condição não observada nas formulações com 2% e 3%, o que sugere ação pro-oxidante dos compostos presentes nas folhas de Aroeira quando adicionadas em níveis mais elevados. Segundo Kozłowska e Gruczyńska (2018), os compostos fenólicos agem como antioxidantes pelo sequestro de radicais livres, ativos quando utilizados em concentrações adequadas. Todavia, efeitos pro-oxidantes ocorrem em quantidades excessivas, com interferência em processos de auto-oxidação de lipídios.

Em relação à capacidade antioxidant da Aroeira, Zouaoui et al. (2024) ressaltaram capacidade superior das folhas em comparação aos frutos. Os frutos de Aroeiras são comumente

reportados como fontes de antioxidantes em alimentos (Barreira et al., 2023; de Oliveira et al., 2020). Contudo, o uso das folhas como conservante bio-based mostrou requerer adequação dos níveis de adição para alcance dos efeitos protetivos desejados, em que níveis inferiores podem ser mais efetivos como aditivos em alimentos.

3.2.5 Parâmetros de cor

Para os parâmetros de cor (Tabela 6), os salames controles apresentaram $17,52 \pm 1,8$ de luminosidade (L), $87,91 \pm 2,60$ para os valores de a*, $15,54 \pm 0,46$ para os valores de b*, $11,05 \pm 2,03$ para os valores de c* e $19,65 \pm 11,16$ para o ângulo Hue (h°). Os salames adicionados de ABFA apresentaram variações entre $18,87 \pm 0,73$ e $26,22 \pm 1,0$ para L, $27,79 \pm 1,17$ e $30,76 \pm 1,84$ para a*, $17,14 \pm 4,45$ e $29,77 \pm 7,16$ para b*, $4,16 \pm 0,64$ e $5,81 \pm 1,66$ para c* e $19,65 \pm 11,16$ e $65,93 \pm 13,76$ para h°.

A adição do ABFA elevou a luminosidade e os valores de b* nos salames com 3% e reduziram os valores de a* e c*, com variações no h° ($3\% > 2\% \approx 1\% >$ Controle) ($p \leq 0,05$) (Tabela 6). De modo geral, a adição de ABFA a 1% e 2% reduziu o tom avermelhado e resultou em brilho mais fosco, sem efeito na luminosidade. Entretanto, a adição de 3% resultou em luminosidade superior, coloração mais esverdeada e amarelada, e redução do brilho em comparação aos salames controles ($p \leq 0,05$), desfavorável para o desenvolvimento de novos produtos.

Tabela 6. Parâmetros de cor em salames adicionados de antioxidante bio-based de folhas de Aroeira (ABFA)

	Controle	1% ABFA	2% ABFA	3% ABFA
L	$17,52 \pm 1,8^b$	$20,39 \pm 1,54^b$	$18,87 \pm 0,73^b$	$26,22 \pm 1,0^a$
a*	$87,91 \pm 2,60^a$	$27,79 \pm 1,17^b$	$28,44 \pm 1,92^b$	$30,76 \pm 1,84^b$
b*	$15,54 \pm 0,46^b$	$17,14 \pm 4,45^b$	$23,22 \pm 4,17^b$	$29,77 \pm 7,16^a$
c*	$11,05 \pm 2,03^a$	$5,81 \pm 1,66^b$	$5,45 \pm 1,94^b$	$4,16 \pm 0,64^b$
h°	$19,65 \pm 11,16^c$	$55,90 \pm 11,21^b$	$46,93 \pm 24,53^b$	$65,93 \pm 13,76^a$

L*: Luminosidade; a*: teor de vermelho; b*: teor de amarelo; C*: Chroma; h°: ângulo Hue. Valores representam as médias \pm desvio padrão. Letras sobreescritas iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaborado pelos autores

4 CONCLUSÃO

A caracterização química do antioxidante “bio-based” produzido com folhas de Aroeiras (ABFA) comprovou seu potencial de uso como insumo natural oriundo da biodiversidade brasileira, devido a presença de fitoquímicos com propriedades antioxidantes e ácidos graxos essenciais, opção de aditivos naturais de origem vegetal, o que associa a saudabilidade das dietas a parâmetros de sustentabilidade. A adição de 1% de ABFA às formulações de salames suíños apresentou resultados favoráveis de qualidade, relativos a redução da atividade de água e do índice de aterogenicidade. Adicionalmente, reduziu a formação de compostos primários da oxidação lipídica, recurso para elevar a estabilidade oxidativa de salames suíños. Entretanto, estudos futuros devem ser realizados para avaliar níveis inferiores de adição de ABFA no processamento de salames suíños, visto que houve efeito pro-oxidante nos níveis mais elevados de adição das folhas. Em relação a cor, as adições de 1% e 2% de ABFA apresentaram alterações inferiores a adição de 3% ($p \leq 0,05$) em comparação aos salames controle, sendo requerida a avaliação da aceitação sensorial para a inovação tecnológica de alimentos.

5 REFERÊNCIAS

AMBROSIO, R. L.; SMALDONE, G.; DI PAOLO, M.; VOLLANO, L.; CERUSO, M.; ANASTASIO, A.; MARRONE, R. Effects of different levels of inclusion of apulo-calabrese pig meat on microbiological, physicochemical and rheological parameters of salami during ripening. *Animals*, v. 11, n. 11, 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11113060>

AMSA. Meat Color Measurement Guidelines. AMSA. 201 West Springfield Avenue, Suite 1202. p. 124, 2012.

AOAC (2002). Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg. MD: Association of Official Analytical Chemists.

AOCS. Official Methods and Recommended Practices. 4th Edition, American Oil Chemists Society, Champaign. II (1990).

BARREIRA, C. F.T.; DE OLIVEIRA, V. S.; CHÁVEZ, D. W.H.; GAMALLO, O.D.; CASTRO, R.N.; JÚNIOR, P. C. D.; SAWAYA, A. C. H. F.; DA SILVA F., M.; SAMPAIO, G. R.; TORRES, E. A. F.; SALDANHA, T. The impacts of pink pepper (*Schinus*

terebinthifolius Raddi) on fatty acids and cholesterol oxides formation in canned sardines during thermal processing. Food Chemistry, v. 403, n. January 2022, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134347>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 22, de 31 de julho de 2000. Regulamento técnico de identidade e qualidade do salame tipo italiano. DOU 03/08/2000. Seção 1, <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/defesa-agropecuaria/suasa/regulamentos-tecnicos-de-identidade-e-qualidade-de-produtos-de-origem-animal-1/rtiq-carneos-e-seus-derivados>

CAMBESES-FRANCO, C.; GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; FEIJOO, G.; MOREIRA, M. T. Driving commitment to sustainable food policies within the framework of American and European dietary guidelines. Science of the Total Environment, v. 807, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150894>.

DEMARCO, F.; RÔMIO, A. P.; DA TRINDADE ALFARO, A.; TONIAL, I.B. Effects of Natural Antioxidants on the Lipid Oxidation, Physicochemical and Sensory Characteristics, and Shelf Life of Sliced Salami. Food and Bioprocess Technology, v. 15, n. 10, p. 2282–2293, 2022. DOI 10.1007/s11947-022-02877-2. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02877-2>.

ELAVARASAN, K.; SHAMASUNDAR, B. A. Antioxidant properties of papain mediated protein hydrolysates from fresh water carps (Catla catla, Labeo rohita and Cirrhinus mrigala) and inhibition of lipid oxidation in oil sardine mince during ice storage. Journal of Food Science and Technology, 2021. DOI 10.1007/s13197-021-05053-0. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05053-0>.

ENNIGROU, A.; CASABIANCA, H.; VULLIET, E.; HANCHI, B.; HOSNI, K. Assessing the fatty acid, essential oil composition, their radical scavenging and antibacterial activities of Schinus terebinthifolius Raddi leaves and twigs. Journal of Food Science and Technology, v. 55, n. 4, p. 1582–1590, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3049-6>.

KOPČEKOVÁ, J.; MRAZOVA, J.; HABANOVA, M. Effects of Meat and Processed Meat Consumption on the Lipid Profile in the Population With Cardiovascular Diseases. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences, v. 14, n. June, p. 828–835, 2020. <https://doi.org/10.5219/1428>.

FUKUMOTO, L., MAZZA, G. Assessing Antioxidant and Prooxidant Activity of Phenolic Compounds. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48, 3597-3604. 2000 <http://dx.doi.org/10.1021/jf000220INSTITUTO ADOLFO LUTZ. 1a Edição Digital. Métodos físicos-químicos para análise de Alimentos, 2008. .>

KOZŁOWSKA, M.; GRUCZYŃSKA, E.. Comparison of the oxidative stability of soybean and sunflower oils enriched with herbal plant extracts. *Chemical Papers*, v. 72, n. 10, p. 2607–2615, 2018. DOI 10.1007/s11696-018-0516-5. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11696-018-0516-5>.

LICHTENTHALER H. K., Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes, *Methods in Enzymology*, Academic Press, 148, 1987, 350-382, ISSN 0076-6879, ISBN 9780121820480, [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)

MOREIRA, D. G.; VIEIRA, M. C.; HEREDIA ZÁRATE, N. A.; CARNEVALI, T. O.; TORALES, E. P.; TABALDI, L. A.; LOURENTE, E. R.P.; MERCANTE, F. M. Produtividade de vinagreira, pimenta rosa e carobinha cultivadas em sucessão a mucuna preta e feijão de porco. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, v. 18, n. 1, p. 326–335, 2016. https://doi.org/10.1590/1983-084X/15_085.

NASCIMENTO, M. S.; SANTOS, P. H.; ABREU, F. F.; SHAN, A.Y.K.V.; AMARAL, R.G.; ANDRADE, L. N.; SOUTO, E. B.; SANTOS, M.I.S.; DE SOUZA G., A.; SOUZA, J.B.; RAIMUNDO, J. P.; TAVARES, J. F.; DE OLIVEIRA, S. A. M.; CORREA, C. B.; MONTALVÃO, M. M.; PIACENTE, S.; PIZZA, C.; CAMARGO, E. A.; DOS SANTOS, E. C. *Schinus terebinthifolius* Raddi (Brazilian pepper) leaves extract: in vitro and in vivo evidence of anti-inflammatory and antioxidant properties. *Inflammopharmacology*, v. 31, n. 5, p. 2505–2519, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10787-023-01316-8>.

NOVELLI, E.; FASOLATO, L.; CARDAZZO, B.; CARRARO, L.; TATICCHI, A.; BALZAN, S. Addition of phenols compounds to meat dough intended for salami manufacture and its antioxidant effect. *Italian Journal of Food Safety*, v. 3, n. 3, p. 154–156, 2014. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2014.1704>.

OLIVEIRA, V. S.; AUGUSTA, I. M.; BRAZ, M. V. C.; RIGER, C. J.; PRUDÊNCIO, E. R.; SAWAYA, A. C. H. F.; SAMPAIO, G. R.; TORRES, E. A. F. S.; SALDANHA, T. Aroeira fruit (*Schinus terebinthifolius* Raddi) as a natural antioxidant: Chemical constituents, bioactive compounds and in vitro and in vivo antioxidant capacity. *Food Chemistry*, v. 315, n. April 2019, p. 126274, 2020. DOI 10.1016/j.foodchem.2020.126274. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126274>.

QUETTIER-DELEU, C.; GRESSIER, B.; VASSEUR, J.; DINE, T.; BRUNET, C.; LUYCKX, M.; CAZIN, M.; CAZIN, J.-C.; BAILLEUL, F.; TROTIN, F. Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal Ethnopharmacology*, 2000, 72, 35.

RATHER, S. A.; MASOODI, F. A.; RATHER, J. A.; AKHTER, R.; GANI, A.; GANAIE, T. A. Effects of xanthan gum, canning and storage period on fatty acid profile and cholesterol oxidation of restructured low-fat meat product of India. *Food Chemistry*, v. 359, n. September 2020, p. 128450, 2021. DOI 10.1016/j.foodchem.2020.128450. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128450>.

SACCANI, G.; BERGAMASCHI, M.; SCHIVAZAPPA, C.; CIRLINI, M.; GALAVERNA, G.; VIRGILI, R. Evaluation of the antioxidant effect of a phytocomplex addition in clean label pork salami enriched in n-3 PUFA. *Food Chemistry*, v. 399, n. August 2022, p. 133963, 2023. DOI 10.1016/j.foodchem.2022.133963. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133963>.

SCHEIBE, C. L.; RIBAS-FILHO, J. M.; CZECZKO, N.G.; MALAFAIA, O.; BARBOZA, L. E. D.; RIBAS, F. M.; WENDLER, E.; TORRES, O.; LOVATO, F. C.; SCAPINI, J.G. S.. *Schinus terebinthifolius raddi* (Aroeira) and *Orbignya phalerata* mart. (Babassu) effect in cecorrahphy healing in rats. *Acta Cirurgica Brasileira*, v. 31, n. 6, p. 402–410, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0102-86502016006000007>.

SCHEID, T.; MORAES, M. S.; HENRIQUES, T. P.; RIFFEL, A. P. Ko.; BELLÓ-KLEIN, A.; POSER, G. L. V.; ETHUR, E. M.; PARTATA, W. A. Effects of Methanol Fraction from Leaves of *Schinus terebinthifolius* Raddi on Nociception and Spinal-Cord Oxidative Biomarkers in Rats with Neuropathic Pain. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, v. 2018, n. Cci, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5783412>.

SILVA, J.; MEDEIROS S.; DSOUSA S.; MARTINS C.S.; DUTRA M G., L.; DANTAS E.A. C.; DOS SANTOS L. M.; FECHINE T.V J.; SOBRAL S. M.; NASCIMENTO, Y. M.; DA SILVA, E. F.; OLIVEIRA, C. E V.; DE OLIVEIRA E. G., PEREIRA M. E; Diego; COSTA C. S.; FREITAS, J. C. R.; SOARES, J. K. B.; VIERA, V. B. Characterization of flours from the aroeira leaf (*Schinus terebinthifolius* Raddi), obtained by different drying methods. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, v. 1239, n. January, 2024.

SMIT, P.; CULLERE, M.; DALLE ZOTTE, A.; BALZAN, S.; HOFFMAN, L. C.; NOVELLI, E. Effects of honeybush (*Cyclopia subternata*) extract on physicochemical, oxidative and sensory traits of typical Italian salami. *Food Science and Nutrition*, v. 8, n. 5, p. 2299–2306, 2020. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1509>.

ULBRICHT TL, SOUTHGATE. Coronary heart disease: seven dietary factors. *Lancet*. 1991 Oct 19; 338 (8773):985-92. Doi: 10.1016/0140-6736(91)91846-m. PMID: 1681350.

VARGA-VISI, É. JÓCSÁK, I.; KOZMA, V.; LÓKI, K.; ALI, O.; SZABÓ, A. Effects of Surface Treatment with Thymol on the Lipid Oxidation Processes, Fatty Acid Profile and Color of Sliced Salami during Refrigerated Storage. *Foods*, v. 11, n. 23, 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11233917>.

YANG, C. S.; HO, C. T.; ZHANG, J.; WAN, X.; ZHANG, K.; LIM, J. Antioxidants: Differing Meanings in Food Science and Health Science. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 66, n. 12, p. 3063–3068, 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05830>.

ZHU, X., SVENDSEN, C., JAEPELT, K. B., MOUGHAN, P. J., & RUTHERFURD, S. M. A comparison of selected methods for determining Eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in cereal-based foods. *Food Chemistry*, 125(4), (2011)1320-1327. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.105>

ZOUAOUI, Z.; LAABAR, A.; EL ASRI, S.; ENNOURY, A.; KABACH, I.; MONDELLO, L.; CACCIOLA, F.; TAGHZOUTI, K.; NHIRI, M.; NHIRI, N. Phytochemical profile, antioxidant screening, and antidiabetic effect of pink pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) leaves in diabetic mice. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 18, n. May 2024, p. 101309, 2024. DOI 10.1016/j.jafr.2024.101309. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101309>

CONCLUSÕES GERAIS

A partir das pesquisas apresentadas acima, concluiu-se:

- 1) As folhas e os frutos de Aroeira foram caracterizadas quanto aos teores de fitoquímicos de interesse e a capacidade antioxidante *in vitro*. A partir das referidas análises observou-se que as folhas apresentaram capacidade antioxidante superior para os métodos de DPPH e FRAP. Além disso, compostos bioativos com reconhecidas propriedades antioxidantes, como ácidos fenólicos e flavonoides, foram identificados por análises cromatográficas nos frutos. Desta forma, a caracterização da Aroeira sugere sua aplicação como antioxidante natural, alternativa frente à oxidação lipídica em alimentos
- 2) A utilização de frutos de Aroeira no processamento de salames em diferentes níveis de adições (0,25, 0,50, 0,75, 1%) elevou a estabilidade oxidativa lipídica, com redução de compostos oxidados, representado pelo malonaldeído, prevenção da degradação de ácidos graxos poli-insaturados e teores inferiores de óxidos de colesterol. A adição dos frutos não afetou os parâmetros de cor e textura, associado à boa aceitação global, superior à 69%.
- 3) Para a utilização de folhas de Aroeira (1, 2 e 3%) no processamento de salames, o nível inferior de adição foi mais satisfatório para os parâmetros de qualidade relativos a redução da atividade de água e do índice de aterogenicidade, e a prevenção da formação de compostos primários da oxidação lipídica, recurso para elevar a estabilidade oxidativa de salames suínos. Entretanto, estudos futuros devem ser realizados para avaliar níveis inferiores de adição no processamento de salames suínos, visto que houve efeito pró-oxidante nos níveis mais elevados de adição das folhas.
- 4) O presente estudo comprovou o potencial de uso da Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) como insumo da biodiversidade brasileira, relevante para a indústria de alimentos devido a qualidade nutricional, fonte de ácidos graxos essenciais e compostos bioativos com expressiva capacidade antioxidante. Importante também para o desenvolvimento regional sustentável, utilizada como condimentos, bastante requisitada no mercado internacional. Assim, a produção e beneficiamento dessa matriz vegetal apresenta potencial tecnológico agregado, opção de aditivos *bio-based*.