



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Câmpus de São José do Rio Preto

Eloise Soares de Alvarenga

**EFEITOS DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA DE MÉDIA VOLTAGEM  
NA QUEDA INICIAL DO pH E NOS PARÂMETROS DE QUALIDADE  
DURANTE A MATURAÇÃO E NO ARMAZENAMENTO CONGELADO  
DE CARNE DE NELORE**

São José do Rio Preto  
2023

Eloise Soares de Alvarenga

**Efeitos da estimulação elétrica de média voltagem sobre a queda inicial do pH e nos parâmetros de qualidade durante a maturação e no armazenamento congelado de carne de Nelore**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES – Código de Financiamento 001

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Andrea Carla da Silva Barretto

São José do Rio Preto  
2023

A473e

Alvarenga, Eloise Soares de

Efeitos da estimulação elétrica de média voltagem sobre a queda inicial do pH e nos parâmetros de qualidade durante a maturação e no armazenamento congelado de carne de Nelore / Eloise Soares de Alvarenga. -- São José do Rio Preto, 2023

64 f. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientadora: Dra. Andrea Carla da Silva Barretto

1. Tecnologia de alimentos. 2. Carne bovina - indústria. 3. Estimulação elétrica. 4. Maciez da carne bovina. 5. Força de cisalhamento. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Eloise Soares de Alvarenga

**Efeitos da estimulação elétrica de média voltagem sobre a queda inicial do pH e nos parâmetros de qualidade durante a maturação e no armazenamento congelado de carne de Nelore**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES – Código de Financiamento 001

Comissão Examinadora

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Andrea Carla da Silva Barretto  
UNESP – Câmpus de São José do Rio Preto  
Orientador

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Renata Tieko Nassu  
EMBRAPA – Embrapa Pecuária Sudeste - São Carlos

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Fabiane de Souza Costa  
UNILAGO – União das Faculdades dos Grandes Lagos - São José do Rio Preto

São José do Rio Preto  
26 de outubro de 2023

*DEDICO*  
*À Deus, ao mestre Jesus, aos meus pais,*  
*Aloysio (in memoriam) e Luzia Geny (in memoriam) e*  
*às minhas irmãs Mirtes, Miriam e Eliane pelo apoio incondicional.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus por me capacitar, me dar forças e me ajudar a perseverar diante de cada obstáculo encontrado, tornando possível este trabalho;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos da UNESP, câmpus de São José do Rio Preto, pela oportunidade e ensinamentos;

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro;

À Prof<sup>a</sup>. Dra. Andrea Carla da Silva Barretto, pela oportunidade, orientação, ensinamentos, amizade, paciência e respeito ao longo desse trabalho;

Ao Prof. Dr. Róger Darros Barbosa pelo apoio técnico e de recursos laboratoriais;

À empresa Minerva Foods, em especial à Maria Fernanda Isac, pela confiança, parceria e apoio ao meu trabalho;

Aos técnicos dos laboratórios do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos Alana, Luiz e Tania;

Aos meus amigos do laboratório de Tecnologia de Carnes e Derivados, pelo apoio técnico e emocional e que tornaram essa jornada mais leve, Bruna, Danúbia, João Marcos, Elisa, Marcello, Carlos e Jenifer;

Em especial à minha irmã Eliane por ter me acolhido em sua casa durante todo esse tempo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, à qual agradeço.

Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos, se não tiver caridade seria como um bronze sonante, ou como um címbalo retumbante; e mesmo que eu tivesse o dom da profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda ciência; mesmo que tivesse ainda toda a fé possível, até transportar as montanhas, se não tiver caridade eu nada seria.

Paulo de Tarso

(Bíblia, Epístola aos Coríntios, 13, 1 a 2).

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da estimulação elétrica de média tensão em três intensidades (T200 - 200 V (n = 15), T300 - 300 V (n = 15) e T400 - 400 V (n = 13)) no declínio inicial do pH do músculo (*M. longissimus thoracis*) *post-mortem* e nos parâmetros de qualidade da carne bovina de animais Nelore, ao longo do processo de maturação e durante o armazenamento congelado. Foram determinados os parâmetros de cor, perda por cozimento e força de cisalhamento para amostras de carne maturada. A perda por descongelamento, o pH e a oxidação lipídica, foram também analisados durante o armazenamento congelado. O T200 apresentou a maior taxa de declínio do pH na carne. A estimulação elétrica teve um efeito positivo na da qualidade da carne durante o processo de maturação, diminuindo a força de cisalhamento (melhoria da maciez), aumentando os parâmetros  $L^*$  e  $a^*$  e não exercendo influência na perda por cozimento. O pH e a cor diminuíram durante o armazenamento congelado e a força de cisalhamento e a perda por cozimento aumentaram. A oxidação lipídica manteve-se dentro dos padrões aceitáveis (<2,5 mg MDA/kg) durante o armazenamento congelado. A tensão de 200 V demonstrou eficácia em termos de força de cisalhamento e parâmetros de cor para a carne armazenada sob congelamento.

**Palavras-chave:** Maciez da carne. Força de cisalhamento. Cor. Perda por descongelamento. Perda por cocção. Oxidação lipídica.

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the influence of medium voltage electrical stimulation at three different intensities (T200 - 200 V (n = 15), T300 - 300 V (n = 15) and T400 - 400 V (n = 13)) on the initial pH decline in *post-mortem* muscle (*M. longissimus thoracis*) and on the quality parameters of beef from Nellore animals, throughout the aging process and during frozen storage. The colour, cooking loss and shear force parameters for samples of aged beef were determined. Additional parameters, namely thaw loss, pH and lipid oxidation were also analyzed for the frozen storage. T200 exhibited the highest rate of pH decline in the meat. Electrical stimulation had a positive effect on the meat quality during the ageing process, decreasing the shear force (improved tenderness), increasing  $L^*$  and  $a^*$  and had no influence on cooking loss. The pH and colour parameters were decreased at frozen storage and the shear force and cooking loss were increased. Lipid oxidation remained within acceptable standards (<2.5 mg MDA/kg) during frozen storage. The voltage of 200 V proved effective in terms of shear force and colour parameters for meat stored under freezing conditions.

**Keywords:** Meat tenderness. Shear force. Colour. Thaw loss. Cooking loss. Lipid oxidation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estimulador elétrico - Minerva Foods.....	30
Figura 2 - Análises da temperatura e do pH das carcaças.....	31
Figura 3 - Análise de perdas no descongelamento.....	32
Figura 4 - Análise de perdas por cocção.....	34
Figura 5 - Preparo dos cilindros.....	34
Figura 6 - Análise da força de cisalhamento (Maciez).....	35
Gráfico 1 - Queda do pH em relação ao tempo de 24 horas.....	37
Gráfico 2 - Força de cisalhamento em relação a tensão para a carne maturada.....	42
Gráfico 3 - Força de cisalhamento em relação ao tempo para a carne maturada.....	42
Gráfico 4 - Força de cisalhamento em relação a tensão para a carne armazenada sob congelamento.....	49
Gráfico 5 - Força de cisalhamento em relação ao tempo para a carne armazenada sob congelamento.....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios do pH e temperatura das carcaças.....	38
Tabela 2 - Parâmetros de qualidade da carne maturada.....	40
Tabela 3 - Parâmetros de qualidade da carne armazenada sob congelamento.....	47
Tabela 4 - Efeitos da estimulação elétrica em diferentes tensões nos parâmetros de qualidade da carne armazenada sob congelamento.....	48

## LISTA DE SÍMBOLOS

h – Horas

kg – Quilogramas

m – Metro

mg – Miligramas

N – Newton

°C – Graus Célsius

s – Segundo

V – Volt

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	12
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	14
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b>	14
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b>	14
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	15
<b>3.1</b>	<b>Fatores que influenciam a qualidade da carne bovina</b>	15
<b>3.2</b>	<b>Características da qualidade da carne</b>	16
3.2.1	pH	16
3.2.2	Cor	17
3.2.3	Maciez	18
3.2.4	Capacidade de retenção de água	20
3.2.5	Perda por cocção	21
3.2.6	Oxidação lipídica	21
<b>3.3</b>	<b>Fatores que influenciam na maciez da carne</b>	22
<b>3.4</b>	<b>Estimulação elétrica</b>	23
3.4.1	Método de aplicação	25
3.4.2	Mecanismo e efeito sobre o músculo	26
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	29
<b>4.1</b>	<b>Materiais</b>	29
<b>4.2</b>	<b>Preparação das amostras</b>	30
<b>4.3</b>	<b>Métodos</b>	31
4.3.1	Análises nas carcaças	31
4.3.1.1	Temperatura	31
4.3.1.2	pH	31
4.3.2	Análises nas amostras maturadas e congeladas	32
4.3.2.1	Temperatura	32
4.3.2.2	pH	32
4.3.2.3	Perdas no descongelamento	32
4.3.2.4	Cor instrumental	33
4.3.2.5	Perdas por cocção e força de cisalhamento	33
4.3.2.6	Oxidação lipídica	35
4.3.3	Análise estatística	35
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	36
<b>5.1</b>	<b>Declínio do pH e da temperatura das carcaças</b>	36

5.1.1	Declínio do pH.....	36
5.1.2	Declínio da temperatura.....	39
<b>5.2</b>	<b>Parâmetros de qualidade da carne de Nelore durante a maturação .....</b>	<b>39</b>
5.2.1	Força de cisalhamento (Warber – Bratzler).....	41
5.2.2	Perdas por cocção .....	43
5.2.3	Cor.....	43
<b>5.3</b>	<b>Parâmetros de qualidade da carne de Nelore durante o armazenamento sob congelamento.....</b>	<b>46</b>
5.3.1	pH .....	49
5.3.2.	Força de cisalhamento (Warber – Bratzler) – Maciez .....	49
5.3.3	Perdas no descongelamento .....	51
5.3.4	Perdas por cocção .....	51
5.3.5	Oxidação lipídica .....	52
5.3.6	Cor .....	52
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A pecuária brasileira tem confirmado seu protagonismo no mercado mundial de carne bovina. Em 2022, o Brasil atingiu seu recorde no volume de carne bovina exportado em um único ano, alcançando a marca de 2,26 milhões de toneladas vendidas para mais de 150 países, superando as exportações de 2021 por 417 mil toneladas, um crescimento de 22,6%. O faturamento com exportações foi na ordem de US\$ 12,97 bilhões, registrando um aumento de 40,8% em relação a 2021. Desse total, 87,95% foram exportações de carne *in natura*. Em 2022, o abate total de bovinos cresceu 5,28%, totalizando 42,31 milhões de cabeças, sendo 81,98% originados de bovinos não confinados e 18,02% de confinados. O Brasil tem o segundo maior rebanho bovino do mundo, com cerca de 202 milhões de cabeças, o que representa 12,18% do rebanho mundial, sendo também, o segundo maior produtor de carne bovina. O Brasil é o maior exportador de carne bovina do mundo com 27,7% das exportações mundiais (ABIEC, 2023).

Em relação à composição das raças deste rebanho no Brasil, grande parte é proveniente da raça Nelore e seus cruzamentos com outras raças. Apesar de todas às adaptações da raça Nelore às condições tropicais brasileiras, estudos evidenciam a existência de uma correlação inversa entre maciez da carne e porcentagem de sangue zebuínos nos cruzamentos, influenciando assim sua qualidade sensorial (CROUSE et al., 1989).

A raça Nelore, correspondente ao Ongole da Índia, predomina atualmente no cenário pecuário brasileiro. Por estimativas, pode-se inferir que a raça Nelore ou “anelorado” represente 80% do gado de corte e da força produtiva da indústria da carne no país. As características da raça como produtora de carne vêm apresentando índices de desempenho econômicos notáveis. Seguramente, mesmo naqueles nichos de mercado em que os cruzamentos têm apresentado bom crescimento, a raça Nelore tem papel fundamental, e constitui, por excelência, grande patrimônio genético para a bovinocultura brasileira (ACNB, 2022).

A maciez tem sido relatada como um dos mais importantes atributos para a qualidade da carne, sendo um dos mais estudados e avaliados para a carne bovina (SANTOS et al., 2021). É uma das principais características que determinam aceitação e satisfação do consumidor (SHACKELFORD et al., 2001), induzindo a repetição da compra e a disposição para pagar preços maiores (WARNER et al., 2022).

A passagem de uma corrente elétrica através da carcaça, com o objetivo de produzir carnes mais macias, foi primeiramente descrita por Harsham e Deatherage (1951). Esta

tecnologia tem sido extensivamente usada na indústria de carne bovina e ovina (LANG et al., 2016; LI et al., 2010; TOOHEY et al., 2008). Segundo Judge et al. (1989) a maciez da carne por estimulação elétrica tem sido atribuída a três principais fatores: prevenção do encurtamento pelo frio através da aceleração da glicólise e início do rigor antes da temperatura influenciar a extensão do *rigor mortis*, ativação da proteólise enzimática (lisossômica) através da acidificação em altas temperaturas e disfunção física da estrutura da fibra através de contrações extremas do músculo.

Além disso, a estimulação elétrica traz rápidos benefícios para o desenvolvimento das características qualitativas da carcaça, como coloração vermelho brilhante, a firmeza do músculo e o desenvolvimento da solidificação da gordura intramuscular mais rapidamente que em carcaças não estimuladas (BYRNE, TROY, BUCKLEY, 2000).

Judge et al. (1989) afirmaram que as combinações de voltagem, amperagem e frequência, tempo de aplicação pós-abate, duração do estímulo e características dos pulsos, devem ser estudadas. Estimulação elétrica de média tensão (pico de 300 V) foi aplicada comercialmente na Austrália (HOPKINS et al., 2008; PEARCE et al., 2010) e resultou nas reduções na dureza da carne de cordeiros.

Embora as baixas tensões sejam intrinsecamente mais seguras em sua operação, são menos eficazes que as médias tensões ou altas tensões (BOUTON et al., 1980; BENDALL, 1980). As médias tensões são mais efetivas na aceleração da glicólise *post mortem* e necessitam de um menor tempo de aplicação, quando comparadas com a aplicação de baixas tensões.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes intensidades de estimulação elétrica de média voltagem aplicadas em carcaças bovinas nos parâmetros de qualidade da carne e na maciez do músculo *longissimus thoracis* em bovinos da raça Nelore. Foram avaliadas a curva de declínio do pH nas primeiras 24 horas após o abate e as características de qualidade da carne durante o processo de maturação e durante o armazenamento congelado.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O presente estudo visa avaliar a influência de diferentes intensidades da estimulação elétrica de média tensão aplicada em carcaças bovinas sobre os parâmetros de qualidade da carne, com foco na maciez do músculo *longissimus thoracis* de gado Nelore. Foram utilizados machos inteiros dente de leite (idade média de 18 meses).

### **2.2 Objetivos específicos**

Determinar a curva de declínio do pH e da temperatura nas primeiras 24 h após abate.

Determinar os parâmetros de qualidade durante a maturação: cor instrumental, perdas por cocção e força de cisalhamento nos tempos de 3, 7, 10 e 14 dias.

Determinar os parâmetros de qualidade durante o armazenamento sob congelamento: perdas no descongelamento, cor instrumental, pH, perdas por cocção, força de cisalhamento (maciez) e oxidação lipídica (TBARS) nos tempos 60, 120 e 180 dias.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Fatores que influenciam a qualidade da carne bovina

Fatores como aparência, aroma durante o cozimento, perda por cozimento, maciez, suculência e sabor governam as reações de um indivíduo frente às qualidades sensoriais de um produto. Entre esses fatores, a aparência é de fundamental importância, uma vez que é decisiva na compra e aceitabilidade da carne pelo consumidor, sendo as características da cor, gordura visível (marmoreio) e suculência aparente (exsudação) responsáveis diretas pela apresentação do produto (RAMOS, 2017).

De acordo com Felício (1997), os fatores que influenciam a qualidade visual e sensorial da carne bovina podem ser divididos em dois grupos: *ante mortem*, ou também conhecidos como fatores intrínsecos, os quais estão relacionados com o sexo, genética, alimentação, estresse do animal, declínio do pH e idade ou maturidade; *post mortem* ou extrínsecos, os quais se ligam aos procedimentos operacionais exercidos pelas indústrias frigoríficas até o consumidor final, como o resfriamento de carcaças, estimulação elétrica, maturação comercial e métodos de cocção.

Judge (1991) descreveu os indicadores de qualidade na carcaça da carne *in natura* que, quando observados, permitem estimar as características da qualidade que podem ou não estar presentes em um produto cárneo: maturidade fisiológica - fornece indicação da extensão da maturidade do colágeno, resultando na perspectiva de maciez da carne obtida; grau de marmoreio - a presença de gordura de marmoreio garante certo grau de sabor e suculência; cor, textura e firmeza da carne magra - são indicativos de capacidade de retenção de água, suculência, estabilidade durante a estocagem e outros atributos.

A genética é um fator muito importante que influencia na qualidade da carne. Animais zebuínos apresentam concentrações de calpastatina no músculo superiores aos taurinos. A calpastatina é o inibidor da ação da calpaína durante o processo de proteólise *post mortem*. Foi observada estreita relação entre este inibidor com a menor maciez da carne. Logo, os animais zebuínos podem apresentar menor maciez que os taurinos (WHEELER et al., 1990 e WHIPPLE et al., 1990).

A carne de touros *Bos indicus* é menos macia do que a de touros *Bos taurus*. A média da força de cisalhamento, analisadas na lâmina “Warner Blatzer”, obtida dos cruzamentos do Nelore foi 25% mais dura do que a média dos cruzamentos Hereford-Angus (CUNDIFF, 1992).

Sob a perspectiva da coloração da carne e gordura bovina, dependendo do tipo de alimentação fornecida aos animais, estes atingem o peso desejável de abate mais jovens ou mais

velhos. Quanto mais tempo estes animais permanecerem no campo, maior será a concentração da proteína mioglobina nos músculos e, assim, mais escura será a carne. O mesmo acontece em relação a coloração da gordura, este parâmetro também é afetado diretamente pelo tempo, devido ao maior tempo de deposição de carotenoides provenientes das forragens (FELÍCIO, 1997).

As mudanças ocorridas nos cortes cárneos durante o processo de maturação são devidas às ações das enzimas proteolíticas endógenas, resultando em melhorias na maciez (KOOHMARAIE, 1994). Estas proteinases endógenas são compostas pelas enzimas calpaína I, calpaína II e um inibidor - calpastatina, no qual inibe a atividade das calpaínas. As calpaínas não agem sob o complexo actina e miosina, e sim sobre a degradação do disco Z. A ação destas enzimas sob as cadeias peptídicas inicia logo após o *rigor mortis* e terminam sob a estocagem refrigerada, conhecida como maturação comercial.

## **3.2 Características da qualidade da carne**

### **3.2.1 pH**

O pH *post mortem* da carne é determinado pela quantidade de ácido lático produzido a partir do glicogênio durante a glicólise anaeróbica (LAWRIE, 2005). Um dos principais pontos de atenção das indústrias frigoríficas é no gráfico de queda do pH durante a transformação do músculo em carne. Produtos cárneos com valores de pH anormais, além de resultarem em anomalias na qualidade da carne, geram grandes perdas econômicas (POLETI, 2018). A quantidade e a taxa de acúmulo de ácido lático na carne têm importante influência na sua qualidade final, modificando, direta ou indiretamente, a cor e a aparência, o sabor e o aroma, a textura (maciez e suculência) e as propriedades funcionais (RAMOS, 2017).

Em carcaças bovinas normais foi observado que mantendo-se o músculo em uma temperatura de 20°C, o início do *rigor mortis* ocorre quando o pH se encontra próximo de 5,9, e o estabelecimento, quando o pH atinge valores próximos de 5,5. Durante o desenvolvimento do *rigor mortis* e da maturação da carne, o pH tem influência marcante na contração, proteólise e desnaturação proteica, acarretando mudanças na sua estrutura e, conseqüentemente, na qualidade. Muitas das reações envolvidas na formação do sabor são dependentes do pH, por conseguinte, a quantidade e a qualidade dos compostos aromáticos, que contribuem para o sabor da carne e de seus produtos, serão afetadas por esse atributo (RAMOS, 2017).

O pH possui papel determinante na prevenção do encurtamento pelo frio já que estudos apontam que há a necessidade de que o pH no músculo atinja um valor de 6,0 para que se possa iniciar o resfriamento de carcaças e pH de 5,7 para congelamento (BENDALL, 1973).

Entre as condições anômalas extremas, figuram as carnes PSE e DFD, principais responsáveis por perdas econômicas consideráveis na indústria. A carne DFD, que ocorre devido a queda lenta do pH com pH final entre 6,5 – 6,8, de coloração escura (*dark*), textura firme (*firm*) e extremamente não exsudativa (*dry*), é observada com alguma frequência em bovinos, podendo também ser encontrada em suínos e aves. Já a carne PSE, com queda brusca do pH nos primeiros 45 minutos, podendo chegar a 5,8 e com pH final entre 5,4 – 5,6, podendo ser inferior, de coloração pálida (*pale*), textura flácida (*soft*) e exsudativa (*exsudative*), é relatada como principal anomalia em suínos e, embora ainda não tenha sido bem definida, também tem sido reportada em carne de aves. A carne ácida também é uma condição anômala extrema e, juntamente com as anomalias intermediárias, como as carnes RSE (*reddish-pink, soft e exudative*), com queda gradual do pH, podendo chegar a um pH final de 5,0, é observada exclusivamente em suínos (RAMOS, 2017).

### 3.2.2 Cor

O principal pigmento responsável pela cor da carne é a mioglobina (Mb), uma proteína presente no sarcoplasma da fibra muscular. No músculo vivo, a Mb se liga ao oxigênio, armazenando-o para uso das mitocôndrias, permitindo que o tecido mantenha suas funções fisiológicas. Além da Mb, a hemoglobina e os pigmentos do sangue também contribuem com a cor da carne. As cores da carne são oriundas de picos de absorção e reflexão de luz em diferentes comprimentos de onda, resultando em uma cor combinada destes. O espectro de absorção e de reflexão da luz pelo pigmento da mioglobina irá depender da forma química presente ou das características estruturais do grupo heme e da molécula de mioglobina. Dependendo do estado químico do ferro heme (reduzido ou oxidado), a cor da carne fresca estará associada à proporção e distribuição relativa de três formas básicas: a deoximioglobina ( $Mb^+$ ), de coloração vermelho-púrpura; oximioglobina ( $O_2Mb$ ), de coloração vermelho-brilhante; e metamioglobina (MMb), de coloração marrom. Assim, a cor final da carne é resultante da proporção muscular das diferentes formas químicas desse pigmento (RAMOS, 2017).

A auto-oxidação da mioglobina a MMb e o processo inverso (redução) estão sempre ocorrendo no músculo por um período *post mortem*. Na carne fresca, devido a presença de NADH, o sistema redutor MRA está ativo, mantendo a mioglobina na forma ferrosa  $Mb^+$ , que

na presença de oxigênio, pode novamente ser convertida a O<sub>2</sub>Mb. Entretanto, o músculo não pode manter a capacidade redutora por muito tempo e, à medida que a carne é armazenada, ocorre aumento na concentração de MMb e conseqüente descoloração. O acúmulo de MMb é afetado por fatores extrínsecos, como luz, temperatura, pressão parcial de oxigênio e crescimento microbiano, e por fatores intrínsecos, como pH, oxidação lipídica, sistemas redutores (MRA), TCO (Taxa de consumo de oxigênio) e disponibilidade de NADH no músculo *post mortem* (RAMOS, 2017).

A cor da carne é utilizada como critério de seleção, onde os consumidores estimam o frescor, sabor e textura da carne. Em geral, a cor vermelho-púrpura está associada ao frescor e a cor marrom ao menor frescor. A cor vermelho brilhante é a cor preferida, em seguida o vermelho-púrpura e por última a cor marrom, considerada não fresca. Já com relação a cor da gordura, a cor branca é preferida em relação a cor amarela (SANTOS et al., 2021).

As cores podem ser medidas de forma instrumental pelo sistema CIE  $L^*a^*b^*$  (CIELAB), onde o valor de  $L^*$  determina a luminosidade da amostra,  $a^*$  escalas de vermelho a verde e  $b^*$  escalas de azul a amarelo. Para carnes e derivados, as cores verdes e azuis não são comuns, logo os eixos  $a^*$  e  $b^*$  são comumente referidos como “índice de vermelho” e “índice de amarelo”, respectivamente (RAMOS, 2017). No sistema de cores da *Commission International De l'Eclairage* (CIE), as três coordenadas de cores fundamentais são  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ . A  $L^*$  mede a luminosidade sendo uma medida da luz refletida (100 = branco; 0 = preto);  $a^*$  mede vermelho positivo, verde negativo e  $b^*$  mede amarelo positivo, azul negativo (COMMISSION INTERNATIONAL DE L'ECLAIRAGE, 1976).

### 3.2.3 Maciez

A maciez tem sido relatada como um dos mais importantes atributos para a qualidade da carne, sendo um dos mais estudados e avaliados para a carne bovina (MALTIN et al., 2007). É uma das principais características que determinam aceitação e satisfação do consumidor (SHACKELFORD et al., 2001) e os consumidores estão dispostos a pagar mais por carne macia (BOLEMAN et al., 1997). Pode ser atribuída à percepção que uma pessoa tem da carne, tais como: suavidade para a língua, resistência à pressão dos dentes e adesão. As fontes de variação da maciez na carne bovina podem ser atribuídas à idade, sexo, peso vivo, raça e estresse *ante mortem* do animal. A maciez varia, principalmente devido às mudanças na estrutura da proteína miofibrilar do músculo no período entre o abate dos animais e o consumo de carne (MUIR et al., 2000). Embora as mudanças bioquímicas que ocorrem no músculo da carne após a morte

sejam amplamente compreendidas, a relação entre essas mudanças e a variação na maciez da carne permanece obscura e requer quantificação (KOOHMARAIE, 1996).

O grau de maciez pode ser relacionado a três categorias de proteínas do músculo, as do tecido conjuntivo (colágeno, elastina, reticulina e mucopolissacarídeos da matriz), da miofibrila (actina, miosina e tropomiosina) e do sarcoplasma (proteínas sarcoplasmáticas e retículo sarcoplasmático). A importância de sua relativa contribuição depende de circunstâncias como o grau de contração das miofibrilas, o tipo de músculo e a temperatura de cozimento (LAWRIE, 2005).

Koohmaraie et al. (2002) sugeriram que o comprimento do sarcômero, o tecido conjuntivo e a proteólise das proteínas miofibrilares poderiam explicar a maior parte da variação observada na carne maturada, com a proteólise sendo o principal fator bioquímico contribuindo para a variação na maciez. Levantaram a hipótese de que a degradação da proteína ocorre em taxas diferentes em diferentes animais, o que pode contribuir para a variação na maciez da carne.

Muir et al. (2000) e Monson et al., (2005) argumentaram que a maciez da carne é uma função do conteúdo de colágeno, da estabilidade ao calor e da estrutura miofibrilar do músculo. Estes, no entanto, parecem ser afetados principalmente pela taxa de crescimento do animal, em vez da raça em si. Koohmaraie (1992) atribuiu 15% da variabilidade na maciez da carne bovina às diferenças em marmoreio e colágeno, e a maior parte dos 85% restantes às variações nas alterações *post mortem*, ou seja, no processo enzimático que leva ao amaciamento da carne, conhecido como maturação. A maturação pode ser usada para diminuir os valores de força de cisalhamento durante o armazenamento *post mortem* como resultado da proteólise de proteínas miofibrilares, que é mediada em parte por calpaínas (KOOHMARIE, 1996).

Diversos procedimentos pós-abate são aplicados no intuito de direta ou indiretamente, obter carnes mais macias. Pode-se citar: estimulação elétrica, resfriamento lento ou retardado, uso de métodos de pendura pela pélvis, favorecem os músculos menos macios por natureza; aplicação de substâncias químicas (cálcio, enzimas, etc.); maturação da carne em câmaras frias; tratamento por alta pressão hidrostática; entre outros. Associados aos fatores *post mortem* estão o tipo e a forma de preparação (doméstica ou industrial) da carne antes de seu consumo, que também podem contribuir de forma substancial para a variação da sua maciez. Assim, a análise da maciez da carne torna-se uma ferramenta importante para determinar a qualidade durante o ato da degustação. A maciez pode ser analisada por métodos subjetivos ou objetivos, as análises objetivas podem ser conduzidas por métodos químicos e físicos. Entre os métodos físicos, cita-se a análise de textura por meio de equipamento específico (análise instrumental), denominados

texturômetros, capazes de avaliar os diversos parâmetros reológicos da carne, são utilizados para avaliar a maciez da carne cozida. Outros métodos físicos como a determinação do comprimento do sarcômero e o grau de fragmentação miofibrilar (medida da degradação estrutural oriunda da atividade enzimática), são usados para prever a maciez baseada na medida de carnes cruas. Entre os métodos químicos cita-se a determinação do tecido conectivo (quantificação e estruturação) e a capacidade de retenção de água (relacionada à suculência), assim como a avaliação direta da atividade enzimática, calpaínas e catepsinas (RAMOS, 2017).

### 3.2.4 Capacidade de retenção de água

A habilidade da carne em reter água na presença de forças externas, como corte, moagem e aquecimento, é conhecida como capacidade de retenção de água (CRA) e define o potencial da perda de peso após o abate. A perda de peso implica perdas econômicas, a CRA é um parâmetro de qualidade tecnologicamente importante para a indústria de carnes (RAMOS, 2017).

A estrutura do músculo e suas subestruturas, especialmente as proteínas miofibrilares altamente organizadas (actina e miosina), são responsáveis pela retenção da água no tecido muscular. Estima-se que a maior parte da água no músculo, entre 80 – 85%, encontra-se na microestrutura miofibrilar, nos espaços entre os filamentos de miosina e actina (água intrafilamental), enquanto cerca de 10 – 15% é mantida no sarcoplasma, entre as miofibrilas (água interfibrilar). Estudos com ressonância magnética (RMN) demonstraram que a maior parte da água intrafilamental encontra-se na banda I. Uma parte muito pequena da água, cerca de 5% da água presente no músculo, encontra-se ligada às proteínas (água de constituição). Essa proporção praticamente não se altera, mesmo no músculo *post rigor* (RAMOS, 2017).

A maior parte da água encontra-se imobilizada (água de adsorção ou interfacial), que é mantida por efeito estérico (espaço) e/ou por forças de atração da água ligada que surgem do arranjo dos miofilamentos finos e grossos. O restante da água muscular se encontra livre, sendo a maior parte mantida no sarcoplasma e nos espaços macrocapilares entre as fibras e feixes de fibras musculares (água extracelular) por forças capilares muito fracas. Alterações na estrutura da fibra muscular e redução do pH podem deslocar essa água da fibra muscular para os espaços extracelulares, de onde é capaz de migrar lentamente para a superfície da carne, evaporando ou se desprendendo na forma de exsudado. Perdas na CRA tornam a carne menos macia, devido à redução da água intracelular, com conseqüente aumento da resistência das fibras. Já o encurtamento do sarcômero durante o *rigor mortis*, permite maior interação proteína-proteína, incluída a formação do complexo actomiosiana. Essa compactação causa a expulsão de água da

microestrutura miofibrilar, levando à redução da maciez percebida na mastigação, o que explica a correlação negativa entre o comprimento do sarcômero e a perda por gotejamento da carne (RAMOS, 2017).

### 3.2.5 Perdas por cocção

O cozimento é a ação do calor sobre o tecido muscular, que confere à carne textura, sabor e aroma característicos, favorecendo a sua palatabilidade, sobretudo a maciez. Durante o processo de cozimento diferentes proteínas da carne desnaturam, causando mudanças estruturais como: agregação e formação de gel pelas proteínas sarcoplasmáticas; destruição de membranas; encolhimento, longitudinal e transversal, das fibras musculares; e encolhimento das miofibrilas e do tecido conectivo, é determinante para a retenção de água em carnes cozidas. Todas essas mudanças contribuem para a textura e suculência do produto cozido e resultam de uma combinação de fatores intrínsecos (quantidade de colágeno, grau de desnaturação das proteínas miofibrilares e perda de água) e extrínsecos (temperatura e duração do cozimento) (RAMOS, 2017).

Condições de desnaturação, como armazenamento de peças congeladas, oxidação e acúmulo rápido de ácido no *post mortem* enquanto a temperatura permanece alta, fazem com que ocorra redução da água ligada na carne. A capacidade de ligação das proteínas à água geralmente diminui à medida que a temperatura aumenta, devido à redução das ligações de hidrogênio e à diminuição da hidratação dos grupos iônicos (DAMODARAN; SRINIVASAN, 2019).

### 3.2.6 Oxidação lipídica

Os hidroperóxidos produzidos pela oxidação lipídica podem ser gradualmente decompostos em produtos secundários como aldeídos, cetonas e outros compostos carbonílicos, que estão altamente relacionados com a ocorrência de rancidez na carne (GANHÃO; ESTÉVEZ; MORCUENDE, 2011). Estes produtos possuem um baixo limiar de detecção e mesmo em concentrações relativamente baixas, podem mascarar o sabor e aroma da carne. Este fenômeno causa rejeição por parte do consumidor, visto que favorece o aparecimento de gostos e odores característicos de ranço, responsáveis por *off flavors* e *off odors* (OSAWA; FELÍCIO; GONÇALVES, 2005).

A oxidação lipídica é um fator limitante na qualidade e aceitabilidade de carnes e produtos cárneos e afeta atributos como sabor, cor, textura e valor nutritivo. O processo de

rancidez causa o desenvolvimento de sabores indesejáveis, descoloração, produção de substâncias potencialmente tóxicas, como o malonaldeído e óxidos de colesterol, e também perda do valor nutricional devido à destruição de vitaminas e ácidos graxos essenciais (GRAY; GOMAA; BUCKLEY, 1996).

Em relação a composição dos ácidos graxos presentes na carne, os ácidos graxos saturados resistem à oxidação em baixas temperaturas, ao contrário dos ácidos graxos poli-insaturados, que consiste no maior processo de degradação, induzindo a rancificação da carne crua (BRIDI, 2022).

Segundo Hansen et al. (2004), durante o período de congelamento, o processo de oxidação é lento, mas não completamente interrompido.

### **3.3 Fatores que influenciam na maciez da carne**

Dransfield et al. (1984) relataram que maciez e suculência são as propriedades que mais influenciam a aceitabilidade da carne. Monsón, Sañudo e Sierra (2005) relataram que correlações parciais entre as variáveis sensoriais indicaram que a maciez, suculência e intensidade do sabor da carne foram os atributos que mais influenciaram na aceitabilidade da carne. Além disso, CRA foi relatada como um dos os fatores mais importantes que afetam a suculência da carne na mastigação (LAWRIE; LEDWARD, 2006).

Os valores sensoriais de maciez tendem a ser maiores com o aumento do tempo de maturação (CAMPO et al., 1999; MONSÓN, SAÑUDO, SIERRA, 2005; MUCHENJE et al., 2008a; SPANIER, et al., 1997). Os valores de suculência diminuíram a partir dos 14 dias de maturação (MONSÓN; SAÑUDO, SIERRA, 2005). Isso pode ser parcialmente explicado pelo enfraquecimento da estrutura muscular, o que pode produzir maiores perdas de líquido durante o cozimento.

Foram relatadas relações entre a qualidade física da carne e características sensoriais, como fibra muscular e maciez geral (HOFFMAN; KROUCAMP; MANLEY, 2007; MUCHENJE et al., 2008b); e entre quantidade e composição de gordura intramuscular e sabor (CALKINS; HODGEN, 2007; MELTON, 1990; WOOD; ENSER, 1997). No entanto, o sabor é um atributo muito complexo da palatabilidade da carne (CALKINS; HODGEN, 2007) e sua relação com o conteúdo e a composição da gordura variam com a raça do bovino (MUCHENJE et al., 2008b). A suculência também depende da quantidade e da composição de gordura na carne (MELTON, 1990; WOOD; ENSER, 1997), embora suas relações com o conteúdo e composição de gordura variem com a raça do gado (MUCHENJE et al., 2008b).

Strydom et al. (2000); Revilla e Vivar-Quintana (2006) e Muchenje et al. (2008a) relataram correlações negativas entre comprimentos de sarcômero e valores da força de cisalhamento (Warner–Bratzler). Isso pode ser atribuído ao fato de que músculos com comprimento de sarcômero curto são geralmente resistentes.

Normalmente, existem correlações positivas entre os valores da força de cisalhamento (Warner–Bratzler) e valores de IFM (Índice de Fragmentação Miofibrilar) na maioria das raças de gado (MUCHENJE et al., 2008a). Esse pode ser atribuído ao fato de que a maciez da carne é uma função do conteúdo de colágeno e a estrutura miofibrilar do músculo (MUIR et al., 2000; REVILLA e VIVAR-QUINTANA, 2006). Além disso, a variação em valores da força de cisalhamento (Warner–Bratzler) dependem mais do conteúdo miofibrilar do que o conteúdo total de colágeno ou sua solubilidade, especialmente considerando que a força de cisalhamento na carne cozida também pode ser uma medida de tenacidade miofibrilar (SAÑUDO et al., 2004).

Strydom et al. (2000) relataram correlações significativas entre índice de fragmentação miofibrilares (IFM) e maciez.

Existe uma relação entre perda por descongelamento, IFM e pH. Aldai et al. (2006) descobriram que, quando o IFM era alto, havia um resultado inferior concomitante para perda de suco da carne crua, medido como o suco expressível sob pressão. Uma queda rápida do pH ou um menor pH tenderia a causar desnaturação da proteína e maior perda por descongelamento. No entanto, existem alguns casos em que tais relacionamentos podem não ser significativos (MUCHENJE et al., 2008a).

### **3.4 Estimulação elétrica**

A passagem de uma corrente elétrica através da carcaça, com o objetivo de acelerar a glicólise e produzir carnes mais macias, além da tentativa de se evitar o efeito de encurtamento pelo frio, foi primeiramente descrita por Harsham e Deatherage em 1951, e vem desde então sendo estudada e empregada em muitos países em escala industrial (HARSHAM e DEATHERAGE, 1951).

Dessa forma, a corrente elétrica que passa através da carcaça tem por objetivo promover mudanças além das transformações ocorridas no processo normal de abate, como a variação da temperatura na carcaça após o estímulo, com prováveis influências na glicólise e proteólise, que exercem efeitos significativos na qualidade da carne. Esta tecnologia tem sido extensivamente usada na indústria de carne bovina e ovina (LANG et al., 2016; LI et al., 2010; TOOHEY et al., 2008).

Segundo Judge et al. (1989) a maciez da carne por estimulação elétrica tem sido atribuída a três principais fatores: prevenção do encurtamento pelo frio através da aceleração da glicólise e início do rigor antes da temperatura influenciar a extensão do *rigor mortis*, ativação da proteólise enzimática (lisossômica) através da acidificação em altas temperaturas e disfunção física da estrutura da fibra através de contrações extremas do músculo. Porém, a relativa importância desse mecanismo depende das condições de resfriamento, bem como o acabamento da carcaça dos animais. Geralmente, aquelas carcaças que já são extremamente macias sem estimulação elétrica não serão alteradas pelo tratamento. Animais com idade mais avançada podem ter a carne mais macia com o tratamento elétrico, em relação aos animais com idade reduzida.

Judge et al. (1989) afirmaram que o pico de voltagem utilizado com sucesso para carcaças estimuladas deveria variar de 30 a 3600 V. Contudo, as combinações de voltagem, amperagem e frequência, tempo de aplicação pós-abate, duração do estímulo e características dos pulsos, devem ser estudadas.

O efeito da estimulação elétrica na maciez se dá pela aceleração do processo de rigor, com ativação das proteinases que tornam o músculo macio antes do resfriamento da carcaça (ETHERINGTON, 1984). Assim, seu efeito é resultante da aceleração da glicólise e hidrólise do ATP, que causam a redução do pH, ainda com a temperatura elevada nas carcaças. Promove-se, então a formação de ácido láctico, fosfato inorgânico e calor. O pH baixo em temperatura alta rompe a membrana lisossômica e libera enzimas atuantes na degradação dos componentes que formam a miofibrila (PUGA; CONTRERAS; TURNBULL, 1999).

Hwang e Thompson (2001) relataram que a aplicação de estímulo elétrico durante o período *post mortem* tem reduzido os níveis de micro calpaínas e subsequente aumento da maciez. Por outro lado, a carne dura de carcaças não estimuladas eletricamente (com taxas menores de glicólise) pareceram estar associadas à ativação mais lenta do sistema de calpaínas.

Estimulação elétrica de média tensão (pico de 300 V) foi aplicada comercialmente na Austrália (HOPKINS et al., 2008; PEARCE et al., 2010), e resultou nas reduções na dureza em cordeiro. Estudos anteriores demonstraram que a estimulação elétrica de média tensão é uma ferramenta útil para melhoramento da maciez da carne de cordeiro, o que aumentou a maciez ao ativar a atividade de calpaínas no início precoce do rigor (HOPE-JONES et al., 2010).

Mesmo após 14 dias de maturação, a estimulação elétrica de média tensão aplicada em carne bovina ainda resultou em uma força de cisalhamento menor em comparação com os controles (ZHANG et al., 2019). Da mesma forma, Pearce et al. (2009) relatou que a estimulação elétrica de média tensão pudesse exercer o efeito no amaciamento equivalente a 30

dias de maturação. Além disso, a maturação é bem conhecida como um dos métodos mais eficazes para melhorar a maciez da carne, especialmente para carnes duras como de algumas raças bovina. Nair et al. (2019) relataram que a maturação resultou em uma redução de 38,1% na força de cisalhamento da carne bovina, enquanto Li et al. (2019) descobriram que a maturação *post mortem* reduziu a força de cisalhamento da carne bovina em 45,4%.

#### 3.4.1 Método de aplicação

A literatura científica sobre estimulação elétrica indica que o sistema de eletrodos, o tipo de corrente (voltagem, frequência do pulso e duração), as rotas (via nervos ou direta) e o tempo *post mortem* variam consideravelmente entre os pesquisadores (LAWRIE, 2005).

Em grande parte dos estudos foram aplicadas correntes via região torácica da carcaça e usado o tendão-de-Aquiles como o fio terra. Embora as baixas tensões (voltagens < 100) sejam intrinsecamente mais seguras em sua operação, são menos efetivas que as médias tensões (voltagens entre 500 a 1.000) ou mais (BOUTON et al., 1980; BENDALL, 1980). As médias tensões são mais efetivas na aceleração da glicólise *post mortem* quando aplicadas por 1,5 a 2 minutos, enquanto tempo maiores (aproximadamente 4 minutos) são necessários para voltagens na ordem de 100.

Em relação aos outros aspectos da corrente, a velocidade ótima do pulso parece estar entre 15 e 20 pulsos por segundo (pps), frequências mais altas tendem a ser relativamente ineficazes, pois caem dentro do período de latência dos músculos em questão, e o espaçamento ótimo do pulso está em torno de 20 a 40 ms (milissegundos), espaçamentos menores podem falhar em ativar todas as fibras musculares (LAWRIE, 2005).

A resposta das carcaças bovinas à estimulação elétrica diminui rapidamente 50 minutos após a morte do animal. É desejável aplicar a corrente 30 minutos após o abate, porém, músculos isolados irão responder tão bem após 3 horas *post mortem* quanto após 20 minutos (BENDALL, KETTERIDGE e GEORGE, 1976). Aparentemente na estimulação elétrica das carcaças ou de meias-carcaças, a musculatura é ativada usualmente via sistema nervoso. Se a tensão (voltagem) aplicada for suficientemente alta, a estimulação direta dos músculos pode ocorrer mais tarde (CHRYSTALL, DEVINE, DAVEY, 1980), quando as baixas voltagens terão se tornado inefetivas.

### 3.4.2 Mecanismo e efeito sobre o músculo

A grande aceleração da glicólise *post mortem*, causada pela estimulação elétrica enquanto a corrente está passando, significa alta taxa de hidrólise de ATP concomitante (BENDALL, KETTERIDGE GEORGE, 1976), que, por sua vez, reflete a marcada ativação da actomiosina contrátil ATP-ase pela liberação de íons  $\text{Ca}^{+2}$ , que, por sua vez, também aumenta a concentração da fosforilase a (enzima responsável pela degradação de glicogênio em moléculas de Glicose-1-P), que é um fator adicional contribuindo para o aumento da taxa de glicólise *post mortem* (NEWBOLD e SMALL, 1985).

Aparentemente, a membrana do retículo sarcoplasmático é alterada pela estimulação elétrica, e que a proteína de ligação com o cálcio, a calsequestrina, se torna mais exposta (TUME, 1980). Possivelmente esse fator aumenta a capacidade do sistema de reter o  $\text{Ca}^{+2}$ , porém este fator parece inapto para explicar esta anormalidade de modo completo.

Savell et al. (1977) sugeriram que a estimulação elétrica causa um rápido abaixamento do pH enquanto a temperatura da carcaça ainda está no nível *in vivo*, rompendo as membranas dos lisossomos e liberando enzimas lisossômicas que desnaturam as proteínas musculares. Isso poderia causar a perda da capacidade de retenção de água. Porém, existem algumas incertezas ainda com relação a isso.

O fato de a corrente ter curta duração quando seu uso é descontínuo faz com que a estimulação elétrica não seja associada com sarcômeros permanentemente encurtados e endurecidos, refletindo o nível de ATP que ainda está relativamente alto e a temperatura que caiu muito pouco de seu valor *in vivo*. Nessas circunstâncias, o sistema sarcotubular pode, aparentemente, recapturar prontamente o  $\text{Ca}^{+2}$  suprimindo, desse modo, a atividade ATPásica, enquanto o nível de ATP é suficiente para efetuar o relaxamento muscular e a restauração do comprimento do sarcômero em repouso. No encurtamento pelo frio, por outro lado, a baixa temperatura previne a operação efetiva das bombas de  $\text{Ca}^{+2}$  dependentes de ATP do sistema sarcotubular e a estimulação da hidrólise do ATP não é, assim, interrompida. A situação pode ser semelhante àquela das fibras musculares congeladas em pré-rigor quando estas são descongeladas muito rapidamente. O rigor do descongelamento é evitado nestas (não usuais) circunstâncias porque os íons de  $\text{Ca}^{+2}$  são reabsorvidos pelo sistema sarcotubular, antes que muito ATP possa ser hidrolisado e, deste modo, o músculo relaxa após breve encurtamento (LAWRIE, 2005).

Existem discordâncias entre os pesquisadores sobre a razão para a associação da estimulação elétrica *post mortem* com a maciez. Alguns (BOUTON et al., 1980) atribuem esse

benefício ao impedimento do “encurtamento pelo frio” e, os autores publicaram dados que mostram a manutenção do comprimento de repouso nos sarcômeros de músculos que foram eletricamente estimulados enquanto os sarcômeros-controle encurtaram quando ambos foram expostos a ambientes que causam “encurtamento pelo frio”, ou seja, condicionamento em temperaturas mais baixas. Outros pesquisadores atribuíram o benefício às mudanças precoces e abrangentes no condicionamento surgindo da combinação de baixo pH com temperaturas *in vivo* (BENDALL, 1980; DUTSON, SAVELL e SMITH, 1982).

Savell et al. (1977) sugeriram que a liberação de íons  $\text{Ca}^{+2}$  do sistema sarcotubular, na estimulação elétrica, pode aumentar a proteólise pelas calpaínas, pois à medida que o pH diminui, as membranas lisossomais são danificadas e as catepsinas podem ser liberadas. A aceleração de tal atividade proteolítica pelas altas temperaturas (próximas das *in vivo*) poderia contribuir para a maciez observada nos músculos que receberam estimulação elétrica no período imediatamente *post mortem*. Sob certas condições de estimulação elétrica, não podem ser detectadas diferenças no comprimento do sarcômero de músculos eletricamente estimulados dos músculos controle, embora os primeiros sejam mais macios.

Marsh et al. (1987) mostraram que a maciez foi maior quando a velocidade da glicólise *post mortem*, que ocorre em função da temperatura e do tipo de estimulação elétrica aplicados, era de valor intermediário. A velocidade da glicólise foi determinada pelo valor do pH atingido em 3 horas após o abate ( $\text{pH}_3$ ). A maciez foi maior em valores de  $\text{pH}_3$  entre 5,9 – 6,0. Foi apontado que essas combinações de tratamentos (temperatura e o tipo de EE) que produziam  $\text{pH}_3$  acima ou abaixo desses valores (5,9 – 6,0), poderiam ser associados com a maior dureza relativa, além do que, a indução de uma rápida queda no pH pela estimulação elétrica não pode, por si só, assegurar a maciez, inclusive quando o “encurtamento pelo frio” é evitado.

A temperatura da carcaça pode modificar o efeito da estimulação elétrica e deve ser considerada quando for aplicar esta técnica na prática comercial. George, Bendall e Jones (1980) calcularam que as mudanças do condicionamento acontecem com velocidade duas vezes maior durante as primeiras 24 – 30 horas *post mortem*, em circunstâncias onde o “encurtamento pelo frio” foi evitado com o armazenamento das carcaças em temperatura superior a  $10^\circ\text{C}$  nas primeiras 8 horas após o abate. Após a maturação de 21 dias de estocagem a  $0^\circ\text{C}$ , a maciez dos músculos-controle aumentaram substancialmente por meio dos processos tradicionais de maturação, mas foi um pouco inferior àquela dos músculos estimulados eletricamente, evidenciando que a eficácia da estimulação elétrica em aumentar a maciez da carne diminui em relação aos controles não-estimulados quanto maior for o tempo de estocagem após o condicionamento.

Há relatos da ausência de exsudação no músculo bovino estimulado eletricamente. Porém, é possível que a aceleração das mudanças do condicionamento, que é um efeito da queda rápida do pH, resultante de tal estímulo, aumentem a pressão osmótica intracelular suficientemente para acomodar a perda da capacidade de retenção de água pelas proteínas musculares. Isso já foi evidenciado em carne bovina submetida à maturação lenta e normal a 0°C (LAWRIE, 2005).

Carcaças podem ser congeladas rapidamente após a estimulação elétrica, sem que haja congelamento pré-rigor e desenvolvimento do “rigor do descongelamento”. Porém, é recomendado que seja feita a suspensão pélvica das carcaças para que se obtenha o máximo amaciamento. Este congelamento pode ser realizado dentro de 30 minutos após o abate e até 6 horas após a estimulação elétrica (BENDALL, 1980).

O uso da estimulação elétrica tem sido associado com a melhora do sabor e o aumento do brilho da cor vermelha das superfícies de cortes da carne (SAVELL, SMITH e CARPENTER, 1978; SMITH et al., 1980). O aumento do brilho da cor vermelha aparece provavelmente porque o processo reduz os metabólitos das rotas oxidativas sobreviventes no músculo ou porque a queda rápida do pH faz com que as proteínas musculares das carcaças tratadas se aproximem do seu ponto isoelétrico muito mais rápido, proporcionando a abertura da sua estrutura, facilitando a oxidação da mioglobina. A superfície de cortes de carcaças estimuladas eletricamente desenvolve um vermelho mais brilhante do que as carcaças-controle quando expostas ao ar a aproximadamente 12 a 20 horas *post mortem*. Esta diferença não é aparente quando os músculos são expostos posteriormente, por exemplo, 48 a 72 horas após o abate. Neste momento, ambos os músculos, estimulados eletricamente e controle, teriam atingido seu pH final, a estrutura de ambos estaria “aberta” e a utilização residual de oxigênio seria da mesma ordem. De outro modo, em determinados músculos, com o *semimembranosus* bovino, por exemplo, a estimulação elétrica está associada com o aumento da formação de metamioglobina e, assim, com a perda da cor (LEDWARD et al., 1986).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Materiais

O estudo experimental e a coleta de amostras foram realizados no frigorífico Minerva Foods, na cidade de Barretos, Estado de São Paulo, Brasil. Foram selecionados 43 animais machos da raça Nelore (não castrados) e com dentes de leite (com idade média próxima a 18 meses). Os animais eram provenientes de uma única fazenda, todos do mesmo lote de produção, tendo recebido a mesma alimentação e o mesmo manejo. Os animais foram criados a pasto e alimentados com forragens e, nos últimos 145 dias, na fase de terminação, além do volumoso, receberam também concentrado e suplementação mineral. O peso médio de abate foi de 263 kg. Os animais foram abatidos de acordo com "critérios de bem-estar animal".

As carcaças selecionadas para o estudo passaram por todas as etapas do Serviço de Inspeção Federal brasileiro. Após a secção das meias carcaças, ambas foram identificadas, sendo que, os lados esquerdos foram submetidos a diferentes estimulações elétricas (EE) de média tensão: (T200 = 200V; n = 15), (T300 = 300V; n = 15) e (T400 = 400V; n = 13), todos com frequência de 15 Hz. O lado direito não foi submetido a nenhum tratamento (controle - CON). O equipamento de estimulação elétrica marca Fluxo Eletrônica Industrial, Chapecó, Brasil (Figura 1) foi parametrizado com as seguintes variáveis: corrente alternada (AC), tempo de ciclo: 5 segundos de aplicação EE mais 2 segundos de descanso; velocidade da linha de abate: 100 animais hora; tempo total que o animal recebe a EE: 25 – 30 segundos; tempo total de ciclo que cada banda recebe: 3 – 4 ciclos; tipo de onda: quadrada; e, amperagem: 300 – 500 mA por banda.

As carcaças foram resfriadas a  $(2 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C})$  até 48h *post-mortem*. A temperatura e o pH foram medidos às 0, 6 e 24 h após a estimulação elétrica (EE). Após 48 h, as carcaças foram desossadas e foram recolhidos cortes de 30 cm do músculo *longissimus thoracis*, entre a 5<sup>a</sup> e a 12<sup>a</sup> vértebra, em direção caudal.

Os cortes foram embalados a vácuo e transportados em caixas térmicas com gelo para a Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Campus de Pirassununga, Estado de São Paulo, Brasil. Em seguida foram colocados em uma câmara fria ( $0 \pm 2^\circ\text{C}$ ) e permaneceram nessa condição por 12 horas até o início da preparação das amostras. Uma parte das amostras foi armazenada sob refrigeração (maturação por 14 dias) e a outra foi congelada em um túnel de congelamento e, posteriormente, transportadas congeladas em caixas térmicas para a Faculdade de Engenharia de Alimentos do Estado de São Paulo, Campus de

São José do Rio Preto, Estado de São Paulo, Brasil; essas amostras foram armazenadas em uma câmara de congelamento ( $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) até a realização das análises.

Figura 1 - Estimulador elétrico - Minerva Foods.



A) Estimulador elétrico. B) Carcaças passando pelo estimulador elétrico.  
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

#### 4.2 Preparação das amostras

As amostras foram preparadas 72 horas após o abate. Cada peça (corte de 30 cm) de músculo *longissimus thoracis* foi cortada em bifes de 2,54 cm de espessura, embalada individualmente a vácuo e identificada e, posteriormente, enviada para análise. Foram preparados dois lotes de 86 amostras (15 amostras - T200V, 15 amostras CON; 15 amostras - T300V, 15 amostras CON; e 13 amostras - T400V, 13 amostras CON). Um lote (86 amostras) destinou-se ao estudo do processo de maturação e o outro lote (86 amostras) ao estudo do armazenamento congelado. As amostras refrigeradas permaneceram, durante o processo de maturação por 14 dias, em câmaras frigoríficas a  $0\pm 2^{\circ}\text{C}$ . As amostras congeladas foram armazenadas em câmara de congelamento a  $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 180 dias.

As amostras maturadas foram analisadas aos 3, 7, 10 e 14 dias após o abate. Foram analisadas a cor, a perda por cozimento e a força de cisalhamento. As amostras congeladas foram armazenadas em câmara de congelamento durante 180 dias e analisadas a cada 60 dias (60, 120 e 180 dias após o abate). Foram analisados o pH, a perda por descongelamento, a cor, a perda por cozimento, a força de cisalhamento e a oxidação lipídica (TBARS).

### 4.3 Métodos

#### 4.3.1 Análises nas carcaças

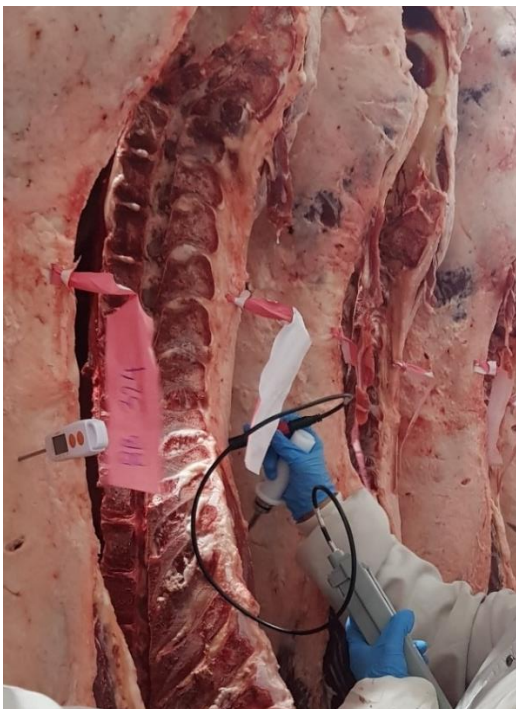
##### 4.3.1.1 Temperatura

A temperatura foi medida em ambos os lados de cada carcaça utilizando um termômetro de sonda (Marca Akso, modelo IP 67) com inserção direta no músculo *longissimus thoracis* até o seu centro geométrico na altura entre a 12<sup>a</sup>/13<sup>a</sup> vertebra torácica (Figura 2).

##### 4.3.1.2 pH

A medida do pH foi feita em ambos os lados de cada carcaça entre a 12<sup>a</sup>/13<sup>a</sup> costelas no músculo *longissimus thoracis*, a uma profundidade de 3 cm. Foi utilizado um pHmetro portátil com sensor de sonda, devidamente calibrado (Marca Mettler Toledo) (Figura 2).

Figura 2 - Análises da temperatura e do pH das carcaças.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

### 4.3.2 Análises nas amostras maturadas e congeladas

#### 4.3.2.1 Temperatura

A avaliação da temperatura nos bifes durante o processo de cocção foi feita com um Termopar (Instrutemp, ITTH-1400), com a inserção do sensor do equipamento até o centro geométrico da peça de carne.

#### 4.3.2.2 pH

As medidas do pH das amostras congeladas foram realizadas conforme o método do Adolfo Lutz - 017/IV (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). As amostras foram trituradas e posteriormente pesadas 5 g e dissolvidas em 50 ml de água destilada. Homogeneizou-se em um agitador magnético por 15 minutos. As medidas foram realizadas em três repetições por amostra. Foi utilizado um pHmetro (mPA-210, MS TECNOPON), devidamente calibrado.

#### 4.3.2.3 Perdas no descongelamento

Para a avaliação das perdas no descongelamento, as amostras foram retiradas da câmara de congelamento ( $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$ ), separadas e pesadas em uma balança semi analítica (Marca Gehaka, modelo BG 2000), e posteriormente transferidas para a câmara de resfriamento ( $0\pm 2^{\circ}\text{C}$ ), 24 h antes da análise para o descongelamento das amostras.

Após descongeladas, as amostras foram retiradas de suas respectivas embalagens e armazenadas em telas para escorrer o restante do exsudado. Foi retirado o excesso de exsudado e foram realizadas as pesagens das amostras descongeladas (Figura 3).

O cálculo da perda de peso no descongelamento foi realizado utilizando a fórmula abaixo (Equação 1):

$$\% \text{ Perda de água pelo descongelamento} = \frac{\text{Peso inicial do bife} - \text{Peso final do bife após descongelado}}{\text{Peso inicial do bife}} \times 100 \quad (1)$$

Figura 3 - Análise de perdas no descongelamento.



A) Amostras embaladas descongeladas. B) Retirada do exsudado. C) Amostras nas bandejas após pesagem. Fonte: Elaborado pela autora (2022).

#### 4.3.2.4 Cor instrumental

Para a determinação da cor instrumental as amostras foram retiradas das embalagens a vácuo e deixadas oxigenar (*blooming time*), por 30 minutos, sob temperatura de 4 a 6°C.

Foi utilizado espectrofotômetro, modelo ColorFlex45/0 (Hunterlab, USA) com as seguintes configurações: o iluminante usado foi o D65, o ângulo do observador 10° e a abertura para a leitura da amostra foi 0.75 cm. A leitura foi realizada com o Software Universal versão 4.10. e sistema de especificação de cor CIELAB com os parâmetros:  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  (intensidade de cor vermelha) e  $b^*$  (intensidade de cor amarela). Para cada amostra foram feitas três leituras em três pontos diferentes. O índice de saturação ou intensidade da cor ( $C^*$ ) foi calculado através da equação (2), o ângulo de tonalidade ou cromaticidade ( $h^*$ ) foi obtido pela equação (3) e a diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) foi obtida pela equação (4). Todas as equações, (2), (3) e (4), foram empregadas de acordo com Hunter e Harold (1987).

$$C^* = \sqrt{(a^{*2}) + (b^{*2})} \quad (2) \quad h^* = \arctan(b^*/a^*) \quad (3) \quad \Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4)$$

#### 4.3.2.5 Perdas por cocção e força de cisalhamento

As análises de perdas por cocção e força de cisalhamento foram realizadas utilizando-se o protocolo experimental descrito pela American Meat Science Association (AMSA, 2015).

Para a análise de perdas por cocção e força de cisalhamento, as amostras cárneas foram pesadas em bandejas de alumínio, previamente taradas, em uma balança semi analítica marca Gehaka, modelo BG 2000 para obtenção de seus pesos iniciais. Posteriormente, foram assadas em um forno elétrico FEL33, Imeque - Indústria Metalúrgica de Equipamentos, Brasil, previamente aquecido a uma temperatura de 170°C e equipado com termostato para manter a temperatura de aquecimento. Com o auxílio de termopares (Instrutemp, ITTH-1400), foi realizado o controle da temperatura interna (centro geométrico) dos bifes. Ao atingirem temperatura interna de 40°C, os bifes foram virados e permaneceram no forno até atingirem a temperatura interna de 71°C.

Os bifes assados permaneceram em temperatura ambiente ( $\pm 21^\circ\text{C}$ ) até atingirem a temperatura de  $\pm 25^\circ\text{C}$  no centro geométrico da amostra (Figura 4 - A). Em seguida, foram novamente pesados para determinação das perdas por cocção (PC, %), conforme Equação 5.

$$\% \text{ Perda por cocção} = \frac{\text{Peso inicial do bife} - \text{Peso final do bife}}{\text{Peso inicial do bife}} \times 100 \quad (5)$$

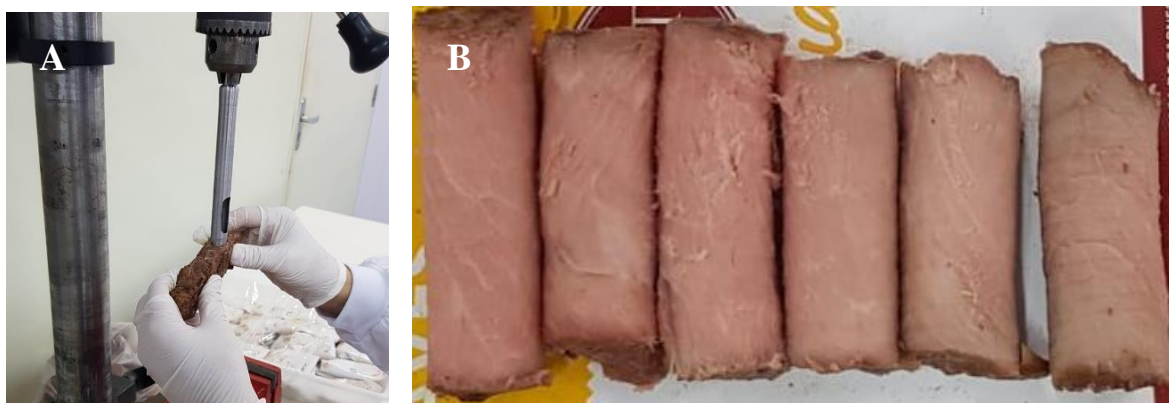
Figura 4 - Análise de perdas por cocção.



A) Amostra assada resfriando. B) Amostra assada, embalada e descansando 12 h.  
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

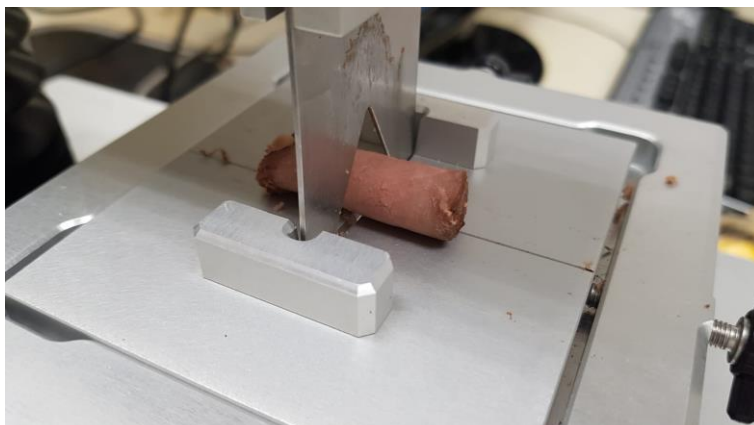
Após a pesagem, os bifes foram envolvidos em plástico filme e refrigerados ( $0\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) por 12 horas (Figura 4 – B). Após a refrigeração, foram retirados com o auxílio de uma furadeira de bancada (marca Motomil, modelo RD – 2801F, Navegantes - SC, Brasil) seis cilindros de 1,27 cm de diâmetro de cada bife, no sentido paralelo ao das fibras (Figura 5 – A e B) e cisalhados no equipamento Texturômetro (TA-XTPlus, Stable Micro Systems, Godalming, UK) equipado com lâmina de cisalhamento Warner–Bratzler, com velocidade fixada em 200 mm/min (AMSA, 2015), para determinação da força de cisalhamento (FC). A força de cisalhamento de cada amostra foi considerada como a média dos seis cilindros (Figura 6).

Figura 5 - Preparo dos cilindros.



A) Retirada dos cilindros. B) Cilindros para análise de Força de Cisalhamento (Maciez).  
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 6 - Análise da força de cisalhamento (maciez).



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

#### 4.3.2.6 Oxidação lipídica

Para a oxidação lipídica, o índice TBARS foi determinado através da reação entre os produtos da oxidação e o ácido tiobarbitúrico (TBA), formando compostos que podem ser medidos em espectrofotômetro a 532 nm (VYNCKE, 1975). Uma alíquota de 5 g da amostra foi homogeneizada com 25 ml de ácido tricloroacético 7.5% por 2 min em Ultra-Turrax (IKA®-Werke GmbH & Co. KG, Alemanha). Após centrifugação, 5 ml do sobrenadante filtrado foi adicionado de 5 ml de solução de TBA 0,02 M e aquecido em banho-maria (96 °C por 40 min). O 1,1,3,3-tetraetoxipropano (TEP) foi usado para a curva padrão e os resultados foram expressos como mg de malonaldeído (MDA)/kg de amostra. A determinação de oxidação lipídica foi realizada em triplicata.

#### 4.3.3 Análise estatística

Os resultados do efeito da estimulação elétrica (T200, T300 e T400) foram considerados como fator principal, e o tempo de armazenamento como fator secundário sobre o pH, temperatura, perda no descongelamento, cor, perda no cozimento, força de cisalhamento e oxidação lipídica foram submetidos a análise de variância, utilizando o modelo linear geral (Statistica, versão 7.0). Um delineamento inteiramente casualizado foi adotado com quinze repetições por tratamento (Tensão), e 15 repetições por tempo de armazenamento. Tensão e Tempo de armazenamento foram considerados fatores fixos e a interação entre eles também foi avaliada. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e a diferença entre as médias dos resultados foram avaliados pelo teste de Tukey, com nível de confiança de 95%.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Declínio do pH e da temperatura das carcaças

Os resultados obtidos das análises do pH e da temperatura nas primeiras 24 h após o abate estão dispostos na Tabela 1.

#### 5.1.1 Declínio do pH

Nos tempos 0 e 6 h, o CON apresentou um pH maior ( $p < 0,05$ ) em comparação com os tratamentos T200, T300 e T400, sem diferenças entre esses tratamentos, demonstrando que os tratamentos com estimulação elétrica diminuíram o pH logo após a aplicação. Zhang et al. (2019) também encontraram, em um estudo realizado com combinações de três parâmetros diferentes para estimulação elétrica de média tensão, redução do pH em todos os tratamentos, sem diferenças entre os tratamentos em 24 h após a aplicação. O uso da estimulação elétrica foi eficaz para um declínio mais intenso do pH. Ji et al. (2021) também encontraram diferença entre o pH de carcaças estimuladas e não estimuladas 6 horas após a estimulação. As carcaças estimuladas tinham um pH mais baixo do que as carcaças não estimuladas.

Após 24 horas, o valor do pH do CON foi maior do que o do T200 ( $p < 0,05$ ), mas não foi diferente do T300 e do T400. Não houve diferença entre T200, T300 e T400 no pH após 24 horas de aplicação da estimulação elétrica. Os valores de pH foram afetados pela interação entre EE e o tempo de resfriamento ( $p < 0,05$ ). Hopkins et al. (2014), em um estudo com bovinos, não encontraram diferença no pH após 24 h entre carcaças estimuladas eletricamente e não estimuladas eletricamente, usando uma estimulação de média voltagem. Em um estudo realizado com bovinos mestiços chineses em que foi aplicada a estimulação elétrica de média voltagem (300 V), Ji et al. (2021) obtiveram valores de pH diferentes entre carcaças estimuladas e não estimuladas nas primeiras 0,75 h após o tratamento e essa diferença foi mantida após 12 h. Após 24 h, atingiu cerca de 5,51 em ambos os tratamentos. Os dados obtidos neste estudo corroboram com os estudos já citados acima, mostrando a tendência de que o pH das carcaças estimuladas eletricamente diminui rapidamente nas primeiras seis horas após a aplicação em relação às carcaças não tratadas e tende a se igualar dentro de 24 horas. O T200 apresentou uma taxa de queda de pH maior do que os outros tratamentos ao longo de 6 h. As maiores transformações metabólicas (aceleração da glicólise) no músculo ocorreram nas primeiras 6 h após o tratamento, o que difere dos resultados das carcaças não tratadas, que apresentaram uma taxa de queda de pH mais lenta, mas com valores muito próximos após 24 h (Gráfico 1). Com

base nos resultados encontrados neste trabalho, podemos afirmar que a estimulação elétrica aumentou a taxa de redução do pH em relação a carne não estimulada.

Gráfico 1 - Queda do pH em relação ao tempo de 24 horas.

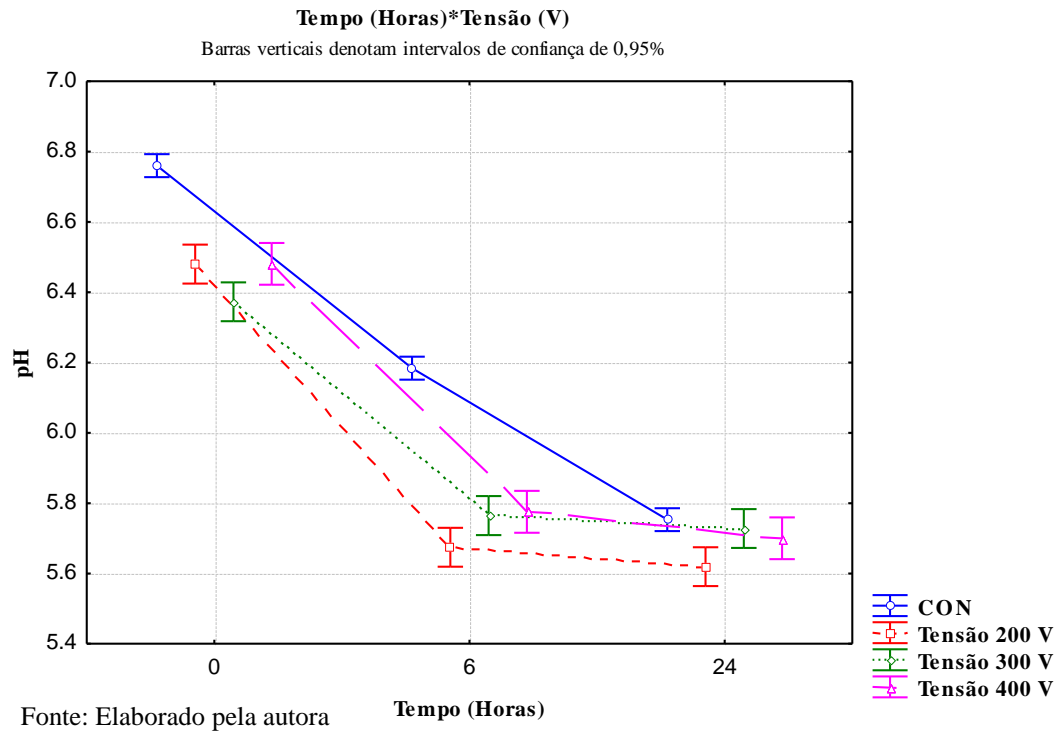


Tabela 1 - Valores médios do pH e Temperatura das carcaças.

<b>Tempo (h)</b>	<b>0</b>				<b>6</b>				<b>24</b>				<i>Valores de p</i>			
<b>Tensão (V)</b>	<b>CON</b>	<b>T200</b>	<b>T300</b>	<b>T400</b>	<b>CON</b>	<b>T200</b>	<b>T300</b>	<b>T400</b>	<b>CON</b>	<b>T200</b>	<b>T300</b>	<b>T400</b>	<b>SEM</b>	<b>Tensão</b>	<b>Tempo</b>	<b>Tensão*Tempo</b>
<b>pH</b>	6,76 <sup>a</sup>	6,48 <sup>b</sup>	6,37 <sup>b</sup>	6,48 <sup>b</sup>	6,18 <sup>c</sup>	5,67 <sup>de</sup>	5,76 <sup>d</sup>	5,78 <sup>d</sup>	5,75 <sup>d</sup>	5,62 <sup>e</sup>	5,73 <sup>de</sup>	5,70 <sup>de</sup>	0,026	0,000	0,000	0,000
<b>Temp (°C)</b>	38,54 <sup>a</sup>	39,51 <sup>a</sup>	38,93 <sup>a</sup>	39,55 <sup>a</sup>	10,68 <sup>b</sup>	11,67 <sup>b</sup>	10,60 <sup>b</sup>	11,92 <sup>b</sup>	3,98 <sup>c</sup>	3,77 <sup>c</sup>	3,91 <sup>c</sup>	4,02 <sup>c</sup>	0,946	0,001	0,000	0,073

Valores das médias na mesma linha com letras diferentes indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

CON: carcaças não tratadas ou controle. T200 estimulação elétrica de 200 Volts. T300 estimulação elétrica de 300 Volts.

T400 estimulação elétrica de 400 Volts.

O tempo 0 h: pHs medidos logo após os tratamentos, 6 h: pHs medidos 6 horas após os tratamentos e 24 h: pHs medidos 24 horas após os tratamentos.

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

### 5.1.2 Declínio da temperatura

Não houve diferença ( $p>0,05$ ) entre as temperaturas para todos os tratamentos em cada tempo estudado (Tabela 1). Zhang et al. (2019) verificaram que as temperaturas das carcaças de bovinos estimuladas eletricamente foram maiores ( $p<0,05$ ) do que as não estimuladas, variando de 28,6°C a 31,2°C, contra 21,5°C das carcaças não tratadas. Os valores da temperatura da carcaça não foram afetados pela interação entre a EE e o tempo de armazenamento ( $p>0,05$ ).

A rápida taxa de queda do pH e a temperatura da carcaça *in vivo* são as principais características que irão afetar os parâmetros de qualidade final da carne tratada com estimulação elétrica. Outro fator importante relacionado com o valor final do pH refere-se à segurança dos alimentos. Os dados do presente estudo demonstram que, após 6 h, o pH no centro geométrico do músculo *longissimus thoracis* atingiu uma média de pH de 5,74 para todos os tratamentos, contra um pH de 6,18 para as carcaças não tratadas. Isto poderia auxiliar a liberação das carcaças para a desossa, otimizando o processo industrial.

Com base nos resultados encontrados neste trabalho, podemos afirmar que a estimulação elétrica não afetou a temperatura inicial em relação a carne não estimulada.

## 5.2 Parâmetros de qualidade de carne de Nelore durante a maturação.

Os resultados obtidos das análises dos parâmetros de qualidade da carne maturação estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de qualidade da carne maturada.

	Tensão (V)				Tempo (Dias)				SEM	Valores de p			
	CON	T200	T300	T400	3	7	10	14		Tensão	Tempo	Tensão*Tempo	
	<b>FC (N)</b>	74,80 <sup>A</sup>	58,61 <sup>C</sup>	65,13 <sup>B</sup>	63,32 <sup>BC</sup>	77,78 <sup>a</sup>	69,88 <sup>b</sup>	65,64 <sup>c</sup>		61,11 <sup>d</sup>	0,776	0,000	0,000
<b>PC (%)</b>	29,19	29,88	29,82	28,85	29,50	29,61	29,74	28,64	0,155	0,089	0,051	0,211	
<b>Cor</b>	<b>L*</b>	42,89 <sup>AB</sup>	43,71 <sup>A</sup>	42,23 <sup>B</sup>	42,57 <sup>AB</sup>	41,65 <sup>b</sup>	43,11 <sup>a</sup>	43,51 <sup>a</sup>	43,21 <sup>a</sup>	0,134	0,006	0,000	0,991
	<b>a*</b>	22,72 <sup>B</sup>	23,60 <sup>A</sup>	22,34 <sup>B</sup>	22,90 <sup>AB</sup>	20,91 <sup>c</sup>	23,21 <sup>b</sup>	23,95 <sup>a</sup>	23,25 <sup>ab</sup>	0,119	0,002	0,000	0,838
	<b>b*</b>	15,77 <sup>B</sup>	16,51 <sup>A</sup>	15,16 <sup>C</sup>	15,73 <sup>AB</sup>	13,64 <sup>c</sup>	15,98 <sup>b</sup>	17,09 <sup>a</sup>	16,44 <sup>ab</sup>	0,118	0,001	0,000	0,674
<b>Chroma (C*)</b>	27,67 <sup>B</sup>	28,81 <sup>A</sup>	27,01 <sup>B</sup>	27,79 <sup>AB</sup>	24,97 <sup>c</sup>	28,19 <sup>b</sup>	29,43 <sup>a</sup>	28,49 <sup>ab</sup>	0,162	0,001	0,000	0,765	
<b>Hue (h*)</b>	34,65 <sup>A</sup>	34,90 <sup>A</sup>	34,04 <sup>B</sup>	34,31 <sup>AB</sup>	33,06 <sup>c</sup>	34,46 <sup>b</sup>	35,41 <sup>a</sup>	35,21 <sup>a</sup>	0,093	0,004	0,000	0,821	
<b><math>\Delta E^*</math></b>	-	2,42	2,26	2,49	2,43	2,46	2,36	2,30	0,105	0,663	0,953	0,832	

\* Letras maiúsculas sobre-escritas em linha referem-se a significância para a variação da Tensão.

\* Letras minúsculas sobre-escritas em linha referem-se a significância para a variação do Tempo.

\* CON: carcaças não tratadas ou controle. T200 estimulação elétrica de 200 Volts. T300 estimulação elétrica de 300 V Volts. T400 estimulação elétrica de 400 V Volts.

\* FC: Força de cisalhamento. PC: Perdas por cocção. Hue\* = graus.  $\Delta E^*$ : Diferença total de cor.

\* Fonte: Elaborada pela autora (2022).

### 5.2.1 Força de cisalhamento (Warner – Bratzler)

CON foi diferente ( $p < 0,05$ ) de T200, T300 e T400, com a maior força de cisalhamento (74,80 N), mostrando o efeito positivo da estimulação elétrica de média voltagem para maciez (Tabela 2). O T200 apresentou o valor mais baixo (58,61 N) quando comparado com CON e T300. T300 e T400 não foram diferentes (Gráfico 2). Com relação a maturação, houve uma diferença entre todos os tempos avaliados, onde os valores de FC diminuíram com o tempo, demonstrando os efeitos da maturação (Gráfico 3). O melhor resultado para maciez (menor FC) foi para o tratamento T200 aos 14 dias de maturação. Os valores de FC das amostras maturadas não foram afetados pela interação entre EE e tempo de armazenamento ( $p > 0,05$ ).

Foram encontrados por Zhang et al. (2019), que mostraram redução na força de cisalhamento durante a maturação (0, 7 e 14 dias) do músculo *longissimus lumborum* tratado com estimulação elétrica de média tensão ( $T = 300$  V), em comparação com o controle. Gilbert e Chrystall (1982) constataram uma redução na força de cisalhamento durante a maturação do músculo *longissimus* de bovinos submetidos à estimulação elétrica de baixa e alta voltagem em comparação com amostras não tratadas. Savell, Smith e Carpenter (1978) concluíram que as carcaças bovinas estimuladas eletricamente requerem um tempo de maturação mais curto do que as carcaças não estimuladas; as carcaças estimuladas tiveram uma redução de 44% na força de cisalhamento em comparação com uma redução de 26% para as carcaças não estimuladas após 14 dias de maturação. Gursansky et al. (2010), avaliando a aplicação de estimulação elétrica de baixa e alta voltagem em *Bos Indicus* e *Bos taurus*, encontraram resultados menores para a força de cisalhamento em carne bovina maturadas por 14 dias a uma temperatura de 1°C em comparação com o controle (não estimulado). Com base nos resultados encontrados neste trabalho, podemos afirmar que a estimulação elétrica reduziu a FC e o tempo de maturação da carne em relação a carne não estimulada.

Gráfico 2 - Força de cisalhamento em relação a tensão para a carne maturada.

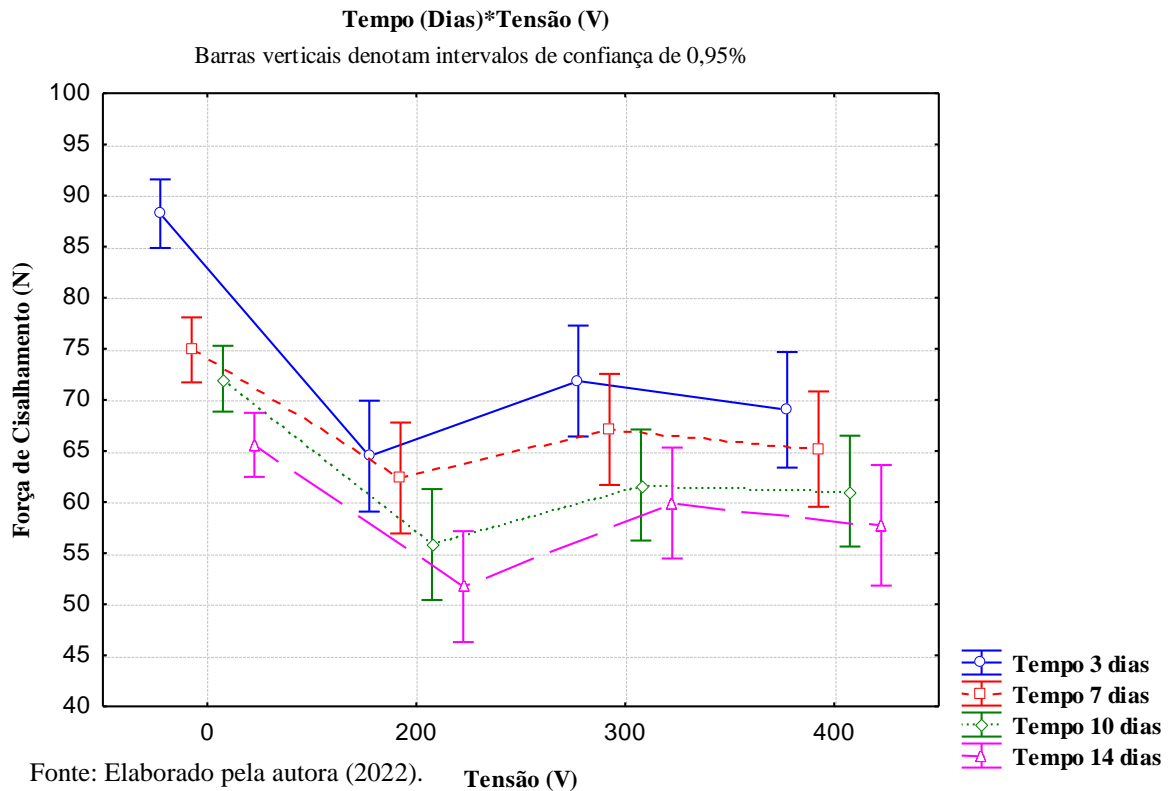
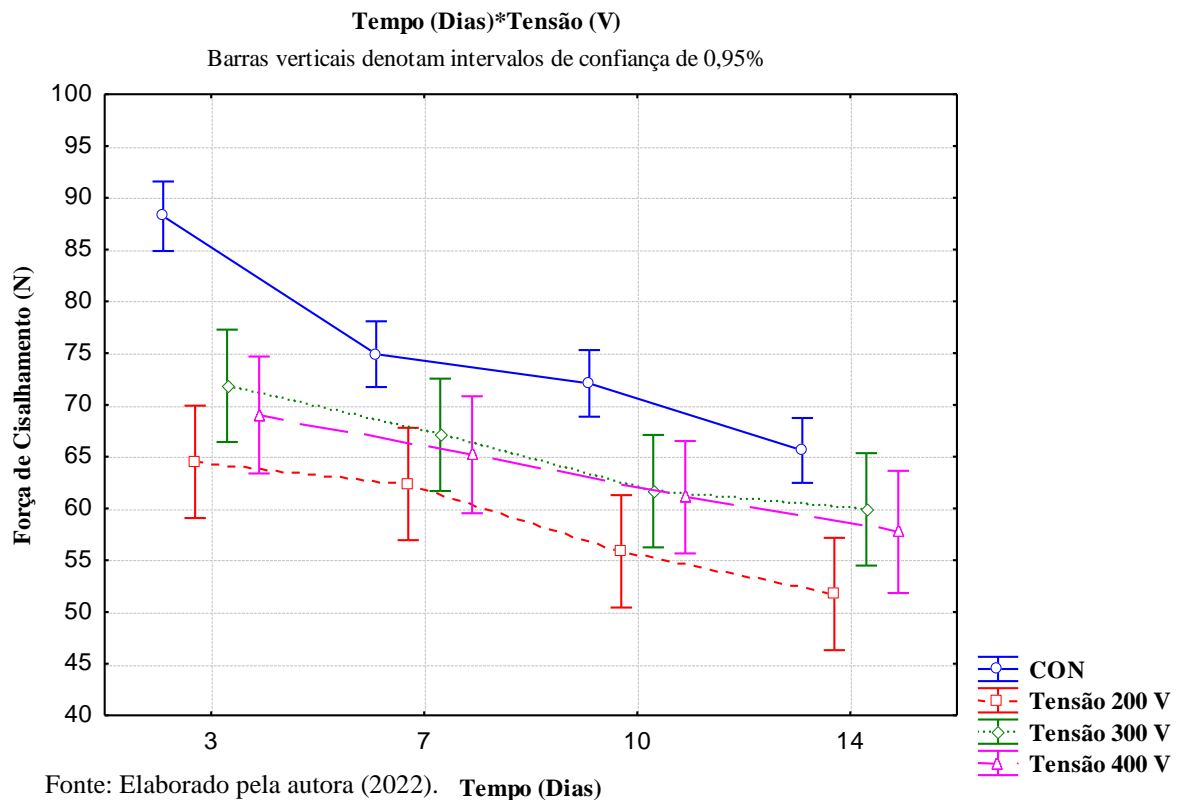


Gráfico 3 - Força de cisalhamento em relação ao tempo para a carne maturada.



### 5.2.2 Perdas por cocção

Não houve diferença entre os tratamentos e durante a maturação para a perda por cocção, mostrando que a estimulação elétrica não afetou esse parâmetro (Tabela 2). Os valores de perda por cocção não foram afetados pela interação entre EE e o tempo de maturação ( $p > 0,05$ ). Vários trabalhos não encontraram diferenças entre carne estimulada (média voltagem) e não estimulada (Riley et al., 1980; Thompson, 1981). Zhang et al. (2019) constataram um aumento na perda por cozimento (%) durante a maturação (0, 7 e 14 dias) do músculo *longissimus lumborum* tratado com estimulação elétrica de média voltagem ( $T = 300$  V). Com base nos resultados encontrados neste trabalho, podemos afirmar que a estimulação elétrica não afetou a perda no cozimento da carne em relação a carne não estimulada.

### 5.2.3 Cor

O T300 foi diferente ( $p < 0,05$ ) do T200 para o parâmetro  $L^*$ , apresentando o menor valor (42,23) e o T200 apresentou o maior valor (43,71), mostrando o efeito do EE (Tabela 2). Durante todo o período de maturação, o tempo de 3 dias foi diferente ( $p < 0,05$ ) dos tempos 7, 10 e 14 dias, apresentando o menor resultado (41,65). Os dados demonstram que o valor  $L^*$  aumenta ao longo do tempo de maturação, atingindo um pico no tempo de 7 dias e depois mantendo-se constante até o 14 dia. Os valores de  $L^*$  não foram afetados pela interação entre EE e tempo de armazenamento ( $p > 0,05$ ). Zhang et al. (2019) mostraram que os valores de  $L^*$  para carcaças tratadas com EE foram maiores do que o controle e aumentaram ao longo da maturação.

Um efeito da estimulação elétrica de carcaças bovinas é o desenvolvimento precoce na dispersão de luz durante o resfriamento devido à queda induzida no pH. Aumentos em  $L^*$ , seja por diminuição na concentração de pigmento ou aumento na dispersão, é acompanhado por um aumento na tonalidade em direção ao amarelo (MAC DOUGALL, 1982), o que foi encontrado também neste trabalho. Quanto maior a luminosidade, mais fresca é a aparência do músculo *longissimus thoracis* sendo suficiente para melhorar a qualidade (SAVELL, SMITH e CARPENTER, 1978). A carne maturada pode ter uma cor mais brilhante imediatamente após o *blooming* devido ao aumento da dispersão da luz e de sua penetração mais profunda, mas tem pior estabilidade de cor com perda da atividade redutora da metamioglobina (MAC DOUGALL, 1982).

Com base nos resultados encontrados neste trabalho, podemos afirmar que a estimulação elétrica aumentou os valores de  $L^*$  em relação a carne não estimulada e aumentou ao longo do tempo de maturação.

Para o parâmetro  $a^*$ , houve efeito da EE (Tabela 2). T200 foi diferente de CON e T300 ( $p < 0,05$ ), sendo que T200 teve o valor mais alto (23,60) e T300 o valor mais baixo (22,34). Durante a maturação, o valor de  $a^*$  no tempo 3 dias foi diferente ( $p < 0,05$ ) dos tempos 7, 10 e 14 dias, com o valor mais baixo (20,91). Houve diferença ( $p < 0,05$ ) entre os tempos 7 e 10 dias, onde o tempo de 10 dias apresentou o maior valor (23,95), mantendo-se igual no tempo de 14 dias. Os valores de  $a^*$  não foram afetados pela interação entre EE e o tempo de armazenamento ( $p > 0,05$ ). Zhang et al. (2019) observaram que os valores de  $a^*$  para carcaças tratadas com EE foram maiores do que o controle e aumentaram ao longo da maturação aos 7 dias, mas diminuiram aos 14 dias, onde não foram observadas diferenças entre os tratamentos. Holman et al. (2017) encontraram que a cor da carne foi considerada aceitável pelos consumidores (com 95% de aceitação) quando os valores de  $a^*$  fossem iguais ou superiores a 14,5. Com base nos resultados encontrados neste trabalho, podemos afirmar que a estimulação elétrica aumentou os valores de  $a^*$  em relação a carne não estimulada e aumentou ao longo do tempo de maturação, todos os valores encontrados neste trabalho estão acima dos limites estabelecidos por Holman et al. (2017).

Para o parâmetro  $b^*$ , houve efeito da EE, onde o T200 foi diferente ( $p < 0,05$ ) do CON e T300, apresentando o maior valor (16,51) e o T300 o menor (15,16). Houve um aumento ( $p < 0,05$ ) nos valores de  $b^*$  ao longo dos tempos de 3, 7 e 10 dias, que se manteve aos 14 dias. Os valores de  $b^*$  não foram afetados pela interação entre EE e o tempo de armazenamento ( $p > 0,05$ ). Zhang et al. (2019) observaram que os valores de  $b^*$  para carcaças tratadas com EE foram maiores do que o controle e aumentaram ao longo da maturação em 7 dias, mas diminuiram em 14 dias, onde não foram observadas diferenças entre todos os tratamentos.

Para os parâmetros de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , T200 apresentaram os maiores resultados comparados com o controle e com todos os outros tratamentos. Com relação ao tempo de maturação, observou-se um aumento nos valores para  $L^*$  no tempo de 7 dias e mantiveram-se constantes em 10 e 14 dias. Para os parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ , os valores aumentaram até o tempo de 10 dias, onde atingiram seus maiores valores e mantiveram-se constantes no tempo de 14 dias. Vários autores encontraram melhora na cor da carne bovina com EE durante a maturação (McKenna, Maddock e Savell, 2003; Nazli et al., 2010; Warriss, 2010). Roeber et al. (2000) relataram uma influência positiva da EE na cor da carne, que resultou da redução do tempo de maturação da carcaça. Os efeitos da EE na melhora da cor vermelha e mais brilhante durante a

maturação podem ser devido a alterações ultraestruturais no músculo, como a ativação precoce de enzimas proteolíticas que levam ao enfraquecimento das fibras musculares, permitindo que o oxigênio e a luz penetrem mais profundamente no músculo (Li et al., 2011) ou a "abertura da estrutura" do músculo tratado com EE, que pode facilitar a oxigenação da mioglobina em comparação com a carne não estimulada. A capacidade da EE de melhorar a cor da carne pode ser devida à sua capacidade de reduzir os metabólitos das vias oxidativas sobreviventes no músculo (LAWRIE e Ledward, 2006).

Quando comparamos os resultados deste estudo com os valores médios coletados na literatura por Muchenje et al. (2009) para a cor da carne em bovinos ( $L^*$ : 33,2 – 41,0;  $a^*$ : 11,1 – 23,6 e  $b^*$ : 6,1 – 11), fica evidente que todos os tratamentos apresentaram valores mais altos para  $L^*$ , valores satisfatórios para  $a^*$  e valores mais altos para  $b^*$ . Isso sugere que as amostras tinham mais brilho e uma tonalidade amarela mais pronunciada, indicando uma concentração maior de MMb, o que pode diminuir a aceitação do consumidor. Essa tendência persistiu durante todo o processo de maturação.

Para a avaliação do índice de saturação  $C^*$  (intensidade da cor), CON, T300 e T400 foram iguais entre si. T200 foi diferente de CON e T300, apresentando o maior valor (28,81), porém foi igual a T400. Houve diferença entre os tempos 3, 7 e 10 dias, onde houve um aumento gradativo nos valores, atingindo o valor máximo em 10 dias e mantendo-se estável em 14 dias armazenamento. Os valores de  $C^*$  das amostras maturadas não foram afetados pela interação entre a EE e o tempo de armazenamento ( $p > 0,05$ ). O índice de saturação  $C^*$  expressa o quão viva é a cor da carne. Assim, altos valores de saturação significam um vermelho mais intenso da carne bovina (SALIM et al., 2022). MacDougall (1982) estabeleceu um limite de croma para a aceitação do consumidor da cor da carne bovina (croma  $\geq 18$ ) em um estudo associando os valores do croma com a concentração de MMb presente na carne, outros estudos demonstraram que nesse valor do croma havia 20% ou mais de presença de MMb, sendo assim, um valor limite para aceitação do consumidor. Zhang et al. (2019) encontraram valores para  $C^*$ , onde os maiores valores foram apresentados com 7 dias de maturação (28,1 – 29,9) tendo uma leve queda com 14 dias de maturação (27,2 – 28,0), os valores das carnes EE foram maiores do que as carnes não EE.

Para a avaliação do ângulo de tonalidade  $h^*$  (cromaticidade), não houve diferença entre CON, T200 e T400. T300 foi diferente de CON e T200, porém foi igual a T400. Com relação ao tempo de armazenamento, os tempos de 3, 7 e 10 dias foram diferentes si, onde o tempo de 10 dias apresentou o maior resultado (35,41), porém foi igual ao tempo de 14 dias. Os valores de  $h^*$  das amostras maturadas não foram afetados pela interação entre a EE e o tempo de

armazenamento ( $p>0,05$ ). Conforme os dados apresentados para  $h^*$  no estudo das tensões (34,01 a 34,90) e no tempo de armazenamento (33,06 a 35,41), nesta faixa de valores as cores estão de vermelho a levemente alaranjadas (RAMOS, 2017). Zhang et al. (2019) encontraram valores maiores aos encontrados neste estudo para  $h^*$ , onde os maiores valores foram apresentados com 7 dias de maturação (34,5 – 36,7) tendo um leve aumento com 14 dias de maturação (35,9 – 38,2). Os valores das carnes EE foram maiores do que as carnes não EE, demonstrando uma maior presença de MMb, acentuando tons de amarelo a laranja (Zhang et al., 2019).

Para a avaliação da diferença total de cor  $\Delta E^*$ , não houve diferença entre todos os tratamentos e entre os tempos de armazenamento. Os valores de  $\Delta E^*$  das amostras maturadas não foram afetados pela interação entre a EE e o tempo de armazenamento ( $p>0,05$ ). Conforme a escala apresentada por Prändl et al. (1994), valores de  $\Delta E^*$  entre 0 – 0,2 correspondem a alterações imperceptíveis ao olho humano; 0,2 – 0,5 muito pouco perceptíveis; 0,5 – 1,5 pouco perceptíveis;; 1,5 – 3,0 percepções evidentes; 3,0 – 6,0 percepções muito evidentes; 6 – 12 percepção bastante clara; 12 -14 facilmente perceptíveis e por Stark et al. (1996) que afirmam que uma mudança ou diferença de cor correspondente a um valor de  $\Delta E^*>1,5$  pode ser percebido pelo olho humano, os valores de  $\Delta E^*$  para a tensão variaram entre 2,26 – 2,49 e para o tempo de armazenamento entre 2,30 – 2,46, podendo ser classificados como “percepções evidentes” ou “perceptíveis”, pois as carnes EE tiveram valores maiores de cor comparadas com o controle.

### **5.3 Parâmetros de qualidade de carne de Nelore durante o armazenamento sob congelamento**

Os resultados obtidos das análises dos parâmetros de qualidade da carne estocada sob congelamento estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros de qualidade da carne armazenada sob congelamento.

	Tensão (V)				Tempo (Dias)				SEM	Valores de p			
	COM	T200	T300	T400	3	60	120	180		Tensão	Tempo	Tensão*Tempo	
	<b>pH</b>	5,51 <sup>A</sup>	5,55 <sup>A</sup>	5,55 <sup>A</sup>	5,49 <sup>A</sup>	NA	5,58 <sup>a</sup>	5,56 <sup>a</sup>		5,42 <sup>b</sup>	0,010	0,058	0,000
<b>FC (N)</b>	80,73 <sup>A</sup>	54,45 <sup>C</sup>	61,14 <sup>B</sup>	61,03 <sup>B</sup>	80,37 <sup>a</sup>	58,56 <sup>c</sup>	68,00 <sup>b</sup>	71,55 <sup>b</sup>	1,069	0,000	0,000	0,229	
<b>PD (%)</b>	6,92 <sup>A</sup>	6,50 <sup>AB</sup>	5,81 <sup>B</sup>	6,60 <sup>AB</sup>	NA	6,97 <sup>a</sup>	6,86 <sup>a</sup>	5,94 <sup>b</sup>	0,100	0,000	0,000	0,466	
<b>PC (%)</b>	30,06	30,18	29,41	29,91	29,40 <sup>c</sup>	27,66 <sup>d</sup>	30,49 <sup>b</sup>	32,08 <sup>a</sup>	0,178	0,575	0,000	0,014	
<b>OL (mg MDA/Kg)</b>	0,200 <sup>AB</sup>	0,203 <sup>AB</sup>	0,216 <sup>A</sup>	0,184 <sup>B</sup>	NA	0,257 <sup>a</sup>	0,228 <sup>b</sup>	0,116 <sup>c</sup>	0,006	0,004	0,000	0,000	
<b>Cor</b>	<b>L*</b>	36,90	37,58	36,79	36,99	41,65 <sup>a</sup>	33,27 <sup>c</sup>	36,53 <sup>b</sup>	36,60 <sup>b</sup>	0,204	0,210	0,000	0,998
	<b>a*</b>	16,30 <sup>B</sup>	16,84 <sup>A</sup>	16,45 <sup>AB</sup>	16,61 <sup>AB</sup>	20,91 <sup>a</sup>	16,85 <sup>b</sup>	14,32 <sup>c</sup>	13,77 <sup>d</sup>	0,168	0,042	0,000	0,950
	<b>b*</b>	13,33 <sup>B</sup>	13,86 <sup>A</sup>	13,24 <sup>B</sup>	13,57 <sup>AB</sup>	13,64 <sup>b</sup>	14,27 <sup>a</sup>	13,25 <sup>b</sup>	12,71 <sup>c</sup>	0,074	0,028	0,000	0,948
<b>Chroma (C*)</b>	21,16 <sup>B</sup>	21,89 <sup>A</sup>	21,17 <sup>AB</sup>	21,52 <sup>AB</sup>	24,97 <sup>a</sup>	22,10 <sup>b</sup>	19,54 <sup>c</sup>	18,76 <sup>d</sup>	0,158	0,016	0,000	0,937	
<b>Hue (h*)</b>	39,76	39,93	39,21	39,70	33,06 <sup>c</sup>	40,29 <sup>b</sup>	42,69 <sup>a</sup>	42,70 <sup>a</sup>	0,245	0,323	0,000	0,952	
<b><math>\Delta E^*</math></b>	-	2,76 <sup>A</sup>	2,14 <sup>B</sup>	2,65 <sup>AB</sup>	2,43	2,63	2,42	2,55	0,109	0,041	0,867	0,841	

\* NA: Não avaliado.

\* Letras maiúsculas sobre-escritas em linha referem-se a significância para a variação da Tensão.

\* Letras minúsculas sobre-escritas em linha referem-se a significância para a variação do Tempo.

\* FC: Força de cisalhamento. PD: Perdas no descongelamento. PC: Perdas por cocção. OL: Oxidação lipídica.

\* CON: carcaças não tratadas ou controle. T200 estimulação elétrica de 200 Volts. T300 estimulação elétrica de 300 Volts. T400 estimulação elétrica de 400 Volts.

\* Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Tabela 4 - Efeitos da estimulação elétrica em diferentes tensões nos parâmetros de qualidade da carne armazenada sob congelamento.

Tempo (dias)	3				60				120				180				<i>Valores de p</i>			
	COM	T200	T300	T400	COM	T200	T300	T400	CON	T200	T300	T400	CON	T200	T300	T400	SEM	Tensão	Tempo	Tensão*Tempo
<b>pH</b>	NA	NA	NA	NA	5.59 <sup>ab</sup>	5.69 <sup>a</sup>	5.57 <sup>abc</sup>	5.48 <sup>bcd</sup>	5.55 <sup>bc</sup>	5.55 <sup>abc</sup>	5.62 <sup>ab</sup>	5.55 <sup>abc</sup>	5.40 <sup>d</sup>	5.44 <sup>cd</sup>	5.44 <sup>cd</sup>	5.43 <sup>cd</sup>	0,010	0.058	0.000	0.024
<b>PC (%)</b>	29.26 <sup>cde</sup>	30.59 <sup>abcd</sup>	30.07 <sup>abcde</sup>	27.94 <sup>de</sup>	27.67 <sup>e</sup>	28.43 <sup>cde</sup>	27.33 <sup>de</sup>	27.37 <sup>de</sup>	30.93 <sup>abc</sup>	29.60 <sup>bcde</sup>	30.50 <sup>abcde</sup>	30.15 <sup>abcde</sup>	32.32 <sup>ab</sup>	31.73 <sup>abc</sup>	30.26 <sup>abcde</sup>	33.46 <sup>a</sup>	0.178	0.575	0.000	0.014
<b>OL (mg MDA/Kg)</b>	NA	NA	NA	NA	0.242 <sup>bcd</sup>	0.340 <sup>a</sup>	0.272 <sup>bc</sup>	0.196 <sup>de</sup>	0.232 <sup>cd</sup>	0.158 <sup>ef</sup>	0.299 <sup>ab</sup>	0.229 <sup>bcd</sup>	0.127 <sup>f</sup>	0.093 <sup>f</sup>	0.109 <sup>f</sup>	0.120 <sup>f</sup>	0.006	0.004	0.000	0.000

\* NA: Não avaliado.

\* Valores das médias na mesma linha com letras diferentes indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

\* PC: Perdas por cocção. OL: Oxidação lipídica.

\* CON: carcaças não tratadas ou controle. T200 estimulação elétrica de 200 Volts. T300 estimulação elétrica de 300 Volts. T400 estimulação elétrica de 400 Volts.

\* Fonte: Elaborada pela autora (2022).

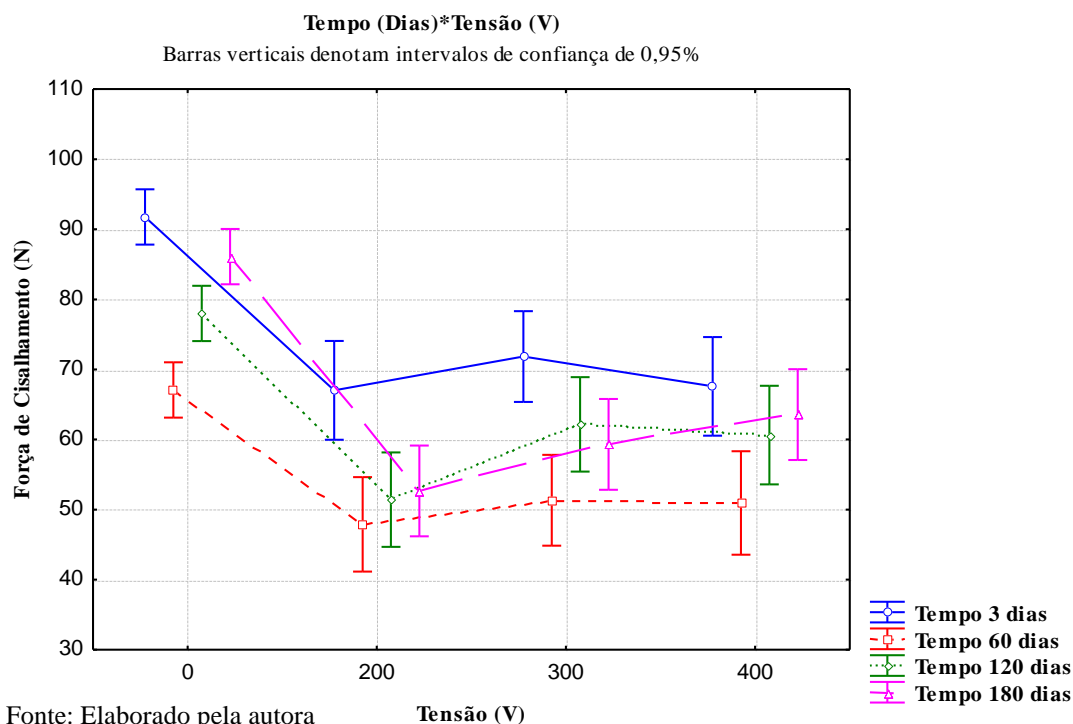
### 5.3.1 pH

Os valores do pH não diferiram ( $p>0,05$ ) entre os tratamentos para o armazenamento congelado (Tabela 3), não mostrando efeitos da EE. Com relação ao tempo de armazenamento, o tempo de 180 dias foi diferente ( $p<0,05$ ) dos tempos de 60 e 120 dias, apresentando o menor pH (5,42). Os valores do pH foram afetados ( $p<0,05$ ) pela interação entre a EE e o tempo de armazenamento (Tabela 4). Não houve efeito negativo da EE no pH, pois os valores mantiveram-se constantes e acima de 5.50 até 120 dias. CON em 180 dias foi diferente de 60 e 120 dias e apresentou menor valor (5,40). T300 foi diferente entre os tempos de 120 e 180 dias que apresentou menor resultado (5,44).

### 3.3.2 Força de cisalhamento (Warber – Bratzler)

Na avaliação dos diferentes tratamentos (Tabela 3), CON foi diferente ( $p<0,05$ ) de T200, T300 e T400, apresentando a maior resultado (80,73 N), mostrando o efeito positivo da estimulação elétrica para a maciez (Gráfico 4). T200 também foi diferente ( $p<0,05$ ) do CON, T300 e T400, apresentando o menor FC (54,45 N).

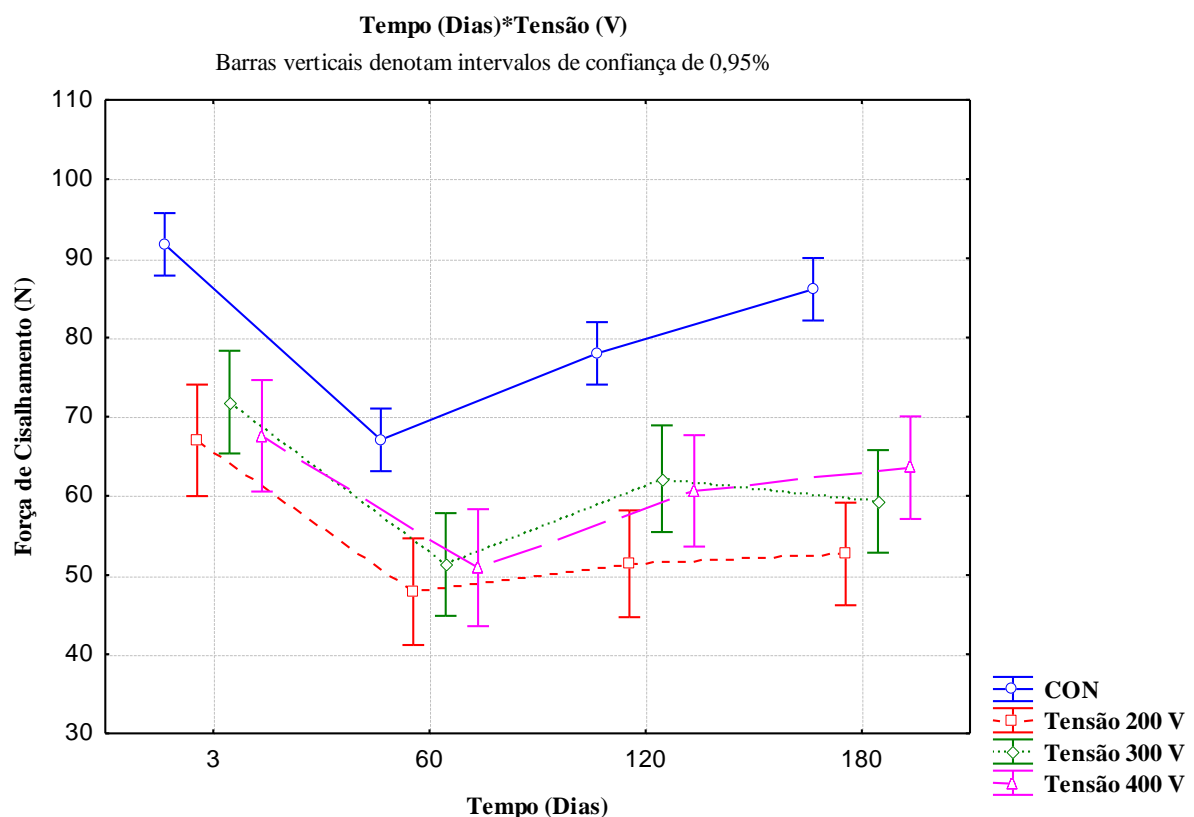
Gráfico 4 - Força de cisalhamento em relação a tensão para a carne armazenada sob congelamento.



Com relação ao tempo de armazenamento, o tempo de 3 dias (carne resfriada), apresentou maior FC (80,37 N), sendo diferente ( $p < 0,05$ ) dos tempos 60, 120 e 180 dias de armazenamento congelado. O tempo de 60 dias apresentou a menor FC (58,56 N), e foi diferente ( $p < 0,05$ ) dos tempos 3, 120 e 180 dias. Os valores da FC não foram afetados ( $p > 0,05$ ) pela interação entre a EE e o tempo de armazenamento. A FC aumentou ao longo do tempo, diminuindo a maciez, e pode estar associada ao aumento da perda no cozimento, o que pode ser atribuída a perda da suculência da carne (Gráfico 5). Damodaran & Srinivasan (2019) relataram que a quantidade de umidade presente na carne cozida determina sua suculência e maciez. Isso mostra que o tempo de armazenamento da carne tratada com EE congelada interfere na sua qualidade. O melhor resultado para a maciez foi para o tratamento T200 e para um tempo de armazenamento da carne congelada de 60 dias.

Ji et al. (2021) em um estudo realizado com carne bovina super-resfriada estocadas até 24 semanas encontraram uma redução da FC ao longo do tempo de estocagem para as carcaças estimuladas e não estimuladas eletricamente, sendo as carcaças estimuladas com menor FC em relação as não estimuladas em todos os tempos avaliados.

Gráfico 5 - Força de cisalhamento em relação ao tempo para a carne armazenada sob congelamento.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

### 5.3.3 Perdas no descongelamento

CON, T200 e T400 não tiveram diferença ( $p>0,05$ ) entre os tratamentos. T300 foi menor ( $p<0,05$ ) que o CON, apresentando o menor resultado de perda no descongelamento (5,81%) e CON a maior perda (6,92%). Com relação ao tempo de armazenamento os tempos de 60 e 120 dias foram iguais entre si e diferentes ( $p<0,05$ ) do tempo de 180 dias, no qual, apresentou o menor resultado de perda no descongelamento (5,94%). Os valores de perdas no descongelamento não foram afetados ( $p>0,05$ ) pela interação entre a EE e o tempo de armazenamento.

Sacks et al. (1993) observaram que a estimulação elétrica de baixa tensão em ovelhas pode aumentar o potencial de perda no descongelamento por curtos períodos de armazenamento congelado, mas as diferenças são menores em tempos de armazenamento mais longos.

Ji et al. (2021) em um estudo com carne bovina super-resfriada encontraram diferença significativa entre as perdas no descongelamento das carcaças estimuladas com as não estimuladas eletricamente, onde as carcaças estimuladas apresentaram valores menores de perdas ao longo do tempo de armazenamento.

### 5.3.4 Perdas por cocção

Não houve diferença ( $p>0,05$ ) entre os tratamentos para a perdas por cocção (Tabela 3), mostrando que a estimulação elétrica não afetou este parâmetro. Com relação ao tempo de armazenamento houve uma diferença, sendo que o tempo de 180 dias apresentou a maior perda (32,08%), mostrando que o tempo de armazenamento sob congelamento afetou este parâmetro. Considerando as perdas de peso totais da carne (soma da perda no descongelamento e da perda no cozimento), encontramos nos tempos 60 (34,63%), 120 (37,35%) e 180 (38,02%) dias. Isso parece indicar que a medida que o tempo de armazenamento da carne congelada é aumentado, aumentam as perdas de peso nos processos de descongelamento e cozimento, o que pode ter causado o aumento da FC e diminuição da maciez da carne. Os valores de perdas por cocção foram afetados ( $p<0,05$ ) pela interação entre a EE e o tempo de armazenamento (Tabela 4). CON teve um maior valor para perdas por cocção em 180 dias, porém não houve diferença entre os tratamentos de EE ao longo do tempo de armazenamento.

Ji et al. (2021) encontraram valores crescentes para perdas por cocção entre os tempos de 0 a 8 semanas de estocagem super-resfriada, apresentando um aumento significativo entre a 4 e 8 semanas ( $p<0,05$ ) e da semana 8 para 24 os valores foram decrescendo.

### 5.3.5 Oxidação lipídica

Os tratamentos T300 e T400 foram diferentes ( $p < 0,05$ ), onde T300 apresentou o maior valor (0,216 mg MDA/Kg) e T400 o menor (0,184 mg MDA/Kg). Em relação ao tempo de armazenamento da carne congelada, houve diferença entre todos tempos estudados ( $p < 0,05$ ). O tempo de 180 dias apresentou o menor resultado (0,116 mg MDA/kg). Os valores de TBARS foram afetados ( $p < 0,05$ ) pela interação entre a EE e o tempo de armazenamento (Tabela 4). CON foi diferente em 180 dias apresentando um menor valor que nos tempos de 60 e 120 dias, que foram iguais entre si. T200 foi diferente entre os tempos de 60 e 120 dias, porém os tempos de 120 e 180 dias foram iguais. T300 e T400 apresentaram resultados semelhantes, onde foram iguais nos tempos de 60 e 120 dias, porém foram diferentes no tempo de 180 dias, que foi diferente para todos os tratamentos apresentando os menores valores.

O armazenamento sob congelamento se mostrou eficiente para a estabilidade oxidativa de contrafilés e manteve os valores de TBARS em um nível baixo (0,116 – 0,257 mg MDA/kg amostra). Diferentes estudos estabeleceram valores de 2 a 2,5 mg de MDA/kg como o limite aceito em que não há sabor e odor de ranço em carnes e produtos cárneos (CAMPO, 2006).

Ji et al. (2021) encontraram valores crescentes para oxidação lipídicas ao longo do armazenamento (24 semanas) super-resfriado tanto para carcaças tratadas e não tratadas com estimulação elétrica, estes valores foram considerados baixos (0,10 – 0,21 mg MDA/kg), as carcaças estimuladas apresentaram um valor maior do que as não estimuladas no final de 24 semanas.

### 5.3.6 Cor

Para os valores de  $L^*$ , não houve diferenças entre os tratamentos após o armazenamento congelado (Tabela 3). Na avaliação do tempo de estocagem, não houve diferenças entre os tempos 120 e 180 dias. O tempo de 3 dias foi diferente ( $p < 0,05$ ) dos tempos de 60, 120 e 180 dias apresentando o maior resultado (41,65), porém neste tempo a carne estava resfriada. Na avaliação da carne estocada sob congelamento o tempo de 60 dias foi diferente dos tempos de 120 e 180 dias, apresentando o menor resultado (33,27). Estes dados demonstram a queda no valor  $L^*$  (luminosidade) quando a carne é congelada, onde o tempo de 3 dias (41,65), carne resfriada, apresentou maior valor que os tempos de 60, 120 e 180 dias, carne congelada. Os valores de  $L^*$  das amostras congeladas não foram significativamente afetados pela interação entre a EE versus o tempo de armazenamento ( $p > 0,05$ ).

Para os valores de  $a^*$ , CON e T200 foram diferentes ( $p < 0,05$ ) entre si, porém iguais a T300 e T400. T200 apresentou o maior resultado (16,84), o que é considerado acima do limite desejado pelos consumidores ( $a^* \geq 14,5$ ) (HOLMAN et al., 2017). Com relação ao tempo de armazenamento, todos foram diferentes entre si, onde, os valores de  $a^*$  foram diminuindo ( $p < 0,05$ ) ao longo do tempo de armazenamento. O tempo de 3 dias apresentou o maior resultado (20,91), porém a carne estava resfriada, demonstrando também, que para os valores de  $a^*$  o congelamento influenciou negativamente neste parâmetro de cor. Na avaliação da carne congelada o tempo de 60 dias apresentou o maior resultado (16,85). Estes dados demonstram perda da cor vermelha ao longo do tempo de estocagem da carne congelada. Os valores de  $a^*$  das amostras congeladas não foram afetados pela interação entre a EE e o tempo de armazenamento ( $p > 0,05$ ).

Para os valores de  $b^*$ , CON, T300 e T400 foram iguais entre si ( $p > 0,05$ ). T200 foi diferente de CON e T300 ( $p < 0,05$ ), e semelhante a T400. T200 apresentou o maior resultado (13,86) dentre todos os tratamentos. Em relação ao tempo de estocagem, os tempos de 3 e 120 dias foram iguais entre si ( $p > 0,05$ ). O tempo de 60 dias foi diferente de todos os outros tempos, sendo o maior resultado para o parâmetro  $b^*$  (14,27). O tempo de 180 dias também foi diferente de todos os outros tempos avaliados, apresentando o menor resultado (12,71). Estes dados demonstram que, o armazenamento congelado influenciou este parâmetro, reduzindo os valores de  $b^*$ . Os valores de  $b^*$  das amostras congeladas não foram afetados pela interação entre a EE e o tempo de armazenamento ( $p > 0,05$ ).

Quando comparamos os resultados deste estudo com os valores médios coletados na literatura por Muchenje et al. (2009) para a cor da carne em bovinos ( $L^*$ : 33,2 – 41,0;  $a^*$ : 11,1 – 23,6 e  $b^*$ : 6,1 – 11), observa-se que todos os tratamentos apresentaram valores satisfatórios para  $L^*$  e  $a^*$  e valores maiores para  $b^*$ , sugerindo que as amostras estavam com tons de amarelo mais acentuados, indicando maiores concentrações de MMB, o que pode diminuir a aceitação do consumidor.

Vários autores (TOOHEY et al., 2008) relataram que a carne estimulada eletricamente geralmente é mais brilhante e apresentam uma coloração mais intensa, semelhante as das carnes frescas.

Jeong et al. (2011), em estudos com carnes não estimuladas, sugeriram que os ciclos de congelamento/descongelamento aceleraram a deterioração da cor da carne, diminuíram a vermelhidão e houve o aumento dos níveis de metamioglobina em comparação com a carne fresca (não congelada/descongelada).

Para a avaliação do índice de saturação  $C^*$  (intensidade da cor), CON e T200 foram diferentes entre si, sendo T200 com o maior valor (21,89) e CON com o menor valor, porém ambos foram iguais a T300 e T400. Com relação ao tempo de armazenamento congelado, todos os tempos foram diferentes entre si ( $p < 0,05$ ), sendo o tempo de 3 dias com o maior valor (24,97) e o tempo de 180 dias o menor (18,76). Houve um decréscimo nos valores de  $C^*$  ao longo do armazenamento congelado, demonstrando que a intensidade da cor diminui com o aumento do tempo de armazenamento. Os valores de  $C^*$  das amostras congeladas não foram afetados pela interação entre a EE e o tempo de armazenamento ( $p > 0,05$ ). O índice de saturação  $C^*$  expressa o quão viva é a cor da carne. Assim, altos valores de saturação significam um vermelho mais intenso da carne bovina (SALIM et al., 2022).

Para a avaliação do ângulo de tonalidade  $h^*$  (cromaticidade), não houve diferença entre todos os tratamentos, porém, com relação ao tempo de armazenamento congelado os tempos de 3 e 60 dias foram diferentes entre si e aos tempos de 120 e 180 dias foram iguais. O tempo de 180 dias apresentou o maior resultado (42,70) e o tempo de 3 dias o menor (33,06), demonstrando que com o passar do tempo a carne adquire uma coloração de vermelho a levemente alaranjada (RAMOS, 2017). Os valores de  $h^*$  das amostras congeladas não foram afetados pela interação entre a EE e o tempo de armazenamento ( $p > 0,05$ ).

Para a avaliação da diferença total de cor  $\Delta E^*$ , houve uma diferença entre T200 e T300 e ambos foram iguais a T400. T200 apresentou o maior valor (2,76) e T300 o menor (2,14). Não houve diferença entre os tempos de armazenamento congelado. Os valores de  $\Delta E^*$  das amostras congeladas não foram afetados pela interação entre a EE e o tempo de armazenamento ( $p > 0,05$ ). Conforme a escala apresentada por Prändl et al. (1994) e por Stark et al. (1996) citadas anteriormente tivemos variações de  $\Delta E^*$  entre 2,14 – 2,76 para a tensão e entre 2,42 – 2,63 para o tempo de armazenamento, podendo ser classificadas como “percepções evidentes” ou “perceptíveis”. Lembrando que as carnes EE tiveram valores maiores de cor comparadas com o controle.

## 6 CONCLUSÃO

Com relação a queda do pH inicial, a estimulação elétrica de média voltagem acelerou a queda do pH nas carcaças bovinas. A tensão de 200 V proporcionou uma maior taxa de queda do pH.

Na carne maturada a estimulação elétrica teve um efeito positivo nos parâmetros de qualidade na carne de Nelore submetida à maturação. Diminuiu a força de cisalhamento (aumentando a maciez) e não interferiu nos valores de perda por cocção. A estimulação elétrica acelerou o processo de maturação comparadas com as carcaças não tratadas. O tratamento com a tensão de 200 V mostrou-se mais eficiente que os outros tratamentos.

Para a carne armazenada sob congelamento a estimulação elétrica teve um efeito positivo nos parâmetros de qualidade. Diminuiu a força de cisalhamento, a perda no descongelamento e aumentou a intensidade da cor vermelha. O tratamento com a tensão de 200V mostrou-se mais eficiente do que os outros tratamentos estudados. Independente das tensões utilizadas, o tempo de armazenamento sob congelamento diminuiu o pH, a perda no descongelamento, a intensidade da cor vermelha e amarela e aumentou a força de cisalhamento e a perda por cocção, mantendo a oxidação lipídica dentro dos padrões aceitáveis.

A diferença total de cor entre a carne tratada com estimulação elétrica e as não tratadas, tanto as submetidas à maturação como nas armazenadas sob congelamento, foram classificadas como “perceptíveis”, demonstrando que a estimulação elétrica melhora a cor da carne.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE (ABIEC). **Beef Report – Perfil da Pecuária no Brasil 2023**. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2023>. Acesso em: 20 de julho de 2023.
- ASSOCIAÇÃO DOS CRIADORES DE NELORE DO BRASIL (ACNB). Disponível em: <http://www.nelore.org.br/raca/historico>. Acesso em: 06 de outubro de 2022.
- ALDAI, N.; MURRAY, B. E.; MARTÍNEZ, A.; OLIVÁN, M.; TROY, D. J.; OSORO, K.; NÁJERA, A. I. The influence of breed and *mh*-genotype on carcass conformation, meat physico-chemical characteristics, and the fatty acid profile of muscle from yearling bulls. *Meat Science*, 72, p. 486–495, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.08.016>
- AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION (AMSA). **Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat**. Second Edition, Version 1.0, 2015.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **F 2925-11 Standard Specification for Tenderness Marketing Claims Associated with Meat Cuts Derived from Beef**. American Society for Testing Materials International, West Conshohocken, Pensilvânia, 2011.
- BENDALL, J.R. Postmortem changes in muscle. *In* The Structure and Function of Muscle, v. 2, 2. ed, p. 243. G.H. Bourne (Editor). Academic Press, New York. 1973.
- BENDALL, J. R., KETTERIDGE C. C., GEORGE A. R. The electrical stimulation of beef carcasses. *J. Sci. Fd. Agric.* 27, p. 819, 1976. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740271207>
- BENDALL, J. R. Electrical stimulation of carcasses of meat animals. **Developments in meat science**. I, Ed. R. A. Lawrie, p. 37, 1980.
- BOLEMAN, S. J.; BOLEMAN, S. L.; MILLER, R. K.; TAYLOR, J. F.; CROSS, H. R.; WHEELER, T. L.; KOOHMARAIE, M.; MILLER, M. F.; WEST, R. L.; JOHNSON, D. D.; SAVELL, J. W. Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. *Journal of Animal Science*, v.75, n.6, p. 1521–1524, 1997. <https://doi.org/10.2527/1997.7561521x>
- BOUTON, P. E.; FORD, A. L.; HARRIS, P. V.; SHAW, F. D. Electrical stimulation of beef sides. *Meat Science*, v. 4, p. 145 – 155, 1980. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(80\)90038-8](https://doi.org/10.1016/0309-1740(80)90038-8)
- BRASIL – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Exportação e Importação Geral – Exportações brasileiras em 2022. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em: 24 de abril de 2023.
- BRIDI, A. M.; CONSTANTINO, C. **Qualidade e avaliação de carcaças e carnes bovinas**. Disponível em: <http://www.uel.br/grupopesquisa/gpac/pages/arquivos/Qualidade%20e%20Avaliacao%20de%20Carcacas%20e%20Carnes%20Bovinas.pdf>. Acesso em: 20 de agosto de 2022.

- BYRNE, C.E.; TROY, D.J.; BUCKLEY, D.J. Postmortem changes in muscle electrical properties of bovine *M. longissimus dorsi* and their relationship to meat quality attributes and pH fall. **Meat Science**, v. 54, p. 23-34, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00055-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00055-8)
- CALKINS, C. R.; HODGEN, J. M. A fresh look at meat flavour. **Meat Science**, v. 77, p. 63–80, 2007.
- CAMPO, M. M.; PANEA, B.; ALBERTI, P.; SANTOLARIA, P. Breed type and ageing time effects on sensory characteristics of beef strip loin steaks. **Meat Science**, v. 51, p. 383–390, 1999.
- CAMPO, M.M.; NUTE, G.R.; HUGHES, S.I.; ENSER, M.; WOOD, J.D.; RICHARDSON, R.I. Flavour perception of oxidation in beef. **Meat Science**, v. 72, p. 303–311, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.07.015>
- CHRYSTALL, B. B.; DEVINE, C. E.; DAVEY, C. L. Studies in electrical stimulation: *Post mortem* decline in nervous response in lambs. **Meat Science**, v. 4, p. 69-76, 1980. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(80\)90024-8](https://doi.org/10.1016/0309-1740(80)90024-8)
- CIE. **CIE 15: Technical Report – Colorimetry, 3rd Edition**. Washington, 2004. Disponível em: <https://www.cdvplus.cz/file/3-publikace-cie15-2004>. Acesso em: 15 de agosto de 2022.
- COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE. **Colorimetry**. 2. ed. Vienna, Switzerland: CIE. 1976.
- CROUSE, J. D., CUNDIFF, L. V., KOCH, R. M., KOOHMARAIE, M., SEIDEMAN, S. C. Comparisons of *Bos Indicus* and *Bos Taurus* Inheritance for Carcass Beef Characteristics and Meat Palatability, **Journal of Animal Science**, v. 67, 10. ed., p. 2661–2668, 1989. <https://doi.org/10.2527/jas1989.67102661x>
- CUNDIFF, L.V. Genetic selection to improve the quality and composition of beef carcasses. In: **Proc. Rec. Meat Conference**, Colorado State University, v. 45, p. 123-31, 1992.
- DAMODARAN, SRINIVASAN. **Química de alimentos de Fennema** [recurso eletrônico] /Srinivasan Damodaran, Kirk L. Parkin; tradução Adriano Brandelli... [et al.]; revisão técnica: Adriano Brandelli. – 5. ed. – Porto Alegre: Artmed, p. 953 – 1014, 2019.
- DRANSFIELD, E. et al. Beef quality assessed at European research centres. **Meat Science**. v. 36, p. 1 – 20, 1984. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(84\)90028-7](https://doi.org/10.1016/0309-1740(84)90028-7)
- DUTSON, T. R., SAVELL, J. W.; SMITH, G. C. Electrical Stimulation: Purpose, Application and Results. **Meat Science**. v. 6, p. 159, 1982.
- EPÍSTOLA AOS CORÍNTIOS. In: BÍBLIA. **Bíblia sagrada**. Tradução pelo Centro Bíblico Católico. 75. ed. rev. São Paulo: Editora Ave-Maria, 1993. p. 1477.
- ETHERINGTON, D.J. The contribution of proteolytic enzymes to *post mortem* changes in muscle. **Journal of Animal Science**, v. 59, 6. ed., p. 1644-1650, 1984. <https://doi.org/10.2527/jas1984.5961644x>

FELÍCIO, P.E. Fatores que Influenciam na Qualidade da Carne Bovina. *In*: A. M. Peixoto; J. C. Moura; V. P. de Faria. (Org.). **Produção de Novilho de Corte**. 1.ed. Piracicaba: FEALQ, v. Único, p. 79-97, 1997.

GANHÃO, R.; ESTÉVEZ, M.; MORCUENDE, D. Suitability of the TBA method for assessing lipid oxidation in a meat system with added phenolic-rich materials. v. 126, 2. ed., p. 772 – 228, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.064>

GEORGE, A. R.; BENDALL, J. R.; JONES, R. C. D. The tenderising effect of electrical stimulation of beef carcasses. **Meat Science**, v. 4, n.1, p. 51 – 68, 1980. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(80\)90023-6](https://doi.org/10.1016/0309-1740(80)90023-6)

GILBERT, K. V. AND CHRYSTALL, B. B. Unpublished. Meat Industry Research Institute of New Zealand, Hamilton, N. Z. 1982.

GRAY, J. I.; GOMAA, E. A.; BUCKLEY, D. J. Oxidative quality and shelf life of meats. **Meat Science**, v. 43, p. 111– 123, 1996. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(96\)00059-9](https://doi.org/10.1016/0309-1740(96)00059-9)

GURSANSKY, B.; O'HALLORAN, J. M.; EGAN, A., & DEVINE, C. E. Tenderness enhancement of beef from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle following electrical stimulation. **Meat Science**, v. 86, p. 635–641, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.002>

HANSEN, E, LAURIDSEN; L., SKIBSTED, L. H.; MOAWAD, R. K, ANDERSEN, M. L. Oxidative stability of frozen pork patties: Effect of fluctuating temperature on lipid oxidation. **Meat Science**, v. 68, p. 185-191, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.02.012>

HARSHAM, A.; DEATHERAGE, C. Tenderization of meat. **U.S. Patent 2544681**. 1951

HOFFMAN, L. C.; KROUCAMP, M.; MANLEY, M. Meat quality characteristics of springbok (*Antidorcas marsupialis*). 4: Sensory meat evaluation as influenced by age, gender and production region. **Meat Science**, v. 76, p. 774–778, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.02.020>

HOLMAN, B. W. B.; VAN DE VEN, R. J.; MAO, Y.; COOMBS, C. E. O., & HOPKINS, D. L. Using instrumental (CIE and reflectance) measures to predict consumers' acceptance of beef colour, **Meat Science**, v. 127, p. 57 – 62, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.01.005>

HOPE-JONES, M.; STRYDOM, P. E.; FRYLINCK, L.; WEBB, E. C. The efficiency of electrical stimulation to counteract the negative effects of  $\beta$ -agonists on meat tenderness of feedlot cattle. **Meat Science**, v. 86(3), p. 699–705, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.06.008>

HOPKINS, D. L.; TOOHEY, E. S.; PEARCE, K. L.; RICHARDS, I. Some important changes in the Australian sheep meat processing industry. **Animal Production Science**, v. 48, p. 752–756, 2008. <https://doi.org/10.1071/EA07393>

HOPKINS, D. L.; PONNAMPALAM, E. N.; VAN DE VEN, R. J.; WARNER, R. D. The effect of pH decline rate on the meat and eating quality of beef carcasses. **Animal Production Science**, v. 54, p. 407–413, 2014. <https://doi.org/10.1071/AN12314>

HUNTER, R. S.; HAROLD, R. W. **The measurement of appearance**. 2ed. Reston, Virginia. Hunter Associates Laboratory, Inc, p. 391, 1987.

HWANG, I. H.; THOMPSON, J. M. The interaction between pH and temperature decline early postmortem on the calpain system and objective tenderness in electrically stimulated beef longissimus dorsi muscle. **Meat Science**, v. 58, p. 167-174, 2001.

[https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00147-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00147-9)

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3. ed., Sao Paulo: IMESP, p. 27, 1985.

JEONG, J. Y.; KIM, G. D.; YANG, H. S.; JOO, S. T. Effect of freeze-thaw cycles on physicochemical properties and color stability of beef *semimembranosus* muscle. **Food Research International**. v. 44, 10, p. 3222 – 3228, 2011.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.08.023>

JI, X.; LUO, X.; ZHU, L.; MAO, Y.; LU, X.; X.,A; HOPIKINS, D.L.; ZHANG, Y. Effect of medium voltage electrical stimulation and prior ageing on beef shear force during superchilled storage. **Meat Science**. v. 172, 108320, ISSN 0309-1740, 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108320>

JUDGE, M. D.; ABERLE, E.D.; FORREST, J.C.; HEDRICK, H.B.; MERKEL, R.A. **Principles of Meat Science**. Dubuque: Kendall/Hunt, p. 351, 1989.

JUDGE, M. D. **Meat evaluation: Century concepts important to meat animal evaluation**, v. 21. Madison: University of Wisconsin, p. 136 – 149, 1991.

KOOHMARAIE, M. Role of the neutral proteinases in *post mortem* muscle protein degradation and meat tenderness. In: RECIPROCAL MEAT CONFERENCE, 45. Knoxville. **Proceedings...** Knoxville: American Meat Science Association, p. 63 -71, 1992.

KOOHMARAIE, M. Muscle Proteinases and Meat Aging. **Meat Science**, v. 36, p. 93-104, 1994. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(94\)90036-1](https://doi.org/10.1016/0309-1740(94)90036-1)

KOOHMARAIE, M. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. **Meat Science**, v. 43, p. 193–201, 1996. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(96\)00065-4](https://doi.org/10.1016/0309-1740(96)00065-4)

KOOHMARAIE, M.; KENT, M. P.; SHACKELFORD, S. D.; VEISETH, E.; WHEELER, T. L. Meat tenderness and muscle growth: Is there any relationship? **Meat Science**, v. 62, 3. Ed., p. 345–352, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00127-4](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00127-4)

LANG, Y.; SHA, K.; ZHANG R.; XIE, P.; LUO, X.; SUN, B.; LI, H.; ZHANG, L.; ZHANG, S.; LIU, X. Effect of electrical stimulation and hot boning on the eating quality of Gannan yak *longissimus lumborum*. **Meat Science**, v. 112, 4. ed., p. 3–8, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.10.011>

LAWRIE, R. A.; LEDWARD, D. A. **Lawrie's meat Science**. 7th ed. Woodhead Publishing, Cambridge, England. 2006.

LAWRIE, R.A. **Ciência da Carne**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 384p.

LEDWARD D. A.; DICKINSON R. F.; POWELL, V. H.; SHORTHOSE W. R. The colour and colour stability of beef *Longissimus dorsi* and *Semimembranosus* muscles after affective electrical stimulation. **Meat Science**. v. 16, 4. ed., p. 245 – 265, 1986.  
[https://doi.org/10.1016/0309-1740\(86\)90037-9](https://doi.org/10.1016/0309-1740(86)90037-9)

LI, C.; CHEN, Y.; XU, X.; HUANG, M.; ZHOU, G. Effects of low-voltage electrical stimulation and rapid chilling on meat quality characteristics of Chinese yellow crossbred bulls. **Meat Science**, v. 72, 1. ed., p. 9–17, 2010.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.035>

LI, C., LI, J., LI, X., HVIID, M., & LUNDSTRÖM, K. Effect of low-voltage electrical stimulation after dressing on color stability and water holding capacity of bovine *longissimus* muscle. **Meat Science**, v. 88, p. 559–565, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.02.012>

LI, S.; YU, Q.; HAN, L.; ZHANG, Y.; TIAN, X.; ZHAO, S. Effects of proteome changes on the tenderness of yak rumen smooth muscle during postmortem storage based on the label-free mass spectrometry. **Food Research International**, v. 116, p. 1336–1443, 2019.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.023>

MAC DOUGALL, D. B. Changes in the colour and opacity of meat. **Food Chemistry**, v. 9, 1. ed., p. 75–88, 1982.

MCKENNA D. R., MADDOCK D., SAVELL J. W. Water-holding and color characteristics of beef from electrically stimulated carcasses. **Journal of Muscle Foods**. v. 14, 1. ed., p. 33–49, 2003. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2003.tb00344.x>

MALTIN, C.; BALCERZAK, D.; TILLEY, R.; DELDAY, M. Determinants of meat quality: tenderness. **Proc. Nutr. Soc.** v. 62, p. 337–347, 2007. <https://doi.org/10.1079/PNS2003248>

MARSH, B. B.; RINGKOB, T. P.; RUSSELL, R. L.; SWARTZ, D. R.; PAGEL, L. A. Effects of early-postmortem glycolytic rate on beef tenderness. **Meat Science**. v. 21, 4. ed., p. 241 – 248, 1987. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(87\)90061-1](https://doi.org/10.1016/0309-1740(87)90061-1)

MELTON, S. L. Effect of feeds on flavour of red meat: A review. **Journal of Animal Science**, v. 68, p. 4421–4435, 1990. <https://doi.org/10.2527/1990.68124421x>

MONSÓN, F.; SAÑUDO, C.; SIERRA, I. Influence of breed and ageing time on the sensory meat quality and consumer acceptability in intensively reared beef. **Meat Science**, v. 71, p. 471–479, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.026>

MUCHENJE, V.; DZAMA, K.; CHIMONYO, M.; RAATS, J. G.; STRYDOM, P. E. Meat quality of Nguni, Bonsmara and Aberdeen Angus steers raised on natural pasture in the Eastern Cape, South Africa. **Meat Science**, v. 79, p. 20–28, 2008a.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.026>

MUCHENJE, V.; DZAMA, K.; CHIMONYO, M.; STRYDOM, P. E.; HUGO, A.; RAATS, J. G. Sensory evaluation and its relationship to physical meat quality attributes of beef from

Nguni and Bonsmara steers raised on natural pasture. **Animal**, v. 2, p. 1700 – 1706, 2008b. <https://doi.org/10.1017/S1751731108002802>

MUCHENJE, V.; DZAMA, K.; CHIMONYO, M.; STRYDOM, P. E.; HUGO, A.; RAATS, J. G. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. **Food Chemistry**, v. 112, 2. ed., p. 279–289, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.103>.

MUIR, P. D.; WALLACE, G. J.; DOBBIE, P. M.; BOWN, M. D. A comparison of animal performance and carcass and meat quality characteristics in Hereford, Hereford x Friesian, and Friesian steers grazed together at pasture. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 43, p. 193–205, 2000. <https://doi.org/10.1080/00288233.2000.9513421>

NAIR, M. N.; CANTO, A. C.; RENTFROW, G.; SUMAN, S. P. Muscle-specific effect of aging on beef tenderness. **LWT – Food Science and Technology**, v. 100, p. 250 – 252, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.038>

NAZLI, B.; CETIN, O.; BINGOL, E.; KAHRAMAN, T.; ERGUN, O. Effects of high voltage electrical stimulation on meat quality of beef carcasses. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 9, p. 556–560, 2010.

NEWBOLD, R. P.; SMALL, L. M. Electrical stimulation of post-mortem glycolysis in the *Semitendinosus* muscle of sheep. **Meat Science**. v. 12, p. 1-16, 1985. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(85\)90021-X](https://doi.org/10.1016/0309-1740(85)90021-X)

OSAWA, C. C.; FELÍCIO, P. E.; GONÇALVES, L. G. Teste de TBA aplicado a carnes e derivados: métodos tradicionais, modificados e alternativos. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, p. 655-663, 2005.

PEARCE, K. L.; HOPKINS, D. L.; WILLIAMS, A.; JACOB, R. H.; PETHICK, D. W.; PHILLIPS, J. K. Alternating frequency to increase the response to stimulation from médium voltage electrical stimulation and the effect on objective meat quality. **Meat Science**, v. 81, 1. ed., p. 188–195, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.018>

PEARCE, K. L.; VAN DE VEN, R.; MUDFORD, C.; WARNER, R. D.; HOCKING-EDWARDS, J.; JACOB, R.; PETHICK, D. W.; HOPKINS, D. L. Case studies demonstrating the benefits on pH and temperature decline of optimising medium-voltage electrical stimulation of lamb carcasses. **Animal Production Science**, v. 50, 12. Ed., p. 1107–1114, 2010. <https://doi.org/10.1071/AN10114>

POLETI, M. D.; MONCAU, C. T.; VIGNATO, B. S.; ROSA, A. F.; LOBO, A. R.; CATALDI, T. R.; NEGRÃO, J. A.; SILVA, S. L.; ELER, J. P. E.; BALIEIRO, J. C. C. Label-free quantitative proteomic analysis reveals muscle contraction and metabolism proteins linked to ultimate pH in bovine skeletal muscle. **Meat Science**, v. 145, p. 209–219, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.041>

PRÄNDL, O.; FISHER, A.; SCHIMIDHOFER, T.; SINELL, H. **Tecnología de higiene de la carne**. Zaragoza: Acribia, 1994. 855 p.

PUGA, D.M.U.; CONTRERAS, C.J.C.; TURNBULL, M.R. Avaliação do amaciamento de carne bovina de dianteiro (*Triceps brachii*) pelos métodos de maturação, estimulação elétrica, injeção de ácidos e tenderização mecânica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.19, n.1, p.88-96, 1999.

RAMOS, E. M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. 2ed. rev. e ampl. – Viçosa, MG: Ed. UFV, 473 p. 2017.

REVILLA, I.; VIVAR-QUINTANA, A. M. Effect of breed and ageing time on meat quality and sensory attributes of veal calves of the “Ternera de Aliste” quality label. **Meat Science**, v. 73, p. 189–195, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.11.009>

RILEY, R. R.; SAVELL, J. W.; SMITH, G. C.; and SHELTON, M. Quality, appearance and tenderness of electrically stimulated lamb. **Journal of Food Science**. v. 45, 1. ed., p. 119 - 121, 1980. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb03884.x>

ROEBER, D. C.; CANNELL, R. C.; BELK K. E.; TATUM J. D.; SMITH G. C. Effects of a unique application of electrical stimulation on tenderness, color, and quality attributes of the beef *longissimus* muscle. **Journal of Animal Science**. v. 78, p. 1504 – 1509, 2000. <https://doi.org/10.2527/2000.7861504x>

SACKS, B.; CASEY, N. H.; BOSHOFF, E.; VAN ZYL, H. Influence of freezing method on thaw drip and protein loss of low-voltage electrically stimulated and non-stimulated sheeps' muscle. **Meat Science**, v. 34, 2. ed., p. 235-243, 1993. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(93\)90030-L](https://doi.org/10.1016/0309-1740(93)90030-L)

SALIM, A. P. A. A.; FERRARI, R. G.; MONTEIRO, M. L. G.; MANO, S.B. Effect of different feeding systems on color of longissimus muscle from Bos cattle: A systematic review and meta-analysis. **Meat Science**, v. 192, 108871, ISSN 0309-1740, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108871>.

SANTOS, D.; MONTEIRO M. J.; VOSS, H., KOMORA, N.; TEIXEIRA, P.; PINTADO, M. The most important attributes of beef sensory quality and production variables that can affect it: A review. **Meat Science**. v. 250, 104573, ISSN 1871-1413, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104573>

SAÑUDO, C.; MACIE, E. S.; VILLARROEL, J. L.; OLLETA, M.; PANEA, B.; ALBERTI, P. The effects of slaughter weight, breed type and ageing time on beef meat quality using two different texture devices. **Meat Science**, v. 66, p. 925–932, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.08.005>

SAVELL, J. W.; SMITH, G. C.; DUTSON, T. R.; CARPENTER, Z. L.; SUTER, D. A. Effect of electrical stimulation on palatability of beef, lamb and goat meat. **Journal of Animal Science**. v. 42, 3. ed., p. 702-706, 1977. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1977.tb12583.x>

SAVELL, J. W.; SMITH, G. C.; CARPENTER, Z. L. Beef quality and palatability as affected by electrical stimulation and cooler aging. **Journal of Food Science**. v.43, 6. ed., p. 1666 – 1668, 1978. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1978.tb07383.x>

SHACKELFORD, S. D.; WHEELER, T. L.; MEADE, M. K.; REAGAN, J. O.; BYRNES, B. L.; KOOHMARAIE, M. Consumer impressions of tender select beef. **Journal of Animal Science**, v. 79, 10. ed., p. 2605–2614, 2001. <https://doi.org/10.2527/2001.79102605x>

SMITH, G.C.; SAVELL, J.W.; DUTSON, T.R.; HOSTETLER, R.L.; TERRELL, R.N. MURPHEY, C.E.; CARPENTER, Z.L. Effects of electrical stimulation on beef, pork, lamb and goat meat. **In Proc. 26th European Meeting of Meat Research Workers**, v. 2, p. 19, Colorado Springs, Colorado. 1980.

SPANIER, A. M.; FLORES, M., MCMILLIN, K. W.; BIDNER, T. D. The effect of post-mortem aging on meat flavor quality in Brangus beef: Correlation of treatments, sensory, instrumental and chemical descriptors. **Food Chemistry**, v. 59, p. 531–538, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(97\)00003-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(97)00003-4)

STARK, G.; FAWCETT, J.P.; TUCKER, I.G.; WEATHERAL, I.L. Instrumental evaluation of color of solid dosage forms during stability testing. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 143, 1. ed., p. 93-100, ISSN 0378-5173, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0378-5173\(96\)04691-1](https://doi.org/10.1016/S0378-5173(96)04691-1)

STRYDOM, P. E.; NAUDE, R. T.; SMITH, M. F.; SCHOLTZ, M. M.; VAN WYK, J. B. Characterisation of indigenous African cattle breeds in relation to meat quality traits. **Meat Science**, v. 55, p. 79–88, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00128-X](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00128-X)

THOMPSON, J.T. The effect of electrical current on hot boned pork quality. M.S. Thesis, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma. 1981.

TOOHEY, E. S.; HOPKINS, D. L.; STANLEY, D. F.; NIELSEN, S. G. The impact of new generation pre-dressing medium-voltage electrical stimulation on tenderness and colour stability in lamb meat. **Meat Science**, v. 79, 4. ed., p. 683–691, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.10.036>

TUME, R. K. Effect of Post-Mortem Electrical Stimulation on Ovine Sarcoplasmic Reticulum Vesicles. **Australian Journal of Biological Sciences**. v. 33, 1. ed., p. 43 – 52, 1980. <https://doi.org/10.1071/B19800043>

VYNCKE, W. Evaluation of the direct thiobarbituric acid extraction method for determining oxidative rancidity in mackerel (*Scomber scombrus* L.). **European Journal of Lipid Science and Technology**. v. 77, 6. ed., p. 239–240, 1975. <https://doi.org/10.1002/lipi.19750770610>

WHEELER, T.L.; SAVELL, J.W.; CROOS, H.R. Mechanisms associated with the variation in tenderness of meat from Brahman and Hereford cattle. **Journal of Animal Science**, v. 68, 12. ed., p. 4206 - 4220, 1990. <https://doi.org/10.2527/1990.68124206x>

WHIPPLE G.; KOOHMARAIE, M.; DIKEMAN, M.E.; CROUSE, J. D.; HUNT, M. C.; KLEMM, R.D. Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. **Journal of Animal Science**, v. 68, p. 2716 - 2728, 1990. <https://doi.org/10.2527/1990.6892716x>

WARNER, R. D.; WHEELER, T. L.; HA, M., LI, X.; BEKHIT, A. E.; MORTON, J.; VASKOSKA, R.; DUNSHEA, F. R.; LIU, R.; PURSLOW. P.; ZHANG, W. Meat tenderness:

advances in biology, biochemistry, molecular mechanisms and new technologies. **Meat Science**, v. 185, 2. ed., 108657, ISSN 0309-1740, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108657>

WARRISS P. D. **Meat science: An Introductory Text**. 2nd Ed. CABI Publishing. Cambridge, UK. pp. 117–122, 2010.

WOOD, J. D.; ENSER, M. Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. **British Journal of Nutrition**, v. 78, 1. ed., p. 49–60, 1997.

<https://doi.org/10.1079/BJN19970134>

ZHANG, Y.; JI, X.; MAO, Y.; LUO, X.; ZHU, L.; HOPKINS, D. L. Effect of new generation medium voltage electrical stimulation on the meat quality of beef slaughtered in a Chinese abattoir. **Meat Science**, v. 149, p. 47–54, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.011>