

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 10/06/2022.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

EFICIÊNCIA DA CRESCENTE ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA DE MÉDIA VOLTAGEM
EM MEIAS CARCAÇAS *BOS TAURUS INDICUS* NO FINAL DO ABATE NA
QUALIDADE DO CONTRAFILÉ DURANTE A MATURAÇÃO

JANAINA PRIETO DE OLIVEIRA

Trabalho de Dissertação apresentado como parte das exigências para obtenção do título de Mestre do Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Zootecnia.

Botucatu, SP
Julho de 2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

EFICIÊNCIA DA CRESCENTE ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA DE MÉDIA VOLTAGEM
EM MEIAS CARCAÇAS *BOS TAURUS INDICUS* NO FINAL DO ABATE NA
QUALIDADE DO CONTRAFILÉ DURANTE A MATURAÇÃO

JANAINA PRIETO DE OLIVEIRA
Zootecnista/Médica Veterinária

Orientador: Prof. Dr. Roberto de Oliveira Roça.
Co-orientador: Dr. Guilherme Sicca Lopes
Sampaio.

Trabalho de Dissertação apresentado como parte
das exigências para obtenção do título de Mestre
do Curso de Mestrado do Programa de Pós-
graduação em Zootecnia.

Botucatu, SP
Julho de 2020

O48e Oliveira, Janaina Prieto
Eficiência da crescente estimulação elétrica de média voltagem em meias carcaças
Bos taurus indicus no final do abate na qualidade do contrafilé durante a maturação /
Janaina Prieto Oliveira. -- Botucatu, 2020
87 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de
Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu
Orientador: Roberto de Oliveira Roça
Coorientador: Guilherme Sicca Lopes Sampaio

1. Carne bovina. 2. Tecnologia de alimentos. 3. Estimulação elétrica. 4. Carne
Indústria. 5. Carne Qualidade. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Medicina Veterinária e
Zootecnia, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

BIOGRAFIA DA AUTORA

JANAINA PRIETO DE OLIVEIRA, filha de Amilton de Oliveira e Maria de Lourdes Prieto de Oliveira, nasceu em Colorado, Paraná, Brasil, no dia 04 de 06 de 1988. Em janeiro de 2009, iniciou o curso de Zootecnia na Universidade Estadual de Maringá-UEM, graduando-se em Dezembro de 2013, posteriormente formou-se no curso de Medicina Veterinária no Centro Universitário de Maringá- UNICESUMAR, graduando-se em dezembro de 2017. Em março de 2018, iniciou no Programa de Pós-graduação em Zootecnia, nível de Mestrado acadêmico, área de conhecimento-Tecnologia de Produtos de Origem Animal, na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Campus de Botucatu. No dia 07 de fevereiro de 2020, submeteu-se à banca para a qualificação da Dissertação e no dia 10 de junho de 2020 realizou sua defesa.

Nome do Autor: Janaina Prieto de Oliveira

Título: EFICIÊNCIA DA CRESCENTE ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA DE MÉDIA VOLTAGEM EM MEIAS CARCAÇAS *BOS TAURUS INDICUS* NO FINAL DO ABATE NA QUALIDADE DO CONTRAFILÉ DURANTE A MATURAÇÃO

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Roça (Presidente e orientador)

Departamento de Melhoramento Genético e Nutrição Animal-FMVZ

DMNA - UNESP - Botucatu, SP

Prof. Dr. Sérgio Bertelli Pflanze (Membro Titular)

Faculdade de Engenharia de Alimentos -Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP-

Campinas, SP

Prof. Dr. Ana Maria Bridi (Membro Titular)

Universidade Estadual de Londrina -UEL- Londrina, PR

DEDICATÓRIA

*Ó Deus, minha família, minha avó
em memória e a todas as pessoas que
acreditaram que sou capaz.*

Com carinho, dedico.

“Enquanto estiver vivo, sinta-se vivo.

Se sentir saudades do que fazia, volte a fazê-lo.

Não viva de fotografias amareladas.....

Continue, quando todos esperam que desistas.

Não deixe que enferruje o ferro que existe em você.

Faça com que em vez de pena, tenham respeito por você.

Quando não conseguir correr através dos anos, trote.

Quando não conseguir trotar, caminhe.

Quando não conseguir caminhar, use uma bengala.

Mas nunca se detenha”.

Madre Teresa de Calcutá†

AGRADECIMENTOS

A DEUS...

À minha **mãe, Lourdes e meu pai Amilton** por sempre acreditarem nos meus sonhos, objetivos e escolhas.

Às minhas **irmãs Célia e Vitória** pela paciência nos momentos de dificuldades, conselhos, compreensão durante minha ausência.

Ao meu noivo **Thassio** pelo companheirismo, ensinamentos de resiliência, empatia e conselhos cheios de amor e sabedoria.

À minha **Tia Fátima**, segunda mãe, que mesmo distante sempre apoiou e sonhou este e muitos outros sonhos ao meu lado.

À minha **sogra e cunhados** que apoiam e compartilham boas energias, agradeço pelo carinho.

Às minhas amigas **Lara, Bruna, Nayara, Aline, Edilaine, Daniela e Francine** que sempre fizeram presentes.

Ao meu **orientador, Prof. Roberto de Oliveira Roça**, pelos ensinamentos, amizade, conselhos e acolhimento, por toda a resiliência e empatia nestes dois anos trabalhando juntos.

Ao meu **coorientador, Dr. Guilherme Sicca Lopes Sampaio**, pelo aprendizado profissional.

Aos colegas de grupo e estagiários **Luciana, Bruno, Letícia, Carolina, Nara, Evelyn, Bruna, Iasmin, Doze, Thais, Andressa, Beatriz** pela parceria, ensinamentos, amizade e conselhos nos momentos difíceis.

Ao professor, **Dr. Sérgio Bertelli Pflanzner** e sua equipe as queridas **Anas** (orientadas), pelo profissionalismo, compartilhando seu conhecimento com nossa equipe e incentivando a realização deste trabalho.

À **Profª. Dr. Priscila Veiga** pelos diversos conselhos e ensinamentos, paciência e por tornar os meus dias mais leves com suas palavras de carinho e amizade.

Ao **Prof. Dr. Eduardo Fracisque Delgado** e sua aluna de doutorado **Giuliana Micai** pela paciência e colaboração no trabalho.

A toda equipe de pós-graduação em Zootecnia, especial á **Cláudia**, pela gentileza e paciência durante toda permanência no programa.

Ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, pela concessão da bolsa de mestrado processo **134368/2018-5**.

Aos colegas da **Igreja CCB** pelo acolhimento, amizade e espiritualidade.

À Dona **Cida, João e Nilton** pelos muitos cafezinhos, conversas e ajuda no desenvolvimento das atividades.

A **Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”** e seu corpo docente, discente e técnico, pelo apoio para realização dessa pesquisa.

A **CAPES**- O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos que passaram por minha vida durante essa jornada, em especial as pessoas difíceis que tive que enfrentar.

Muito obrigada!

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Monitoramento do pH e temperatura do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> em relação ao tempo <i>post-mortem</i>	71
Tabela 2. Desdobramento das interações oriundas do monitoramento do pH e temperatura do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> em relação ao tempo <i>post-mortem</i>	72
Tabela 3. Monitoramento da diferença do pH e temperatura do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> em relação ao tempo <i>post-mortem</i>	73
Tabela 4. Desdobramento das interações oriundas do monitoramento da diferença de pH do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> em relação ao tempo <i>post-mortem</i>	74
Tabela 5. Parâmetros de qualidade sensorial do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> avaliados com 2 dias de maturação.....	75
Tabela 6. Monitoramento da qualidade sensorial do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> em relação ao tempo de maturação.....	76
Tabela 7. Monitoramento da diferença de qualidade sensorial do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> em relação ao tempo de maturação.....	77
Tabela 8. Ocorrência percentual e Intervalo de Confiança 95% de carne macia ($WBSF \leq 4,4$ kg) em relação ao tempo de maturação.....	78

FIGURAS

Capítulo 1	1
Figura 1. Fluxograma dos efeitos da estimulação elétrica na qualidade da carne.....	12
Figura 2. Declínio ideal do pH e da temperatura após o abate.....	18
Figura 3. Etapas da ativação das calpaínas e maciez da carne.	25
Capítulo 2*	44
Figura 1. Relação entre pH e temperatura do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> , em relação às condições para ocorrência de “Cold Shortening” e “High Rigor Temperature” (<i>Heat Toughening</i>).	66
Figura 2. Temperatura <i>post-mortem</i> média das carcaças no pH muscular de 6,0.....	67
Figura 3. Tempo <i>post-mortem</i> médio para as carcaças atingir o pH 6,0.....	68
Figura 4. Equação linear com Intervalo de Confiança 95% da relação entre a área do gráfico Δ WBSF (Controle-Estimulado) e a área do gráfico Δ pH (Controle-Estimulado), em consideração ao tempo <i>post-mortem</i>	69
Figura 5. Monitoramento da diferença de maciez (Δ WBSF) do <i>M. longissimus thoracis et lumborum</i> em relação ao tempo de maturação.....	70

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1	1
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	2
1. INTRODUÇÃO.....	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. CENÁRIO DA PRODUÇÃO DE CARNE NO BRASIL.....	4
2.2. QUALIDADE E MACIEZ DA CARNE DE ANIMAIS <i>BOS TAURUS INDICUS</i> E <i>BOS TAURUS TAURUS</i>	6
2.3. ESTABELECIMENTO DO <i>RIGOR MORTIS</i> E CONVERSÃO DO MÚSCULO EM CARNE	8
2.4. ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA.....	10
2.4.1. Tipos de estimulação elétrica.....	13
2.4.2. Estimulação elétrica e o encurtamento pelo frio “cold shortening”	14
2.4.3. Estimulação elétrica e o encurtamento pelo calor “heat shortening”	17
2.4.4. Efeitos da estimulação elétrica na capacidade de retenção de água da carne.....	19
2.4.5. Efeitos da estimulação elétrica na cor da carne	20
2.4.6. Efeitos da estimulação elétrica na maciez da carne	22
2.5. MACIEZ E MATURAÇÃO	24
3. OBJETIVOS E HIPÓTESES.....	27
3.1. OBJETIVO GERAL.....	27
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
3.3. HIPÓTESES DO ESTUDO	27
4. REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO 2*.....	44
Resumo	45
Abstract	46
1. Introdução	47
2. Material e Métodos	49
2.1. <i>Delineamento experimental</i>	49
2.2. <i>Colheita das amostras</i>	50
2.3. <i>Processamento das amostras</i>	50

2.3.1. <i>Cor instrumental</i>	50
2.3.2. <i>Perda de peso por cozimento</i>	51
2.3.3. <i>Força de cisalhamento</i>	52
2.3.4. <i>Perda por gotejamento livre</i>	52
2.3.5. <i>Comprimento do sarcômero</i>	53
2.4. <i>Análise estatística</i>	54
3. Resultados e Discussão	57
3.1 <i>Monitoramento do pH e temperatura em relação ao tempo post-mortem, e seus efeitos nos parâmetros de qualidade do M. longissimus thoracis et lumborum durante a maturação</i>	57
4. Conclusão	65
5. Referências	79
CAPÍTULO 3	85
1. IMPLICAÇÕES	86

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui importância mundial quanto a produção e exportação de carnes, com o segundo maior rebanho bovino mundial, possui destaque econômico para a cadeia produtiva da carne bovina, que abateu 32,44 milhões de cabeças no ano de 2019 (IBGE, 2020), com as exportações ultrapassando países como Austrália e Índia (USDA, 2019a). A pecuária de corte brasileira é caracterizada pela dependência quase que exclusiva de pastagens, principalmente para cria e recria dos bovinos, com predominância de carne proveniente de animais da raça *Bos indicus* (FERRAZ; FELÍCIO, 2010; OLIVEIRA; MILLEN, 2014), não castrados, que produzem carcaças magras, propensas ao endurecimento da carne devido ao encurtamento pelo frio, além de maturação lenta e com poucos efeitos na maciez, em comparação com os animais da raça *Bos taurus*. Este tipo de carcaça representa vários desafios tecnológicos para as indústrias da carne bovina, tanto para otimizar a produção e melhorar o retorno econômico, como evitar prejuízos às características sensoriais da carne *in natura* produzida (GURSANSKY et al., 2010; O'CONNOR et al., 1997).

Após o abate e durante o resfriamento das carcaças bovinas ocorre o processo de transformação do músculo em carne, este processo caracteriza-se pela glicólise anaeróbica e contração muscular *post-mortem*, que resultam na redução do pH muscular e no estabelecimento do *rigor mortis* (DEVINE, 2014). Entretanto, durante a contração *post-mortem* pode ocorrer o encurtamento do sarcômero muscular, que resultará no endurecimento da carne, condição conhecida como “encurtamento pelo frio”, ou *cold shortening* (HONIKEL, 2014). Este fenômeno ocorre durante o resfriamento, antes do estabelecimento do *rigor mortis*, principalmente quando a temperatura da carcaça está abaixo de 10 °C e o pH muscular acima de 6,0 (SAVELL et al., 2005).

Neste sentido, as indústrias processadoras de carne estão concentrando atenção em tecnologias que proporcionem maior qualidade aos produtos. Nesta perspectiva, a técnica de estimulação elétrica (EE) de carcaças bovinas durante o processo de abate tem sido utilizada pelas indústrias para minimizar os efeitos do *cold shortening* e promover as características sensoriais de maciez e coloração da carne (ADEYEMI; SAZILI, 2014; POLIDORI; VINCENZETTI, 2017; SIMMONS et al., 2008). Esta técnica consiste na propagação de corrente elétrica pela carcaça com o objetivo de aumentar a contração muscular e a taxa glicolítica, o que resulta no aumento da velocidade de redução do pH e antecipação da

instalação do *rigor mortis* (HWANG; THOMPSON, 2002; HOPKINS et al., 2014; LI et al., 2012).

Atualmente a indústria tem adotado três tipos de EE, uma consiste na EE de meias carcaças com alta voltagem (>300V), EE de baixa voltagem (<100V) (DEVINE et al., 2014) e a EE de média voltagem com picos entre 100V e 300V (ZHANG et al., 2019). Embora a EE de alta voltagem seja o tipo mais eficiente para promover a maciez da carne, este sistema apresenta alto custo de implantação e manutenção, uma vez que exige complexa infraestrutura e adoção de vários procedimentos de segurança devido a sua periculosidade, além disso, sistemas mal dimensionados e ajustados estão associados à depreciação da carcaça e cortes cárneos, assim como problemas na infraestrutura da indústria (BHAT et al., 2019; DEVINE et al., 2014; SIMMONS et al., 2008). O outro sistema consiste na EE de carcaças com baixa voltagem (<100V), utilizado imediatamente após a sangria, buscando utilizar a integridade do sistema nervoso para propagação da corrente elétrica pela carcaça (DEVINE et al., 2014; KIM et al., 2013; SIMMONS et al., 2008; STRYDOM; FRYLINCK, 2014). Recentemente uma nova geração de média tensão (100V a 300V) está sendo utilizada na indústria, estes sistemas demonstraram resultados efetivos em carcaças ovinas (PEARCE et al., 2009), no entanto há uma escassez de dados para carcaças bovinas (ZHANG et al., 2019), com estudos concluindo que esse novo sistema pode acelerar efetivamente a taxa de declínio do pH além de serem sistemas mais seguros em comparação aos sistemas de alta tensão (HOPKINS et al., 2014; ZHANG et al., 2019).

Inúmeros fatores intrínsecos e extrínsecos estão relacionados com a eficiência da EE em promover a maciez e coloração da carne, como tipo de músculo (oxidativo ou glicolítico), concentração pré-abate de glicogênio muscular, tamanho e composição das carcaças, parâmetros elétricos utilizados (corrente, tensão, frequência e forma do pulso), posição dos eletrodos na carcaça, duração da estimulação, intervalo entre o abate e a estimulação, assim como o sistema de resfriamento das carcaças (ADEYEMI; SAZILI, 2014; DEVINE et al., 2014; HOPKINS, 2012; POLIDORI; VINCENZETTI, 2017). Durante a maturação, a eficiência enzimática é o principal aspecto responsável pela maciez da carne bovina *in natura* (DRANSFIELD, 1993; KIM et al., 2013). Este também é o principal motivo da diferença de maciez entre as carnes de zebuínos e taurinos, uma vez que animais *Bos taurus indicus* apresentam menor e mais lenta atividade proteolítica muscular no *post-mortem* (CARVALHO et al., 2014; COUTINHO et al., 2017; RODRIGUES et al., 2017; ROSA et al., 2018). Nesse sentido, a aceleração nas transformações *post-mortem* de carcaças *Bos taurus indicus*

eletricamente estimuladas podem resultar em carnes mais macias por maior tempo em relação às não estimuladas.

Na prática industrial brasileira, observações empíricas (visual) sugerem que protocolos elétricos com tensão contínua (fixa) resultam na redução progressiva da intensidade da contração muscular das meias carcaças durante a estimulação elétrica realizada no final do abate, o que gera a teoria de que as meias carcaças gradativamente reduzem a capacidade de responder aos estímulos elétricos (dessensibilizam/fadigam). Portanto, hipotetiza-se que protocolos de estimulação elétrica de meias carcaças no final do abate utilizando tensões crescentes poderiam manter a intensidade da contração muscular e resultar na melhoria e otimização dos parâmetros de qualidade do contrafilé, em relação ao protocolo tradicional realizado com tensão contínua. Adicionalmente, também poderia resultar na obtenção de carne mais macia, mesmo com a realização da maturação comercial e, principalmente, em relação às meias carcaças não estimuladas, uma vez que se tratam de animais *Bos taurus indicus*.

Ademais, a velocidade de redução do pH tem sido o principal indicador de eficiência da estimulação elétrica de carcaças bovinas (HWANG; THOMPSON, 2001). Entretanto, a prática industrial com protocolos de estimulação elétrica sugere que a velocidade de redução do pH *post-mortem* e o incremento de maciez do contrafilé não são diretamente proporcionais. O incremento e a constância da maciez do contrafilé são o principal objetivo das indústrias brasileiras com o uso da tecnologia de estimulação elétrica em carcaças *Bos taurus indicus*. A partir do exposto, objetivou-se avaliar a eficiência do uso de tensões elétricas crescente de média voltagem em carcaças *Bos taurus indicus* no final do abate, na qualidade do contrafilé submetido a diferentes tempos de maturação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. CENÁRIO DA PRODUÇÃO DE CARNE NO BRASIL

A importância econômica da cadeia produtiva da carne bovina brasileira é muito conhecida e pode ser demonstrada pelos 32,44 milhões de cabeças abatidas no ano de 2019 (IBGE, 2020). O Brasil encerrou o ano de 2019 registrando crescimento de 1,3% acima do registrado em 2018 no PIB agropecuário (IBG, 2020), com as exportações de carne *in-natura* alcançando crescimento de 12,2%, comparado ao ano anterior (ABIEC, 2020). O Brasil é um dos mais importantes produtores de carne bovina, resultado de décadas de investimento em tecnologias que elevou não só a produtividade como também a qualidade do produto brasileiro, tornando-se competitivo, alcançando mercados em mais de 150 países (MCMANUS et al., 2016).

4 Conclusão

O uso de estímulos elétricos de média voltagem com tensão crescente em carcaças *Bos taurus indicus* no final do abate, não foi mais eficiente quando comparado a estimulação elétrica de tensão contínua. A estimulação elétrica de tensão contínua demonstrou maior taxa de redução do pH *post-mortem*, sem relação entre força (tensão) e declínio do pH. A força de cisalhamento do contrafilé de animais *Bos taurus indicus* estimulados foi menor mesmo com a maturação de 28 dias, quando comparado aos animais não estimulados.

REFERÊNCIAS

- Adeyemi, K. D. & Sazili, A. Q. (2014). Efficacy of carcass electrical stimulation in meat quality enhancement: A review. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 27, (3), 447.
- AMSA. American Meat Science Association. AMSA Meat Color Measurement Guidelines (Updated December 21, 2012), Champaign, Illinois USA: American Meat Science Association, 2012. 136p. Disponível em: <<https://www.meatscience.org/publicationsresources/printed-publications/amsa-meat-color-measurement-guidelines>>. Acesso em: 15 ago. 2018.
- AMSA. American Meat Science Association. AMSA Research Guidelines for Cookery and Evaluation 1.02 (Updated 11 Feb, 2016), Champaign, Illinois USA: American Meat Science Association, 2016. 106p. Disponível em: <https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/amsa-sensory-and-tenderness-evaluation-guidelines/research-guide/amsa-research-guidelines-for-cookery-and-evaluation-1-02.pdf?sfvrsn=4c6b8eb3_2>. Acesso em: 28 abril 2020.
- ASTM F2925-11, Standard specification for tenderness marketing claims associated with meat cuts derived from beef. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org/ Reapproved 2018.
- Balan, P., Farouk, M. M., Stuart, A. D., Kemp, R., Staincliffe, M., Craige, C. & Kim, Y. B. (2019). Effects of electrical stimulation and pre-rigor conditioning temperature on aging potential of hot-boned beef *M. longissimus lumborum*. *Animal Science Journal*, 90, 1050–1059.
- Bhat, Z. F.; Morton, J. D; Mason, S. L.; Bekhit, A. E. A. (2019). Current and future prospects for the use of pulsed electric field in the meat industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59, (10) 1660-1674.
- BRASIL (1989). Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. PORTARIA Nº 612, DE 05 DE OUTUBRO DE 1989. Sistema Nacional de Tipificação de Carcaças Bovinas.
- BRASIL (2017). Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. DECRETO Nº 9.013, DE 29 DE MARÇO DE 2017. Dispõe sobre o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal - RIISPOA. [Regulation of Industrial and Sanitary Inspection of Animal Products]. Brasília, DF, Brasil.
- Cornforth, D. P., Pearson, A. M. & Merkel, R. A. (1980). Relationship of mitochondria and sarcoplasmic reticulum to cold shortening. *Meat science*, 4, (2), 103-121.
- Coutinho, M.A.S., Ramos, P.M., Silva, S.D.L., Martello, L.S., Pereira, A.S.C. & Delgado, E.F. (2017). Divergent temperaments are associated with beef tenderness and the inhibitory activity of calpastatin. *Meat Science*, 134, 61-67.
- Cross, H. R., West, R. L. & Dutson, T. R. (1981). Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef semitendinosus muscle. *Meat science*, 5, (4), 261-266.

- Devine, C. E., Wahlgren, N. M. & Tornberg, E. (1999). Effect of rigor temperature on muscle shortening and tenderisation of restrained and unrestrained beef m. longissimus thoracicus et lumborum. *Meat Science*, 51, 61-72.
- Devine, C. E., Payne, S. R., Peachey, B. M., Lowe, T. E., Ingram, J. R. & Cook, C. J. (2002). High and low rigor temperature effects on sheep meat tenderness and ageing, *Meat Science*, 60, 141-146.
- Devine, C. E., Hopkins, D. L., Hwang, I. H., Ferguson, D. M. & Richards, I. (2014). Electrical Stimulation. *Meat Sciences*, 2, 486-496.
- Devine, C.E. (2014). Conversion of muscle to meat – Aging. In: *Encyclopedia of Meat Sciences*, 2, 329-338.
- DMRI (2018). Instruction manual for EZ-DripLoss. Danish Meat Research Institute (DMRI).
- Dransfield, E. (1993). Modelling Post-mortem Tenderisation IV: Role of Calpains and Calpastatin in Conditioning. *Meat Science*, 34, 217-234.
- Ferraz, J. B. S.; Felicio, P. E. (2010). Production systems –An example from Brazil. *Meat Science*, 84, (2). 238-243.
- Gursansky, B., O'halloran, J. M., Egan, A. & Devine, C. E. (2010). Tenderness enhancement of beef from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle following electrical stimulation. *Meat Science*, 86, 635-641.
- Hertzman, C., Olsson, U. & Tornberg, E. (1993). The influence of high temperature, type of muscle and electrical stimulation on the course of rigor, ageing and tenderness of beef muscles. *Meat Science*, 35, 119-141.
- Ho, C. Y., Stromer, M. H. & Robson, R. M. (1996). Effect of electrical stimulation on postmortem titin, nebulin, desmin, and troponin-T degradation and ultrastructural changes in bovine longissimus muscle. *Journal of Animal Science*, 74, (7), 1563-1575.
- Hopkins, D. L. (2012). Pretreatments for Meats I (Tenderization, Electrical Stimulation, and Portioning). In: *Operations in food refrigeration*, CRC Press, 113-134.
- Hopkins, D. L., Ponnampalam, E. N., Van de ven, R. J. & Warner, R. D. (2014). The effect of pH decline rate on the meat and eating quality of beef carcasses. *Animal Production Science*, 54, (4), 407-413.
- Hughes, J.M, Oiseth, S.K, Purslow, P.P, & Warner, R.D. (2014). A structural approach to understanding the interactions between color, water holding capacity and tenderness. *Meat Science*, 98 (3), 520-532.
- Hughes, J. M., Clarke, F. M., Purslow, P. P. & Warner, R. D. (2020). Meat color is determined not only by chromatic heme pigments but also by the physical structure and achromatic light scattering properties of the muscle. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19, (1), 44-63.

- Hwang, I. H. & Thompson, J. M. (2001). The effect of time and type of electrical stimulation on the calpain system and meat tenderness in beef longissimus dorsi muscle. *Meat Science*, 58, 135-144.
- Hwang, I. H.; Thompson, J.M. (2002). A technique to quantify the extent of postmortem degradation of meat ultrastructure. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 15, (1). 111-116.
- Hwang, I. H., Devine, C. E. & Hopkins, D. L. (2003). The biochemical and physical effects of electrical stimulation on beef and sheep meat tenderness. *Meat science*, 65, 677- 691.
- Hwang, I. H., Park, B. Y., Cho, S. H. & Lee, J. M. (2004). Effects of muscle shortening and proteolysis on Warner–Bratzler shear force in beef Longissimus and semitendinosus. *Meat Science*, 68, 497–505
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Indicadores IBGE - Estatística da Produção Pecuária. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca/catalogo?id=72380&view=detalhes>>. Acesso em: 25 mar. 2020.
- Jeacocke, R. E. (1977). The temperature dependence of anaerobic glycolysis in beef muscle held in a linear temperature gradient. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 28, (6), 551-556.
- Juárez, M., Basarab, J. A., Baron, V. S., Valera, M., López-Campos, Ó., Larsen, I. L., & Aalhus, J. L. (2016). Relative contribution of electrical stimulation to beef tenderness compared to other production factors. *Canadian Journal of Animal Science*, 96 (2), 104-107.
- Kilgannon, A. K., Holman, B. W. B., Mawson, A. J., Campbell, M., Collins, D. & Hopkins, D. L. (2018). Optimising the ez-drip method for aged beef drip loss determination. In: *International Congress of Meat Science and Technology (ICOMST)*, 64, Melbourne. Summary in Annals of Congress.
- Kim, Y. S., Lee, C. N., DuPonte, M. W. & Fukumoto, G. K. (2007). Improving the tenderness of meat finished in forage using a low voltage electrical stimulator. University of Hawaii. 6 p. (Food safety and technology; FST-22).
- Kim, Y. H. B., Stuart, A., Nygaard, G. & Rosenvold, K. (2012). High pre rigor temperature limits the ageing potential of beef that is not completely overcome by electrical stimulation and muscle restraining. *Meat Science*, 91, (1), 62-68.
- Kim, Y. H. B., Lonergan, S. M., Grubbs, J. K., Cruzen, S. M., Fritchen, A. N., Della M.A., Marino, R. & Lonergan, H.E. (2013). Effect of low voltage electrical stimulation on protein and quality changes in bovine muscles during postmortem aging. *Meat science*, 94, (3), 289-296.
- Kim, Y. H. B., Warner, R. D. & Rosenvold, K. (2014). Influence of high pre-rigor temperature and fast pH fall on muscle proteins and meat quality: a review. *Animal Production Science*, 54, (4), 375-395.

- Kim, Y. H. B., Ma, D., Setyabrata, D., Farouk, M. M., Lonergan, S. M., Huff-Lonergan, E., & Hunt, M. C. (2018). Understanding postmortem biochemical processes and post-harvest aging factors to develop novel smart-aging strategies. *Meat science*, 144, 74-90.
- Li, C. B., Li, J., Li, X., Hviid, M. & Lundström, K. (2011). Effect of low-voltage electrical stimulation after dressing on color stability and water holding capacity of bovine longissimus muscle. *Meat science*, 88, (3), 559-565.
- Li, C. B., Li, J., Zhou, G. H., Lametsch, R., Ertbjerg, P., Brüggemann, D. A., ... & Lundström, K. (2012). Electrical stimulation affects metabolic enzyme phosphorylation, protease activation, and meat tenderization in beef. *Journal of animal science*, 90, (5), 1638-1649.
- Li, C. B., Zhou, G. H., Xu, X., Lundström, K., Karlsson, A., & Lametsch, R. (2015). Phosphoproteome analysis of sarcoplasmic and myofibrillar proteins in bovine longissimus muscle in response to postmortem electrical stimulation. *Food chemistry*, 175, 197-202.
- Li, M., Li, X., Xin, J., Li, Z., Li, G., Zhang, Y., ... & Zhang, D. (2017) Effects of protein phosphorylation on the color stability of ground meat. *Food Chemistry*, 219, 304-310. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.151>
- Matarneh, S. K.; England, E. M.; Scheffler, T. L. & Gerrard, D. E. (2017). The Conversion of Muscle to Meat. *Meat Science*. 8. Cap.5.
- Mckenna, D. R., King, D. A. & Savell, J. W. (2004). Comparison of clam-shell cookers and electric broilers and their effects on cooking traits and repeatability of Warner-Bratzler shear force values. *Meat Science*, 66, (1), 225-229.
- Miguel, G. Z., Faria, M. H., Roça, R. O., Santos, C.T., Suman, S. P., Faitarone, A. B. G., Delbem, N. L. C., Girão, L.V.C., Homem, J. M., Barbosa, E. K., Su, L. S., Resende, F. D.; Siqueira, G. R., Moreira, A. D. & Savian, T.V. (2014). Immunocastration improves carcass traits and beef color attributes in Nellore and Nellore X Aberdeen Angus crossbred animals finished in feedlot. *Meat Science*, 96, 884-89.
- Milios, K.T.; Drosinos, E.H.; Zoiopoulos, P.E. (2014). Food Safety Management System validation and verification in meat industry: Carcass sampling methods for microbiological hygiene criteria—A review. *Food Control*, 43, (74), 81.
- Minitab LLC. (2019). Soporte de Minitab 18. Obtenido de Desviación estándar: <https://support.minitab.com>
- AMPC-2015a. Australian Meat Processor Corporation. Fact sheet – What is electrical stimulation? Program: food safety, product integrity and meat science.
- Nazli, B., Cetin, O., Bingol, E. B., Kahraman, T. & Ergun, O. (2010). Effects of high voltage electrical stimulation on meat quality of beef carcasses. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9, (3), 556-560.
- O'connor, S. F., Tatum, J. D., Wulf, D. M., Green, R. D. & Smith, G. C. (1997). Genetic effects on beef tenderness in *Bos taurus indicus* composite and *Bos taurus* cattle. *Journal of*

Animal Science, 75, (7), 1822-1830.

- Oliveira, C.A. & Millen, D.D. (2014). Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 64-75.
- Origin Lab Corporation. OriginPro: SR2 B87. v. 9.0, Disponível em: <www.originlab.com>. Acesso em: 10 nov. 2019.
- Puolanne, E.; Immonen, K. (2014). Conversion of muscle to meat – Glycogen. In: *Encyclopedia of Meat Sciences (Second Edition)*, Elsevier, 346-352.
- Polidori, P. & Vincenzetti, S. (2017). The use of electrical stimulation in meat production. In: *Meat and Meat Processing*, Nova Science Publishers, 133-154.
- Pospiech, E. P., Grzes, B., Lyczynski, A., Borzuta, K., Szalata, M. & Mikolajczak, B. (2003). Muscle proteins and their changes in the meat tenderization process. *At the IV Conference on the effect of genetic and non-genetic factors on the quality of pig carcass and meat*, 21, 133-151
- Rodrigues, R.T.S., Chizzotti, M.L., Vital, C.E., Baracat-Pereira, M.C., Barros, E.; Busato, K. C., Gomes, R.A., Ladeira, M.M. & Martins, T.S. (2017). Differences in beef quality between Angus (*Bos taurus*) and Nellore (*Bos indicus*) cattle through a proteomic and phosphoproteomic approach. *PLoS ONE*, 12, (1), 170-294.
- Rosa, A.F., Moncau, C.T., Poleti, M.D., Fonseca, L.D., Balieiro, J.C., Silva, S.L. & Eler, J.P. (2018). Proteome changes of beef in Nellore cattle with different genotypes for tenderness. *Meat science*, 138, 1-9.
- SAS Institute. (2015). *Base SAS 9.4 procedures guide*. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Savell, J., Miller, R., Wheeler, T., Koohmaraie, M., Shackelford, S., Morgan, B., Calkins, C., Miller, M., Dikeman, M., Mckeith, F., Dolezal, G., Henning, B., Busboom, J., West, R., Parrish, F., & Williams, S. (1994). Standardized Warner-Bratzler shear force procedures for genetic evaluation. In: *National Beef Tenderness Plan Conference*, 1-3.
- Savell, J.W., Mueller, S.L., & Baird, B.E. (2005). The chilling of carcasses. *Meat Science*, 70, 449-459.
- Simmons, N. J., Singh, K., Dobbie, P. M. & Devine, C. E. (1996). The effect of pre-rigor holding temperature on calpain and calpastatin activity and meat tenderness. *In Proceedings of the 42nd international congress of meat science and technology*, 414-415.
- Simmons, N.J., Daly, C.C., Cummings, T.L., Morgan, S.K., Johnson, N.V., & Lombard, A. (2008). Reassessing the principles of electrical stimulation. *Meat Science*, 80, (1), 110-122.
- Smulders, F.J.M., Marsh, B.B., Swartz, D.R., Russell, R.L., & Hoenecke, M.E. (1990). Beef tenderness and sarcomere length. *Meat Science*, 28, 349-363.

- Thompson, J. (2002). Managing meat tenderness. *Meat Science*, 62, 295–308.
- USDA. United States of America. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. Global Agricultural Information Network (GAIN). Brazil - Livestock and Products Semi-annual - 2019 Semi-Annual Livestock Report (GAIN Report Number: BR 1924), 2019a. 17p. May 9, 2019a.
- Wahlgren, N. M., Devine, C. E. & Tornberg, E. (1997). The influence of different pH-courses during rigor development on beef tenderness. *In Annual international congress of meat science and technology*, 43, 622-623.
- Warriss, P. D. (2010). *Ciência da carne: um texto introdutório*. 2nd Ed. Publicação CABI; pp. 117-122.
- Warner, R.D., Dunshea, F.R., Gutzke, D., Lau, J., & Kearney, G. (2014a). Factors influencing the incidence of high rigor temperature in beef carcasses in Australia. *Animal Production Science*, 54, (4), 363-374.
- Warner, R.D. (2017c). The Eating Quality of MeatdIV Water-Holding Capacity and Juiciness. *Meat Science*. Australia: Elsevier, cap. 14, 419-459.
- Whiting, R. C. (1980). Calcium uptake by bovine muscle mitochondria and sarcoplasmic reticulum. *Journal of Food Science*, 45, (2), 288-292.
- Wiklund. E., Stevenson-Barry, J.M.; Duncan, S.J., & Littlejohn, R.P. (2001). Electrical stimulation of red deer (*Cervus elaphus*) carcasses - effects on rate of pH-decline, meat tenderness, colour stability and water-holding capacity. *Meat Science*, 59, 211–220.
- Ying-Hong, J., Shu C.A.W. & Mei-hu, M. (2011). Effects of diferente stimulation on tenderness of beef carcasses. *International Conference on New Technology of Agricultural*, 827-830.
- Zhang, Y., Ji, X., Mao, Y., Luo, X., Zhu, L. & Hopkins, D. L. (2019). Effect of new generation medium voltage electrical stimulation on the meat quality of beef slaughtered in a Chinese abattoir. *Meat Science*, 149, 47-54.
- Zhou, G. H.; Xu, X. L.; Liu, Y. (2010). Preservation technologies for fresh meat – A review. *Meat Science*, 86, 1, 119-128.
- Zywica, R., Modzelewska-Kapituła, M., Banach, J. K. & Tkacz, K. (2018). Linear correlation between pH value of stimulated beef and electrical current intensity. *International Journal of Food Properties*, 21, (1), 1386-1394.