



## Diferentes ingredientes tecnológicos comerciais: impacto na vida útil de linguiças frescas refrigeradas

Different commercial technological ingredients: impact on the shelf life of refrigerated fresh sausages

Adrieli Maiandra Piccinin do Amaral<sup>1</sup> , Etiene Mendes Amorim<sup>1</sup> , Edson Gabriel Santana do Carmo<sup>1</sup> , João Vitor Padilha dos Santos<sup>1</sup> , Marlei Teresinha Canova<sup>1</sup> , Paulo Atílio Dalan<sup>1</sup> , Luana Bettanin<sup>1</sup> , Weber da Silva Robazza<sup>1</sup> , Liziane Schittler Moroni<sup>1</sup> , Georgia Ane Raquel Sehn<sup>1</sup> , Darlene Cavalheiro\*<sup>1</sup>

1 Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Pinhalzinho, Santa Catarina, Brasil

\*autor correspondente: darlene.cavalheiro@udesc.br

Recebido: 12 de setembro de 2024. Aceito: 09 de junho de 2025. Publicado: 01 de agosto de 2025. Editor: Luiz Augusto B. Brito

**Resumo:** Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da adição de eritorbato de sódio (CP) e sem adição eritorbato de sódio (CN), ácido cítrico (AC), ácido ascórbico (AA), lactato de sódio (LS), lactato de potássio (LP), TARI L 96 Forte (TL96 – uma blenda contendo ácido láctico, dextrose, ácido cítrico, ácido acético) e extrato de alecrim (EA), sobre os valores de pH, TBARS e crescimento microbiano de linguiças frescas embaladas a vácuo, ao longo dos dias 1, 15, 30, 35 e 40 de armazenamento avaliados por modelagem matemática. A modelagem matemática demonstrou efeito significativo dos diferentes ingredientes tecnológicos sobre a população bacteriana final, com diminuição da taxa de crescimento, principalmente para o tratamento TL96, entretanto, essa tendência não foi estatisticamente significativa ( $p > 0,05$ ) nos dados experimentais. Em relação ao TBARS, o uso de eritorbato de sódio (CP) sozinho e em conjunto com a mistura de ácidos orgânicos (TL96) foi eficaz em retardar a oxidação lipídica. O tratamento AC apresentou as menores constantes  $k_1$  e  $k_2$ , indicando redução seguida de aumento lento do pH. Os tratamentos que apresentaram os melhores resultados de TBARS e modelagem matemática (EA, TL96 e LP) foram submetidos à avaliação sensorial, que não demonstrou diferença estatística entre os tratamentos, exceto para o atributo sabor do tratamento LP. A adição de TARI L 96 Forte e lactato de potássio às formulações de linguiças apresentaram potencial efeito positivo na manutenção da qualidade e segurança das linguiças frescas durante o armazenamento refrigerado.

**Palavras-chave:** ácidos orgânicos; extratos naturais; oxidação lipídica; crescimento microbiano; produtos cárneos.

**Abstract:** This study aimed to evaluate the effects of incorporating sodium erythorbate (PC) the absence of sodium erythorbate (NC), citric acid (CA), ascorbic acid (AA), sodium lactate (SL), potassium lactate (PL), TARI L 96 Forte (TL96 - a blend of lactic acid, dextrose, citric acid, acetic acid), and rosemary extract (RE) on the pH, TBARS values, and microbial growth of vacuum-packed fresh sausages, throughout days 1, 15, 30, 35, and 40 of storage, further assessed through mathematical modeling. Mathematical modeling revealed a relevant influence of the different technological ingredients on the final bacterial population, evidencing a reduction in growth rates, mainly in the treatment TL96. However, this trend was not corroborated by statistically significant differences in the experimental data ( $P > 0.05$ ). Regarding TBARS values, the use of sodium erythorbate (PC) alone, and together with the organic acid blend (TL96) was effective in delaying lipid oxidation. The treatment CA exhibited the lower constants  $k_1$  and  $k_2$ , indicating a slower



acidification followed by a gradual pH recovery over time. The treatments with the most favorable results in microbiological and TBARS analyses, as well as superior performance in mathematical modeling (RE, TL96, and PL) were selected for sensory evaluation. The sensory analysis revealed no statistically significant differences among treatments, except for the flavor attribute in the treatment PL. The incorporation of TARI L96 Forte and potassium lactate into the sausage formulations contributed positively to the preservation of quality and microbiological safety of the fresh sausages during refrigerated storage.

**Key-words:** organic acids; natural extracts; lipid oxidation; microbial growth; meat products.

## 1. Introdução

A produção global de carne suína atingiu 121,7 milhões de toneladas, com um aumento previsto para atingir 129 milhões de toneladas até 2031<sup>(1)</sup>. A linguiça fresca, um produto de carne suína processada amplamente produzido e consumido<sup>(2)</sup>, é altamente perecível<sup>(3)</sup>. Mesmo quando armazenada em temperaturas de refrigeração, seu alto teor de gordura e água, combinado com a ausência de tratamento térmico na indústria, a torna suscetível à oxidação lipídica e ao crescimento microbiano<sup>(4)</sup>. A oxidação lipídica leva ao desenvolvimento de características sensoriais inaceitáveis, enquanto o crescimento microbiano pode levar à deterioração do produto e a doenças transmitidas por alimentos. Portanto, retardar a oxidação lipídica e prevenir o crescimento microbiano são fatores que podem contribuir significativamente para estender a vida útil de linguiças frescas<sup>(5)</sup>.

A indústria da carne tem utilizado diversas estratégias para aumentar a estabilidade dos produtos cárneos<sup>(6)</sup>, como o uso de antioxidantes sintéticos e agentes antimicrobianos<sup>(7)</sup>. Dada a ampla gama de aditivos disponíveis comercialmente, são necessários estudos para validar a eficiência desses aditivos<sup>(6)</sup> como potenciais alternativas para aplicação em produtos cárneos.

Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia de diferentes ingredientes tecnológicos comerciais, incluindo ácidos orgânicos (ácido cítrico, ácido ascórbico, ácido lático, ácido acético) e seus sais (eritorbato de sódio, lactato de sódio, lactato de potássio) e um extrato natural de alecrim, como potenciais alternativas para a indústria de produtos cárneos processados. Além disso, particular atenção tem se dado para a sua atuação como inibidores do crescimento de microrganismos deteriorantes e seus efeitos nas propriedades físico-químicas e na estabilidade de armazenamento de linguiças frescas embaladas a vácuo e refrigeradas.

## 2. Material e métodos

### 2.1 Material

A seleção dos ingredientes e a definição dos tratamentos foram baseadas em colaboração com uma empresa privada do setor de aditivos alimentares. As matérias-primas (pernil suíno, gordura suína, alho, cloreto de sódio e açúcar) foram obtidas em mercados locais de Pinhalzinho/SC. Os aditivos comerciais ácido cítrico, ácido ascórbico, lactato de sódio, lactato de potássio, TARI L 96 Forte (ácido lático, dextrose, ácido cítrico e ácido acético), extrato de alecrim, eritorbato de sódio, carmim de cochonilha, fosfato FIBRISOL 414, nitrito de sódio e nitrato de sódio foram fornecidos por uma empresa especializada em aditivos cárneos. Todos os produtos químicos utilizados neste estudo eram de grau analítico.

## 2.2 Fabricação das linguiças frescas

Oito tratamentos foram realizados em duplicata. As formulações foram preparadas com a adição dos ingredientes de acordo com as instruções do fabricante (Tabela 1). Com exceção do controle negativo (CN), todos os tratamentos continham eritorbato de sódio mais o ingrediente-alvo, visando avaliar o potencial de sinergia entre eles.

**Tabela 1.** Tipos e quantidades de aditivos utilizados em cada tratamento.

Aditivos (g/100 g)	Tratamentos							
	CN	CP	AA	AC	LS	LP	TL96	EA
Eritorbato de sódio	-	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Ácido ascórbico	-	-	0,10	-	-	-	-	-
Ácido cítrico	-	-	-	0,15	-	-	-	-
Lactato de sódio	-	-	-	-	1,00	-	-	-
Lactato de potássio	-	-	-	-	-	1,00	-	-
TARI L 96 Forte	-	-	-	-	-	-	0,15	-
Extrato de alecrim	-	-	-	-	-	-	-	0,03

Tratamentos: CN: Controle Negativo; CP: Controle Positivo; AA: Ácido Ascórbico; AC: Ácido Cítrico; LS: Lactato de Sódio; LP: Lactato de Potássio; TL96: TARI L96 Forte; EA: Extrato de Alecrim.

A formulação base consistia em pernil suíno (63,52 g/100 g), gordura suína (20 g/100 g), água (14 g/100 g), cloreto de sódio (1,3 g/100 g), alho (0,15 g/100 g), açúcar (0,5 g/100 g), carmim de cochonilha (0,02 g/100 g), fosfato FIBRISOL 414 (0,4 g/100 g, mistura composta de pirofosfato ácido de sódio, pirofosfato tetrassódico, polifosfato de sódio e tripolifosfato de sódio) e uma mistura comercial de nitrito e nitrato de sódio (0,013 g/100 g). As linguiças foram produzidas em lotes duplicados.

Durante o processamento, o pernil suíno e a gordura dorsal foram moídos em um moedor/embutidor industrial (7000 Light, MSI-10, Brasil) usando um disco de 8 mm. Em seguida, os ingredientes foram misturados em um misturador planetário (PHP500 Turbo, Philco, Brasil), de acordo com cada formulação, na seguinte ordem: pernil suíno e fosfato FIBRISOL 414 (1 minuto), cloreto de sódio (1 minuto), gordura dorsal (1 minuto), água com carmim de cochonilha dissolvido (1 minuto), nitrito e nitrato de sódio, alho e açúcar (1 minuto) e, finalmente, eritorbato de sódio juntamente com o ingrediente alvo (10 minutos), totalizando 15 minutos para garantir uma distribuição homogênea dos ingredientes.

A massa resultante foi então envasada em tripas naturais de suíno de 30 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento (aproximadamente 60 g por peça) utilizando o mesmo equipamento. As linguiças foram embaladas em sacos de polietileno, seladas a vácuo (200S, Selovac, Brasil) e armazenadas a 4 °C em câmara de incubação (BOD, SSBODu 342L, Solidsteel, Brasil) por 40 dias.

## 2.3 Composição centesimal

A composição centesimal das linguiças foi determinada em triplicata, 1 dia após a produção. Os teores de lipídios, proteínas, cinzas e umidade foram determinados de acordo com as metodologias 920.39c, 920.152, 940.26 e 925.45b, AOAC<sup>(8)</sup> respectivamente.

## 2.4 Caracterização físico-química

A caracterização físico-química é essencial para avaliar a qualidade, a estabilidade e a conformidade dos produtos cárneos com os padrões legais e tecnológicos. Esses parâmetros também servem de base para interpretar os efeitos de diferentes formulações e condições de processamento nas amostras estudadas.

As amostras de linguiça fresca, coletadas nos dias 1, 15, 30, 35 e 40 de estocagem, foram avaliadas em triplicata quanto aos níveis de pH e às substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS). O pH das amostras foi medido por contato direto com a sonda (LineLab, Akso, Brasil), previamente calibrada com soluções-padrão de pH 4 e 10.

As análises de TBARS foram realizadas utilizando o método espectrofotométrico descrito por Jo e Ahn<sup>(9)</sup>, com modificações. Para isso, 5 g de amostra foram homogeneizadas utilizando um homogeneizador tipo Turrax (TECNAL TE-139, Brasil) com 30 mL de ácido tricloroacético 7,5%. A mistura foi filtrada em papel de filtro qualitativo (Qualy 12,5 cm, J. Prolab, Brasil), e uma alíquota de 2 mL do filtrado foi transferida para um tubo de ensaio, onde foram adicionados 2 mL de solução de ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,02 M. Os tubos foram aquecidos em banho termostático digital (SSD 5L, Solidsteel, Brasil) a 100 °C por 20 minutos e resfriados com gelo até a temperatura ambiente (~25 °C). A absorbância foi mensurada em 532 nm, em um espectrofotômetro (80 SA, Femto, Brasil), e a concentração foi calculada utilizando uma curva padrão de 1,1,3,3-tetraetoxipropano (Sigma-Aldrich, Brasil). Os resultados foram expressos em mg de MDA por kg de amostra.

## 2.5 Caracterização microbiológica

A análise microbiológica permite detectar a presença e o desenvolvimento de microrganismos que indicam contaminação, deterioração ou risco à saúde do consumidor. Esse controle é particularmente importante em produtos cárneos frescos, dada sua alta perecibilidade. Para isso, 10 g de amostra foram quantificados assepticamente em um saco Stomacher estéril e misturados com 90 mL de água peptonada a 0,1% (p/v), perfazendo uma diluição de  $10^{-1}$ . Em seguida, diluições decimais sequenciais foram realizadas transferindo 1 mL (da diluição de  $10^{-1}$ ) para 9 mL de água peptonada a 0,1% (p/v) para perfazer uma diluição de  $10^{-2}$ .

Para a contagem de bactérias ácido lácticas (BAL), 0,1 mL da amostra diluída foi transferida para placas de Petri estéreis contendo meio MRS (Man Rogosa & Sharpe, Millipore, Alemanha) e incubadas em estufa (SSB 110 L, Solidsteel, Brasil) a  $35 \pm 1$  °C por  $48 \pm 3$  horas. Para a contagem de bactérias mesófilas e bactérias aeróbias psicrotróficas, 0,1 mL da amostra diluída foi transferida para placas de Petri estéreis contendo meio PCA (Plate Count Agar, KASVI, Brasil) e incubadas a  $35 \pm 1$  °C por  $48 \pm 3$  horas em estufa (SSB 110 L, Solidsteel, Brasil) e  $7 \pm 1$  °C por 10 dias em câmara de incubação (BOD, SL 200 L, Solab, Brasil), respectivamente. Antes da realização da avaliação sensorial, as amostras foram testadas para *Salmonella* spp., *Escherichia coli* e *estafilococos coagulase-positivos* de acordo com as metodologias descritas na Instrução Normativa 60<sup>(10)</sup>.

## 2.6 Modelagem matemática

A aplicação da modelagem matemática permite descrever, prever e compreender o comportamento de variáveis ao longo do tempo, contribuindo para a otimização de formulações e o desenvolvimento de estratégias de conservação mais eficientes. Para quantificar os efeitos dos diferentes tratamentos sobre os indicadores de qualidade de linguiças frescas (crescimento microbiológico, oxidação lipídica e pH), foram utilizados os modelos matemáticos de Baranyi-Roberts e bifásico.

O crescimento de microrganismos BAL, mesófilos e psicrotróficos foi modelado de acordo com o modelo de Baranyi-Roberts sem fase de adaptação, conforme a Equação 1<sup>(11)</sup>:

$$(1) \quad \log_{10}N(t) = \log_{10}N_{\max} - \log_{10}\left[1 + \left(10^{\log_{10}N_{\max} - \log_{10}N_0} - 1\right)e^{-\mu_{\max}t}\right]$$

onde  $\log_{10}N(t)$  corresponde ao logaritmo decimal da contagem microbiana no tempo t em log UFC,  $\log_{10}N_{\max}$  corresponde ao logaritmo decimal da contagem microbiana máxima em log UFC,  $\log_{10}N_0$  corresponde ao logaritmo decimal da contagem microbiana inicial em log UFC,  $\mu_{\max}$  é a taxa máxima de crescimento e t é o tempo (dias).

O aumento da oxidação lipídica (TBARS) foi modelado de acordo com uma versão adaptada do modelo de Baranyi-Roberts com uma fase de adaptação, conforme mostrado na Equação 2<sup>(11)</sup>:

$$(2) \quad \text{TBARS}(t) = \text{TBARS}_m + \log_{10}\left[\left(\frac{-1 + e^{\mu_{\max}\lambda} + e^{\mu_{\max}t}}{e^{\mu_{\max}t} - 1 + e^{\mu_{\max}\lambda} 10^{\text{TBARS}_m - \text{TBARS}_0}}\right)\right]$$

onde  $\text{TBARS}(t)$  corresponde aos valores de TBARS no tempo t em kg de MDA por kg de amostra,  $\text{TBARS}_m$  corresponde ao TBARS máximo em kg de MDA por kg de amostra,  $\text{TBARS}_0$  corresponde ao TBARS inicial em kg de MDA por kg de amostra,  $\mu_{\max}$  representa a taxa máxima,  $\lambda$  é a duração da fase de adaptação (análoga à fase de latência da curva de crescimento microbiano) e t é o tempo (dias).

Considerando que foi observada uma redução inicial do pH, seguida de um aumento, o pH das amostras foi modelado de acordo com uma versão adaptada do modelo bifásico, conforme mostrado nas Equações 3(a) e 3(b)<sup>(12)</sup>:

$$(3a) \quad \text{pH}(t) = \text{pH}_0 - k_1 t \text{ se } t < t^*$$

$$(3b) \quad \text{pH}(t) = \text{pH}_0 - k_1 t^* + k_2(t - t^*) \text{ se } t \geq t^*$$

onde  $\text{pH}(t)$  é o pH no tempo t,  $\text{pH}_0$  é o pH inicial,  $k_1$  e  $k_2$  são as constantes de taxa de diminuição e aumento nas mudanças de pH ao longo do tempo, t é o tempo (dias) e  $t^*$  é o tempo (dias) das mudanças de pH.

## 2.7 Análise sensorial

A análise sensorial é uma ferramenta essencial, pois permite mensurar a percepção do consumidor sobre os atributos sensoriais, contemplando dados físico-químicos e microbiológicos, permitindo avaliar a potencial aceitação dos tratamentos selecionados pelo consumidor. As formulações com os melhores resultados microbiológicos e físico-químicos, além de desempenho superior na modelagem matemática, garantindo assim a qualidade e a segurança das linguiças frescas por um prazo de validade prolongado (dias), foram selecionadas para a análise sensorial. A análise sensorial foi realizada três dias após a produção das amostras, período durante o qual as contagens microbiológicas permaneceram dentro dos níveis aceitáveis para o consumo seguro.

A análise sensorial das linguiças frescas foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAAE: 67501823.1.0000.0118). Para tanto, 60 provadores não treinados participaram do teste no laboratório de análise sensorial do Departamento de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química da Universidade do Estado de Santa Catarina. As avaliações foram conduzidas em cabines individuais sob iluminação branca padronizada, em ambiente com temperatura controlada (aproximadamente  $22\pm2$  °C), livre de ruídos e odores externos. As linguiças frescas foram assadas em forno elétrico (200 °C) até atingirem a temperatura interna de 72 °C. As amostras de linguiça foram então servidas mornas, fatiadas em pedaços de 1 cm de espessura em pratos plásticos brancos, codificados com três números aleatórios diferentes, acompanhadas de um copo d'água e um biscoito salgado para limpeza do paladar.

O teste de aceitação foi realizado utilizando uma escala hedônica de 9 pontos, onde 9 = gostei muito e 1 = desgostei muito, para avaliar os atributos cor, aparência, aroma, sabor, textura e aceitação geral. O teste de intenção de compra também foi realizado utilizando uma escala de 5 para 1, onde 5 = compraria com certeza e 1 = definitivamente não compraria.

## 2.8 Análise estatística

Foram avaliados os parâmetros físico-químicos, tecnológicos e microbiológicos das linguiças frescas, considerando os tratamentos e o tempo como efeitos fixos e as repetições como efeitos aleatórios. Para a avaliação sensorial, o tratamento foi considerado efeito fixo e os provadores efeito aleatório, utilizando-se análise de variância (ANOVA) pelo programa STATISTICA 14 Trial (Statsoft). As diferenças significativas foram analisadas pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5%.

A performance do modelo primário de Baranyi-Roberts de se ajustar aos dados experimentais foi avaliada usando o índice estatístico (Equação 4) do erro quadrático médio (RMSE) no software *R*, versão 4.2.2.

$$(4) \quad \text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{\text{pred},i} - y_{\text{obs},i})^2}{n}}$$

onde  $n$  é o número de pontos experimentais ( $n = 5$ ),  $y_{\text{pred},i}$  é o valor previsto pelos modelos para a observação experimental do  $i$ -ésimo tratamento, e  $y_{\text{obs},i}$  é a observação experimental do  $i$ -ésimo tratamento.

## 3. Resultados e discussão

### 3.1 Composição centesimal

Não foram observadas diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre as amostras para teores de proteína, lipídios, cinzas e umidade para todos os tratamentos (Tabela 2).

**Tabela 2.** Composição centesimal (%) das linguiças frescas.

Tratamentos	Proteína	Lipídios	Cinzas	Umidade
CN	15,22 ± 0,18 <sup>A</sup>	20,40 ± 0,18 <sup>A</sup>	2,54 ± 0,03 <sup>A</sup>	63,78 ± 0,18 <sup>A</sup>
CP	15,03 ± 0,16 <sup>A</sup>	20,89 ± 0,34 <sup>A</sup>	2,52 ± 0,12 <sup>A</sup>	64,45 ± 0,50 <sup>A</sup>
AC	15,98 ± 0,05 <sup>A</sup>	20,49 ± 0,42 <sup>A</sup>	2,50 ± 0,14 <sup>A</sup>	64,42 ± 0,09 <sup>A</sup>
EA	16,00 ± 0,27 <sup>A</sup>	20,37 ± 0,47 <sup>A</sup>	2,60 ± 0,11 <sup>A</sup>	64,47 ± 0,08 <sup>A</sup>
AA	14,88 ± 0,09 <sup>A</sup>	20,58 ± 0,76 <sup>A</sup>	2,50 ± 0,12 <sup>A</sup>	64,94 ± 0,33 <sup>A</sup>
LS	15,01 ± 0,14 <sup>A</sup>	20,32 ± 0,30 <sup>A</sup>	2,60 ± 0,06 <sup>A</sup>	65,03 ± 0,33 <sup>A</sup>
TL96	15,16 ± 0,36 <sup>A</sup>	20,43 ± 0,21 <sup>A</sup>	2,50 ± 0,11 <sup>A</sup>	65,17 ± 0,28 <sup>A</sup>
LP	14,81 ± 0,03 <sup>A</sup>	20,38 ± 0,15 <sup>A</sup>	2,66 ± 0,03 <sup>A</sup>	64,76 ± 0,26 <sup>A</sup>

Média ± desvio padrão. Médias na mesma coluna seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ) para os diferentes tratamentos no mesmo tempo. Tratamentos: CN: Controle Negativo; CP: Controle Positivo; AC: Ácido Cítrico; EA: Extrato de Alecrim; AA: Ácido Ascórbico; LS: Lactato de Sódio; TL96: TARI L96 Forte; LP: Lactato de Potássio.

De acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade para Linguiças<sup>(13)</sup>, o teor máximo permitido de lipídios é de 30%, o teor mínimo de proteínas é de 12% e o teor máximo de umidade é de 70% para linguiças frescas. Todos os tratamentos atenderam aos padrões estabelecidos pela legislação brasileira vigente, que não estabeleceu exigências para o teor de cinzas em linguiças frescas.

### 3.2 Caracterização físico-química

Em relação aos valores de pH (Tabela 3), não foram observadas diferenças significativas para os tratamentos CP, AC, AA, LS e TL96 ( $p > 0,05$ ) ao longo dos 40 dias de armazenamento, indicando um efeito regulador desses ingredientes sobre os valores de pH das linguiças frescas.

Por sua vez, observou-se redução dos valores de pH para os tratamentos CN, EA e LP (Tabela 3) do dia 1 ao dia 15 de armazenamento ( $p < 0,05$ ), provavelmente devido à atividade das BAL (Tabela 5) que produzem ácido lático através do metabolismo de carboidratos<sup>(14)</sup>, reduzindo o pH. Embora todos os tratamentos tenham apresentado crescimento das BAL (Tabela 5), observou-se redução nos valores de pH para CN, EA e LP, não apenas devido à ação das BAL, mas também devido a outras reações químicas que ocorrem nas linguiças frescas durante o armazenamento<sup>(15)</sup>.

Observou-se aumento nos valores de pH para os tratamentos EA e LP a partir do 30º dia e CN a partir do 35º dia ( $p < 0,05$ ). Esse aumento provavelmente se deve às reações de descarboxilação e desaminação que ocorrem nos aminoácidos, que liberam amônia no ambiente, aumentando assim sua alcalinidade e à presença de compostos alcalinos provenientes da decomposição de proteínas ou de metabólitos resultantes da atividade de microrganismos deteriorantes<sup>(16)</sup>.

**Tabela 3.** Valores de pH durante o armazenamento refrigerado e parâmetros ( $\pm$  erro padrão) após ajuste do modelo bifásico para o pH das linguiças frescas.

Tratamento	Tempo (dias)				
	1	15	30	35	40
CN	5,65 $\pm$ 0,03 <sup>aAB</sup>	5,32 $\pm$ 0,25 <sup>bA</sup>	5,23 $\pm$ 0,06 <sup>aC</sup>	5,34 $\pm$ 0,03 <sup>bDE</sup>	5,54 $\pm$ 0,04 <sup>aBC</sup>
CP	5,62 $\pm$ 0,08 <sup>aAB</sup>	5,48 $\pm$ 0,24 <sup>aA</sup>	5,39 $\pm$ 0,11 <sup>aBC</sup>	5,47 $\pm$ 0,14 <sup>aBCDE</sup>	5,65 $\pm$ 0,19 <sup>aBC</sup>
AC	5,29 $\pm$ 0,12 <sup>aB</sup>	5,38 $\pm$ 0,17 <sup>aA</sup>	5,13 $\pm$ 0,08 <sup>aC</sup>	5,18 $\pm$ 0,08 <sup>aE</sup>	5,40 $\pm$ 0,04 <sup>aC</sup>
EA	5,55 $\pm$ 0,02 <sup>bAB</sup>	5,21 $\pm$ 0,01 <sup>dA</sup>	5,34 $\pm$ 0,01 <sup>cBC</sup>	5,37 $\pm$ 0,02 <sup>cCDE</sup>	5,61 $\pm$ 0,03 <sup>aBC</sup>
AA	5,78 $\pm$ 0,26 <sup>aAB</sup>	5,36 $\pm$ 0,11 <sup>aA</sup>	5,49 $\pm$ 0,19 <sup>aBC</sup>	5,69 $\pm$ 0,15 <sup>aABCD</sup>	5,76 $\pm$ 0,14 <sup>aABC</sup>
LS	5,85 $\pm$ 0,28 <sup>aAB</sup>	5,46 $\pm$ 0,11 <sup>aA</sup>	5,64 $\pm$ 0,17 <sup>aAB</sup>	5,79 $\pm$ 0,14 <sup>aAB</sup>	5,91 $\pm$ 0,11 <sup>aAB</sup>
TL96	5,83 $\pm$ 0,31 <sup>aAB</sup>	5,39 $\pm$ 0,05 <sup>aA</sup>	5,49 $\pm$ 0,20 <sup>aBC</sup>	5,64 $\pm$ 0,20 <sup>aABCD</sup>	5,77 $\pm$ 0,15 <sup>aABC</sup>
LP	6,04 $\leq$ 0,01 <sup>aA</sup>	5,44 $\pm$ 0,03 <sup>cA</sup>	5,90 $\pm$ 0,03 <sup>bA</sup>	5,89 $\pm$ 0,03 <sup>bA</sup>	6,07 $\pm$ 0,06 <sup>aA</sup>

  

Modelagem Matemática				
Tratamento	pH <sub>0</sub>	k <sub>1</sub> (d <sup>-1</sup> )	k <sub>2</sub> (d <sup>-1</sup> )	RMSE
CN	5,658 (0,027)	0,015 (0,001)	0,032 (0,004)	0,0180
CP	5,621 (0,030)	0,008 (0,001)	0,027 (0,004)	0,0198
AC	5,361 (0,110)	0,007 (0,005)	0,021 (0,016)	0,0738
EA	5,578 (0,066)	0,025 (0,006)	0,025 (0,005)	0,0394
AA	5,808 (0,041)	0,029 (0,003)	0,028 (0,003)	0,0243
LS	5,874 (0,018)	0,027 (0,002)	0,029 (0,003)	0,0108
TL96	5,863 (0,008)	0,032 (0,001)	0,027 (0,001)	0,0050
LP	6,082 (0,073)	0,042 (0,007)	0,024 (0,004)	0,0430

Média  $\pm$  desvio padrão. Médias na mesma coluna seguidas pela mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ) para os diferentes tratamentos no mesmo tempo. Médias na mesma linha seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ) para o mesmo tratamento nos diferentes tempos. Tratamentos: CN: Controle Negativo; CP: Controle Positivo; AC: Ácido Cítrico; EA: Extrato de Alecrim; AA: Ácido Ascórbico; LS: Lactato de Sódio; TL96: TARI L96 Forte; LP: Lactato de Potássio.

Com exceção do dia 15 ( $p > 0,05$ ), o tratamento AC apresentou diferença significativa em relação ao LP ( $p < 0,05$ ), resultando em valores de pH mais baixos. Esse resultado pode ser devido à presença de ácido cítrico nesse tratamento, que se origina de três grupos carboxílicos que podem perder um próton em soluções, formando assim um íon citrato e reduzindo o pH do meio<sup>(17)</sup>.

Os resultados da análise de oxidação lipídica (Tabela 4) indicaram um aumento gradual nos valores de TBARS, exceto para os tratamentos CP, EA, LS e LP ( $p > 0,05$ ), ao longo dos 40 dias de armazenamento refrigerado. Os tratamentos CN, AC e AA apresentaram aumento nos valores de TBARS a partir do 30º dia ( $p < 0,05$ ), sem diferenças significativas até o 40º dia ( $p > 0,05$ ). O tratamento TL96 apresentou aumento nos valores de TBARS a partir do 35º dia ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 4.** Valores de TBARS (mg MDA.kg<sup>-1</sup> de amostra) durante o armazenamento refrigerado e "parâmetros ( $\pm$  erro padrão) após ajuste do modelo de Baranyi-Roberts com fase de adaptação.

Tratamento	Tempo (dias)				
	1	15	30	35	40
CN	0,61 $\pm$ 0,10 <sup>bAB</sup>	1,03 $\pm$ 0,38 <sup>bABC</sup>	2,21 $\pm$ 0,38 <sup>aA</sup>	2,44 $\pm$ 0,04 <sup>aAB</sup>	2,53 $\pm$ 0,09 <sup>aAB</sup>
CP	0,54 $\pm$ 0,13 <sup>aAB</sup>	0,65 $\pm$ 0,02 <sup>aBC</sup>	0,83 $\pm$ 0,15 <sup>aB</sup>	0,80 $\pm$ 0,28 <sup>aCD</sup>	0,93 $\pm$ 0,16 <sup>aCD</sup>
AC	0,53 $\pm$ 0,10 <sup>bAB</sup>	0,75 $\pm$ 0,01 <sup>bBC</sup>	2,16 $\pm$ 0,96 <sup>abA</sup>	2,80 $\pm$ 0,84 <sup>aA</sup>	2,83 $\pm$ 0,85 <sup>aA</sup>
EA	0,40 $\pm$ 0,01 <sup>aB</sup>	0,42 $\pm$ 0,05 <sup>aC</sup>	0,51 $\pm$ 0,11 <sup>aB</sup>	0,47 $\pm$ 0,09 <sup>dC</sup>	0,47 $\pm$ 0,06 <sup>dC</sup>
AA	0,68 $\pm$ 0,08 <sup>bAB</sup>	0,86 $\pm$ 0,01 <sup>bABC</sup>	1,27 $\pm$ 0,04 <sup>aAB</sup>	1,42 $\pm$ 0,05 <sup>aBCD</sup>	1,45 $\pm$ 0,14 <sup>aBCD</sup>
LS	0,77 $\pm$ 0,26 <sup>aAB</sup>	1,36 $\pm$ 0,34 <sup>aAB</sup>	1,64 $\pm$ 0,62 <sup>aAB</sup>	1,67 $\pm$ 0,54 <sup>aABC</sup>	1,73 $\pm$ 0,59 <sup>aABC</sup>
TL96	1,09 $\pm$ 0,33 <sup>bA</sup>	1,74 $\pm$ 0,26 <sup>abA</sup>	2,12 $\pm$ 0,39 <sup>abA</sup>	2,30 $\pm$ 0,44 <sup>aAB</sup>	2,44 $\pm$ 0,64 <sup>aAB</sup>
LP	0,43 $\pm$ 0,07 <sup>aAB</sup>	0,49 $\pm$ 0,01 <sup>aBC</sup>	0,59 $\pm$ 0,16 <sup>aB</sup>	0,70 $\pm$ 0,04 <sup>aCD</sup>	0,70 $\pm$ 0,24 <sup>aCD</sup>

  

Modelagem Matemática					
Tratamento	$\lambda$ (d)	$\mu_{max}$ (mg MDA/kg/dia)	TBARS <sub>0</sub> (mg MDA/kg)	TBARS <sub>m</sub> (mg MDA/kg)	RMSE (mg MDA/kg)
CN	20,29 (9,47)	0,12 (0,15)	0,43 (0,05)	0,80 (0,32)	0,0196
CP	22,29 (52,71)	0,03 (0,05)	0,53 (0,07)	8,07 (1,32E7)	0,0290
AC	17,64 (4,26)	0,33 (0,10)	0,56 (0,15)	2,95 (0,21)	0,0685
EA	15,82 (1,21E6)	1,29 (1,89E6)	0,40 (0,03)	0,48 (0,02)	0,0146
AA	17,16 (2,15)	0,15 (0,03)	0,68 (0,03)	1,54 (0,08)	0,0148
LS	-17,52 (25,82)	0,07 (0,04)	0,69 (0,03)	1,84 (0,14)	0,0078
TL96	-22,47 (21,76)	0,05 (0,02)	1,02 (0,07)	10,25 (1,20E7)	0,0228
LP	26,29 (9,47)	0,12 (0,15)	0,43 (0,05)	0,80 (0,32)	0,0196

Média  $\pm$  desvio padrão. Médias na mesma coluna seguidas pela mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ) para os diferentes tratamentos no mesmo tempo. Médias na mesma linha seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ) para o mesmo tratamento nos diferentes tempos. Tratamentos: CN: Controle Negativo; CP: Controle Positivo; AC: Ácido Cítrico; EA: Extrato de Alecrim; AA: Ácido Ascórbico; LS: Lactato de Sódio; TL96: TARI L96 Forte; LP: Lactato de Potássio.

Durante o armazenamento refrigerado (0 a 4 °C), a oxidação de lipídios e proteínas ocorre devido à presença de ácidos graxos insaturados e alta concentração de proteínas, e exposição à luz<sup>(18)</sup>, que desencadeia a formação de aldeídos e cetonas. Os aldeídos estão intimamente associados à deterioração da cor e do sabor da carne, bem como à perda da estabilidade e funcionalidade da proteína<sup>(19)</sup>. A quantidade de malonaldeído formada durante o processo (Tabela 4) resultou em valores de TBARS superiores a 2,0 mg MDA por kg para os tratamentos CN, AC (dia 30) e TL96 (dia 35), que é o limiar de detecção da oxidação lipídica<sup>(14)</sup>.

A ausência de eritorbato de sódio no CN alterou a estabilidade oxidativa deste tratamento, levando a um aumento ao longo do armazenamento. Este comportamento se deve à atuação deste ingrediente, extinguindo o oxigênio singlete, doando átomos de hidrogênio e atuando como agente redutor, retardando assim a oxidação lipídica<sup>(20)</sup>. Por sua vez, o tratamento CP contendo eritorbato de sódio apresentou valores de TBARS menores durante o armazenamento quando comparado ao CN.

Os antioxidantes são classificados de acordo com seu mecanismo de ação e, portanto, apresentam diferentes funções inibitórias dentro de cada matriz alimentar<sup>(20)</sup>. Efeitos positivos na redução dos valores de oxidação lipídica quando utilizado ácido cítrico na formulação de linguiças foram observados por Fell *et al.*<sup>(21)</sup>, mas ao analisar este estudo (Tabela 4), o uso de ácido cítrico em AC e TL96, juntamente com eritorbato de sódio, não apresentou efeito sinérgico na desaceleração da oxidação lipídica em linguiças frescas.

Ao longo dos 40 dias de armazenamento, o tratamento EA apresentou o menor aumento na oxidação lipídica (Tabela 4) em comparação com todos os tratamentos. Schilling *et al.*<sup>(22)</sup> e Sun *et al.*<sup>(23)</sup> também obtiveram efeitos promissores em seus estudos na redução dos valores de TBARS com a aplicação de extrato de alecrim em amostras de linguiça fresca de porco e linguiça de frango, respectivamente. Em geral, os extratos vegetais possuem potenciais atividades antioxidantes, que se devem, em grande parte, à presença de compostos fenólicos<sup>(24)</sup>.

### 3.3 Análise microbiológica

Observou-se um aumento na contagem de bactérias ácido lácticas (BAL) (Tabela 5) das linguiças frescas em todos os tratamentos entre os dias 1 e 15 de armazenamento ( $p < 0,05$ ), seguido de estabilização até o dia 40 ( $p > 0,05$ ), exceto para CP, que apresentou diferenças significativas nas contagens ao longo do armazenamento ( $p < 0,05$ ). Como as BAL fazem parte da microflora natural das linguiças frescas, as bactérias já estavam adaptadas ao ambiente.

No dia 1 após a fabricação, foi observada uma diferença nas contagens de BAL entre os tratamentos AC e LS ( $p < 0,05$ ). Essas diferenças na flora bacteriana nativa inicial são comuns em produtos cárneos<sup>(25)</sup>. No dia 15 de armazenamento, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ). No dia 30, contagens mais baixas de bactérias ácido lácticas (BAL) foram observadas para CN, enquanto contagens mais altas foram observadas para os tratamentos EA e AA ( $p < 0,05$ ), respectivamente. No dia 35, contagens mais baixas foram detectadas em LP e contagens mais altas foram encontradas em AA e LS. No dia 40, contagens mais baixas e mais altas de BAL foram observadas para CP e AC ( $p < 0,05$ ), respectivamente. Embora o tratamento CN não contivesse eritorbato de sódio, ele manteve uma contagem de BAL estável, semelhante à do tratamento CP. Este resultado provavelmente se deve aos dois tratamentos que contêm nitrito e nitrato, substâncias conservantes que impedem ou retardam o crescimento microbiano<sup>(26)</sup>.

**Tabela 5.** Contagens de bactérias ácido lácticas, mesófilas e psicrotróficas durante o armazenamento refrigerado de linguiças frescas.

Tratamento	Tempo ( dias )				
	1	15	30	35	40
<b>Bactérias ácido lácticas (log UFC.g<sup>-1</sup>)</b>					
CN	3,8 ± 0,2 <sup>cAB</sup>	6,9 ± 0,5 <sup>bA</sup>	7,0 ± 0,1 <sup>abF</sup>	7,7 ± 0,1 <sup>aAB</sup>	7,6 ± 0,1 <sup>aBCD</sup>
CP	3,6 ± 0,6 <sup>cAB</sup>	6,7 ± 0,3 <sup>bA</sup>	7,5 ≤ 0,01 <sup>abCDE</sup>	7,7 ≤ 0,01 <sup>aAB</sup>	7,2 ± 0,1 <sup>abD</sup>
AC	4,1 ± 0,3 <sup>bA</sup>	7,2 ± 0,9 <sup>aA</sup>	7,2 ± 0,1 <sup>aEF</sup>	7,2 ± 0,2 <sup>aAB</sup>	7,8 ± 0,1 <sup>aAB</sup>
EA	3,5 ± 0,4 <sup>bAB</sup>	7,3 < 0,0 <sup>aA</sup>	7,9 ± 0,2 <sup>aABC</sup>	7,3 ± 0,6 <sup>aAB</sup>	7,6 ± 0,1 <sup>aBCD</sup>
AA	3,5 ± 0,1 <sup>bAB</sup>	7,5 ± 0,2 <sup>aA</sup>	7,8 ± 0,2 <sup>aABC</sup>	7,8 ± 0,2 <sup>aA</sup>	7,6 ± 0,4 <sup>aBCD</sup>
LS	2,8 ± 0,8 <sup>bb</sup>	7,3 ± 0,2 <sup>aA</sup>	7,3 ± 0,2 <sup>aDEF</sup>	7,9 ± 0,17 <sup>aA</sup>	7,6 ± 0,2 <sup>aBCD</sup>
TL96	3,7 ± 0,1 <sup>cAB</sup>	6,9 ± 0,2 <sup>bA</sup>	7,7 ≤ 0,01 <sup>aBCD</sup>	7,8 ± 0,2 <sup>aAB</sup>	7,6 ± 0,1 <sup>aBC</sup>
LP	4,0 ± 0,1 <sup>bAB</sup>	7,0 ± 0,4 <sup>aA</sup>	7,3 ± 0,1 <sup>aDEF</sup>	6,9 ± 0,7 <sup>aB</sup>	7,3 ± 0,2 <sup>aCD</sup>
<b>Bactérias mesófilas (log UFC.g<sup>-1</sup>)</b>					
CN	4,2 ± 0,4 <sup>bA</sup>	7,0 ± 0,2 <sup>aAB</sup>	7,3 ± 0,2 <sup>aBC</sup>	7,5 ± 0,3 <sup>aBC</sup>	7,6 ± 0,2 <sup>aBC</sup>
CP	4,4 ± 0,3 <sup>dA</sup>	6,8 ± 0,1 <sup>cAB</sup>	7,0 ± 0,2 <sup>aC</sup>	7,5 ≤ 0,01 <sup>abBC</sup>	7,6 ± 0,2 <sup>aBC</sup>
AC	4,0 ± 0,3 <sup>bA</sup>	6,9 ± 0,8 <sup>aAB</sup>	7,4 ± 0,5 <sup>aBC</sup>	6,9 ± 0,3 <sup>aC</sup>	7,7 ± 0,2 <sup>aABC</sup>
EA	4,0 ± 0,2 <sup>cA</sup>	7,2 ± 0,1 <sup>baA</sup>	7,3 ± 0,1 <sup>abBC</sup>	7,1 ± 0,4 <sup>aC</sup>	7,8 ≤ 0,01 <sup>aABC</sup>
AA	4,1 ± 0,2 <sup>cA</sup>	7,3 ≤ 0,01 <sup>baA</sup>	7,7 ± 0,2 <sup>abAB</sup>	8,0 ± 0,2 <sup>aAB</sup>	8,0 ± 0,3 <sup>aAB</sup>
LS	4,0 ± 0,4 <sup>cA</sup>	5,9 ± 0,2 <sup>bBC</sup>	7,8 ± 0,1 <sup>aAB</sup>	8,1 ≤ 0,01 <sup>aAB</sup>	7,8 ± 0,1 <sup>aABC</sup>
TL96	3,8 ± 0,3 <sup>bA</sup>	5,0 ± 1,0 <sup>aC</sup>	7,8 ± 0,1 <sup>aAB</sup>	7,9 ± 0,3 <sup>aAB</sup>	8,0 ± 0,1 <sup>aAB</sup>
LP	3,9 ± 0,1 <sup>bA</sup>	7,1 ± 0,2 <sup>aAB</sup>	6,9 ± 0,1 <sup>aC</sup>	7,1 ± 0,3 <sup>aC</sup>	7,4 ± 0,2 <sup>aC</sup>
<b>Bactérias psicrotróficas (log UFC.g<sup>-1</sup>)</b>					
CN	6,3 ≤ 0,01 <sup>bAB</sup>	7,8 ± 0,3 <sup>aA</sup>	8,0 ± 0,2 <sup>aBC</sup>	8,1 ± 0,1 <sup>aC</sup>	8,1 ≤ 0,01 <sup>aA</sup>
CP	6,4 ≤ 0,01 <sup>cA</sup>	8,1 ≤ 0,01 <sup>aA</sup>	8,2 ≤ 0,01 <sup>aABC</sup>	8,1 ± 0,1 <sup>aC</sup>	8,1 ≤ 0,01 <sup>aA</sup>
AC	6,4 ± 0,5 <sup>bA</sup>	7,8 ± 0,4 <sup>aA</sup>	7,8 ± 0,3 <sup>aC</sup>	8,2 ≤ 0,01 <sup>aC</sup>	8,1 ≤ 0,01 <sup>aA</sup>
EA	6,3 ± 0,1 <sup>cAB</sup>	8,2 ≤ 0,01 <sup>baA</sup>	8,1 ± 0,1 <sup>abABC</sup>	8,1 ≤ 0,01 <sup>aC</sup>	8,4 ± 0,1 <sup>aA</sup>
AA	5,8 ± 0,3 <sup>bABC</sup>	8,4 ± 0,3 <sup>aA</sup>	8,3 ≤ 0,01 <sup>aAB</sup>	8,7 ≤ 0,01 <sup>aA</sup>	8,4 ± 0,2 <sup>aA</sup>
LS	5,6 ± 0,1 <sup>aC</sup>	8,2 ± 0,3 <sup>aA</sup>	8,3 ± 0,1 <sup>aAB</sup>	8,6 ± 0,2 <sup>aAB</sup>	8,6 ± 0,6 <sup>aA</sup>
TL96	5,6 ± 0,2 <sup>bBC</sup>	8,2 ± 0,5 <sup>aA</sup>	8,2 ± 0,1 <sup>aABC</sup>	8,4 ± 0,2 <sup>aABC</sup>	8,1 ± 0,1 <sup>aA</sup>
LP	4,7 ± 0,1 <sup>bD</sup>	8,6 ± 0,2 <sup>aA</sup>	8,4 ± 0,1 <sup>aAB</sup>	8,3 ± 0,2 <sup>aBC</sup>	8,3 ± 0,2 <sup>aA</sup>

Média ± desvio padrão. Médias na mesma coluna seguidas pela mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ) para os diferentes tratamentos no mesmo tempo. Médias na mesma linha seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ) para o mesmo tratamento nos diferentes tempos. Tratamentos: CN: Controle Negativo; CP: Controle Positivo; AC: Ácido Cítrico; EA: Extrato de Alecrim; AA: Ácido Ascórbico; LS: Lactato de Sódio; TL96: TARI L96 Forte; LP: Lactato de Potássio.

As bactérias ácido lácticas (BAL) constituem uma parte substancial da microbiota natural dos produtos cárneos. No entanto, produtos cárneos com contagens superiores a 7 log UFC.g<sup>-1</sup> são inadequados para consumo<sup>(27)</sup>, causando alterações sensoriais, como formação de limo e sabores desagradáveis. Assim, ao estabelecer esse limite microbiológico para a concentração de BAL, as linguiças frescas de todos os tratamentos se tornariam inadequadas para consumo a partir do 15º dia de armazenamento.

Em relação às contagens de bactérias mesófilas (Tabela 5), houve aumento nas contagens de células para todos os tratamentos ( $p < 0,05$ ), seguido de estabilização a partir do dia 15 para CN, AC e LP ( $p > 0,05$ ), a partir do dia 30 para AA, LS e TL96 ( $p > 0,05$ ) e a partir do dia 35 para o tratamento CP ( $p > 0,05$ ). A estabilização das contagens mesófilas após o dia 15 para os tratamentos CN, AC e LP, e posteriormente para os demais tratamentos, pode indicar que a microbiota atingiu um ponto em que o ambiente se tornou menos favorável para o crescimento contínuo, seja por depleção de nutrientes, redução do pH ou produção de metabólitos inibitórios pelas BAL<sup>(28)</sup>. Essa observação é relevante porque sugere que o risco

de crescimento exponencial de microrganismos deteriorantes pode ser minimizado. A multiplicação de microrganismos mesófilos é esperada durante o armazenamento de produtos cárneos<sup>(14)</sup>. De acordo com as exigências da Instrução Normativa nº 161<sup>(29)</sup>, o limite máximo aceitável para microrganismos aeróbios mesófilos em linguiça frescal é de 6 log UFC.g<sup>-1</sup>. Valores acima deste limite são indicativos de deterioração microbiana e podem comprometer a segurança e a qualidade do produto, com alterações deteriorativas visíveis na superfície da linguiça<sup>(30)</sup>.

No dia 1, não foram observadas diferenças nas contagens de bactérias mesófilas entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ). No dia 15 de armazenamento, contagens mais baixas foram observadas para TL96, enquanto contagens mais altas foram observadas para EA e AA ( $p < 0,05$ ). No dia 30, contagens mais baixas foram observadas para CP e LP, e contagens mais altas foram encontradas para AA, LS e TL96 ( $p < 0,05$ ). No dia 35, contagens mais baixas foram encontradas para AC, EA e LP, e contagens mais altas para AA, LS e TL96 ( $p < 0,05$ ). Finalmente, no dia 40 de armazenamento, contagens mais baixas de bactérias mesófilas foram observadas para o tratamento LP, enquanto contagens mais altas foram encontradas para AA e TL96 ( $p < 0,05$ ), respectivamente. No geral, o tratamento LP apresentou contagens menores de bactérias mesófilas nos dias 30, 35 e 40 de armazenamento, demonstrando um efeito positivo no crescimento desses microrganismos. Os sais de ácido láctico têm um efeito redutor nas contagens microbiológicas devido ao efeito do íon lactato, que atravessa a membrana celular, resultando em um desequilíbrio intracelular que retarda o crescimento microbiano, potencialmente levando à morte celular<sup>(31)</sup>. O efeito positivo do íon lactato levou a contagens menores de BAL nos dias 1 e 35 para os tratamentos com lactato de sódio (LS) e lactato de potássio (LP), respectivamente, e contagens menores de bactérias psicrotróficas no dia 1 para LP.

O alto crescimento de bactérias mesófilas pode indicar o início do processo de deterioração do produto. No entanto, quando há presença significativa de bactérias ácido-láticas (BAL), esse crescimento deve ser interpretado com cautela. As BAL, embora mesófilas, não estão necessariamente associadas à deterioração sensorial imediata e podem até atuar como bioconservantes<sup>(32)</sup>. Assim, contagens elevadas de mesófilos podem refletir no crescimento de BAL, o que relativiza o risco de deterioração. O crescimento concomitante de BAL com outros microrganismos mesófilos pode comprometer a qualidade do produto, principalmente se houver formação de metabólitos indesejáveis ou alteração sensorial (como odores e sabores ácidos ou amargos). Além disso, mesmo com contagem elevada de BAL, a falta de controle sobre outras populações microbianas pode permitir o crescimento paralelo de microrganismos patogênicos ou alteradores específicos, desde que as condições ambientais favoreçam sua multiplicação.

Bactérias psicrotróficas constituem uma parte importante da população microbiana em produtos cárneos embalados a vácuo, e seu crescimento em níveis elevados pode causar alterações sensoriais adversas, como aromas ácidos e indesejáveis, e deterioração em alimentos refrigerados. Todos os tratamentos apresentaram aumento na contagem de bactérias psicrotróficas (Tabela 5) dos dias 1 a 15 de armazenamento ( $p < 0,05$ ), seguido de estabilização até o dia 40 ( $p > 0,05$ ), exceto o tratamento EA, que apresentou aumento na contagem de bactérias psicrotróficas no dia 40 ( $p < 0,05$ ). Schilling *et al.*<sup>(22)</sup> ao estudar o efeito de extratos de alecrim e chá verde em linguiça de porco fresca, observaram após 14 dias de armazenamento níveis de bactérias psicrotróficas acima de 7 log UFC.g<sup>-1</sup>, com tendência crescente observada nas amostras ao final do período de armazenamento (21 dias), com valores de contagem superiores a 8 log UFC.g<sup>-1</sup>.

No primeiro dia de armazenamento, foram encontradas contagens mais altas para os tratamentos CP e AC, e contagens mais baixas foram observadas para LP ( $p < 0,05$ ). No dia 15 de armazenamento, não há diferença entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ). No dia 30, foram obtidas contagens mais baixas para AC, e contagens mais altas foram observadas para AA, LS e LP ( $p < 0,05$ ). No dia 35, foram obtidas contagens mais baixas para CN, CP, AC e EA, e contagens mais altas para AA ( $p < 0,05$ ). Finalmente, no dia 40, os tratamentos não diferiram entre si ( $p > 0,05$ ), com contagens acima de  $8 \log \text{UFC.g}^{-1}$ .

O efeito antimicrobiano do ácido cítrico se deve à sua atividade acidificante. A redução do pH pode levar a uma maior concentração de ácido protonado, diminuindo a polaridade da molécula e aumentando a difusão do ácido através da membrana celular e do citoplasma<sup>(33)</sup>. Além disso, a eficácia antimicrobiana do ácido cítrico é potencializada por sua atividade quelante de metais, como com íons  $\text{Ca}^{+2}$ <sup>(33)</sup>.

Sabe-se que a maioria dos alimentos pode apresentar contagens microbianas superiores a  $10^6 \text{ UFC.g}^{-1}$  quando a biomassa é grande o suficiente para que a deterioração seja perceptível pelos consumidores<sup>(34)</sup>, indicando que, quanto ao crescimento bacteriano, as linguiças frescas embaladas a vácuo podem apresentar alterações sensoriais detectáveis após 30 dias de armazenamento refrigerado.

Para a pesquisa de *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* e *estafilococos coagulase-positivos*, todas as linguiças frescas atenderam aos padrões da Instrução Normativa 60<sup>(10)</sup> que estabelece ausência, menor que  $10^2 \log \text{UFC.g}^{-1}$  e menor que  $10 \log \text{UFC.g}^{-1}$ , respectivamente, portanto as amostras deste estudo foram adequadas para avaliação sensorial. Ressalta-se que a avaliação sensorial foi realizada nos três primeiros dias de produção das amostras, período em que as contagens de bactérias mesófilas, bactérias ácido lácticas e microrganismos psicrotróficos permaneceram abaixo do limite de  $6 \log \text{UFC.g}^{-1}$ , garantindo a adequação e segurança do produto para os testes sensoriais, sem representar risco aos avaliadores ou comprometer a aceitabilidade do produto.

### 3.4 Modelagem matemática

Os resultados da modelagem matemática (Tabela 6) mostraram que quanto menor a taxa de crescimento ( $\mu_{\max}$ ), mais lento o aumento nas contagens de BAL, o que representa uma vida útil mais longa para linguiças frescas. Assim, os tratamentos CN, CP e TL96 apresentaram menores taxas de crescimento (0,53), enquanto LS, AA e EA apresentaram maiores taxas de crescimento (0,80, 0,71 e 0,66, respectivamente). Vale ressaltar que, em relação as BAL (Tabela 5), os tratamentos CN e CP apresentaram menores contagens nos dias 30 e 35 de armazenamento, respectivamente.

Em relação aos microrganismos mesófilos (Tabela 6), menores taxas de crescimento foram obtidas para os tratamentos TL96, LS e CP (0,32, 0,33 e 0,42, respectivamente), enquanto LP, EA e AA (0,65, 0,62 e 0,54, respectivamente) apresentaram as maiores contagens de mesófilos. Por fim, contagens menores foram observadas para TL96 no 15º dia de armazenamento, quando comparado aos demais tratamentos.

A modelagem matemática da taxa de crescimento de bactérias BAL e mesófilas mostrou que o tratamento TL96 apresentou menores taxas de crescimento para ambos os microrganismos. Este resultado é provavelmente devido ao efeito combinado dos ácidos orgânicos usados no tratamento. O ácido acético e o ácido láctico, que compõem a mistura TL96, atuam sinergicamente e esta sinergia é potencializada pelo alto valor de  $\text{pKa}$  (constante de dissociação) do ácido acético<sup>(33)</sup>. O efeito

antimicrobiano dos ácidos está relacionado ao valor de pKa de cada ácido. Este evento é devido ao acúmulo do ânion ácido, que é o principal agente na inibição das células bacterianas. Portanto, a eficácia do tratamento TL96 em retardar o crescimento bacteriano é melhorada pela ação conjunta do ácido acético e láctico, especialmente sob condições em que o pH do alimento é suficientemente baixo para maximizar a atividade antimicrobiana dos ácidos. Embora os dados experimentais obtidos não tenham demonstrado redução significativa ( $p > 0,05$ ) no crescimento microbiológico para o tratamento TL96, especialmente para microrganismos mesófilos (Tabela 5), sua escolha para análise sensorial foi, de fato, baseada em seu bom desempenho na modelagem matemática (com menor taxa de crescimento).

Em relação às bactérias psicrotróficas (Tabela 6), taxas de crescimento mais baixas foram observadas para AC, CN e EA (0,28, 0,30 e 0,45, respectivamente), enquanto contagens mais altas foram observadas para LP, TL96 e AA (0,77, 0,55 e 0,55, respectivamente). Vale ressaltar que o tratamento AC apresentou as menores contagens de bactérias psicrotróficas no 30º dia, juntamente com o tratamento CN, no 35º dia (Tabela 5).

**Tabela 6.** Resultados e respectivos erros padrão após ajuste do modelo de Baranyi-Roberts sem adaptação para bactérias ácido lácticas, bactérias mesófilas e bactérias psicrotróficas.

Tratamento	Modelagem Matemática			
	$\mu_{\max}$ (log UFC/d)	log $N_0$ (log UFC)	log $N_{\max}$ (log UFC)	RMSE (log UFC)
<b>Bactérias ácido lácticas</b>				
CN	0,53 (0,11)	3,56 (0,40)	7,44 (0,21)	0,2349
CP	0,53 (0,07)	3,37 (0,28)	7,46 (0,15)	0,1636
AC	0,57 (0,17)	3,84 (0,40)	7,39 (0,21)	0,2338
EA	0,66 (0,10)	3,24 (0,29)	7,61 (0,15)	0,1679
AA	0,71 (0,05)	3,15 (0,14)	7,73 (0,07)	0,0806
LS	0,80 (0,12)	2,48 (0,31)	7,60 (0,16)	0,1789
TL96	0,53 (0,02)	3,45 (0,07)	7,68 (0,04)	0,0384
LP	0,58 (0,15)	3,74 (0,27)	7,17 (0,14)	0,1532
<b>Bactérias Mesófilas</b>				
CN	0,50 (0,03)	3,97 (0,12)	7,50 (0,06)	0,0698
CP	0,42 (0,09)	4,20 (0,35)	7,37 (0,19)	0,2061
AC	0,49 (0,12)	3,83 (0,42)	7,34 (0,23)	0,2469
EA	0,62 (0,19)	3,72 (0,35)	7,40 (0,18)	0,2017
AA	0,54 (0,05)	3,85 (0,19)	7,91 (0,10)	0,1132
LS	0,33 (0,04)	3,80 (0,20)	8,01 (0,16)	0,1266
TL96	0,32 (0,06)	3,44 (0,47)	8,13 (0,56)	0,3076
LP	0,65 (0,32)	3,65 (0,31)	7,13 (0,15)	0,1636
<b>Bactérias psicrotróficas</b>				
CN	0,30 (0,02)	6,16 (0,07)	8,07 (0,04)	0,0384
CP	0,54 (0,31)	6,15 (0,14)	8,14 (0,03)	0,0312
AC	0,28 (0,07)	6,28 (0,19)	8,05 (0,10)	0,1118
EA	0,45 (0,21)	6,12 (0,18)	8,21 (0,09)	0,0936
AA	0,54 (0,20)	5,54 (0,24)	8,45 (0,12)	0,1342
LS	0,50 (0,07)	5,33 (0,17)	8,47 (0,09)	0,0968
TL96	0,55 (0,17)	5,40 (0,17)	8,23 (0,08)	0,0886
LP	0,77 (0,74)	4,41 (0,69)	8,65 (0,33)	0,3583

Tratamentos: CN: Controle Negativo; CP: Controle Positivo; AC: Ácido Cítrico; EA: Extrato de Alecrim; AA: Ácido Ascórbico; LS: Lactato de Sódio; TL96: TARI L96 Forte; LP: Lactato de Potássio.

Em geral, embora a adição de diferentes ingredientes não tenha tido efeito significativo na população final de BAL, mesófilos e psicrotróficos, foi observada uma redução na taxa de crescimento, principalmente para o tratamento TL96. A taxa de crescimento indica a taxa na qual o número de células aumenta ao longo do tempo (dias), e espera-se que quanto menor a taxa, mais lentamente os microrganismos se desenvolvam durante as fases de latência e exponencial. No desenvolvimento microbiano, as fases de latência e exponencial são de maior interesse, uma vez que, para a maioria dos alimentos, a deterioração ocorre antes que os microrganismos atinjam a fase estacionária<sup>(35)</sup>.

Em relação à oxidação lipídica (Tabela 4), quanto maior o valor de  $\lambda$ , maior a fase de adaptação dos valores de TBARS, pois indica o tempo necessário para aumentar a oxidação lipídica (semelhante à duração da fase *lag* no crescimento microbiano). O maior valor de  $\lambda$  foi observado para o tratamento LP, indicando um atraso no início do processo oxidativo, ou seja, retarda a oxidação lipídica das linguiças frescas. Por sua vez, os menores valores encontrados para TL96 indicaram que o processo oxidativo iniciou mais cedo quando comparado às amostras contendo os outros ingredientes.

Quanto menor a taxa máxima de crescimento ( $\mu_{\max}$ ) (Tabela 4), mais lento o aumento de TBARS. As menores taxas foram obtidas para os tratamentos CP e TL96 (0,03 e 0,05, respectivamente), indicando que esses ingredientes contribuíram para a redução da oxidação lipídica, o que é benéfico para a vida útil de linguiças frescas. Em contraste, valores maiores foram observados para EA e AC (1,29 e 0,33, respectivamente), indicando que linguiças frescas feitas com esses ingredientes oxidam mais rapidamente. O uso de eritorbato de sódio sozinho (CP) e em combinação com ácidos orgânicos (TL96) mostrou-se eficaz em retardar a oxidação lipídica. Esse resultado se deve à capacidade dos ácidos orgânicos de atuarem como antioxidantes, neutralizando íons metálicos pró-oxidantes, como ferro e cobre, por meio da quelação. Além disso, o ácido cítrico, presente no TL96, atuou em sinergia como um potencializador, melhorando a estabilidade tanto dos agentes antioxidantes primários quanto dos glóbulos de gordura por acidificação do ambiente<sup>(36)</sup>.

Os índices estatísticos após os ajustes apresentaram altos desvios-padrão, indicando resultados insatisfatórios para alguns conjuntos de dados, como o extrato de alecrim, com desvios de  $1,21 \times 10^6$  ( $\lambda = 15,82$ ) e  $1,89 \times 10^6$  ( $\mu_{\max} = 1,29$ ). Embora a modelagem matemática não tenha se ajustado bem aos dados experimentais, os resultados do TBARS no tratamento EA (Tabela 4) mostraram que a adição de extratos de alecrim juntamente com eritorbato de sódio levou a um menor aumento na oxidação lipídica nas linguiças frescas.

As constantes de velocidade  $k_1$  e  $k_2$  (Tabela 3) indicaram uma diminuição e um aumento nas unidades de pH, respectivamente, ao longo do tempo (dias), visto que uma redução de pH foi observada durante o armazenamento, seguida de um aumento (ver Seção 3.2). Quanto menor o valor dessas constantes, mais lentas as variações de pH. Em relação aos diferentes tratamentos (Tabela 3), o tratamento AC apresentou as constantes  $k_1$  e  $k_2$  mais baixas, indicando uma diminuição e um aumento lento de pH.

Monteiro et al.<sup>(37)</sup> relataram que os valores regulares de pH para produtos cárneos e embutidos não devem ser inferiores a 5,5 para evitar sabores indesejáveis, descoloração, produção de gases, inchaço da embalagem e coloração esverdeada. Por sua vez, valores elevados de pH refletem o grau de deterioração da amostra, devido ao aumento da população de microrganismos produtores de amônia, o que eleva o pH do ambiente. No entanto, a maioria dos autores considera a população de bactérias ácido lácticas como um indicador mais confiável da vida útil de embutidos frescos do que as variações de pH.

Os resultados da modelagem matemática do crescimento microbiano, TBARS e pH mostraram que o tratamento TL96 foi promissor para prolongar a vida útil de linguiças frescas.

### 3.5 Análise sensorial das linguiças frescas

A análise dos resultados da caracterização físico-química, análises microbiológicas e modelagem matemática permitiu a seleção dos tratamentos com os melhores desempenhos para a análise sensorial. Os tratamentos EA e LP demonstraram um efeito promissor na redução dos valores de TBARS ao longo do período analisado. Os dados experimentais obtidos na análise microbiológica não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos, dificultando a identificação de um tratamento com desempenho microbiológico superior com base apenas em dados empíricos. Portanto, os resultados da modelagem matemática foram considerados como uma ferramenta complementar na seleção do tratamento TL96 para a análise sensorial. O modelo indicou que o tratamento TL96 apresentou menores taxas de crescimento microbiano ao longo do tempo. Portanto, esses tratamentos (EA, LP e TL96) foram selecionados para a avaliação sensorial em comparação ao tratamento controle (CP).

Embora não tenham sido observadas diferenças significativas para os atributos cor, aparência, aroma e textura das amostras (Tabela 7) ( $p > 0,05$ ), pontuações mais baixas ( $< 7,00$ ) foram obtidas para cor e aparência em todos os tratamentos, com pontuações indicando "amostras sem cor característica" e "melhoraria a aparência". Esse resultado provavelmente se deve à etapa de preparo, uma vez que as amostras foram embaladas em papel alumínio e pareciam cozidas, perdendo parte da cor e aparência esperadas (dados dos parâmetros de cor instrumental não apresentados).

**Tabela 7.** Atributos sensoriais e intenção de compra das linguiças frescas.

Atributos	Tratamentos			
	CP	EA	TL96	LP
Cor	5,92 ± 1,52 <sup>A</sup>	6,13 ± 1,67 <sup>A</sup>	6,52 ± 1,60 <sup>A</sup>	6,45 ± 1,47 <sup>A</sup>
Aparência	6,40 ± 1,52 <sup>A</sup>	6,45 ± 1,62 <sup>A</sup>	6,87 ± 1,44 <sup>A</sup>	6,75 ± 1,26 <sup>A</sup>
Aroma	6,45 ± 1,80 <sup>A</sup>	6,72 ± 1,84 <sup>A</sup>	6,68 ± 1,65 <sup>A</sup>	7,02 ± 1,51 <sup>A</sup>
Sabor	6,97 ± 1,81 <sup>B</sup>	6,98 ± 1,83 <sup>B</sup>	7,15 ± 1,66 <sup>AB</sup>	7,77 ± 0,93 <sup>A</sup>
Textura	7,23 ± 1,42 <sup>A</sup>	7,02 ± 1,73 <sup>A</sup>	7,30 ± 1,49 <sup>A</sup>	7,28 ± 1,34 <sup>A</sup>
Impressão geral	6,85 ± 1,63 <sup>A</sup>	6,77 ± 1,79 <sup>A</sup>	6,85 ± 1,74 <sup>A</sup>	7,13 ± 1,47 <sup>A</sup>
<b>Intenção de compra</b>	<b>3,37 ± 1,63<sup>A</sup></b>	<b>3,50 ± 1,26<sup>A</sup></b>	<b>3,67 ± 1,16<sup>A</sup></b>	<b>3,85 ± 0,90<sup>A</sup></b>

Média ± desvio padrão. Médias na mesma linha seguidas pela mesma letra maiúscula não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ) para os diferentes tratamentos. Tratamentos: CP: Controle Positivo; EA: Extrato de Alecrim; TL96: TARI L96 Forte; LP: Lactato de Potássio.

Além disso, não foram observadas diferenças significativas na aceitação geral e na intenção de compra entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ) (Tabela 7). Portanto, a adição de extrato de alecrim (EA), da mistura de ácidos orgânicos (TL96) e do lactato de potássio (LP) não alterou as características sensoriais das linguiças frescas quando comparadas ao tratamento controle, elaborado com eritorbato de sódio (CP).

## 4. Conclusão

Os tratamentos eritorbato de sódio e TARI L 96 Forte apresentaram aumento mais lento nos valores de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico, conforme indicado pela modelagem matemática, sugerindo que o uso tanto do lactato de potássio quanto da mistura de ácidos orgânicos como

ingredientes tecnológicos em linguiças frescas contribuiu para a inibição e/ou redução da oxidação lipídica. Em relação ao crescimento microbiano, nenhum tratamento foi eficaz na redução das contagens de bactérias ácido lácticas, mesófilas e psicrotróficas, portanto, os ingredientes tecnológicos nas proporções utilizadas neste estudo não conseguiram inibir o crescimento bacteriano. Não foi observada diferença entre os tratamentos eritorbato de sódio, extrato de alecrim, TARI L 96 Forte e lactato de potássio do ponto de vista sensorial para os atributos cor, aparência, aroma e textura, enquanto pontuações mais altas foram encontradas para o atributo sabor do lactato de potássio. Além disso, não houve diferença significativa na impressão geral e na intenção de compra entre os tratamentos. Embora o uso da mistura de ácidos orgânicos (TL96) e lactato de potássio (PL) não tenha sido eficaz na redução do crescimento bacteriano, eles apresentaram um efeito promissor na manutenção da segurança e da qualidade de linguiças frescas, retardando a oxidação lipídica e estabilizando o pH sem afetar os atributos sensoriais, podendo ser utilizados como ingredientes tecnológicos na indústria cárnea. Estudos adicionais com tempos de armazenamento mais curtos são necessários para avaliar as características físico-químicas e microbiológicas das linguiças em intervalos mais curtos, visando avaliar o comportamento desses ingredientes nos estágios iniciais de armazenamento das linguiças frescas.

#### Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflitos de interesses.

#### Declaração de disponibilidade de dados

Os dados serão fornecidos mediante solicitação.

#### Contribuições do autor

Conceitualização: A. M. P Amaral, G. A. R. Sehn e D. Cavalheiro. Investigações: A. M. P Amaral, E. M. Amorim, E. G. S. Carmo, J. V. P. Santos, M. T. Canova e P. A. Dalan. Metodologia: A. M. P Amaral, L. S. Moroni, G. A. R. Sehn e D. Cavalheiro. Análise formal: A. M. P Amaral, E. M. Amorim, E. G. S. Carmo, J. V. P. Santos, M. T. Canova e P. A. Dalan. Curadoria de dados: A. M. P Amaral e W. S. Robazza. Validação: A. M. P Amaral, E. M. Amorim; E. G. S. Carmo; J. V. P. Santos; M. T. Canova e P. A. Dalan. Supervisão: G. A. R. Sehn e D. Cavalheiro. Redação (rascunho original): A. M. P Amaral, G. A. R. Sehn e D. Cavalheiro. Redação (revisão e edição): A. M. P Amaral, L. Bettanin, G. A. R. Sehn e D. Cavalheiro.

#### Referências

1. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food Outlook – Biannual report on global food markets. 2023. <https://doi.org/10.4060/cc3020en>. Acesso 25 junho 2024.
2. Purslow PP, Zhang W. Introduction to the special issue of meat science on 'perspectives on consumer attitudes to meat consumption'. Meat Sci. 2022; 193: 108956p. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108956>.
3. de Carvalho FAL, Munekata PES, Oliveira AL, et al. Turmeric (*Curcuma longa L.*) extract on oxidative stability, physicochemical and sensory properties of fresh lamb sausage with fat replacement by tiger nut (*Cyperus esculentus L.*) oil. Food Res Int. 2020; 136:109487p. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109487>.
4. Oliveira RF, Henry FC, Valle F, et al. Effect of the fruit aqueous extract of Brazilian pepper tree (*Schinus terebinthifolius, Raddi*) on selected quality parameters of frozen fresh pork sausage. J Agric Food Res. 2020; 2:100055p. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100055>.
5. Šojić B, Pavlić B, Tomović V, et al. Essential oil versus supercritical fluid extracts of winter savory (*Satureja montana L.*) – Assessment of the oxidative, microbiological and sensory quality of fresh pork sausages. Food Chem. 2019; 287:280–286p. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.137>.
6. Paglarini CS, Vidal VAS, Neri-Numa IA, et al. Effect of commercial plant extracts on the oxidative stability of mechanically deboned poultry meat during chilled storage. Food Res Int. 2023; 164: 112358p. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112358>.
7. Molina RE, Bohrer BM, Mejia SMV. Phosphate alternatives for meat processing and challenges for the industry: A critical review. Food Res Int. 2023; 166. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112624>.

8. AOAC. Official Methods of analysis of AOAC International. Association of Official Analytical Chemists, 20th. Washington, DC; 2016.
9. Jo C, Ahn DU. Fluorometric Analysis of 2-Thiobarbituric Acid Reactive Substances in Turkey. Poult Sci. 1998; 77(3):475–480p. <https://doi.org/10.1093/ps/77.3.475>.
10. BRASIL. Estabelece as listas de padrões microbiológicos para alimentos. Agência Nacional de Vigilância Sanitária: Instrução Normativa nº. 60; 2019. [http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/4660474/%284%29IN\\_60\\_2019\\_COMP.pdf/14f20961-7d4a-481e-bb0c-8f90a46861d3](http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/4660474/%284%29IN_60_2019_COMP.pdf/14f20961-7d4a-481e-bb0c-8f90a46861d3). Acesso 05 Fevereiro 2024.
11. Baranyi J, Roberts TA, McClure P. A non-autonomous differential equation to model bacterial growth. Food Microbiol. 1993; 10(1):43–59p. <https://doi.org/10.1006/fmic.1993.1005>.
12. Humpheson L, Adams MR, Anderson WA, et al. Biphasic thermal inactivation kinetics in *Salmonella enteritidis* PT4. Appl Environ Microbiol. 1998; 64(2):459–464p. <https://doi.org/10.1128/aem.64.2.459-464.1998>.
13. BRASIL. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Linguiça. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento: Instrução Normativa nº. 4; 2000. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/defesa-agropecuaria/suasa/regulamentos-tecnicos-de-identidade-e-qualidade-de-produtos-de-origem-animal-1>. Acesso 07 Fevereiro 2024.
14. Bis-Souza CV, Penna ALB, da Silva Barreto AC. Applicability of potentially probiotic *Lactobacillus casei* in low-fat Italian type salami with added fructooligosaccharides: in vitro screening and technological evaluation. Meat Sci. 2020; 168:108186p. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108186>.
15. Totaro MP, Difonzo G, Pasqualone A, et al. Physicochemical properties and sensory features of ripened, industrially prepared sausages, enriched with olive leaf extract to replace nitrite and nitrate. Lwt. 2024; 196:115852p. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115852>.
16. Honrado A, Aínsa A, Marquina PL, et al. Low-fat fresh sausage from rabbit meat: An alternative to traditional rabbit consumption. Meat Sci. 2022; 194:1–10p. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108973>.
17. Kluge RA, Geerdink GM, Tezotto-Uliana JV, et al. Qualidade de pimentões amarelos minimamente processados tratados com antioxidantes. Semin Cienc Agrar. 2014; 35(2):801–811p. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n2p801>.
18. Tran TTT, Ton NMN, Nguyen TT, et al. Application of natural antioxidant extract from guava leaves (*Psidium guajava L.*) in fresh pork sausage. Meat Sci. 2020; 165:108106p. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108106>.
19. Wang Z, He Z, Emara AM, et al. Effects of malondialdehyde as a byproduct of lipid oxidation on protein oxidation in rabbit meat. Food Chem. 2019; 288:405–412p. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.126>.
20. Sveinsdóttir HI, Karlsdóttir MG, Arason S, et al. Effect of antioxidants on the sensory quality and physicochemical stability of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) fillets during frozen storage. Food Chem. 2020; 321:126744p. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126744>.
21. Fell EL, Brum LM, Nicoletti E, et al. Nisin or organic acid salt mixtures for the Calabrese-type sausages in industrial-scale production. BJFT. 2024; e202306. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.06123>.
22. Schilling MW, Pham AJ, Williams JB, et al. Changes in the physicochemical, microbial, and sensory characteristics of fresh pork sausage containing rosemary and green tea extracts during retail display. Meat Sci. 2028; 143:199–209. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.05.009>.
23. Sun K, Wang S, Ge Q, et al. Antimicrobial and preservative effects of the combinations of nisin, tea polyphenols, rosemary extract, and chitosan on pasteurized chicken sausage. J. Food Prot. 2021; 84(2):233–239. <https://doi.org/10.4315/JFP-20-240>.
24. Sahin S, Samli R, Birteks Z, et al. Solvent-free microwave-assisted extraction of polyphenols from olive tree leaves: Antioxidant and antimicrobial properties. Molecules. 2017; 22(7). <https://doi.org/10.3390/molecules22071056>.
25. Paparella A, Mazzarrino G, Chaves-López C, et al. Chitosan boosts the antimicrobial activity of *Origanum vulgare* essential oil in modified atmosphere packaged pork. Food Microbiol. 2016; 59:23–31p. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.05.007>.
26. Iamarino LZ, Oliveira MC, Antunes MM, et al. Nitrito e nitratos em produtos cárneos enlatados e/ou embutidos. Gestão em Foco. 2015; 7:246–251p. Disponível: [https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/06/22nitritos\\_nitratos.pdf](https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/06/22nitritos_nitratos.pdf).
27. Sukumaran AT, Holtcamp AJ, Englishbey AK, et al. Effect of deboning time on the growth of *Salmonella*, *E. coli*, aerobic, and lactic acid bacteria during beef sausage processing and storage. Meat Sci. 2018; 139:49–55p. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.01.012>.
28. Fidan H, Esatbeyoglu T, Simat V, et al. Recent developments of Lactic acid bacteria and their metabolites on foodborne pathogens and spoilage bacteria: Facts and gaps. Food Biosci. 2022; 47:101741. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101741>.

29. Brasil. (2022). ANVISA - Instrução Normativa - IN No 161, de 1º de julho de 2022. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-161-de-1-de-julho-de-2022-413366880>.

30. Souza AS, Borges CD, Radünz M, et al. Encapsulation of thyme essential oil (*Thymus vulgaris*) in chia mucilage (*Salvia hispanica* L.) and its application in fresh pork sausage. *Int. J. Biol. Macromol.* 2025; 285:138284. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.138284>.

31. Shelef LA. Antimicrobial effects of lactates: A review. *J Food Prot.* 1994; 57(5):445–450p. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-57.5.445>.

32. Jung JH, Kim SJ, Lee JY, et al. Multifunctional properties of *Lactobacillus plantarum* strains WiKim83 and WiKim87 as a starter culture for fermented food. *Food sci. nutr.* 2019; 7(8):2505-2516. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1075>.

33. Mani-López E, García HS, López-Malo A. Organic acids as antimicrobials to control *Salmonella* in meat and poultry products. *Food Res Int.* 2012; 45(2):713–721p. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.043>.

34. Horita CN, Farías-Campomanes AM, Barbosa TS, et al. The antimicrobial, antioxidant and sensory properties of garlic and its derivatives in Brazilian low-sodium frankfurters along shelf-life. *Food Res Int.* 2016; 84:1–8p. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.02.006>.

35. Robazza WS, Teleken JT, Gomes GA. Modelagem Matemática do Crescimento de Microrganismos em Alimentos. *TEMA - Tendências Em Matemática Aplicada e Computacional.* 2010; 11(1):101–110p. <https://doi.org/10.5540/tema.2010.011.01.0101>.

36. Alves JB, Valdiviezo MJ, Silva CA da, et al. O outro lado dos ácidos orgânicos e fitogênicos. *Pubvet.* 2021; 15(6):1–8p. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v15n06a837.1-8>.

37. Monteiro GM, Souza XR, Costa DPB, et al. Partial substitution of pork fat with canola oil in Toscana sausage. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2017; 44:2–8p. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.013>.